



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Aragón

**Diseño de carrocería para automóvil híbrido
destinado al servicio de transporte público
individual de pasajeros.**

Tesis que para obtener título de

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

LUIS ANGEL RODRIGUEZ MENDOZA

DIRECTOR: M. en I. HUMBERTO MANCILLA ALONSO

Ciudad Nezahualcóyotl, .Estado.de.México.2017.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Agradecimientos

Quiero agradecer, en primer lugar, a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Aragón, por permitirme pertenecer a tan honorable institución y forjar mis conocimientos científicos y sociales a lo largo de mi carrera.

Al Club de Mecatrónica de la FES Aragón, ya que en él encontré el respaldo, el cariño y la amistad de increíbles personas que me apoyaron y nunca dejaron de insistir en que este trabajo fuera terminado, y que, además, me dieron las bases necesarias para poder competir en el área profesional.

En especial al M. en Ing. Humberto Mancilla Alonso, por la paciencia, consejos personales y técnicos, regañones y por su increíble amistad.

A sí mismo, agradezco a mi familia: Mi padre, madre y hermano, ya que nunca dejaron de confiar en mí y me apoyaron en todo lo que yo necesitara para concluir satisfactoriamente mis estudios universitarios. Gracias por todo el apoyo moral, consejos, paciencia, apoyo económico, educación y mil cosas más que por falta de espacio no puedo plasmar en los presentes agradecimientos.

Gracias a mis amigos más cercanos por nunca dejarme caer, por estar en las buenas, las malas y las peores. César, Jorge, Héctor, Vero, Alejandra, Pablo, Nayade, Delia, Alán y Alex. Gracias por siempre estar.

Gracias a todas las personas que me sirvieron de inspiración para concluir este trabajo, el que para mí es “la mejor tesis del mundo” porque detrás de todos los aspectos técnicos y científicos... existen miles de historias con personas excelentes que de buena o mala manera me impulsaron a lograr este resultado.

“Lánzame a los lobos, que volveré como el líder de la manada”



Contenido

Contenido

Un problema a resolver.....	1
Antecedentes	7
1.1.- <i>Historia de las carrocerías</i>	7
1.2.- <i>Estado del Arte</i>	10
Despliegue de la Función Calidad (QFD)	13
2.1.- <i>ESTUDIO DE MERCADO Y NECESIDADES DEL CLIENTE</i>	13
2.2.- <i>ELABORACIÓN DE LA ENCUESTA Y RESULTADOS</i>	14
2.2.1 <i>RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS</i>	15
2.3- <i>APLICACIÓN DEL QFD EN EL PROYECTO</i>	16
2.4.- <i>MATRIZ DE CALIDAD</i>	16
2.5. – <i>RESULTADOS DE QFD</i>	19
Descomposición de funciones.....	20
3.1 <i>Descomposición de funciones del Automóvil Híbrido</i>	20
3.2 <i>Descomposición de funciones de la carrocería</i>	21
Configuración de funciones.....	23
4.1 <i>Configuración de funciones del Automóvil Híbrido</i>	23
4.2 <i>Configuración de funciones de la carrocería</i>	23
Pliego de Condiciones Técnicas.....	25
5.1.- <i>Motorización del Vehículo</i>	26
5.1.1- <i>Configuración del Sistema Híbrido</i>	26
5.1.2- <i>Posicionamiento del Motor</i>	29
5.2. – <i>Configuración de sistema, posicionamiento de motor y selección de componentes en el proyecto del automóvil híbrido</i>	30
5.3.- <i>Habitabilidad y Antropometría</i>	31
5.3.1 – <i>Medidas del Portaequipaje</i>	38
5.4.- <i>Dimensiones generales del vehículo</i>	38
5.5.- <i>Resultado del Pliego de condiciones técnicas</i>	39



Fase de concepción	41
6.1.- Realización de Croquis.....	41
6.2.- Coeficiente aerodinámico.....	45
6.2.1.- Modelado del Perfil Óptimo para la Carrocería	47
6.2.2.- Estudio del modelo propuesto.....	55
6.2.3.- Determinación y comparativa entre estado del arte y perfil propuesto.	63
7.- Conclusiones.....	66
Anexos	68
Referencias.....	70

ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Perfiles de diferentes carrocerías pertenecientes a la lista de automóviles propuesto por SEMOVI para realizar el oficio de taxista. Los modelos de automóviles son 2015.</i>	<i>5</i>
<i>Ilustración 2: Carrocería Citroen del año 1934</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 3: Variación del arrastre con respecto al ángulo de guiñada. (Hucho, 1981).....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 4: Coeficiente aerodinámico del carro Schlör, las pruebas fueron hechas con modelos a escala 1:5, un cuarto y escala normal. (Hucho, 1981).....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 5: Descomposición de funciones mecánicas del automóvil híbrido</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 6: Descomposición de sub funciones de la función carrocería.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 7: Configuración general de las funciones mecánicas del automóvil híbrido</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 8: Configuración de sub funciones de la función principal Carrocería</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 9: Nissan Sentra 2015 vs Nissan Versa 2015</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 10: Acomodo de un sistema Híbrido en Serie</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 11: Acomodo de un Sistema Híbrido en Paralelo.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 12: Acomodo de un Sistema Híbrido Serie-Paralelo.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 13: Gráfica comparativa de funcionamiento de motor eléctrico vs motor de combustión en los diferentes acomodos de Sistema Híbrido</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 14: Ángulos propuestos para conductor.</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 15: Ángulos aproximados de la interacción usuario-asiento en Chevy Monza 1997.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 16: Ángulos aproximados de la interacción usuario-asiento en Atos 2003</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 17: Esquema con medidas antropométricas de percentil 95 en operadores de autotransporte en la CDMX.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 18:Ángulos aproximados del pasajero hechos en SolidWorks.</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 19: Croquis en vista lateral de conductor y pasajero</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 20: Croquis en vista de planta del conductor.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 21: Unificación de croquis para obtener medias aproximadas del habitáculo de pasajeros.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 22: Medidas interiores y exteriores típicas (según Normas VDA 239-01).....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 23: Interacción de algunos órganos mecánicos, chasis y pasajeros de acuerdo al pliego de condiciones técnicas.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 24: Primer concepto de Taxi Híbrido.....</i>	<i>43</i>



<i>Ilustración 25: Segundo concepto Taxi Híbrido</i>	43
<i>Ilustración 26: Tercer concepto de Taxi Híbrido</i>	44
<i>Ilustración 27: Cuarto concepto de Taxi Híbrido</i>	44
<i>Ilustración 28: Optimización de forma</i>	46
<i>Ilustración 29: Adecuación de pliego de condiciones técnicas con perfil alar</i>	49
<i>Ilustración 30: Formas combinadas por paul Jaray.</i>	50
<i>Ilustración 31: Efecto del ángulo $\Delta\phi$ del parabrisas en el arrastre. (Hucho, 1981).</i>	51
<i>Ilustración 32: Perfil aerodinámico propuesto</i>	55
<i>Ilustración 33:Relación entre tipo de carro y metros cuadrados de sección transversal del vehículo</i>	56
<i>Ilustración 34: Visualización de puntos de prueba a lo largo del perfil vehicular</i>	59
<i>Ilustración 35: Variación en la velocidad del fluido mediante gradiente de colores.</i>	61
<i>Ilustración 36: Variación en la presión del fluido mediante gradiente de colores</i>	62
<i>Ilustración 37: Visualización de turbulencia a lo largo del vehículo mediante gradiente de colores</i>	62
<i>Ilustración 38: Captura de pantalla de resultados de la prueba</i>	63
<i>Ilustración 39: Resultados mediante gradiente de colores de perfil de toyota Prius 2016</i>	64
<i>Ilustración 40: Resultados mediante gradiente de colores de Honda Fit 2016</i>	64

GRAFICAS

<i>Gráfica 1: Ángulo de ataque vs Coeficiente de arrastre</i>	48
<i>Gráfica 2: Distribución de presiones a lo largo de la forma del perfil alar</i>	48
<i>Gráfica 3:Cambio del coeficiente de arrastre con respecto al ángulo de inclinación del parabrisas</i>	52
<i>Gráfica 4: Cambios en Coeficiente de arrastre de acuerdo a la inclinación del parabrisas</i>	53
<i>Gráfica 5: Cambios en coeficiente de arrastre de acuerdo a la inclinación del difusor</i>	54
<i>Gráfica 6: Variación en coeficiente de presión a lo largo del vehículo</i>	59
<i>Gráfica 7: Variación de la presión a lo largo del vehículo</i>	60
<i>Gráfica 8: Variación de la velocidad a lo largo del vehículo</i>	60
<i>Gráfica 9: Comparativa entre coeficientes de arrastre del perfil propuesto con vehículos de estado del arte</i> 63	
<i>Gráfica 10: Comparativa de presiones máxima y mínima del perfil generado contra estado del arte</i>	65
<i>Gráfica 11: Comparativa de velocidad máxima y mínima del perfil generado contra estado del arte</i>	65
<i>Gráfica 12: Comparativa de intensidad de turbulencia máxima y mínima del perfil generado contra estado del arte</i>	65

TABLA

<i>Tabla 1: Porcentaje de gastos de taxistas</i>	3
<i>Tabla 2: Imagen comparativa de precios entre automóviles enlistados por SEMOVI (Azul) y automóviles híbridos populares en el mercado (naranja)</i>	5
<i>Tabla 3: Características Generales de Toyota Prius 2016</i>	11
<i>Tabla 4: Características generales de Honda Fit 2016</i>	12
<i>Tabla 5: Características generales de Honda CRZ</i>	12
<i>Tabla 6: Gráfica de demandas y expectativas de los taxistas, resultado de encuestas realizadas en el año 2015</i>	15
<i>Tabla 7: Porcentajes y prioridades de encuestas de aspectos pedidos por taxistas</i>	17



<i>Tabla 8: Medidas generales promedio de automóviles para el servicio de transporte de pasajeros.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 9: Parámetros para estudios de coeficiente aerodinámico</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 10: Condiciones para estudios de coeficiente aerodinámico</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 11: Parámetros para estudios de coeficiente aerodinámico.</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 12: Condiciones para estudios de coeficiente aerodinámico</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 13: Dimensiones del área de prueba en base a tunel de DNW.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 14: Dominio computacional de prueba</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 15: Cambios en coeficiente de presión de acuerdo a la posición del fluido sobre la longitud del vehículo</i>	<i>59</i>



Introducción

Este documento trata de la visualización del comportamiento aerodinámico en el perfil lateral de las carrocerías de automóviles. Sin embargo, para que este tipo de estudios pueda realizarse, deben tomarse en consideración diversos factores de diseño. Para ello, se usará la metodología de Pahl and Beitz para la creación de una estrategia que aumente las posibilidades de éxito técnico y un diseño de bajo costo.

Al principio del documento se define detalladamente el problema a resolver, utilizando datos estadísticos y estableciendo ventajas al desarrollar el proyecto propuesto.

En el primer capítulo, se busca adentrar al lector a la historia del estudio de la aerodinámica. Además, se muestran diferentes diseños ya existentes en el mercado. Se reportan las estadísticas obtenidas de encuestas realizadas al público específico al que va dirigido el producto y se realiza una matriz de calidad para determinar, dependiendo de los resultados de las encuestas, que aspectos son de mayor importancia tratar para satisfacer al cliente.

Los capítulos dos y tres están destinados a la visualización y descomposición de las funciones del automóvil en general y de sub-funciones como la parte específica de la carrocería.

El capítulo cuatro hace referencia al acondicionamiento de un pliego de condiciones técnicas que debe cumplir el automóvil, tales como motorización, el dimensionamiento adecuado del habitáculo de pasajeros mediante un estudio antropométrico, el dimensionamiento del área de motorización y el volumen del maletero. También en este pliego se agregan las dimensiones generales que servirán de base para el diseño del automóvil.

En el capítulo cinco empieza la fase de concepción del automóvil mediante croquis que muestre el estilo para el cual estará diseñado y que haga referencia de una manera adecuada al logo de la marca. Además, en este capítulo se incluyen estudios para determinar el coeficiente aerodinámico del perfil de la carrocería. El coeficiente estará determinado por la propuesta de un perfil alar en la punta del vehículo y diversos ángulos de ataque que recorrerá el aire a lo largo de la trayectoria. Estas propuestas serán analizadas en software computacional determinando coeficientes de arrastre, presión, porcentaje de turbulencia y realizando una comparativa entre el perfil y dos vehículos del mercado.

En el capítulo seis se muestran las conclusiones de este desarrollo.



Un problema a resolver...

En la Ciudad de México, la contaminación ambiental comenzó a estudiarse y regularse en los años 70, esta se ha ido modificando y adaptando hasta nuestros días (2016), sin embargo, no se ha propuesto ningún plan que solucione a fondo dicho problema. En relación con la contaminación atmosférica y de acuerdo al “Informe de calidad del aire en la Ciudad de México 2014” emitido por la Secretaría del Medio Ambiente, no se han podido controlar las diferentes emisiones de gases contaminantes indicadas en las normas oficiales mexicanas y normas internacionales. Dichos gases son: Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Monóxido de carbono (CO) y Ozono (O₃).¹

Un ejemplo claro de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México es la zona de Santa Fe, ya que en dicha área una persona puede llegar a pasar 26 días al año en el tráfico de sus avenidas principales, mientras gasta un promedio de \$16,500.00 MX en combustible. Se calcula que los transeúntes y habitantes de Santa Fe producen 227,852 toneladas de CO₂ al año y para mitigar este daño, cada persona que viva o trabaje en Santa Fe debería plantar 112 árboles al año.²

Esta situación no solo impera en la zona de Santa Fe, sino en toda la ciudad en la que la mayoría de los gases contaminantes es emitida por vehículos de combustión interna. El uso de estos vehículos es frecuente en los diversos servicios de transporte público, tal como el ofrecido por los taxis, que siendo uno de los más populares, constituye un objeto de investigación y regularización para que la emisión que se produce por estos sea menor.

De acuerdo con datos de la Ventanilla Única de Transparencia de la Secretaría de Movilidad, en el 2015 la Ciudad de México existían *140 mil* taxis registrados, de los cuales, *75,033* pertenecían a sitios, bases y radio taxis. El resto (*64,967 taxis*) circulaban libremente por la ciudad. Sin embargo, los taxis con calidad “pirata” son un número a considerar ya que se estimaban más de 30 mil de estos vehículos.³

Actualmente (2016) el Gobierno de la Ciudad de México presentó el programa PROAire en el cual se incentiva a los taxistas a obtener taxis híbridos o eléctricos

¹ Cfr. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, Calidad del aire en la Ciudad de México Informe 2014, Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Monitoreo Atmosférico, México, D.F., junio 2015, versión electrónica <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=Z6BhnmI=>

² Cfr. CTS EMBARQ MÉXICO, “Estudio de Movilidad de la Zona Santa Fe en la Ciudad de México”, <http://embarqmexico.org/sites/default/files/Estudio%20de%20movilidad%20en%20Santa%20Fe%20CDMX.pdf>

³ Delgado, Diana. (20/07/2015). Controlan 9 líderes 24 mil taxis. Ciudad de México. El Universal. <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/df/2015/07/20/controlan-9-lideres-24-mil-taxis>



con la preferencia de quedar exentos sobre impuestos a autos nuevos, no pagar tenencia, no verificar y sin que el programa “Hoy No Circula” los afecte. Previendo que a finales de este año (2016) se tengan en la ciudad de México 700 taxis híbridos y 70 taxis eléctricos⁴. Sin embargo, en el caso de los taxis eléctricos la tarifa sube significativamente y la capacidad de viaje del vehículo está limitada a los centros de carga. En el caso de los automóviles híbridos, aunque no se prevé aumento de tarifa, el precio del automóvil propuesto por el programa oscila entre los \$415,000 MX. Este precio es mucho más elevado que el de los automóviles de motor de combustión interna propuestos por la SEMOVI, haciendo casi imposible su compra para los taxistas.

En este sentido, con la finalidad de conocer el objeto de estudio, se realizó una recolección de datos en la que participó una población muestra integrada por taxistas de la Ciudad de México y área metropolitana con las siguientes características:

- Tener automóvil propio
- Que sea de uso propio, es decir, que lo trabajaran ellos; y
- Que no pertenecieran a sitios de taxi, bases o radio taxis.

Se eligió este grupo ya que es el que más llega a sufrir las diferentes variables de la ciudad como el tráfico, inclemencias del tiempo, competencia, etc. Bajo este contexto se realizó una encuesta que contempló los gastos anuales de las siguientes secciones:

- Gasolina
- Tarjetón
- Revista Vehicular
- Verificación
- Tenencia
- Mantenimiento del vehículo

Del resultado de dicho estudio se encontró que, de los gastos anuales totales, un taxista promedio con las características citadas anteriormente gasta un 84.55% de este dinero en gasolina. Disminuyendo la posible ganancia del taxista, la cual puede variar debido a la demanda del servicio. Ver Tabla 1.

Los taxis son una fuente importante de contaminación en la ciudad, sin embargo, constituyen el sostén económico de muchas familias, que a su vez, requiere de grandes insumos para su mantenimiento, por lo que tratando de minimizar el

⁴ Domínguez, Pedro. (07/07/2016). Mancera presenta taxis híbridos para la CdMx. Ciudad de México. Milenio. http://www.milenio.com/df/taxis_hibridos_CdMx-estaciones_de_recarga_CdMx-autos_electricos_CdMx_0_769723270.html



impacto ambiental provocado por los mismos y en un ánimo de apoyar a la economía de las familias mexicanas, un grupo multidisciplinario de la Facultad de Estudios Superiores Aragón llamado Club de Mecatrónica, se dio a la tarea de observar y proponer una solución para dicho problema.

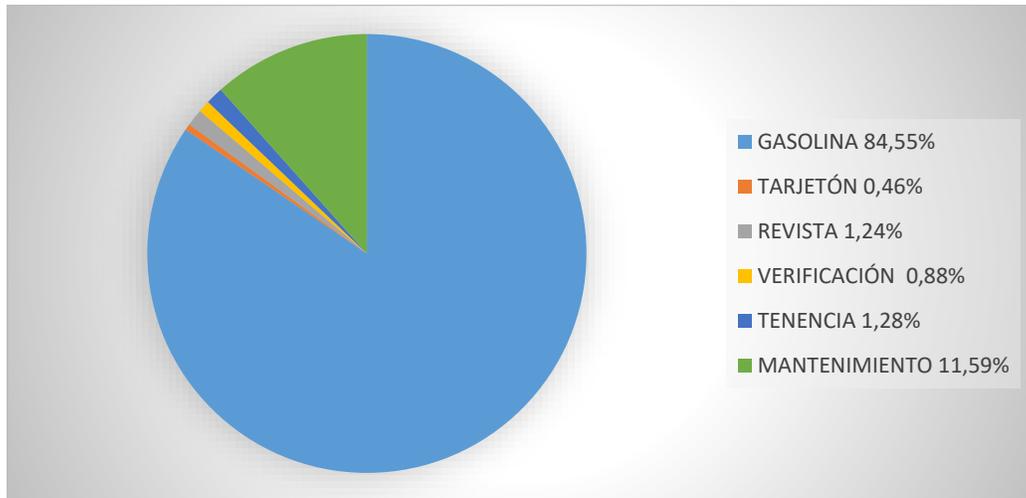


Tabla 1: Porcentaje de gastos de taxistas

Como solución se propuso la creación de un vehículo híbrido, que se adecue a las necesidades específicas de esta población, es decir, de la comunidad de taxistas.

Los **vehículos híbridos**, que combinan dos o más fuentes de energía para realizar el trabajo que se quiere, este tipo de energías pueden ser amigables con el medio ambiente y de esta manera disminuirían considerablemente la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y representarían un ahorro en los gastos de gasolina de los taxistas, lo que incluso puede constituirse en beneficios otorgados por el gobierno federal de acuerdo a lo señalado en el artículo 62 de la **Ley de Movilidad del Distrito Federal**.

“Artículo 62.- La administración pública Implementará un programa para otorgar estímulos y facilidades a los propietarios de vehículos motorizados que cuentan con tecnologías sustentables.

La secretaría, en coordinación con la Secretaria del Medio Ambiente, establecerá las características técnicas de los vehículos motorizados que cuentan con tecnologías sustentables, tales como híbridos o eléctricos.

Los vehículos que cumplan con los requisitos establecidos por la autoridad, se les otorgará una placa de matrícula y/o distintivo oficial, pudiendo ser este una placa verde, que permita su identificación para poder acceder a los beneficios otorgados en dicho programa. “



De acuerdo a lo anteriormente expuesto, la propuesta de vehículo híbrido para implementar en las flotas de taxis en la Ciudad de México debe cumplir las especificaciones señaladas en la legislación aplicable para que cuente con sus respectivos beneficios, además el vehículo de preferencia debe ser económicamente alcanzable por parte de los taxistas que vayan a adquirirlo, ya que actualmente los precios de los automóviles híbridos son demasiado elevados y solo personas con un alto poder adquisitivo pueden comprarlos.

Ya citado el grupo meta o “**target group**”, es necesario visualizar los vehículos con los cuales competirá nuestro producto, ya sean automóviles de motor de combustión interna o automóviles híbridos.

Basados en el Manual de Imagen de Transporte público individual de pasajeros “Taxi” de la Ciudad de México, de la Secretaria de Movilidad del Distrito Federal, se visualizaron los perfiles de carro que lista la misma organización.⁵

Entre los carros que se proponen están:

- Ford- Fiesta Sedán
- Nissan- Tiida
- Nissan- Tsuru
- Chevrolet- Aveo
- Volkswagen- Jetta
- Volkswagen- Gol Sedán
- Chevrolet- Sonic
- Hyundai- i10 Sedán
- Nissan- Versa
- Volkswagen- Vento

Todos los modelos son tipo sedán, por lo cual sus características son las siguientes:⁶

- Ventana trasera fija
- La cajuela se extiende horizontalmente
- Cuatro puertas y una cajuela
- La carrocería es regularmente más rígida que las otras
- Tiene una distribución de tres módulos (delantero, central y trasero)

⁵ Cfr. Manual de Imagen de transporte Público Individual de Pasajeros “Taxi”. Recuperado de <http://www.transparencia.df.gov.mx/work/sites/vut/resources/ExcelContent/16985/1/ManualCromaticataxi2014.pdf>

⁶ Prueba de ruta.com. Modelo de automóviles. Conozca que es un sedán, coupé o hatchback. <http://www.pruebaderuta.com/modelos-de-automoviles-conozca-que-es-un-sedan-coupe-o-hatchback.php>



La Ilustración 1 muestra perfiles de las carrocerías enlistadas en el “Manual de Imagen de Transporte Público Individual de Pasajeros” para demostrar que cuentan con un perfil aproximado y que todos son sedán.



Ilustración 1: Perfiles de diferentes carrocerías pertenecientes a la lista de automóviles propuesto por SEMOVI para realizar el oficio de taxista. Los modelos de automóviles son 2015.

Así mismo, se realizó un estudio comparativo en cuanto al precio de los automóviles que la **Secretaría de Movilidad (SEMOVI)** enlista y algunos automóviles híbridos que se encuentran en el mercado. Tabla 2.

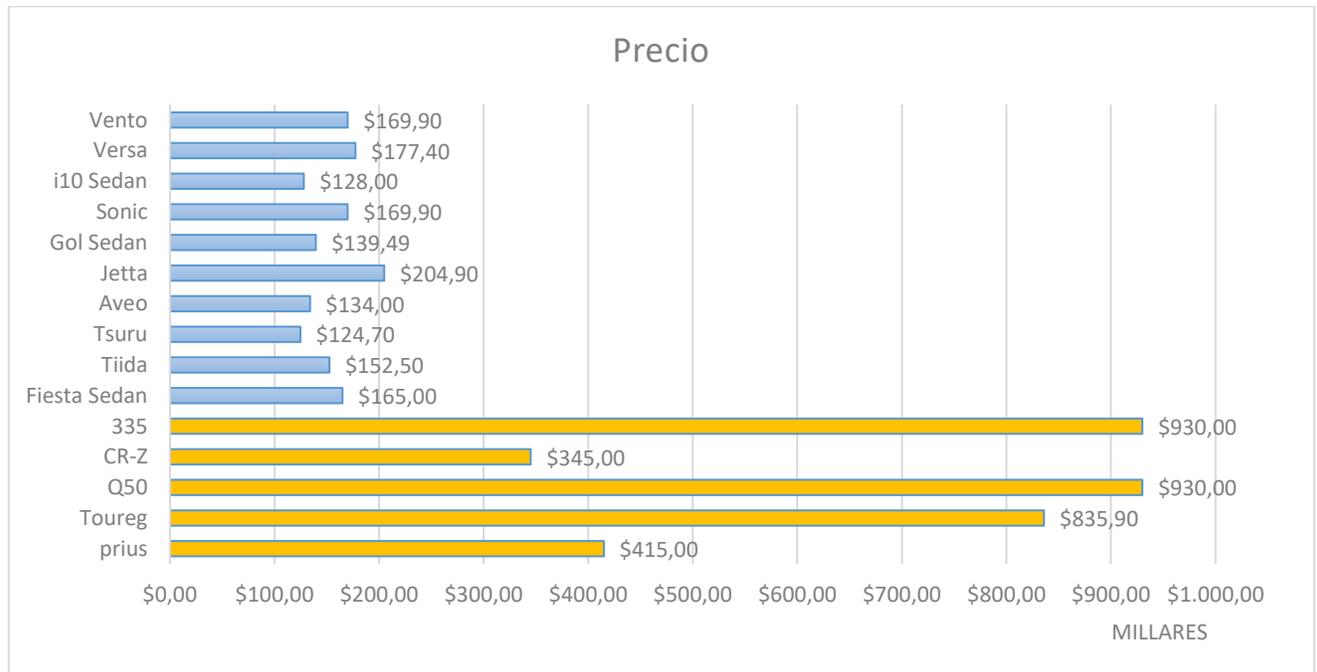


Tabla 2: Imagen comparativa de precios entre automóviles enlistados por SEMOVI (Azul) y automóviles híbridos populares en el mercado (naranja).



Con la tabla anterior se reafirma la idea de que los automóviles híbridos no están al alcance económico de la población de nivel socioeconómico medio. Es por eso que uno de los objetivos del proyecto es que el precio al mercado del automóvil híbrido pueda ser equiparable a un automóvil propuesto por la SEMOVI para cumplir la función de taxi.

Se concluye que el problema a resolver es **la contaminación del aire en la Ciudad de México**, ya que como consecuencias se desencadenan aspectos como daños a la salud, impuestos, reformas y alta demanda en los combustibles. Estas consecuencias, a su vez, derivan en un aspecto económico para las familias mexicanas.

Como causas del problema, se identifican la contaminación del aire por parte de la industria con 21% de la contribución, los vehículos de combustión interna con 46%, los hogares con 20% y otras fuentes de contaminación con 13%.

Se elige profundizar en el área de mayor porcentaje que son los vehículos de combustión interna y en especial los taxis.



Capítulo 1

Antecedentes

1.1.- Historia de las carrocerías

La historia del automóvil puede considerarse que se inició desde 1769, con la primera prueba realizada por Nicolás José Cugnot sobre un carronato⁷ en el cual se le montó un motor de vapor.

Posteriormente (1912) se fueron mejorando las carrocerías adecuando largueros de chapa de acero que sustituían a los de madera que formaban el chasis primitivo. Esto sin hacerle grandes modificaciones a los largueros ya que el proceso de embutición no estaba tan experimentado en esa época y las modificaciones se realizaban mediante forja. Las primeras chapas metálicas fueron utilizadas en el exterior de las carrocerías.

En 1915 en una conferencia en Detroit, H. Jay Hayes y su equipo de ingenieros sabían que con un coche más pequeño y liviano sería posible superar las dos principales desventajas de la combinación de carrocería y chasis en una sola pieza (que eran el exceso de costos y vibraciones de la carrocería) y una semana después lanzó al mercado 3000 vehículos de una sola pieza llamado Rules Frameless. La característica de este automóvil es que se les dio forma tubular a los miembros de la carrocería con el objeto de proporcionarle al metal la rigidez necesaria para prescindir de un bastidor y los componentes de la suspensión estaban colocados sobre una plataforma.

En 1927 apareció la primera carrocería construida completamente con una estructura de acero, aunque con refuerzos de madera y a partir de los años 30 las grandes compañías de automóviles adoptaron el uso de la chapa de acero para la construcción total del vehículo iniciando su producción motivado por el aumento de la demanda del mercado que condujo a una mejora en la calidad de los automóviles. En 1934 se presenta por primera vez el Citroen Traction Avant, que fue el primer carro con carrocería autoportante fabricado con chapas de acero y sin ningún elemento de madera. Como se muestra en la Ilustración 2

⁷ Carro grande cubierto por un toldo, de dos ruedas y dos varas para enganchar uno o más animales de tiro.



Ilustración 2: Carrocería Citroen del año 1934

Desde ese momento las carrocerías autoportantes son las preferidas para los vehículos de mercado en masa. Con este diseño el vehículo pesa menos, es más fácil de fabricar y proporciona mayor espacio interior.⁸ Aunque también se utilizan carrocerías tipo escalera con la carrocería separada del motor este tipo de carrocerías se utilizan en camionetas, camiones de carga y camiones de pasajeros.

Además del peso de la carrocería, otro factor importante que ayuda a la disminución en el consumo de combustible es la aerodinámica del mismo vehículo. Wlof-Henrich Hucho plantea la evolución histórica de la aerodinámica en automóviles ⁹

Al principio de las investigaciones en este rubro se empezaron a probar formas de revolución sin tomar en cuenta los ejes, ruedas y pasajeros, provocando una asimetría en los vehículos. Un caso muy común fue La Jamais Contente, que fue el primer automóvil que alcanzó los 100 Km/hr, siendo referente para investigaciones aerodinámicas subsecuentes.

Con el paso del tiempo y las investigaciones, se realizaron carrocerías en formas de la naturaleza o parecidas a invenciones anteriores como barcos y torpedos. En el año de 1921 E.Rumpler desarrolla los llamados “coches lágrima” arrojando un C_D de 0.28 sin considerar las llantas, aumentando así en un 50% el coeficiente.

Paul Jaray realizó estudios sobre el campo tridimensional y algunas de sus conclusiones fueron cortar el cuerpo de revolución a la mitad, redondear los bordes afilados y combinar formas de perfiles y cuerpos de revolución logrando una forma muy larga y delgada.

Los avances en la materia condujeron al alemán Wunibald Kamm en 1934 a proponer una forma de media lágrima que después se cortara abruptamente en un

⁸ ICC COLLISION CENTER. (Agosto 2015). What is unitized automotive body? Santa Ana, CA. <https://collisioncenters.wordpress.com/2015/08/03/what-is-a-unitized-automotive-body/>

⁹ Hucho, W.-H. (1981). Aerodynamics of Road Vehicles From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering. Würzburg: Butterworth-Heinemann.



punto, a esta forma le llamó “Kammback”, Kamm explicó “El corte debe realizarse cuando el área seccional transversal sea aproximadamente la mitad del área seccional máxima”, esto haría que el flujo de aire permaneciera unido durante el tiempo que fuera posible y luego se viera obligado a separarse produciendo una pequeña estela.

A pesar de que la aerodinámica de los vehículos se centró en la resistencia y en las condiciones del aire mediante un flujo en sentido contrario y simétrico, los problemas vinieron cuando se aumentó el ángulo de guiñada. Kemplerer que demostró que el arrastre variaba cuando se modificaba el ángulo de guiñada señaló: “el cuerpo del vehículo actúa como la vela de un velero con fuerza a barlovento”¹⁰ De esto se dedujo que pequeños ángulos de guiñada producen resistencias adicionales que son considerablemente mayores de lo que podría deducirse. (véase Ilustración 3)

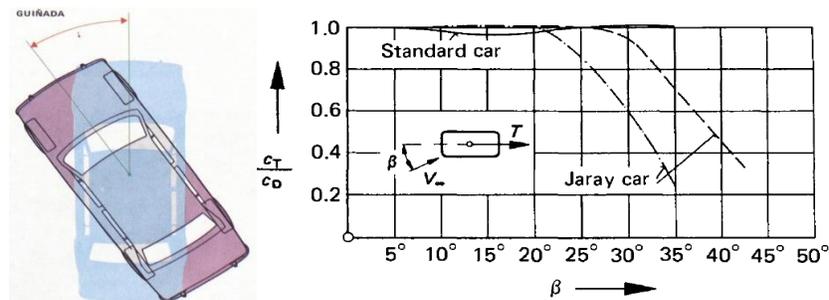


Ilustración 3: Variación del arrastre con respecto al ángulo de guiñada. (Hucho, 1981)

De esta forma se hizo más importante la estabilidad direccional en vientos transversales, poco después se descubrió que solo los vehículos con la parte posterior larga y estrecha sufrieron en este aspecto, mientras que el efecto del ángulo de guiñada sobre los vehículos Kamm no eran muy altos.

En 1937 Ludwig Prandtl desarrolló el coche Lange (Ilustración 4), que combinaba dos perfiles Göttingen¹¹, 570 y 571 respectivamente, cada uno de estos perfiles tenía un coeficiente aerodinámico de 0.125. Las secciones laterales fueron desarrolladas de modo que el flujo permaneciera unido al cuerpo el mayor tiempo posible y con un espacio interior más grande.

¹⁰ El barlovento es la dirección desde la cual llega el viento con respecto a un punto en un lugar determinado.

¹¹ Perfil Alar, realizados en ensayos realizados en Gottingen durante la primera guerra mundial.



Los resultados más importantes de este carro se muestran en la siguiente ilustración, en la que se puede observar como el coeficiente aerodinámico va en aumento si la distancia al suelo disminuye y va en decremento si la distancia al suelo aumenta.

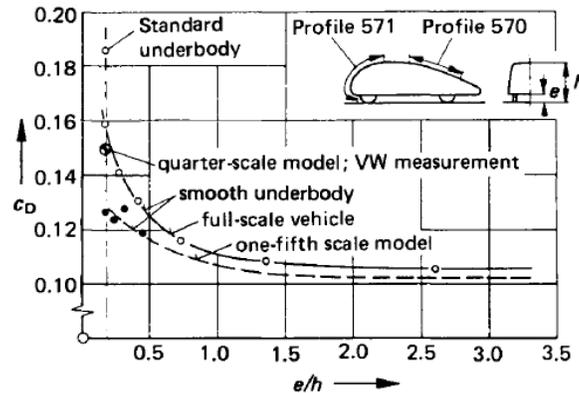


Ilustración 4: Coeficiente aerodinámico del carro Schlör, las pruebas fueron hechas con modelos a escala 1:5, un cuarto y escala normal. (Hucho, 1981)

1.2.- Estado del Arte

Dentro del ambiente tecnológico industrial, se entiende como "estado del arte", "estado de la técnica" o "estado de la cuestión", todos aquellos desarrollos de última tecnología realizados a un producto, que han sido probados en la industria y han sido acogidos y aceptados por diferentes fabricantes.

Puesto que el proyecto trata de un automóvil híbrido, se buscaron las características de algunos de los automóviles híbridos con mayor popularidad en la Ciudad de México. Se investigaron características de motorización como el acomodo del motor (adelante o atrás), tipo de tracción (Delantera, trasera, 4x4), características de habitabilidad como el número de pasajeros, el número de puertas, el tipo de cajuela, la capacidad de la misma. También se investigaron dimensiones generales exteriores del vehículo como el ancho del vehículo s/espejo, alto, largo y masa del vehículo, distancia entre ejes, el coeficiente aerodinámico o de arrastre del vehículo y el tipo de carrocería y chasis que utiliza.



Los vehículos en los que se basó este estado del arte son:

- Toyota Prius 2016 ¹²
- Honda Fit o Honda Jazz 2016¹³
- Honda CR-Z 2016 ¹⁴

Estos automóviles híbridos también cuentan con la característica Kammback, esta forma ha caracterizado a los automóviles híbridos en los últimos años.

Además, se presentan imágenes de vista lateral, frontal y trasera de los vehículos con la finalidad de visualizar el perfil de la carrocería. Así, las siguientes tablas nos darán un parámetro aproximado para la futura motorización del vehículo, lo cual nos servirá a la hora de diseñar la carrocería.

TOYOTA PRIUS 2016	
Motorización	
Acomodo de motor	Adelante
Tipo de tracción	Delantera
Volumen del tanque de gasolina	45 L
Habitabilidad	
Número de pasajeros	5 pasajeros
Número de puertas	4 puertas
Volumen de cajuela	445 L
Tipo de cajuela	Hatchback
Cotas Exteriores	
Largo	4480mm
Ancho	1745mm
Alto	1510mm
Distancia entre ejes	1525mm
Masa	1380 Kg
Coeficiente de arrastre (CD)	0,24
Carrocería	
Autoportable (monocasco) con utilización de aluminio, acero de alta resistencia y acero de ultra-alta resistencia/subchasis delantero antivibraciones	





Tabla 3: Características Generales de Toyota Prius 2016

¹² Toyota, Prius, 2016, <http://www.toyota.com.mx/especificaciones/hibridos/prius/>

-Toyota, Prius Base Especificaciones Técnicas, 2016, <http://www.toyotaprius.com.mx/especificaciones/base>

¹³ Honda Fit, 2016, <http://www.honda.mx/assets/pdf/autos/honda/Ficha-Tecnica-FIT.pdf>

¹⁴ Honda, CRZ 2016, 2016, <http://es.automobiles.honda.com/cr-z/specifications.aspx>



HONDA FIT 2016	
Motorización	
Acomodo de motor	Adelante
Tipo de tracción	Delantera
Volumen del tanque de gasolina	40 L
Habitabilidad	
Número de pasajeros	5 pasajeros
Número de puertas	4 puertas
Volumen de cajuela	470 L
Tipo de cajuela	Hatchback
Cotas Exteriores	
Largo	4067mm
Ancho	1694mm
Alto	1524mm
Distancia entre ejes	2530mm
Masa	1112 Kg
Coefficiente de arrastre (CD)	0,33
Carrocería	
Barras de acero de protección en puertas, estructura de la carrocería con Ingeniería de Compatibilidad Avanzada (ACE)II	





Tabla 4: Características generales de Honda Fit 2016

HONDA CRZ	
Motorización	
Acomodo de motor	Adelante
Tipo de tracción	Delantera
Volumen del tanque de gasolina	40 L
Habitabilidad	
Número de pasajeros	2 pasajeros
Número de puertas	2 puertas
Volumen de cajuela	710 L
Tipo de cajuela	Hatchback
Cotas Exteriores	
Largo	4102mm
Ancho	1739mm
Alto	1394mm
Distancia entre ejes	2435mm
Masa	1201 Kg
Coefficiente de arrastre (CD)	0,27
Carrocería	
Estructura de la carrocería con Ingeniería de Compatibilidad Avanzada (ACE)II	





Tabla 5: Características generales de Honda CRZ



Capítulo 2

Despliegue de la Función Calidad (QFD)

2.1.- ESTUDIO DE MERCADO Y NECESIDADES DEL CLIENTE

Para empezar a diseñar se debe tener cuidado en identificar las necesidades y las expectativas del cliente. Para determinar lo anterior, existen muchos métodos.

Con frecuencia se utiliza un método conocido como despliegue de la función calidad o QFD (Quality Function Deployment).

Los 3 objetivos que persigue este método son:

- Dar prioridad a las necesidades expresadas y latentes de los clientes con respecto a un producto.
- Traducir esas prioridades en términos de características y especificaciones técnicas
- Diseñar, producir y entregar un producto o servicio de calidad, centrándose en la satisfacción de los clientes.

Sin embargo, antes de adentrarnos por completo al QFD es necesario saber realmente lo que requiere el cliente. Para ello, se realizan diferentes encuestas en las cuales, dependiendo del resultado de las mismas y la hipótesis que planteemos, obtendremos de resultado lo que se conoce como métrica. Cuando la métrica, que es el resultado de dividir el número total de encuestas entre el número total de respuestas que concuerdan con la hipótesis, sea el valor unitario, significará que se ha encontrado al cliente verdadero y es a él al que debemos abordar para conocer los diferentes requerimientos que él desea en el producto que planteamos lanzar al mercado.



2.2.-ELABORACIÓN DE LA ENCUESTA Y RESULTADOS

Para comenzar el estudio de mercado se realizaron entrevistas a taxistas que cumplieran con las siguientes características:

- 1) Taxistas laborando en la Ciudad de México y área metropolitana.
- 2) Con vehículo propio.
- 3) El taxi no pertenece a ningún sitio de taxis.

El siguiente formato fue el utilizado para realizar dicho trabajo.

Hipótesis: En este apartado se escribe la idea que se cree es un problema general en nuestro mercado.

Mercado: Es el grupo de personas a las cuales irá dirigido el producto. Se debe elegir un sector específico de la población. En caso que la edad sea un factor determinante, la diferencia en el rango de la misma no deberá ser mayor a 5 años.

Encuesta o entrevista: Aquí irá una pequeña plática con el encuestado, con la finalidad de conocer la rutina que realiza cuando utiliza algún producto, por ejemplo, “qué es lo mejor de utilizar ese producto”, “qué es lo peor del producto” entre otras preguntas relacionadas con la hipótesis.

Métrica: Esta dará a pauta para saber si se ha encontrado al cliente ideal con respecto a la hipótesis que planteamos.

Formato para entrevistas para la realización de QFD

Hipótesis: *Al taxista lo que más le afecta es el mantenimiento y costo de la gasolina del automóvil.*

Mercado: *Taxistas en D.F y área metropolitana con vehículo propio y que el taxi no sea de sitio*

Encuesta o entrevista:

(DE PREFERENCIA GRABAR AUDIO)

¿Cómo es el día de un taxista?

- *Horarios fuertes*
- *Veces que carga gasolina*

¿Qué es lo mejor de su taxi? (características técnicas, por ejemplo, que sea cómodo, veloz, potente, etc.)



¿Qué es lo peor de su taxi? (características técnicas, por ejemplo, que sea cómodo, veloz, potente, etc.)

¿Usted le da mantenimiento a su taxi o lo manda a mantenimiento?

¿Le afecta el aumento a la gasolina?

¿Lo ocupa de coche familiar?

2.2.1 RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS

Las interpretaciones de los resultados de las encuestas proporcionaron la idea de que el sujeto de estudio toma como mayor prioridad el buen rendimiento del motor (utilidad del motor en relación con lo que cuesta). En este caso el consumo de gasolina del motor y la comodidad del conductor de acuerdo a la ergonomía del asiento.

Como aspectos secundarios, refacciones del automóvil económicas y que el vehículo fuera seguro en caso de tener algún percance o asaltos dentro del vehículo.

Como prioridades terciarias o bajas se encontró el costo del vehículo en agencia, la forma de la carrocería y la potencia del motor.

De igual manera se recopilaron otros datos como el porcentaje de taxistas que suele dar mantenimiento a su automóvil (60%) en el cual solo abarca mantenimiento sencillo como afinación, cambio de aceite, rectificación de discos de frenos, calibración y cambio de balatas.

Además, se obtuvo el porcentaje de taxistas que suelen ocupar su vehículo como vehículo familiar (65%). Los resultados de las encuestas se muestran en la Tabla 6.

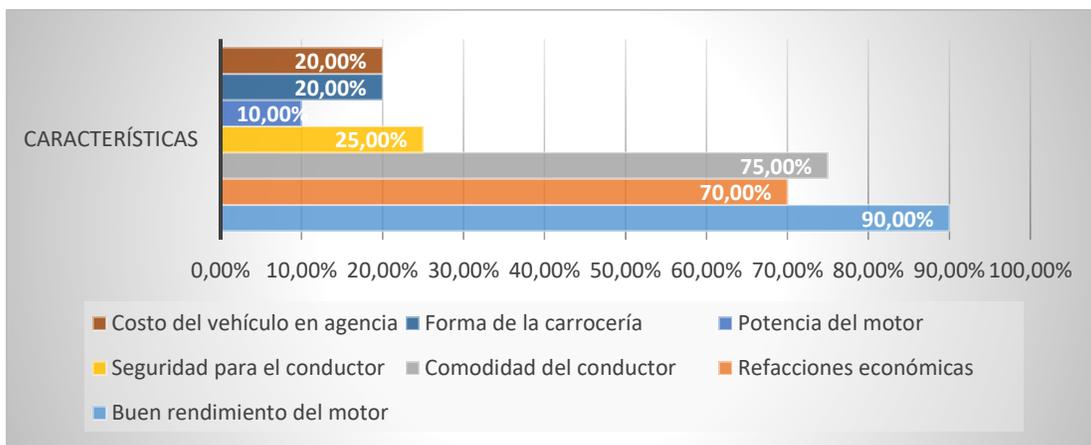


Tabla 6: Gráfica de demandas y expectativas de los taxistas, resultado de encuestas realizadas en el año 2015



2.3- APLICACIÓN DEL QFD EN EL PROYECTO

El despliegue de la función de calidad (o QFD, por sus siglas en inglés) es un método de diseño de productos y servicios que vincula las demandas y expectativas de los clientes con las características técnicas necesarias medibles para satisfacerlas y las traduce, en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas que satisfagan las necesidades de la empresa.¹⁵

También podremos hacer una comparativa con algunos otros productos de la competencia para saber en qué áreas podríamos mejorar.

En dicha matriz se encuentran contenidas:

- 1.- Requerimientos del cliente (RC)
- 2.- Prioridad de los RC
- 3.- Características Técnicas (CT)
- 4.- Valor Objetivo
- 5.- Grado de correlación entre CT y RC
- 6.- Ponderación total de cada característica técnica
- 7.- Evaluación de los RC
- 8.- Correlación entre las CT

2.4.- MATRIZ DE CALIDAD

Las encuestas realizadas anteriormente, sirvieron para obtener las demandas y expectativas de los taxistas. Las mismas arrojaron 3 aspectos de alta, tres de media y dos de baja prioridad.

En la Figura 2.2 se muestra el aspecto o característica seguido del porcentaje obtenido en la encuesta anterior y la prioridad que tuvo para el cliente de acuerdo al porcentaje obtenido.

¹⁵ Enrique Yacuzzi (Universidad del CEMA) Fernando Martín (Aventis Pharma), QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS, <https://www.ucema.edu.ar/publicaciones/documentos/234.pdf> [Consultado el 24 de enero del 2016]



ASPECTO O CARACTERÍSTICA	PORCENTAJE EN ENCUESTA	PRIORIDAD
Buen rendimiento del motor	90	ALTA
Comodidad del conductor	75	ALTA
Refacciones económicas	70	ALTA
Seguridad para el conductor	25	MEDIA
Costo del vehículo en agencia	20	MEDIA
Forma de la carrocería	20	MEDIA
Potencia del motor	10	BAJA

Tabla 7: Porcentajes y prioridades de encuestas de aspectos pedidos por taxistas

Las características técnicas que se añadieron a la matriz de calidad fueron las siguientes:

- 1) Coeficiente aerodinámico de la carrocería
- 2) Peso del vehículo
- 3) Rugosidad de los materiales de la carrocería
- 4) Altura del centro de gravedad del vehículo
- 5) Antropometría de asientos
- 6) Dimensiones del habitáculo
- 7) Temperatura del vehículo
- 8) Peso de refacciones
- 9) Voltaje en motor eléctrico
- 10) Corriente en motor eléctrico
- 11) Coeficiente de amortiguación
- 12) Constante de rigidez elástica
- 13) Desplazamiento de la masa

El valor de las correlaciones de la matriz de calidad fue el siguiente:

- Muy correlacionados---- 9 pts.
- Correlacionados -----3 pts.
- Poco correlacionados ---1 pts.
- Sin correlación -----0 pts.

Al realizar la matriz de calidad se determinó que las características técnicas más importantes a tomar en consideración fueron: Peso, coeficiente aerodinámico, dimensiones del habitáculo y temperatura. (Ilustración 5)



Ya que esta tesis irá encaminada hacia el modelado de la carrocería y chasis del vehículo, no se tomó en cuenta la temperatura del habitáculo.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
REQUERIMIENTOS	Prioridades													
Buen rendimiento del motor	5	9	9											
Comodidad del conductor	5					9	9	9						
Refacciones económicas	5		3											
Seguridad para el conductor	3						1	1						
Costo total del vehículo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Estética de carrocería	3	3		3	3									
Potencia del motor	1	3	3								9	9		
ATENCIÓN A PRESTAR		66	72	18	18	54	57	57	9	9	18	18	9	9

Ilustración 5: Matriz de Calidad.

Después de realizar la matriz de calidad, relacionar los Requerimientos del Cliente con las Características Técnicas y haber obtenido una importancia relativa de cada característica técnica se crea la matriz de Producto- Proceso. En esta se utilizan las CT de la matriz de la calidad y las analiza en términos de los procesos que intervienen para satisfacer las CT's.

El resultado de dicha matriz se muestra en la Ilustración 6:

MATRIZ DE PRODUCTO- PROCESO						
	SOLDADURA	CORTE DE TUBO	FIBRA DE VIDRIO EN CARROCERÍA	PINTURA EN CARROCERÍA	PULIDO DE CARROCERÍA	DOBLADO DE TUBO
PESO DEL VEHÍCULO	3	9	9			
COEFICIENTE AERODINÁMICO		9	9	1	1	9
DIMENSIONES DEL HABITÁCULO	9	9	9			9
	12	27	27	1	1	18

Ilustración 6: Matriz de producto- proceso



2.5. – RESULTADOS DE QFD

Los resultados de la matriz de procesos arrojaron que se debe prestar más atención con respecto al proceso de corte de tubo y en la correcta manufactura de la fibra de vidrio. La segunda prioridad es el doblado de tubo y la soldadura. Por último, la pintura de la carrocería y el pulido de la misma.

Con estos resultados la matriz de calidad nos señala que debemos prestar mayor atención a la **geometría del carro**, realizando cortes precisos que ayudarán a la estética y la aerodinámica. De igual manera la correcta manufactura de la carrocería en fibra de vidrio, podremos realizar formas más aerodinámicas y de menor peso.



Capítulo 3

Descomposición de funciones

3.1 Descomposición de funciones del Automóvil Híbrido

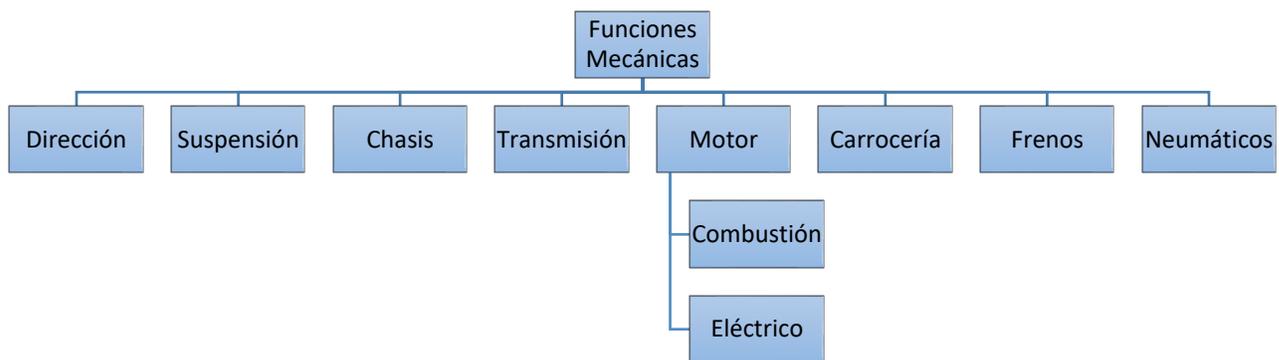


Ilustración 7: Descomposición de funciones mecánicas del automóvil híbrido

La descomposición de funciones es una parte clave en un diseño estructurado ya que en este proceso se enlistan todas las divisiones y subdivisiones que debe tener nuestro diseño para cumplir adecuadamente con los requerimientos que el cliente nos pide.

Para el caso general del automóvil híbrido la descomposición de funciones que se muestra en la Ilustración 7 divide las funciones mecánicas del sistema en:

Dirección. - Esta función es la encargada de dirigir al automóvil a la izquierda o derecha, mostrar una retroalimentación entre el camino y el conductor para que el segundo pueda calcular más fácilmente los grados de giro del volante.

Suspensión. - Esta función es la encargada de garantizar el confort de los pasajeros al disminuir las vibraciones mecánicas producidas por las variantes en el camino además de asegurar que los neumáticos estén siempre en contacto con el suelo.



Chasis. - Esta función es la encargada de fijar y soportar todos los elementos u órganos mecánicos, distribuir la energía cinética suministrada en un choque frontal, lateral, trasero o inclinado y con esto proteger al conductor y pasajeros de posibles lesiones. De igual manera, soporta carga extra en el maletero y servir para el almacenamiento de llanta de refacción y algunas herramientas que por normativas deben estar dentro del automóvil en caso de algún percance.

Transmisión. - Esta función se encarga de proporcionar la máxima capacidad de tracción sobre las ruedas.

Motor. - Esta función se divide en el caso de este automóvil híbrido en dos sub funciones. El *motor de combustión* que se encarga de transformar la energía química que proporciona la gasolina en energía mecánica y el *motor eléctrico* que se encarga de transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

Carrocería. - Esta función es la encargada de proteger a los pasajeros y órganos mecánicos de fenómenos meteorológicos, así como también de impactos que puedan ocasionarse en accidentes. También tiene participación en contribuir a un mayor desempeño del motor de acuerdo al coeficiente aerodinámico que esté presente y además contribuye a la estética del automóvil.

Frenos. – Esta función es la encargada de transformar la energía cinética del vehículo en calor y de esta manera desacelerar el vehículo.

Neumáticos: Esta función es la encargada de soportar el peso del vehículo, transmitir la potencia del motor, contribuir a la dirección del vehículo y a la estabilidad, frenado y suspensión del mismo.

3.2 Descomposición de funciones de la carrocería

En esta tesis se abordará el diseño de la carrocería del automóvil híbrido para el transporte individual de pasajeros en la ciudad de México, por lo tanto, además de la descomposición general de funciones mecánicas que conforman el automóvil, es necesaria la descomposición en sub funciones de la función carrocería.

La Ilustración 8 muestra las diferentes sub funciones que tiene la carrocería, en ella se encuentran sub funciones como:



Proteger a pasajeros y órganos mecánicos¹⁶. – En esta sub función nos referimos a proteger a los pasajeros y órganos mecánicos de fenómenos meteorológicos como la lluvia, rayos solares, viento, ruido, rayos, etc. Además, trata de contribuir junto con el habitáculo del chasis con la protección de los pasajeros en impactos de todas direcciones.

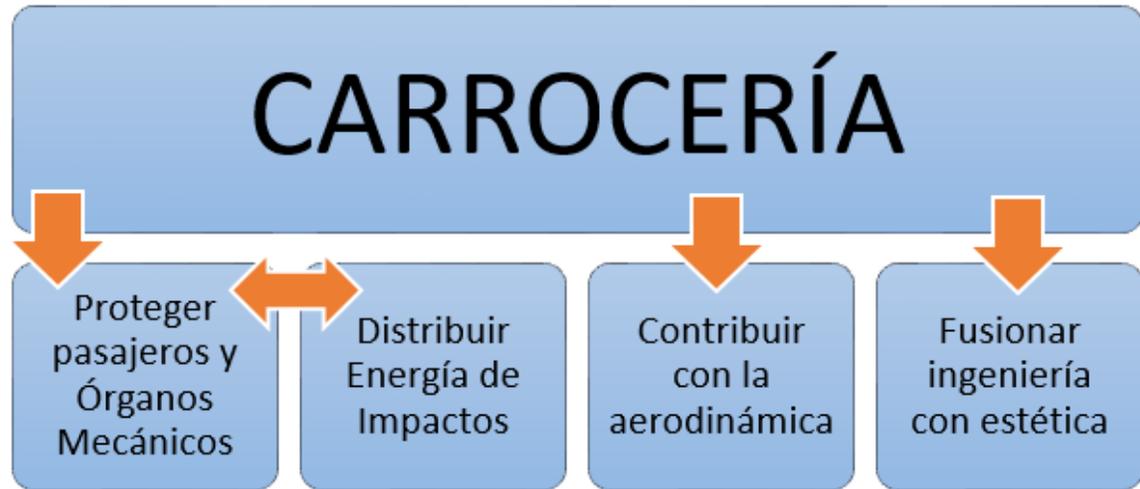


Ilustración 8: Descomposición de sub funciones de la función carrocería

Contribuir con la aerodinámica. – Un buen coeficiente aerodinámico permitirá reducir el consumo de combustible, refrigerar los motores y frenos, así mismo contribuirá a la comodidad de los pasajeros en la entrada y salida del aire del habitáculo, la carrocería se ensuciará menos y el ruido que produce el viento no molestará a los pasajeros.

Distribuir la energía de impactos. – En caso de alguna colisión la carrocería debe distribuir la energía cinética del impacto al chasis buscando que dicha energía no se concentre solo en un punto del mismo, deformándolo y de este modo haciendo daño a los pasajeros.

Fusionar ingeniería con estética. – Esta sub función trata sobre combinar aspectos ingenieriles como las sub funciones explicadas anteriormente y aspectos estéticos como continuidad en las líneas, simetría, etc. Esto para poder hacer más atractivo y seguro al carro y de esta forma las personas se vean interesadas en el vehículo y lo adquieran.

¹⁶ Órganos Mecánicos. -Se refiere a la motorización del vehículo, así como también a todas las piezas o elementos más sencillos que correctamente ensamblados constituyen una máquina completa y en funcionamiento.



Capítulo 4

Configuración de funciones

4.1 Configuración de funciones del Automóvil Híbrido

La configuración de funciones es un arreglo armónico de las diferentes funciones con la finalidad de resolver la función principal del sistema que es transportar pasajeros.

Parte de la configuración propuesta para el automóvil es influenciada por la motorización del vehículo que veremos el siguiente capítulo, en la cual se elige el lugar en donde el motor irá situado dependiendo de los beneficios o daños que causa la localización del motor en el concepto para el cual fue diseñado el vehículo.

La configuración del vehículo se muestra en la Ilustración 9.

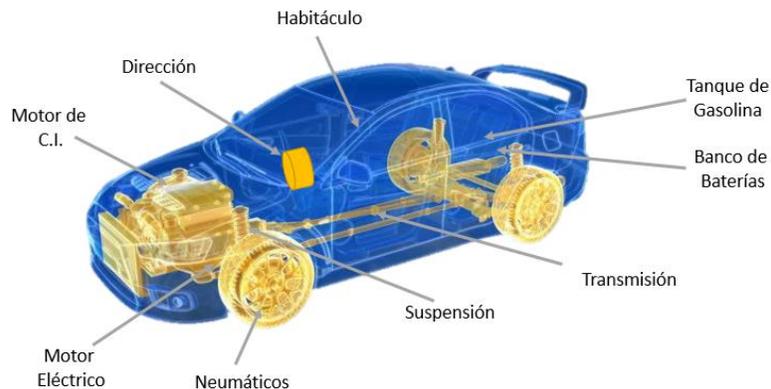


Ilustración 9: Configuración general de las funciones mecánicas del automóvil híbrido

4.2 Configuración de funciones de la carrocería.

Para el arreglo armónico de las funciones de la carrocería las cuales son: (1) Proteger y soportar a los pasajeros y órganos mecánicos, (2) Contribuir a la aerodinámica el vehículo, (3) Distribuir la energía de impactos y (4) fusionar ingeniería con estética se hizo uso de morfologías las cuales representaran cada una de las distintas funciones. Debido a que la distribución de energía en caso de



impacto y proteger a los pasajeros y órganos mecánicos son funciones vinculadas en la Ilustración 10 se ejemplifican con un solo símbolo¹⁷.

Los símbolos utilizados y la configuración de las sub funciones de la función carrocería se muestran a continuación.



Ilustración 10: Configuración de sub funciones de la función principal Carrocería

¹⁷ El símbolo representa la microestructura del acero laminado en caliente, que es uno de los aceros que suele utilizarse para la fabricación de carrocerías.



Capítulo 5

Pliego de Condiciones Técnicas

Actualmente, la vida media de un automóvil tiende a ser de 7 años. Es por ello que las empresas automotrices se han enfocado a reducir plazos y costos, es decir, utilizan los mismos componentes para diferentes marcas de automóviles. Lo único que cambian son algunos aditamentos interiores o exteriores para dotar al automóvil de cierta individualidad que permita elegir al cliente cual comprar. Un ejemplo de esto es el Nissan Sentra 2015 y el Nissan Versa 2015 como se muestra en la Ilustración 11.



Ilustración 11: Nissan Sentra 2015 vs Nissan Versa 2015

Para que un nuevo modelo pueda tener una aceptación significativa en el mercado, se deben tener en cuenta factores como son, economía de consumo, tendencia del momento y que vayan acorde con la imagen de la marca. Esto los llevará a satisfacer un diseño en el cual la habitabilidad, confort, ergonomía, aerodinámica y la seguridad se vean repartidos de acuerdo al estilo del modelo que se busca introducir al mercado, ya sea un vehículo deportivo o un monovolumen. En un automóvil deportivo se sacrificarán factores de habitabilidad, pero se aumentará la aerodinámica y la estética, en cambio, en un vehículo monovolumen o de ciudad, se aumentará la habitabilidad y ergonomía dejando con menor atención las cualidades dinámicas del vehículo.¹⁸

En el proceso en marcha de la fabricación de un nuevo modelo se encuentran involucrados aspectos económicos, producción, calidad y técnicos. Suele hacerse

¹⁸ (Gómez Morales, Martín Navarro, Águeda Casado, & García Jiménez, 2010)



un estudio de viabilidad previa que es el mismo que dispone el éxito o fracaso del proyecto apoyado de datos de naturaleza empírica como: medio ambiente del

proyecto, rentabilidad, necesidades del mercado, factibilidad política, aceptación cultural, legislación aplicable, medio físico, flujo de caja, viabilidad financiera y de mercado.

Además del marketing, los fabricantes confeccionan un **pliego de condiciones técnicas** (elaborados por los responsables de fabricación) que se utiliza como punto de partida para el trabajo del diseñador y para analizar la viabilidad de un nuevo modelo. Este pliego suele incluir un análisis de vehículos competidores existentes en el mismo segmento (véase capítulo 1.2), las expectativas de los clientes y las grandes corrientes socioculturales analizadas desde un punto de vista amplio, para determinar el comportamiento de los consumidores.

En el pliego también se definen la motorización, la habitabilidad y la envergadura exterior, y establece además condiciones de forma, proporciones y silueta de un nuevo modelo (arquitectura) con base en las necesidades para ubicar adecuadamente el motor, suspensiones, ruedas, etc. Esto puede llegar a limitar al diseñador para plasmar sus ideas en un nuevo modelo.

5.1.- Motorización del Vehículo

En la motorización del vehículo se evalúan las ventajas y desventajas en cuanto a configuraciones de los órganos mecánicos, tomando en cuenta aspectos como manufactura, la eficiencia que se tiene como objetivo, número de componentes en el tipo de sistema, etc.

También se toma en cuenta la posición del motor de combustión y eléctricos, el enfriamiento del motor, el espacio del habitáculo de pasajeros, la tracción el gasto de combustible, etc.

5.1.1- Configuración del Sistema Híbrido

Dentro del mercado existen tres tipos de configuraciones para un automóvil híbrido, en serie, paralelo y serie-paralelo. A continuación, se describirá cada configuración.

Automóvil Híbrido en serie: En este tipo de configuración, el motor de combustión sirve para alimentar, mediante las revoluciones que produce, un generador eléctrico que suministrará de energía al banco de baterías o súper capacitores. Esta energía almacenada servirá para alimentar los motores eléctricos que dotan de movimiento al automóvil. La mayoría de los automóviles con este sistema suele tener frenos



regenerativos y banco de baterías o súper capacitores que reutilicen la energía de frenado.

Este tipo de acomodo en cuanto al diseño mecánico es mucho más sencillo que los demás (véase ilustración 12). Además de que reduce la demanda de energía en las baterías o super capacitores y el peso del vehículo, sin embargo, este sistema solo resulta eficiente si el 80% de los kilómetros recorridos son alimentados por la energía de las baterías que se han recargado desde la red, de otra manera, el sistema resultaría ineficiente y poco viable ya que se pierde mucha energía en forma de calor cuando el motor de combustión alimenta el generador. Esto con base en que un motor de combustión interna tiene una eficiencia promedio del 30%, mientras que la eficiencia promedio de un motor eléctrico es superior al 90%. De igual manera el peso del vehículo disminuye drásticamente, por lo que la resistencia a la rodadura también los hace. A velocidades menores de 80 km/hr, la resistencia a la rodadura puede representar el 50% de la energía necesaria para mantener el vehículo en movimiento. Por estas razones, es posible obtener eficiencias en vehículos de este tipo de más de 50 km/ litro. Como referencia está el XL1 con un rendimiento de 100 km/l, el más eficiente del mundo y que es de tipo serie

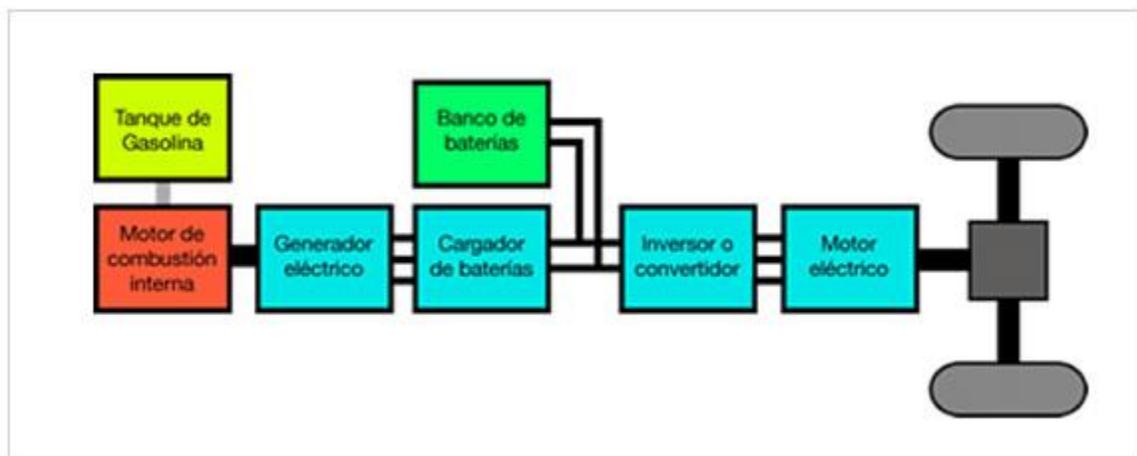


Ilustración 12: Acomodo de un sistema Híbrido en Serie

Automóvil Híbrido en Paralelo: En este tipo de vehículo (véase Ilustración 13) tanto la parte del motor de combustión como los motores eléctricos pueden mover el vehículo. Evita las pérdidas inherentes a la conversión de energía mecánica en eléctrica que sucedían con el acomodo en serie. Los picos de demanda de potencia le corresponden al motor de combustión interna. Las baterías pueden ser de mucho menor tamaño y el motor eléctrico es el que trabaja mayormente. Dentro de las desventajas es que el diseño mecánico es más complejo.

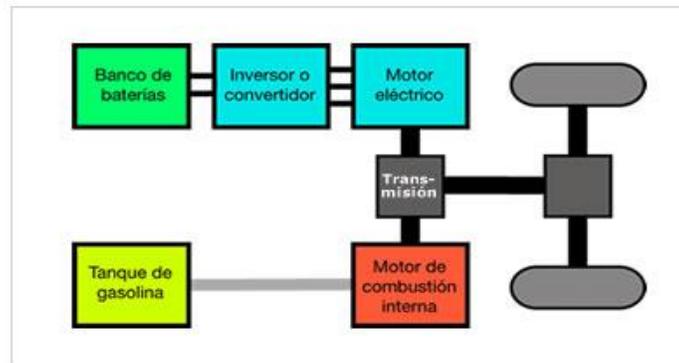


Ilustración 13: Acomodo de un Sistema Híbrido en Paralelo

Automóvil Híbrido en Serie-Paralelo: Combina las ventajas de ambos sistemas y es la más utilizada por los fabricantes de automóviles, un ejemplo de ello puede ser toda la gama alta de Toyota.

El funcionamiento de este sistema, véase Ilustración 14, utiliza los motores eléctricos cuando el automóvil tiene que romper la inercia para poder moverse y hasta alcanzar una velocidad considerable que está regulada por el tren de engranaje. En cuanto alcanza una velocidad apropiada para que el motor de combustión tenga su máxima eficiencia, este se activa (y se apagan los motores eléctricos) gastando solo la gasolina necesaria y en algunas ocasiones también cargando el banco de baterías. Si el automóvil necesita más potencia, se activan los motores eléctricos, permitiendo al usuario generar la potencia deseada y que el gasto de gasolina sea eficiente.

Dentro de las desventajas es que el diseño mecánico es mucho más complejo, más pesado y mucho más caro.

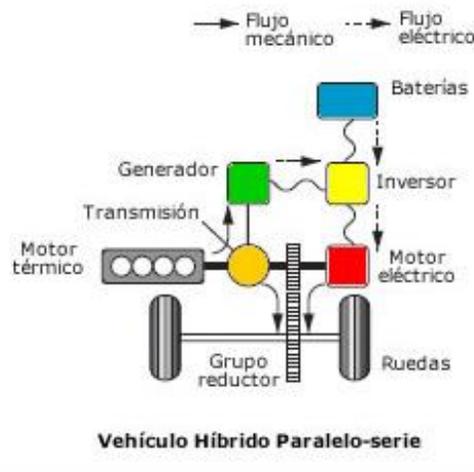


Ilustración 14: Acomodo de un Sistema Híbrido Serie-Paralelo



En una gráfica del funcionamiento de los motores eléctrico vs de combustión (véase Ilustración 15) encontramos que en el sistema híbrido en serie el funcionamiento es igual en ambos motores, en el acomodo en paralelo el motor de combustión trabaja más que el eléctrico y en el sistema serie-paralelo los motores eléctricos cumplen una mayor función.

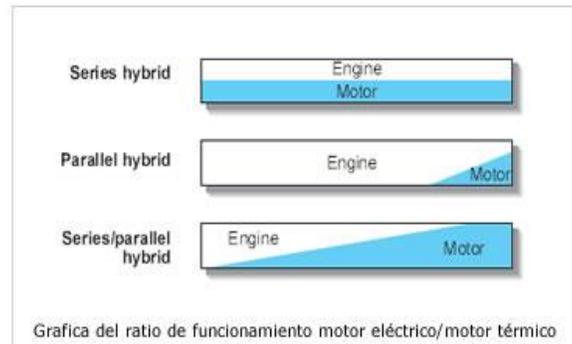


Ilustración 15: Gráfica comparativa de funcionamiento de motor eléctrico vs motor de combustión en los diferentes acomodos de Sistema Híbrido

5.1.2- Posicionamiento del Motor

El acomodo del motor suele ser de vital importancia, ya que irá dirigido directamente al concepto del automóvil, dependiendo del acomodo, se podrán cambiar algunos factores críticos como son, espacio en el habitáculo, sobregiro, estabilidad, espacio para el maletero etc.

Algunos principios de diseño dictan que con un motor de hasta 125 HP la tracción debe ser delantera, de 125 a 200 HP debe ser tracción trasera y a partir de los 200 HP la tracción debe ser total.

Existen 4 tipos de posiciones en el automóvil para el motor: delantera, trasera, central-delantera y central-trasera.

- **Delantera:** El motor se posiciona sobre el eje delantero, se utiliza en la mayoría de los automóviles de gama baja y media, este posicionamiento lograra una distribución de peso 60%- 40% (delantera-trasera). Entre sus ventajas se encuentra un mejor enfriamiento del motor, mayor espacio para el habitáculo, se asegura un mejor control en climas adversos y en condiciones normales los automóviles con esta configuración son más fáciles de controlar. Entre sus desventajas se encuentra un poco agarre al suelo a altas velocidades y un mayor control en cuanto al mantenimiento.



- **Trasera:** El motor se posiciona detrás del eje trasero, se utiliza mayormente en vehículos deportivos o de gama alta y la distribución de peso es 45%-55%. Entre sus ventajas es que la tracción mejora al tener más peso sobre sus ruedas motrices. Entre sus desventajas están que deben realizarse aberturas en la carrocería para la ventilación del motor, disminuye el tamaño del habitáculo, tiene un mayor coste constructivo y menor adherencia en las curvas.
- **Central delantera:** Se encuentra atrás del eje delantero y delante del habitáculo, esto permite una proporción de peso de 50% - 50%. Esta distribución permite un reparto equilibrado de masas lo que requiere menor inercia para empezar y dejar de girar. Sin embargo, esto repercute en un vehículo más pesado, un mayor gasto de combustible y un mayor costo de producción.
- **Central Trasera:** Se localiza atrás del habitáculo y delante del maletero, presenta la misma distribución de peso que la configuración central delantera, así como las mismas ventajas y desventajas.

5.2. – Configuración de sistema, posicionamiento de motor y selección de componentes en el proyecto del automóvil híbrido

Ahora que sabemos las ventajas y desventajas que traen aspectos como la configuración del sistema híbrido y el posicionamiento del motor, es posible proponer dicha motorización para el proyecto del automóvil híbrido destinado al transporte individual de pasajeros basándonos en las características técnicas que promueve la SEMOVI, en el Reglamento de Tránsito de la Ciudad de México y en posibles mejoras que podamos agregar al automóvil.

Así mismo y de acuerdo se pueden enlistar el motor de combustión interna y el motor eléctrico a propuestos para realizar el trabajo, junto con sus dimensiones generales y peso.

El sistema híbrido que se eligió para el proyecto debido a su fácil manufactura y sencillez fue el **sistema híbrido en serie**, con la pequeña variable que los motores eléctricos irán en la parte delantera del automóvil y tendrán comunicación casi directa con la llanta. La posición del motor de combustión que se eligió debido al bajo peso del mismo además de encajar perfectamente con las normativas de tránsito en la ciudad de México y área metropolitana fue el **posicionamiento delantero del motor**.

Debido a la configuración en serie es necesario dimensionar todos los elementos que conforman dicha configuración como motor de combustión, motores eléctricos,



generador, cargador de baterías, banco de baterías o super capacitores e inversor. Sin embargo, hasta el momento (Julio 2016) no se han definido por completo los elementos de dicho sistema. Solo se cuenta con los datos del motor de combustión y el motor eléctrico.

El motor de combustión **Kohler Courage SV710-SV740**¹⁹ y los motores eléctricos **Motenergy ME1115**²⁰ han sido los motores propuestos para el vehículo.

En cuanto a las dimensiones generales y el peso de los motores las hojas técnicas correspondientes nos dan los datos que el motor de combustión mide $47.87 [cm] \times 44.05 [cm] \times 44.93 [cm]$ (largo x ancho x alto) y pesa aprox. 41.3 Kg

El motor eléctrico mide $20.1 [cm]$ de diámetro en la base y $23 [cm]$ de altura. Pesa aproximadamente 15.87 Kg.

5.3.- Habitabilidad y Antropometría

La antropometría tiene una amplitud de usos tales como la determinación general y específica de las características dimensionales de los usuarios en sus diversas agrupaciones poblacionales; el diseño de espacios de trabajo, ropa, equipo personal, máquinas, herramientas, aparatos y mobiliario²¹. En términos generales intenta medir las características físicas (estructurales) de la población y las funciones del cuerpo.

La Antropometría estática o estructural se basa en las dimensiones que se obtienen cuando el sujeto a medir está en una posición fija y estandarizada, mientras que las dimensiones funcionales son aquellas que se toman a partir de las posiciones del cuerpo del sujeto cuando este realiza alguna función o acto, estas son las bases de la antropometría dinámica.

Las dimensiones funcionales son mucho más útiles ya que las personas generalmente se encuentran realizando funciones. El postulado central sobre el uso de las dimensiones funcionales parte de que, al realizar funciones físicas, los miembros del cuerpo de un individuo no actúan independientemente sino concatenados.

¹⁹ Kohler Co. , Kohler Courage SV710-SV740 Kohler Courage PRO SV810-SV840 Service Manual, 2011, http://www.kohlerengines.com/onlinecatalog/pdf/sm_32_690_01.pdf

<http://www.kohlerengines.com/onlinecatalog/productDetail.htm?productNumber=Courage%20SV710>

²⁰ Motenergy, ME1115 Product Description, 2011, <http://www.motenergy.com/me1115motor.html>

²¹ J.A., Roebuck; , K.H.E Kroemer ; , W.G. Thomson;. (1996). *Anthropometric methods designing to fit the human body*. Santa Monica, California, USA: Human Factors and Ergonomic Society.



Para el caso de los asientos del conductor de un automóvil, se busca un soporte adecuado para la espalda, dado que, con un soporte insatisfactorio, los ángulos entre las vértebras pueden producir incomodidad y probablemente complicaciones en la columna vertebral.

Sin embargo, en este trabajo no se abordará la relación hombre-asiento con fines ergonómicos, ya que la ergonomía no solo trata de antropometría sino de factores externos al ser humano como clima, iluminación, ruido y su afectación al mismo. Lo que se busca en este apartado es proponer una dimensión aproximada a lo que es el espacio del habitáculo del vehículo, por lo cual ocuparemos la antropometría y las dimensiones estructurales.

El habitáculo del vehículo es el espacio destinado para ser ocupado por el conductor y los pasajeros del vehículo. Estudios previos han recomendado ángulos en los cuales el conductor del vehículo puede realizar su función de tal manera que no dañe su cuerpo y tenga la mayor eficiencia y comodidad posible. Los ángulos ergonómicos propuestos por Ernest Mc. Cormick se muestran en la *Ilustración 16*.

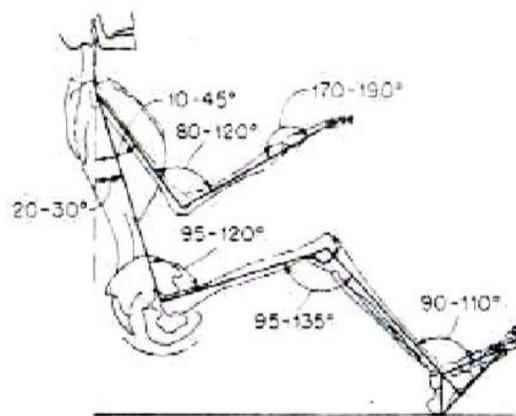


Ilustración 16: Ángulos propuestos para conductor.

Para verificar estos ángulos propuestos por Ernest Mc. Cormick, en los laboratorios de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, especialmente en la carrera de ingeniería mecánica dentro de la materia de Ergonomía en el año 2014, se realizó un trabajo titulado “La ergonomía en el automóvil: Análisis y diseño ergonómico de asiento de conductor”. En este documento se realizó una secuencia de uso del asiento de conductor de dos automóviles (Chevy Monza 1997 y Atos 2003) con tres personas de diferente complejión (Mesoformo, ectomorfo y endomorfo) y para la medición de los movimientos se traspuso un fondo cuadrículado con cuadrados de 10 [cm] x 10 [cm]. Posteriormente se tomaron fotografías de vista lateral de la interacción del usuario con el asiento y mediante un



software (SolidWorks) se obtuvieron los ángulos aproximados de las tres personas. Véase Ilustración 17 y 18.

Si se realiza una comparativa de los ángulos propuestos por Mc. Cormick y los ángulos medidos en el proyecto de ergonomía se puede observar la cercanía que tienen entre sí dichos ángulos excepto por el ángulo que se forma entre el brazo y el antebrazo, esto quizá se deba a la mala conducta para manejo de los sujetos de prueba.

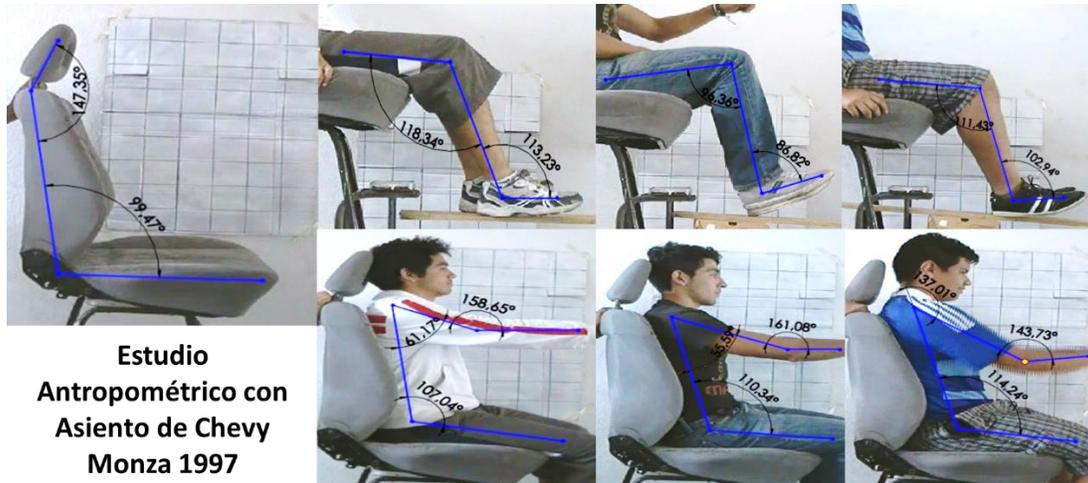


Ilustración 17: Ángulos aproximados de la interacción usuario-asiento en Chevy Monza 1997

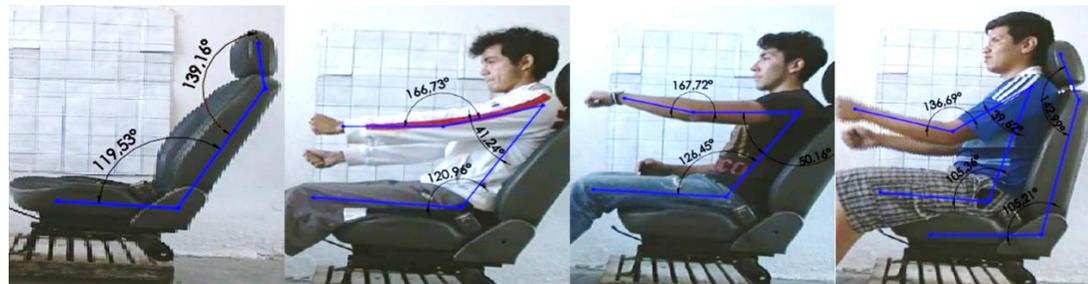


Ilustración 18: Ángulos aproximados de la interacción usuario-asiento en Atos 2003

Con base en dichos ángulos y en medidas antropométricas obtenidas de un estudio previo a en la población latinoamericana, con especial atención al apartado de Medidas Antropométricas de Operadores de Autotransporte de 18 a 68 años en México D.F.²²,

²² Chaurand, R. Á., Prado León, L. R., & Gonzalez Muñoz, E. L. (2007). "Dimensiones Antropométricas de Población Latinoamericana". Guadalajara, Jalisco: CUARO.



podremos calcular un espacio aproximado para dicho habitáculo. El percentil que se tomó para realizar los cálculos fue un percentil²³ 95 dado que:

“Una adecuación antropométrica debe considerar que las dimensiones críticas del puesto de trabajo se adapten al 90% de la población de los usuarios; esto es, el puesto debe poder ser usado, manipulado, operado, por personas altas y bajas, gruesas y delgadas, livianas y pesadas, de acuerdo con los datos de su propia curva de variabilidad.”

En las tablas que se utilizaron se muestra un percentil 95 en el cual se incluye el 90% de la población. Se utilizaron medidas como estatura con zapatos, altura del hombro, distancia hombro-codo, distancia codo- dedo medio, largo de mano, altura de codo, altura de rodillas, largo del pie con zapato, alcance máximo frontal, alcance funcional lateral y ancho bideltoideo. (Véase Ilustración 19)

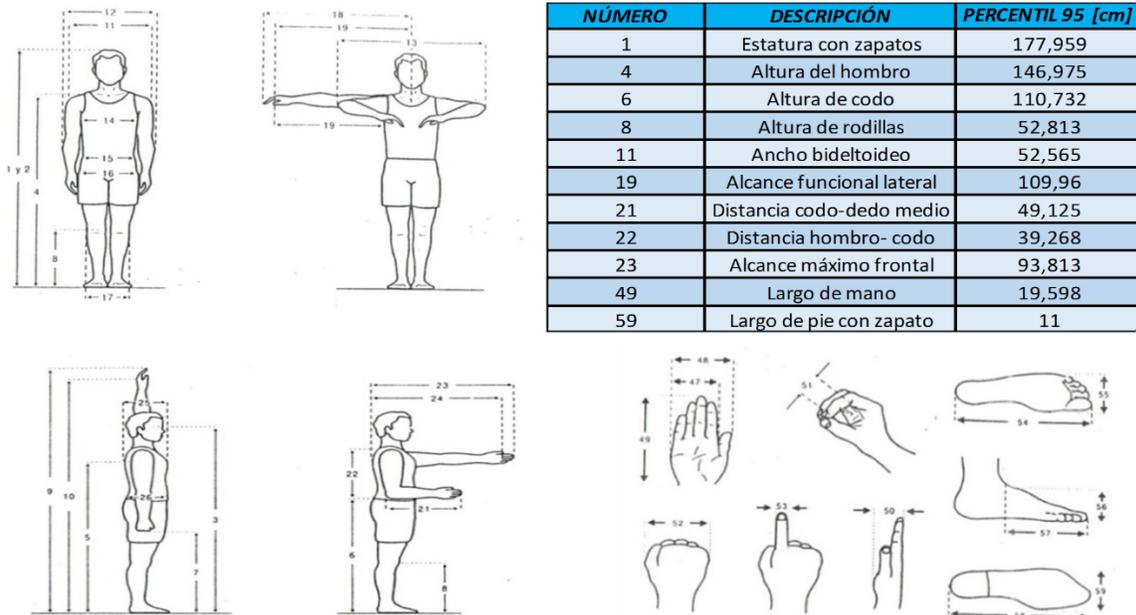


Ilustración 19: Esquema con medidas antropométricas de percentil 95 en operadores de autotransporte en la CDMX

Después se modeló un perfil del conductor para sacar el área máxima que ocupa dentro del vehículo. Los ángulos aproximados de los pasajeros se obtuvieron trazando líneas y acotando en el software SolidWorks. Véase Ilustración 20.

²³ El percentil es una medida de posición usada en estadística que indica, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo de observaciones. Por ejemplo, el percentil 95º es el valor bajo el cual se encuentran el 95% de las observaciones

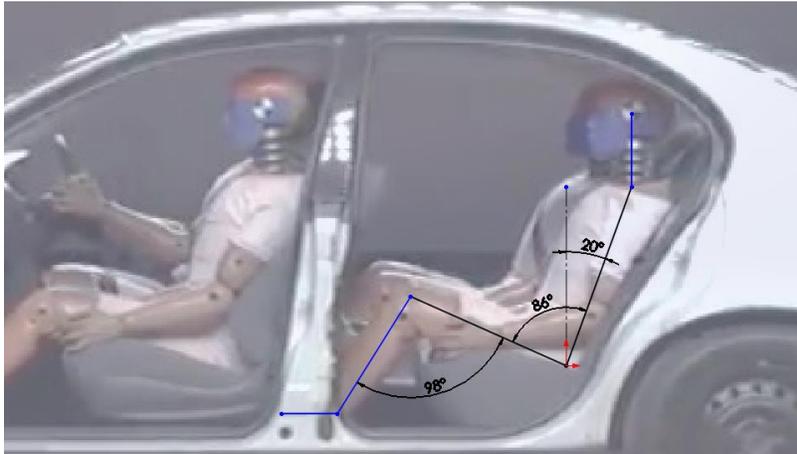


Ilustración 20:Ángulos aproximados del pasajero hechos en SolidWorks.

A continuación, se modeló en SolidWorks el perfil del conductor y pasajeros, como se observa en la Ilustración 21.

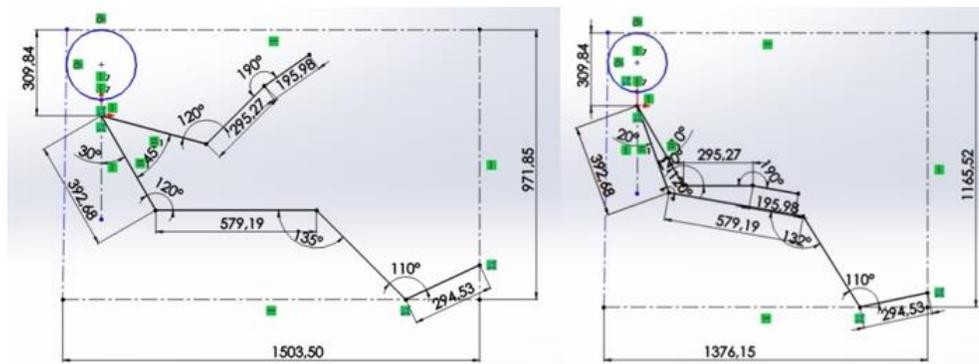


Ilustración 21: Croquis en vista lateral de conductor y pasajero

Para calcular el ancho del habitáculo necesitamos conocer el área normal y el área máxima del conductor y pasajero. El área normal es aquella que puede alcanzarse con una extensión del antebrazo manteniendo la parte superior del brazo en su posición natural lateral, mientras que el área máxima es aquella que puede alcanzarse al extender el brazo a partir del hombro.

Modelando también los perfiles de la vista de planta o superior del conductor y poniendo medidas a las diferentes extremidades pudimos obtener las siguientes áreas normal y máxima. Véase Ilustración 22.

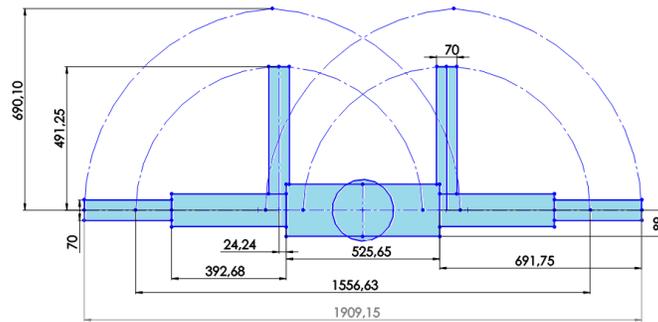


Ilustración 22: Croquis en vista de planta del conductor

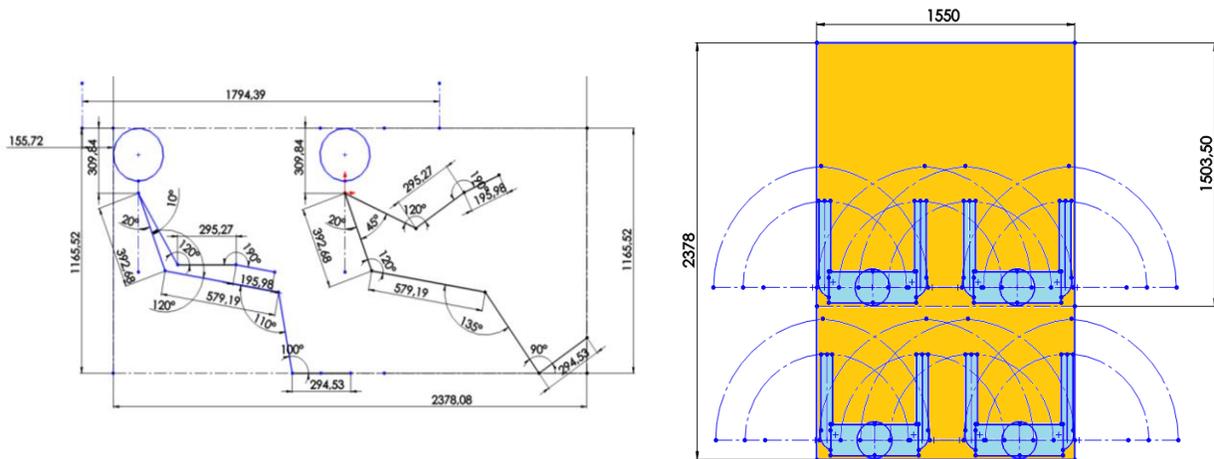


Ilustración 23: Unificación de croquis para obtener medias aproximadas del habitáculo de pasajeros

Conjuntando toda la información requerida se pudo llegar a unas medidas aproximadas para el habitáculo de pasajeros, las cuales se muestran en la Ilustración 23.

Las medidas aproximadas del habitáculo de pasajeros fueron:

Alto	1.165 m ≈ 1.20 m
Largo	2.378 m ≈ 2.40 m
Ancho	1.550 m ≈ 1.60 m

Sin embargo, se encontró que hay diferentes distancias dentro del habitáculo de pasajeros que son reguladas mediante normas internacionales tales como la Norma



VDA²⁴ 239-01, DIN²⁵ 33408 y DIN 3832, como lo indican en el “Manual de la técnica del automóvil”²⁶

Las medidas para posicionar adecuadamente los asientos en el habitáculo toman como referencia el punto R de la persona, el cual es la intersección del torso con la línea media del muslo y corresponde aproximadamente al punto de articulación de la cadera.

En la Ilustración 24 se muestran las distancias que pueden aplicarse para el posicionamiento de los asientos de acuerdo al tamaño del carro que se va a diseñar.

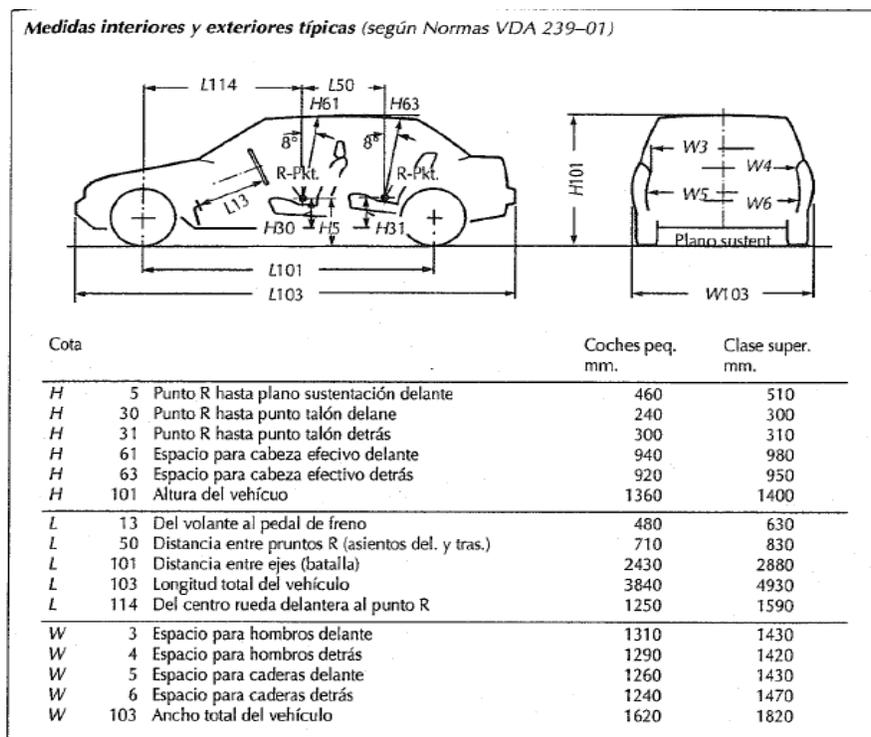


Ilustración 24: Medidas interiores y exteriores típicas (según Normas VDA 239-01)

²⁴ Norma VDA es una norma adoptada por la industria alemana del automóvil por la que se calcula el volumen de carga utilizando cubos de forma y tamaño normalizado

²⁵ Las normas DIN son estándares técnicos para el aseguramiento de la calidad de los productos industriales y científicos en Alemania.

²⁶ BOSCH. (1996). Manual de la técnica del automóvil 3a Edición. Reverté.



5.3.1 – Medidas del Portaequipaje

El tamaño y la forma del portaequipaje dependen de la construcción de la parte trasera del vehículo, de la posición del depósito de combustible, del emplazamiento de la rueda de cambio y del alojamiento del tubo silenciador principal.

La capacidad se determina según la norma DIN ISO 3832 de acuerdo al tipo de carro, sin embargo, comúnmente se utiliza la norma VDA en el que se utiliza un paralelepípedo de 200 x 100 x 50 [mm] que equivale a un volumen de 1 [dm³] que es equivalente a un litro.

Realmente a estas alturas no se puede dar una medida exacta de los [dm³] del portaequipaje del automóvil, ya que hace falta determinar la construcción de la parte trasera del vehículo.

Así mismo se espera que el volumen del portaequipaje se aproxime a un valor de **460 [dm³]**.

5.4.- Dimensiones generales del vehículo

Para determinar las condiciones exteriores (en centímetros) aproximadas del nuevo vehículo se hizo un promedio de todas las medidas exteriores de los automóviles enlistados por la SEMOVI mencionados en la introducción de este trabajo de tesis. (Véase Tabla 8)

Automóvil	Dimensiones Exteriores					
	Distancia entre ejes	Largo	Altura	Ancho s/espejo	Vía Delantera	Vía Trasera
Ford-Fiesta Sedan	248,92	440,69	147,57	172,212	146,558	144,78
NISSAN-TIIDA	260	447	154,8	169,5	148	148,5
Nissan-Tsuru	243	432,5	138,1	165	144,4	142,1
Chevrolet-Aveo	247,9	431,5	150,6	170,9	145	141
Volkswagen-Jetta	265,1	465,2	145,3	177,8	153,5	153,8
Volkswagen-Gol	246,5	421,5	146,2	165,6	142,4	141
Chevrolet-Sonic	252,5	439,7	151,6	173,5	150,9	150,9
Hyundai-i10 Sedan	242,5	399,5	150,5	166	147,9	149,3
Nissan-Versa	260	449,2	150,6	169,5	148,08	148,59
Volkswagen-Vento	255,2	438,4	146,6	169,9	151,3	149,4
Promedio	252,16	436,52	148,19	169,99	147,80	146,94

Tabla 8: Medidas generales promedio de automóviles para el servicio de transporte de pasajeros



Se redondearon las medidas generales del vehículo quedando de la siguiente manera:

- Distancia entre ejes = 250 [cm]
- Largo = 436.5 [cm]
- Altura = 148.2 [cm]
- Ancho s/ espejo = 170 [cm]
- Vía delantera = 150 [cm]
- Vía trasera = 146.9 [cm]

Los valores de la distancia entre ejes y la vía delantera se redondearon de acuerdo a las especificaciones que indicó el área encargada de la dirección del vehículo.

5.5.- Resultado del Pliego de condiciones técnicas

Se modelaron en base a las dimensiones máximas los órganos mecánicos, dummies de conductor y pasajeros y un chasis que, aunque no es el definitivo, sirvió para posicionar los órganos mecánicos anteriormente detallados, se modelaron SolidWorks, para poder visualizarlos en un panorama tridimensional. De esta manera, si en el futuro se realizan modificaciones se podrán visualizar fácilmente. Los renders del modelado se muestran en la Ilustración 25.

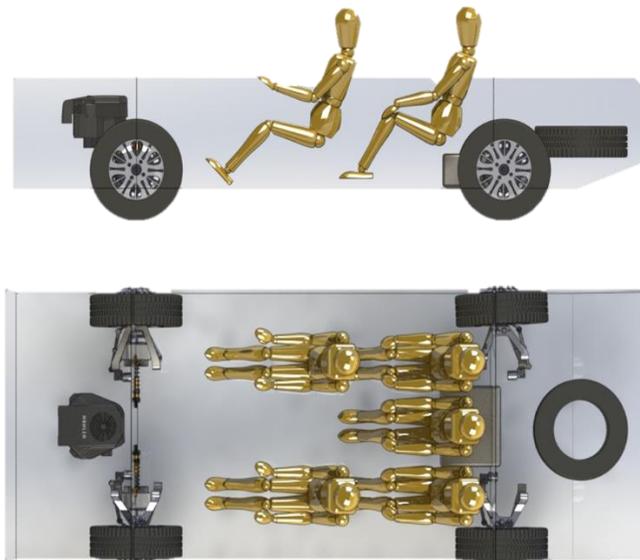


Ilustración 25: Interacción de algunos órganos mecánicos, chasis y pasajeros de acuerdo al pliego de condiciones técnicas



En la Ilustración 25 se muestra desde la vista lateral y vista de planta el acomodo de los diferentes sistemas como son suspensión delantera, dirección, neumáticos, motor. Así como las proporciones de tamaño de los “**dummies**” y su acomodo dentro del habitáculo. Para la parte del portaequipaje se modeló la llanta de refacción con la finalidad de que en un futuro pueda calcularse el volumen total del portaequipaje

Los planos de este dimensionamiento se muestran en el anexo de planos.



Capítulo 6

Fase de concepción

Una vez establecido el pliego de condiciones, el proyecto se desarrolla de la siguiente manera:

- Concepción
- Diseño
- Creación de maquetas
- Construcción de prototipos
- Pruebas
- Fabricación

En la **fase de concepción** se realizan los primeros bocetos del producto identificando la viabilidad y facilidad de su construcción, además, se dimensiona el vehículo tomando en cuenta la zona interior del mismo, así como también la ergonomía que se verá aplicada en la repartición de los asientos, el tamaño de cada uno y las dimensiones en las que el conductor y los pasajeros estarán usando el vehículo.

A continuación, se diseña también un perfil para la carrocería y diseño exterior basado en los bocetos realizados con anterioridad, en los cuales se toman en cuenta las dimensiones totales del vehículo, las dimensiones del habitáculo, el volumen del maletero y el coeficiente aerodinámico del vehículo.

6.1.- Realización de Croquis

Un croquis es un dibujo que plasma la forma simplificada de una idea. Por lo general se trata del esquema elaborado a partir de copiar características visuales de un concepto que ya exista en la naturaleza o también puede provenir de la imaginación. Se suele realizar a mano alzada y con trazos muy simples, tomando en cuenta las líneas principales del dibujo, por lo tanto, la ejecución debe realizarse en un corto tiempo.

Para la realización de los croquis se tomó en cuenta el volumen (monovolumen, dos volúmenes o tres volúmenes), también el estilo que seguirá el automóvil de acuerdo con los diferentes conceptos de carrocerías que propone Paolo Tumminelli (Pre-Moderno, Clásico, Soft Shell, Flow Shell, Rocket, New Line, Baroque, Edge Line,



Flow Line, Wedge Line, New Baroque, Edge Box, Graph, Flow Box, Retro, New Edge Box, Smooth Body, Edge Body, Carved Body, New Classic.)²⁷

Entre las consideraciones generales para la realización de los croquis también se contempló la altura de la carrocería al piso (20 centímetros) y las dimensiones promedio del listado de la Tabla 8. (Todos los croquis tienen como propuesta las dimensiones generales de la Tabla 8).

Los croquis se realizaron mediante una vista lateral, frontal y una vista en perspectiva de los posibles vehículos, los diferentes croquis se muestran en la Figura 6.1.

Los estilos Flow box y Flow Shell del croquis ubicado en la parte superior izquierda trata de reflejar cantos suaves, se eliminan irregularidades en la carrocería tratando de hacer un automóvil compacto con líneas puristas que reflejaran la forma de una gota.

Sin embargo, la mayoría de los bocetos trataron de centrarse en estilos como el Carved, Smooth Body y Edge Body, buscando una forma absolutamente orgánica, cristales panorámicos, detallando el automóvil y buscando que las formas modeladas sugieran dinamismo y ligereza. Además, se busca utilizar el “branding”²⁸ de la marca, un mejor diseño de faros y luces traseras apoyados en las nuevas tecnologías, un contraste de superficies rectas y cantos redondeados.

Como propuesta se acoplan tiras de led para exteriores en los costados y frente del vehículo con la finalidad de informar a los futuros pasajeros la situación en la que se encuentra el taxi (ocupado, libre y fuera de servicio) referenciado con diferentes colores respectivamente (rojo, verde y amarillo).

También en los croquis se proponen los diferentes carros de color azul cielo. De acuerdo a la psicología del color, el azul cielo inspira calma, constancia, descanso, serenidad, confianza, libertad e infinidad²⁹. La mayoría de estas características son adecuadas para el servicio público individual de pasajeros. Además, se impone un cambio radical a los colores comunes de estos vehículos en la Ciudad de México.

Además, se hizo un listado de los aspectos positivos y negativos de las diferentes revisiones, con esto se buscó conservar los aspectos positivos y cambiar los negativos a fin de volverlos positivos.

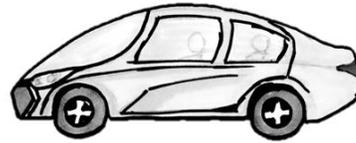
²⁷ Tumminelli, P. (s.f.). *Car Design*. teNeues Publishing Group

²⁸ Branding es un anglicismo empleado en mercadotecnia que hace referencia al proceso de hacer y construir una marca (en inglés, brand equity) mediante la administración estratégica del conjunto total de activos vinculados en forma directa o indirecta al nombre y/o símbolo (logotipo) que identifican a la marca influyendo en el valor de la marca, tanto para el cliente como para la empresa propietaria de la marca

²⁹ Psicología del color, Psicología del color azul cielo, www.psicologiadelcolor.es/por-colores/psicologia-del-color-azul-cielo/



1



Estilos:
Flow Box
Flow Shell



Pros:

- Buena visibilidad del conductor y pasajeros

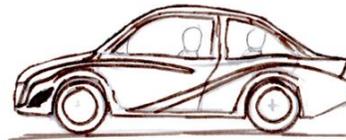


Contras:

- Costo elevado de parabrisas
- Poca seguridad a los pasajeros
- Nula accesibilidad a motores
- No existe ventilación para motorización

Ilustración 26: Primer concepto de Taxi Híbrido

2



Estilos:
Carved
Smooth Body
Edge Body



Pros:

- Buena visibilidad sin afectar costo
- Cofre permite acceso a órganos mecánicos
- Zona anterior al habitáculo destinada a distribuir la energía de impactos
- Rejillas para la ventilación



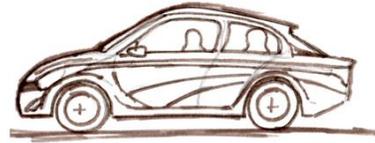
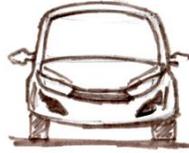
Contras:

- El área para la ventilación quizá es muy grande, afectando el Co
- La inclinación del parabrisas afecta la altura del vehículo y también el Co
- Un automóvil sedán provoca zonas de turbulencia en los laterales y la parte trasera al interrumpir el paso del fluido aumentando el Co.

Ilustración 27: Segundo concepto Taxi Híbrido



3



Estilos:
Carved
Smooth Body
Edge Body



Pros:

- Buena visibilidad sin afectar costo
- Cofre permite acceso a órganos mecánicos
- Zona anterior al habitáculo destinada a distribuir la energía de impactos
- Rejillas para la ventilación que sean adecuadas para la ventilación de los motores sin afectan demasiado el C_o del automóvil.
- Parabrisas inclinación y forma adecuada para no afectar a los pasajeros y mantener lo más bajo posible el C_o .
- Deflector trasero redirige el flujo de aire mejorando el C_o

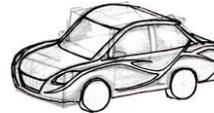


Contras:

- Quizá el perfil de la zona delantera del carro no tenga las características aerodinámicas suficientes para crear sustentación positiva que ayude al automóvil a la carga de pasajeros y que no comprometa la estabilidad del vehículo.
- Sería apropiado que la carrocería implementara "Branding" perteneciente a la identidad de la marca y el motivo ecológico de esta.
- El lenguaje del producto debería expresar que el uso de este automóvil es para taxi.

Ilustración 28: Tercer concepto de Taxi Híbrido

4



Estilos:
Carved
Smooth Body
Edge Body



Pros:

- Buena visibilidad sin afectar costo
- Cofre permite acceso a órganos mecánicos
- Zona anterior al habitáculo destinada a distribuir la energía de impactos
- Rejillas para la ventilación que sean adecuadas para la ventilación de los motores sin afectan demasiado el C_o del automóvil.
- Parabrisas inclinación y forma adecuada para no afectar a los pasajeros y mantener lo más bajo posible el C_o .
- Deflector trasero redirige el flujo de aire mejorando el C_o
- Se propone un perfil alar para la parte frontal del vehículo, que sea capaz de permitir sustentación positiva.
- Se proponen luces leds a los costados y frente del vehículo que simulen una hoja o ramificaciones contribuyendo con el "branding" de la marca.
- Las luces led tendrán la función de prender verde cuando el taxi esté libre, rojo cuando esté ocupado y amarillo cuando no esté en servicio. Contribuyendo así al lenguaje del producto.

Ilustración 29: Cuarto concepto de Taxi Híbrido



Cuando los aspectos positivos de la propuesta de diseño fueron validados, el siguiente paso fue realizar un croquis final. Que serviría de base para el modelado tridimensional que se haría después de los estudios aerodinámicos.

6.2.- Coeficiente aerodinámico

Ya aprobado el mejor concepto, el siguiente paso es determinar la aerodinámica del vehículo mediante su coeficiente aerodinámico.

La aerodinámica vehicular estudia las acciones y efectos que tiene el aire sobre el vehículo en movimiento y busca que estos flujos sean lo más favorables posibles.

“El diseño de cualquier de cualquier vehículo e infraestructura requiere un análisis fluido mecánico, especialmente desde mediados del siglo pasado, se ha convertido en un punto clave durante el proceso de diseño.” (Santos, 2011)

Para ello se estudian diferentes tipos de flujos, externo e interno, los cuales tienen diferentes funciones, pero están relacionados entre ellos.

El flujo externo produce zonas de presión o depresión en el vehículo y rozamiento viscoso con las paredes. Esto genera esfuerzos que influyen en el avance, la carga sobre ruedas, la estabilidad y la visibilidad en el vehículo. Además de provocar intermitentes frecuencias audibles que generan ruido.

El flujo interno comprende la refrigeración de los órganos mecánicos y la aireación del habitáculo de pasajeros.

“Se piensa que a 100 Km/hr la resistencia aerodinámica viene a representar el 80% de la resistencia total del vehículo de tamaño medio europeo.”

Sin embargo, no es sencillo realizar estudios aerodinámicos. Desde el punto de vista analítico, las ecuaciones diferenciales que describen las trayectorias de los fluidos son muy complejas y hace inviable la resolución de las ecuaciones en cuerpos complejos teniendo que desprestigiar fenómenos tanto viscosos como turbulentos, haciendo que los resultados no concuerden exactamente con la realidad. Es por eso que los métodos de resolución numérica no están aún en posición de desplazar a los ensayos aerodinámicos en túneles de viento físicos.

Aun cuando se mencionó anteriormente que la mejor manera de realizar un estudio aerodinámico es de manera física, el análisis de fluidos en estos tiempos es indispensable, ya que ahorra tiempo y es un referente importante para poder llevar a las maquetas o prototipos en tamaño real al respectivo túnel de viento.



En la Facultad de Estudios Superiores Aragón no se cuenta con un túnel de viento, por lo que el análisis de la carrocería de esta tesis se verá expresado en un estudio de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD).

“La dinámica de fluidos computacional es el arte, más que la técnica, que intenta utilizar los ordenadores para la simulación de movimiento de los fluidos y, en ocasiones, de otros fenómenos asociados: transferencia de calor, reacciones químicas, arrastre de sólidos, etc.” (Santos, 2011)

Un software de dinámica de fluidos computacional busca resolver todas las ecuaciones diferenciales que expresan las leyes que la rigen. En los resultados, junto con el movimiento y la presión, pueden obtenerse algunas variaciones de las propiedades, las fuerzas que ejercen sobre los sólidos que se estudian, los cambios de energía, etc.

Un buen coeficiente de arrastre se logra, y así lo ha dictaminado la historia de la aerodinámica en automóviles, mediante prueba y error. Diferentes reducciones en el coeficiente aerodinámico se han logrado realizando cortes en las formas, achatando ángulos o se han basado en diferentes formas aerodinámicas como los perfiles alares, etc. El objetivo principal es modificar ángulos con la finalidad de reducir el área transversal del vehículo y suavizar el paso del fluido por el perfil del mismo.

Muchas veces la optimización de la forma se logra tomando los dos extremos, el perfil que tiene todos los detalles y en el cual por el número de vértices que tiene el coeficiente de arrastre es el máximo, sin embargo, cumple con todas las características técnicas en cuanto al espacio interior y estilo de la carrocería. Y el otro extremo, una forma completamente aerodinámica la cual no cuenta con ningún aspecto de habitabilidad ni estilo. Teniendo estos dos extremos se puede lograr trabajar para llegar a un resultado que satisfaga las necesidades aerodinámicas y las necesidades de habitabilidad y estilo que busca el diseñador y el cliente.

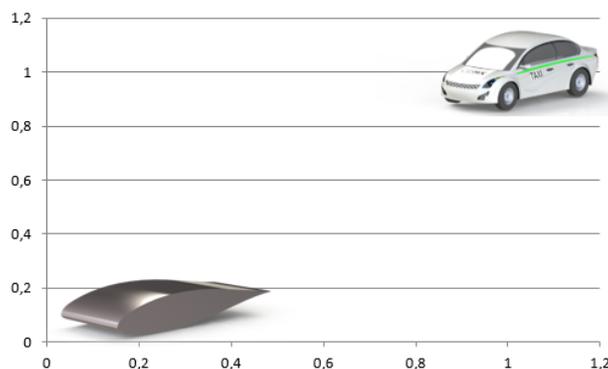


Ilustración 30: Optimización de forma



6.2.1.- Modelado del Perfil Óptimo para la Carrocería

Contando ya con el pliego de condiciones técnicas como base para el perfil óptimo, se siguieron algunos procesos que, en el pasado, lograron aportar un avance significativo para la reducción de coeficientes aerodinámicos.

Lo primero que se tomó en cuenta fue una idea y estudio propuesto por Ludwig Prandtl en el carro denominado Schlör³⁰, en ese estudio, el combinó para su forma ideal perfiles alares que sirvieron como forma base, el combinó dos perfiles Göttingen, el 570 y 571, ambos con un coeficiente de arrastre de 0.125. También en su estudio se pudo visualizar que la distancia al suelo afectaba el coeficiente de arrastre.

En los automóviles de competencia o deportivos, se busca reducir el espacio que hay entre la carrocería y el suelo con la finalidad de que por la disminución de área exista un aumento en la velocidad y así mismo, un decremento de presión. Lo cual provocará que este sea empujado hacia abajo y tenga mayor mejor tracción, este efecto se denomina, efecto suelo.

La fuerza resultante que se produce en dirección perpendicular a la dirección del movimiento y que es resultado de la diferencia de presiones entre la parte superior e inferior del automóvil se conoce como sustentación.

Los vehículos de pasajeros buscan tener una sustentación positiva para reducir la carga en las llantas. Aun así, por debajo de los 100 Km/hr, la sustentación solo tiene un pequeño efecto sobre el vehículo.

La parte delantera de la carrocería tiene varias exigencias aerodinámicas ya que por ahí será la primera parte en la que pase el fluido. Para ello se debe tener en cuenta que dicha parte delantera debe tener las características aerodinámicas suficientes para disminuir la sustentación del automóvil en el eje delantero, para evitar un momento de cabeceo, además debe contar con una adecuada posición del punto de estancamiento.

Siguiendo las ideas de Prandtl, se optó por un perfil de un ala de avión, este perfil estaría normalizado por la National Advisory Committee for Aeronautics (NACA).

“La NACA fue una institución a nivel mundial que formalizó trabajos y estudios en túneles de viento durante el periodo definido entre 1920-1960. Este trabajo resultó en la creación de familias de perfiles alares y el desarrollo racional de una nomenclatura para la

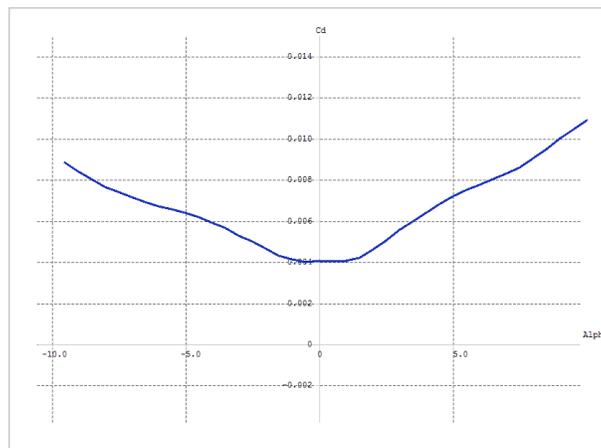
³⁰ (Hucho, 1981)



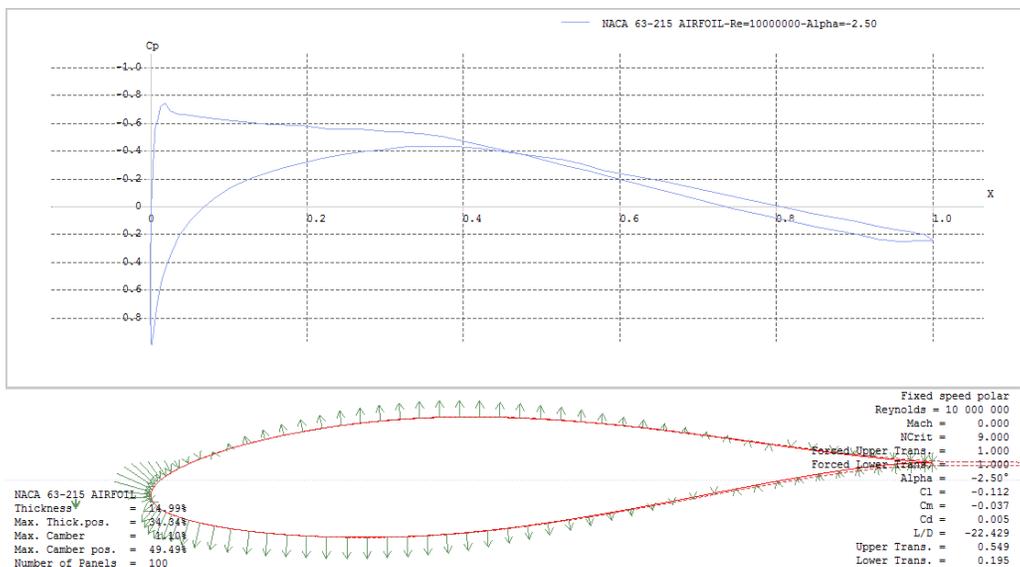
escogencia del perfil basado en su desempeño aerodinámico. La NACA se disolvió el 1 de octubre de 1958 para dar paso a la creación de la NASA (National Aeronautics and Space Administration).” (Paz, 2013)

El perfil que se seleccionó fue un perfil alar NACA serie 6, ya que este tipo de perfiles tienen como propósito fomentar el flujo laminar sobre la superficie minimizando el coeficiente de resistencia con la variación del coeficiente de sustentación.

El perfil fue el denominado NACA 63-215. Para el análisis de este perfil se utilizó el software XFLR5, el cual nos permite diseñar y estudiar perfiles alares.



Gráfica 1: Ángulo de ataque vs Coeficiente de arrastre



Gráfica 2: Distribución de presiones a lo largo de la forma del perfil alar



Los resultados del estudio arrojaron que el coeficiente de arrastre aumentaba conforme el ángulo de ataque de la forma cambiaba (Gráfica 2), además se encontró que conforme el ángulo de ataque decrecía el coeficiente de sustentación también pasaba de valores positivos a negativos creando un “efecto suelo”. El mínimo coeficiente de arrastre que daba una sustentación negativa fue a los -2.5 grados, arrojando los siguientes valores.

Ángulo de ataque: -2.5°

Cl: -0.112

Cm: -0.037

Cd: 0.005

L/D: -22.429

Transición superior: 0.542

Transición inferior: 0.195

Después de obtener la inclinación de la forma adecuado para que se creara una sustentación negativa y al mismo tiempo se lograra un coeficiente de arrastre lo menor posible se procedió a modelar en Solidworks el perfil NACA63-215 y adecuarlo al modelado previo del pliego de condiciones técnicas con el fin de visualizar algunas dimensiones adecuadas para el diseño.

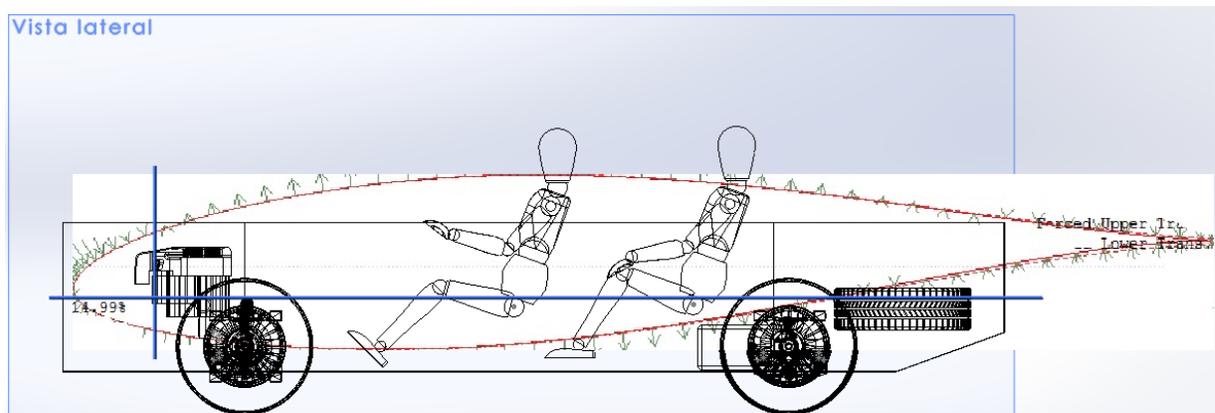


Ilustración 31: Adecuación de pliego de condiciones técnicas con perfil alar



La Ilustración 31 muestra el posible acomodo del perfil NACA 63-215, las líneas rectas que envuelven los órganos mecánicos son una representación de las dimensiones generales del vehículo desde la vista lateral, si se observa la cuerda dl perfil no coincide totalmente con uno de los planos paralelos al suelo, se observa que está ligeramente desplazado al noreste, esto debido a que no alcanzaba a cubrir los órganos mecánicos y también debido a que se dejó un espacio para la defensa delantera.

Para el área del parabrisas y techo se eligió seguir una teoría propuesta por Paul Jaray en la cual combinaba formas de revolución bajo la consideración de que una baja fricción solo puede lograrse cuando la parte trasera se elimina, esto solo podía lograrse con una forma muy alargada. Estas ideas se utilizaron en el pasado en el coche denominado Lange que en sus estudios de arrastre logró un coeficiente de 0.14.³¹

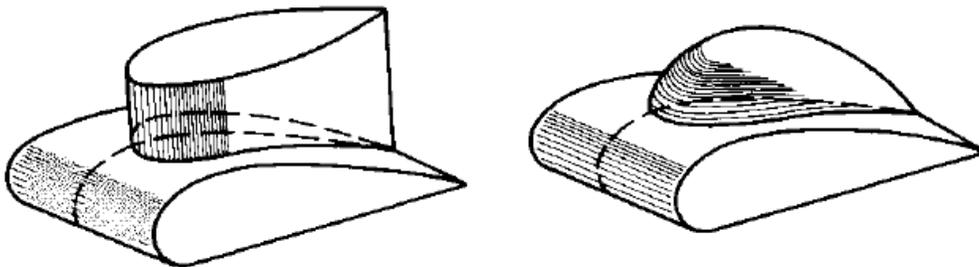


Ilustración 32: Formas combinadas por Paul Jaray.

Sin embargo, en tiempos de **Jaray**, los parabrisas del vehículo eran rectos debido a que la manufactura tenía ciertas limitantes. Actualmente los vehículos cuentan con cierta inclinación en el parabrisas lo que les permite obtener un coeficiente de arrastre menor.

Cuando un flujo de aire cruza sin separación por la parte delantera del vehículo, puede ocurrir una separación en el **“cowl”** del automóvil existiendo una acumulación de presión en ese punto.

La localización y la forma de la burbuja de separación tridimensional depende mucho de la curvatura vista desde el plano lateral del parabrisas. Según Lay, cuando un parabrisas pasa de una forma curva a una forma plana, el arrastre aerodinámico se reduce

³¹ (Hucho, 1981)

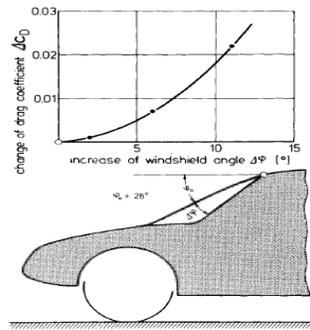


Ilustración 33: Efecto del ángulo $\Delta\phi$ del parabrisas en el arrastre. (Hucho, 1981).

Para mostrar la influencia que tiene la inclinación del parabrisas con respecto al capó, se modeló en solidworks un parabrisas unido a las dimensiones aproximadas del habitáculo de pasajeros.

Para este estudio se consideraron los siguientes parámetros:

Parámetros para estudios de Coeficiente aerodinámico		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Velocidad	33.33	m/s
Presión	101325	Pa
Temperatura	288	K
Gravedad	-9.81	m/s ²
Rugosidad	0	micrometros
Intensidad de Turbulencia	0.1	%
Longitud de turbulencia	0.013643	m
Humedad	37	%
Densidad	1.225	Kg/m ³
Viscosidad Dinámica	1.79E-05	Ns/m ²
Viscosidad Cinemática	1.46E-05	m ² /s

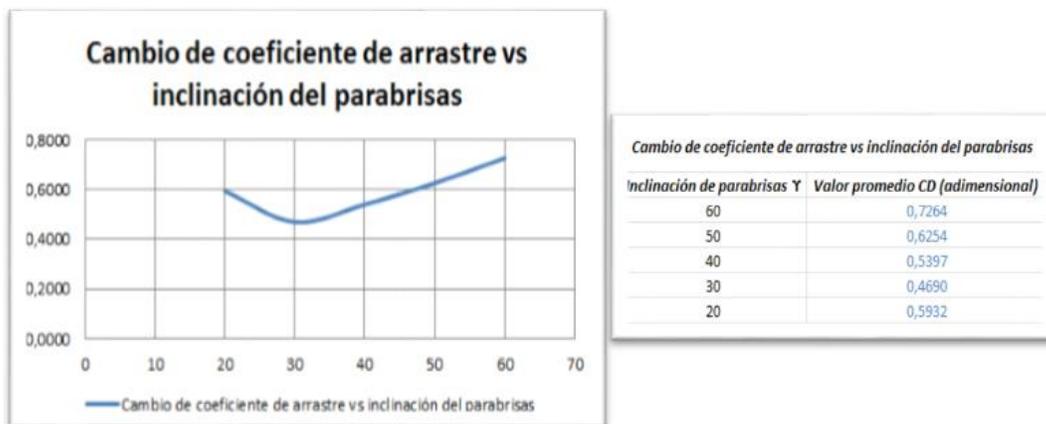
Tabla 9: Parámetros para estudios de coeficiente aerodinámico



Condiciones para estudios de Coeficiente Aerodinámico	
CONCEPTO	CONDICIÓN
Flujo	Externo
Fluido	Aire
Tipo de flujo	Laminar y turbulento
Condición térmica de pared	Adiabática
Eje de referencia de flujo	Eje Z

Tabla 10: Condiciones para estudios de coeficiente aerodinámico

En el estudio que se hizo se varió el ángulo de inclinación γ y el cambio que se obtenía en el coeficiente de arrastre.



Gráfica 3: Cambio del coeficiente de arrastre con respecto al ángulo de inclinación del parabrisas.

En la Gráfica 3 se puede observar que la inclinación óptima del parabrisas se alcanza cuando $\gamma=30^\circ$, ya que representa el coeficiente de arrastre más bajo.

Además, se modificó el techo del habitáculo bajo las siguientes determinaciones.

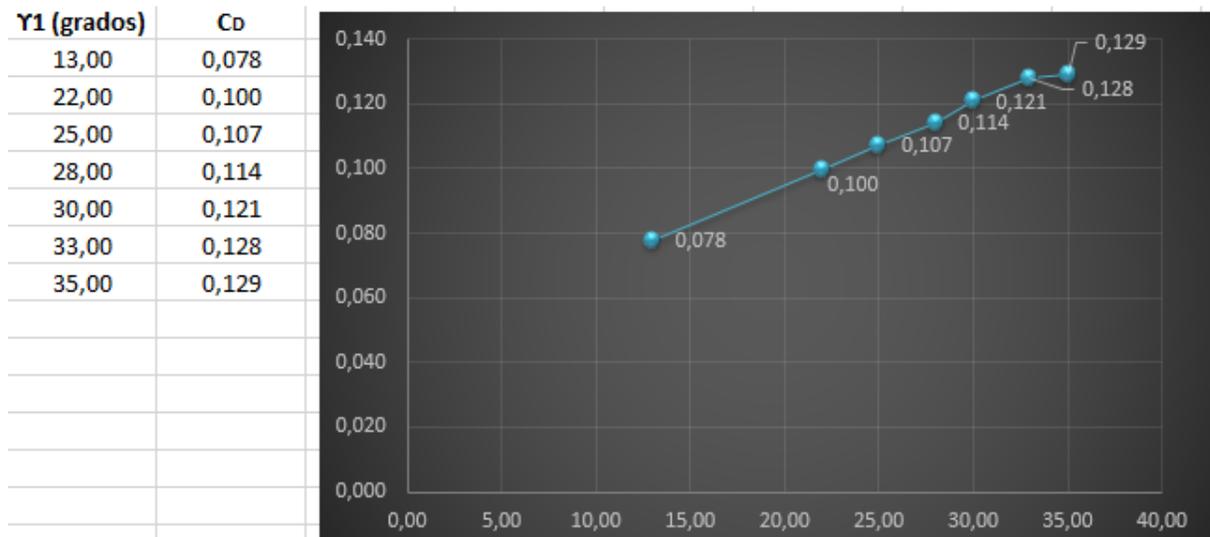
Los techos de los automóviles son diseñados con una forma convexa para asegurar suficiente rigidez en el flujo. En el pasado se trataba de mantener la forma convexa tan pequeña como fuera posible por razones estéticas. Sin embargo, el coeficiente de arrastre se reduce entre más se incrementa la forma convexa por dos razones. Primero, una mayor convexidad permite un mayor radio en la transición desde el parabrisas al techo. Estos resultados se traducen en un pico de succión menos pronunciado. La pérdida del momento en la capa límite durante el siguiente



gradiente de presión negativo es menos motivado, por lo tanto es más pequeño y la capa límite por sí misma es menos amenazada por la separación. Segundo, la convexidad dota una desviación suave del flujo a la parte trasera y el aumento de presión en la parte trasera es por lo tanto mejorado.

Para la parte trasera del vehículo se utilizaron diferentes ángulos en los cuales se hicieron estudios aerodinámicos. Los resultados son expuestos en la siguiente gráfica. Durante los estudios se verificó que la inclinación del parabrisas trasero afectaba también el tamaño del portaequipaje, disminuyendo la distancia disponible para el capó de la cajuela. También la inclinación debía ser la adecuada para que el rango de visión del conductor no se viera afectado, para ello se trazó un triángulo que simulara el rango de visión del parabrisas.

Los automóviles de turismo o ciudad deben disponer, al menos, de un retrovisor en el lado izquierdo y uno interior. Por normativa, el retrovisor interior deberá permitir la visión, al menos, de una parte, de la carretera plana y horizontal desde el horizonte hasta una distancia de 60 m. por detrás y en una anchura de 20 m. Si no se cumplen estos requisitos, el retrovisor interior será opcional y obligatorio el del lado derecho.³² En este caso se planteó una visión de 10 m para empezar a ver el suelo y una altura de 1.3m. El ángulo del parabrisas que mejor se acoplaba a estas condiciones fue el de 25° dejando aproximadamente 31 cm para el cofre de la cajuela a la cual se le dio una inclinación de 7° para acoplarse al campo de visión propuesto.



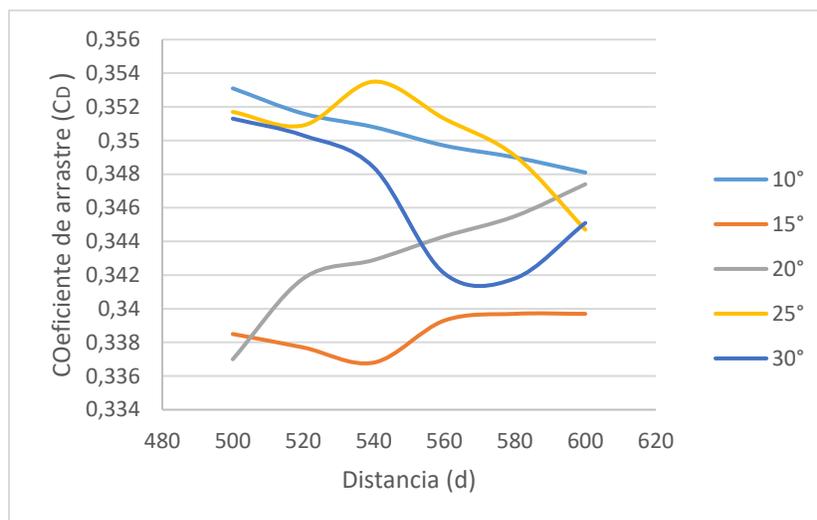
Gráfica 4: Cambios en Coeficiente de arrastre de acuerdo a la inclinación del parabrisas

³² Autoescuela.tv, Retrovisores, http://www.autoescuela.tv/seguridad_vial-18_52_13-Visibilidad-Retrovisores-Retrovisores



El difusor debajo de la carrocería también contribuye a la reducir el coeficiente de arrastre dependiendo del ángulo de inclinación de salida que este tenga, además de la longitud del cateto adyacente que este tenga. Al realizar diferentes estudios en los cuales se modificaba la distancia del cateto adyacente y el ángulo α , se encontró que el coeficiente de arrastre óptimo para el difusor debajo de la carrocería se encontraba a una distancia de 500 mm y un ángulo α de 20° o también a una distancia de 540mm a 15° . Ya que con las segundas medidas se puede dar mayores dimensiones al área del portaequipaje se eligió esta opción para conformar el perfil del automóvil.

Los estudios realizados se muestran en la tabla de abajo.



Gráfica 5: Cambios en coeficiente de arrastre de acuerdo a la inclinación del difusor

De esta manera se logra conformar el perfil aerodinámico de la vista lateral, cumpliendo con las características contenidas en el pliego de condiciones técnicas, además de cumplir con aspectos ergonómicos en cuanto a la visión del conductor. Todo esto partiendo desde el perfil NACA 63-215, como forma base de la carrocería y buscando tener una armonía con el diseño. El coeficiente de arrastre alcanzado por el perfil fue de **0.337**. (Los planos de este perfil se encuentran contenidos en el capítulo de anexos).

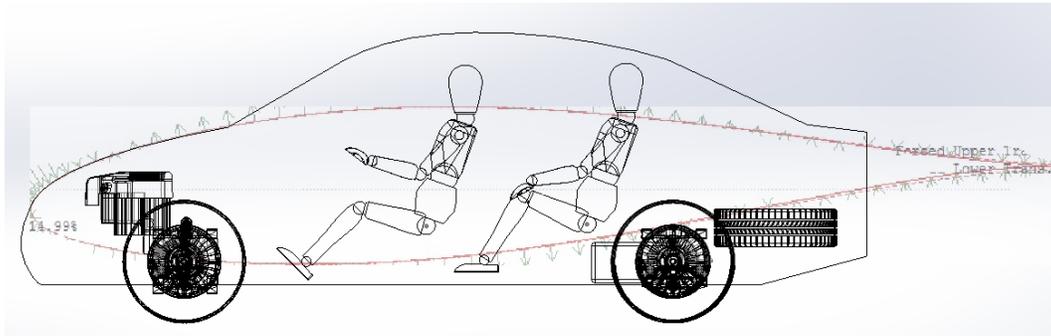


Ilustración 34: Perfil aerodinámico propuesto

6.2.2.- Estudio del modelo propuesto

El estudio se realizó a una extrusión del perfil de la carrocería con un espesor de 1.7 metros, que es la longitud del ancho del automóvil en las medidas generales. En el estudio se considera un flujo homogéneo y en una sola dirección.

Las características del estudio y la zona de pruebas se representan a continuación:

Parámetros para estudios de Coeficiente aerodinámico		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Velocidad	33.33	m/s
Presión	101325	Pa
Temperatura	288	K
Gravedad	-9.81	m/s ²
Rugosidad	0	micrometros
Intensidad de Turbulencia	0.1	%
Longitud de turbulencia	0.013643	m
Humedad	37	%
Densidad	1.225	Kg/m ³
Viscosidad Dinámica	1.79E-05	Ns/m ²
Viscosidad Cinemática	1.46E-05	m ² /s

Tabla 11: Parámetros para estudios de coeficiente aerodinámico.



Condiciones para estudios de Coeficiente Aerodinámico	
CONCEPTO	CONDICIÓN
Flujo	Externo
Fluido	Aire
Tipo de flujo	Laminar y turbulento
Condición térmica de pared	Adiabática
Eje de referencia de flujo	Eje Z

Tabla 12: Condiciones para estudios de coeficiente aerodinámico

Se consideran estas condiciones normalizadas para Gas Natural de acuerdo a ISO 13443, ISA y AEMA (15 °C y 1 atm)³³

El cálculo de la sección de ensayo viene expresado de acuerdo a la relación que existe entre el área frontal del vehículo y el área frontal del flujo de aire. Esta relación debe ser lo más pequeña posible y en la literatura se propone un valor $\varphi \approx 0.05$.

El área frontal del vehículo se obtiene tomando en cuenta el ancho y alto máximos del vehículo y multiplicándolos por un factor de forma “f” el cual tiene un valor de 0.81

Después se hace una comparativa con tablas para conocer el tipo de carro del cual se está refiriendo.

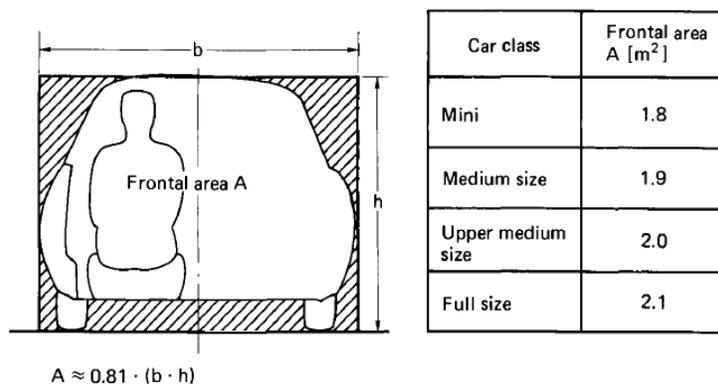


Ilustración 35: Relación entre tipo de carro y metros cuadrados de sección transversal del vehículo

³³ La ISA (siglas en inglés de Atmósfera Estándar Internacional) es una especificación de presión, temperatura, densidad y velocidad del sonido utilizada en aeronáutica y dinámica de fluidos. La ISA es representativa de las condiciones atmosféricas en latitudes medias.

AEMA son las siglas de la Agencia Europea del Medio Ambiente.



El valor adquirido para las características dimensionales del automóvil fue de $2.0655 \text{ m}^2 \approx 2 \text{ m}^2$. Por lo cual se concluye que es un automóvil de clase “medio superior”.

El área de la sección de ensayo resulta arrojar un valor de 40 m^2 . Debido a este cálculo se propone utilizar como dominio computacional para la prueba, las dimensiones del túnel de la empresa DNW (German Dutch Wind Tunnel) ya que son las que más se acercan al valor de la sección de ensayo calculado. Las dimensiones de dicho túnel vienen expresadas en la tabla__.

Dimensiones del Area de Prueba en base a túnel de DNW			
CONCEPTO	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Sección de Tobera	A_T	48	m^2
Longitud de la sección de ensayo	L_M	16	m
Velocidad máxima	V_{max}	400	Km/hr
Tipo de Sección de Ensayo	T_s	cerrado	--
Relación de Contracción	K	9	--

Tabla 13: Dimensiones del área de prueba en base a tunel de DNW

Se utilizó un *dominio computacional* que se refiere a la forma simplificada del dominio físico, tanto en términos de representación geométrica y condiciones de imposición de contorno. Esta forma simplificada debe conservar todas las características físicas importantes del problema, pero puede ignorar los detalles de menor importancia. Las dimensiones utilizadas fueron:

Dominio Computacional		
EJE	VALOR	UNIDAD
X	4	m
-X	-4	m
Y	6	m
-Y	0	m
Z	6.5	m
-Z	-9.5	m

Tabla 14: Dominio computacional de prueba



En los estudios se busca determinar y observar las siguientes características:

- Coeficiente de arrastre
- Coeficiente de Presión
- Cambio en las velocidades a lo largo de la trayectoria del fluido.
- Comportamiento del fluido antes, durante y después del contacto con el sólido.
- Comportamiento y zonas de turbulencia antes, durante y después del contacto con el sólido.

Los resultados arrojados por el solver de SolidWorks fueron los siguientes:

Coeficiente de arrastre (C_D)= 0.3692

Coeficiente de Presión (C_P)= -1.0715

Para el cálculo del **Coeficiente de Arrastre** se tomó en cuenta la fuerza de rozamiento y presión que ejerce el fluido gracias a su viscosidad. Estas fuerzas de rozamiento se relacionaron con el área transversal del vehículo, la velocidad inicial de la prueba y la densidad del mismo fluido, mediante la fórmula:

$$C_D = \frac{2Fd}{\rho Av^2}$$

Donde F_d es la suma de la resistencia debida al rozamiento y la resistencia debida a la presión, esta fuerza fue determinada por el mismo software. Los datos para calcular el área transversal fueron determinados por el ancho y lo alto del automóvil (1.7 y 1.5 metros respectivamente).

El **Coeficiente de Presión** relaciona la presión estática del fluido, la presión total, la densidad y la velocidad inicial mediante la siguiente fórmula:

$$C_P = \frac{P - P_\infty}{\left(\frac{\rho}{2}\right) v_\infty^2}$$

Este número describirá la presión relativa en cada punto a través del campo de flujo. Además, nos indicará en que zonas del vehículo existe sustentación positiva o negativa, la cual nos permite conocer si el vehículo tiene una sobrecarga en las llantas debido a las presiones que actúan sobre el o es ayudado por estas mismas para soportar el peso del vehículo y los pasajeros.

La siguiente tabla y gráfica demuestra cómo cambia el coeficiente de presión a lo largo de la longitud del vehículo. Para eso se crearon 13 puntos de referencia en el perfil del automóvil en los cuales se pudieron obtener los datos de la Tabla 15. Las celdas en verde muestran los valores máximos obtenidos y las celdas en rojo los valores mínimos.



X [m]	Y [m]	Z [m]	Medium	CP	Presión [Pa]	Velocidad [m/s]
0	0.528	0.01	Fluido	-1.322	101888.640	6.453
0	1.017	1.047	Fluido	-1.995	101430.890	9.325
0	1.455	1.868	Fluido	-2.596	101021.310	9.576
0	1.521	2.503	Fluido	-2.718	100938.790	36.624
0	1.445	3.093	Fluido	-2.575	101035.850	8.183
0	1.037	4.075	Fluido	-2.046	101395.640	3.402
0	1.007	4.382	Fluido	-2.121	101345.120	19.577
0	0.332	4.392	Fluido	-2.237	101265.770	11.827
0	0.181	3.843	Fluido	-2.205	101287.790	5.601
0	0.181	3.118	Fluido	-2.138	101332.960	4.767
0	0.176	1.224	Fluido	-2.158	101319.400	5.686
0	0.181	0.599	Fluido	-2.274	101240.890	4.390
0	0.191	0.09	Fluido	-2.087	101367.810	12.128

Tabla 15: Cambios en coeficiente de presión de acuerdo a la posición del fluido sobre la longitud del vehículo

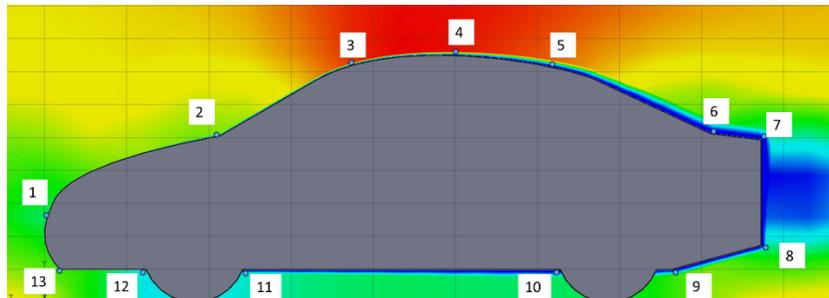
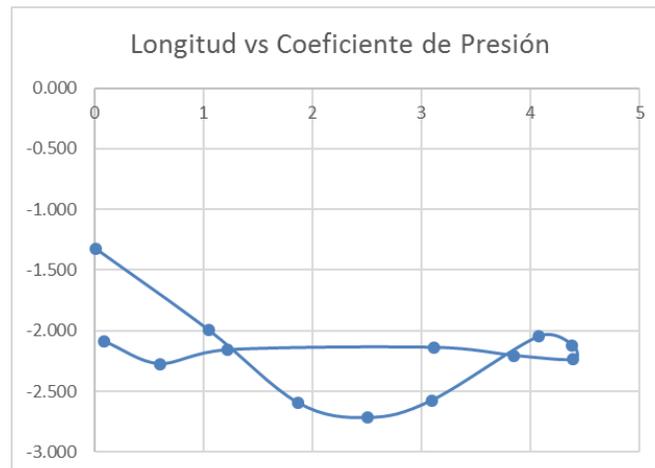
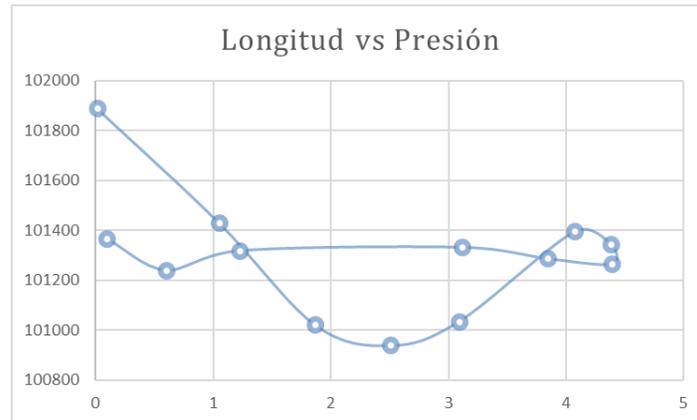


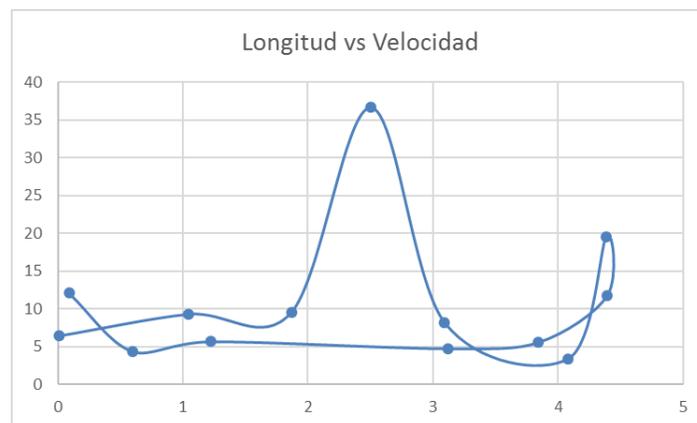
Ilustración 36: Visualización de puntos de prueba a lo largo del perfil vehicular



Gráfica 6: Variación en coeficiente de presión a lo largo del vehículo



Gráfica 7: Variación de la presión a lo largo del vehículo



Gráfica 8: Variación de la velocidad a lo largo del vehículo

Las gráficas longitud vs presión y longitud vs velocidad muestran las zonas en las que el fluido incrementa o decrece estos parámetros.

El flujo en la carrocería estará gobernado por el teorema de Bernoulli la cual muestra la relación entre la velocidad y la presión del fluido mediante la suma de la presión estática y dinámica del fluido y en la cual se deduce que a mayor presión exista en el fluido, menor será la velocidad del mismo.

$$P_{estática} + P_{dinámica} = P_{total}$$

La presión dinámica se debe a la inercia que se produce con el choque entre dos fluidos (o un fluido y un cuerpo), en el cual se generará un punto con presión adicional a la presión estática al momento del choque con el área transversal al movimiento.



$$P + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = P_{total}$$

Otro aspecto a considerar y visualizar son las turbulencias generadas por el fluido. Estas como se dijo anteriormente se deben a la viscosidad del fluido que es determinado por las fuerzas de rozamiento entre las partículas en contacto, que son la superficie del cuerpo y la zona del fluido que circula libremente. Esto ocasiona una capa límite de pocos milímetros de espesor en las zonas donde no se producen separaciones. De forma que podemos deducir que la capa límite depende de la velocidad del aire. Fuera de la capa límite el fluido se comporta como un fluido no viscoso.

Cuando existe un aumento de presión en dirección del flujo, la fuerza de rozamiento entre la superficie y el flujo aumenta y ocurre un gradiente de velocidad que aminora la velocidad de este. En las zonas de mayor presión por lo tanto existe una mayor tendencia del fluido a la separación de la superficie del cuerpo.

Cuando se considera la viscosidad y el punto de separación de la capa límite encontramos una diferencia entre los coeficientes de presión entre el punto de estancamiento (que es la zona anterior del carro ya que ahí la presión tiende a ser mayor y la velocidad tiende a ser cero) y la parte posterior del vehículo. Esta diferencia causa un efecto de “succión” que aumenta la resistencia aerodinámica del vehículo.

El número de Reynolds (el cual define si un fluido es laminar o turbulento) se ve involucrado en esta resistencia ya que con un número de Reynolds alto el coeficiente de presión aumentará y con esto la resistencia aerodinámica.

“Un criterio de diseño en el caso de los automóviles es hacer C_d lo más independiente posible del número de Reynolds.

La forma de conseguirlo es logrando que la separación del flujo se produzca en ciertos puntos, para cualquier condición. Por ejemplo, en el borde posterior del techo.

Por delante de estos puntos, la forma del vehículo se orienta a lograr que el flujo permanezca unido a la superficie, para lo cual la presión debe ser lo más alta posible para las diferentes condiciones del flujo libre” (Francisco, Carlos, & Vicente)

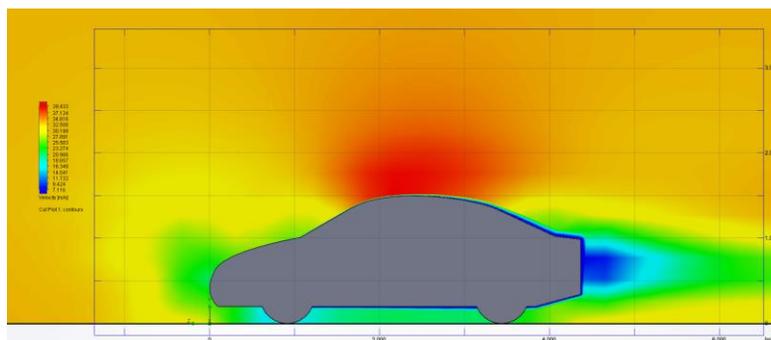


Ilustración 37: Variación en la velocidad del fluido mediante gradiente de colores.

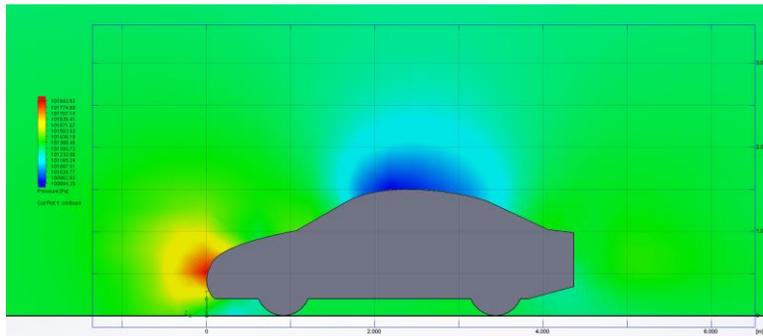


Ilustración 38: Variación en la presión del fluido mediante gradiente de colores

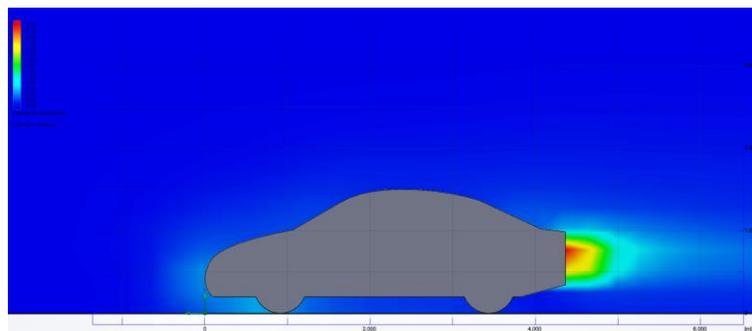


Ilustración 39: Visualización de turbulencia a lo largo del vehículo mediante gradiente de colores

En la visualización por gradiente de colores podemos observar lo analizado anteriormente, en la Ilustración 37 se muestran las zonas de alta y baja velocidad del flujo de aire que pasa por el automóvil, en contra parte con la segunda Ilustración 38 que muestra las zonas de mayor y menor presión. En la tercera imagen (Ilustración 39) se muestra la turbulencia que genera el fluido a lo largo de la carrocería. Se puede observar las zonas donde el porcentaje de turbulencia es mayor y, por lo tanto, existe una fuerza de succión que contribuye al aumento del coeficiente aerodinámico.

En la Ilustración 40 se muestran los valores arrojados por el solver de SolidWorks en el análisis. El valor del coeficiente de arrastre es negativo porque el sistema de



referencia en el modelado del vehículo está en la misma dirección que la punta del vehículo.

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
Drag Coefficient	-0.370972	Achieved (IT = 144)	0.0149282	-0.369222
GG Force (Z) 1	-643.661 N	Achieved (IT = 144)	25.9014 N	-640.626 N
GG Max Dynamic Pressur	993.993 Pa	Achieved (IT = 153)	8.74598 Pa	992.04 Pa
GG Max Static Pressure 1	102047 Pa	Achieved (IT = 144)	201.04 Pa	102041 Pa
GG Max Total Pressure 1	102775 Pa	Achieved (IT = 144)	212.455 Pa	102770 Pa
Pressure Coefficient	-1.06933	Achieved (IT = 157)	0.0419115	-1.07147

Ilustración 40: Captura de pantalla de resultados de la prueba.

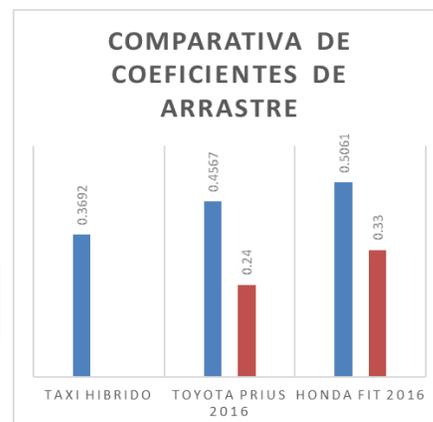
6.2.3.- Determinación y comparativa entre estado del arte y perfil propuesto.

Parte de esta tesis es verificar la variación mediante porcentajes entre el perfil propuesto y dos de los perfiles del apartado de Estado del Arte contenido en este trabajo de tesis.

Utilizando los mismos parámetros del estudio del perfil antes propuesto se determinaron los coeficientes de arrastre, zonas de presión, velocidad y turbulencia para el Toyota Prius 2016 y el Honda Fit 2016.

Esto servirá para localizar posibles mejoras posteriores al perfil propuesto. Los resultados obtenidos del coeficiente de arrastre se muestran en la siguientes tablas y gráficos.

Modelo	Coefficiente de arrastre Obtenido	Coefficiente de arrastre de Ficha Técnica
Taxi Híbrido	0.3692	
Toyota Prius 2016	0.4567	0.24
Honda Fit 2016	0.5061	0.33



Gráfica 9: Comparativa entre coeficientes de arrastre del perfil propuesto con vehículos de estado del arte

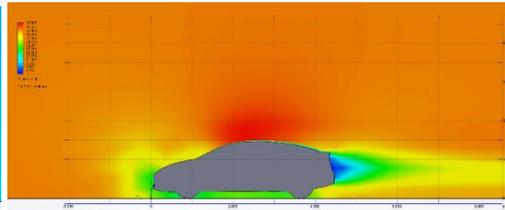
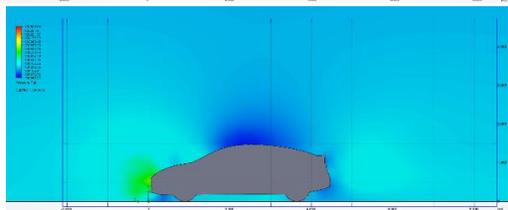
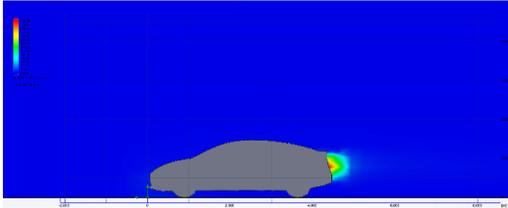
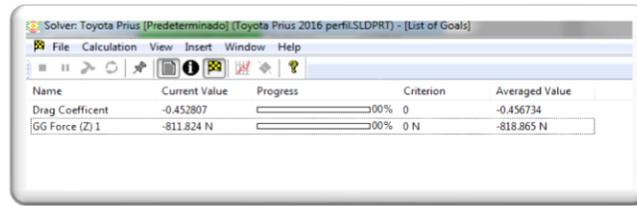


Ilustración 41: Resultados mediante gradiente de colores de perfil de toyota Prius 2016

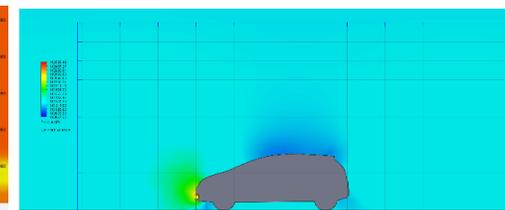
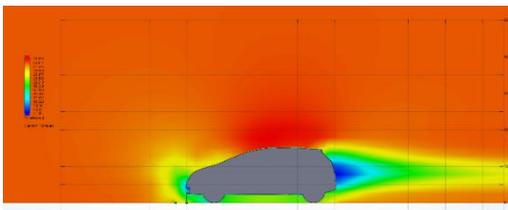
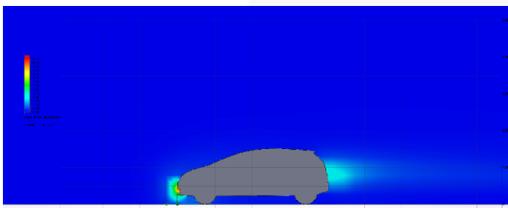
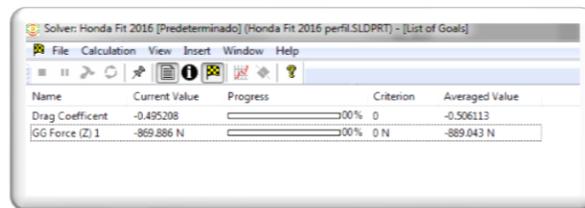
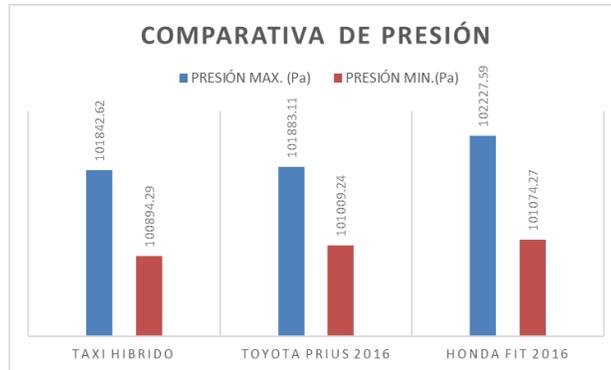
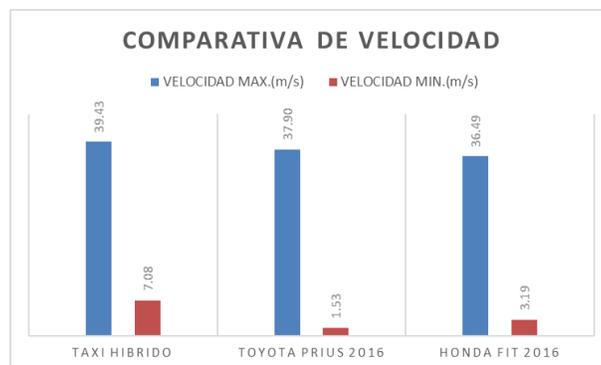


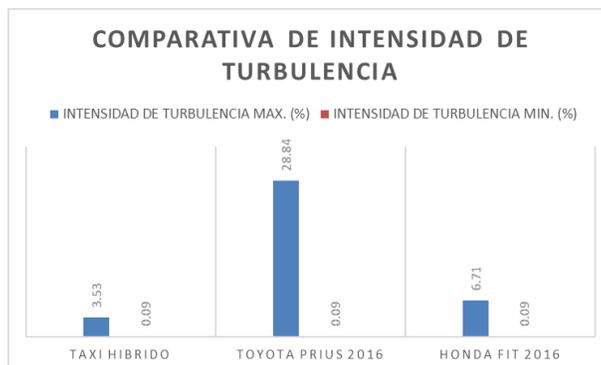
Ilustración 42: Resultados mediante gradiente de colores de Honda Fit 2016



Gráfica 10: Comparativa de presiones máxima y mínima del perfil generado contra estado del arte



Gráfica 11: Comparativa de velocidad máxima y mínima del perfil generado contra estado del arte



Gráfica 12: Comparativa de intensidad de turbulencia máxima y mínima del perfil generado contra estado del arte



La Gráfica 9 muestra la comparativa entre los coeficientes de arrastre obtenidos en la prueba por cada uno de los perfiles, además muestra el coeficiente indicado por la ficha técnica del Toyota Prius 2016 y del Honda Fit 2016. Como se puede apreciar los valores de la prueba en el caso del Toyota y Honda son mucho más altos que los valores de la ficha técnica, esto es porque la prueba que se realiza en este trabajo de tesis indica que solamente se probarán los perfiles laterales de los carros, modelando el perfil y realizando una extrusión del mismo a una dimensión indicada por las características del automóvil. Debemos recordar que una parte importante para mejorar la aerodinámica de un vehículo es realizar radios de curvatura en las aristas.

Otra de las posibles causas por las cuales el modelo del taxi híbrido sea el número más bajo hablando de coeficientes de arrastre es por la intensidad de turbulencia que maneja. A comparación del perfil del Toyota Prius que obtuvo un valor de 28.84%, la intensidad de turbulencia para el modelo del taxi híbrido tiene 3.53%, siendo este el más bajo.

Recordemos también que la diferencia de presiones entre la parte delantera del vehículo y la parte trasera generan una fuerza depresión que “succiona” el automóvil oponiéndose al avance. En las imágenes del código de colores puede apreciarse que el modelo propuesto para Taxi Híbrido cuenta con una menor diferencia de presiones por lo cual genera una menor fuerza. Esto beneficia la disminución del coeficiente de arrastre del vehículo.

7.- Conclusiones

- Desde la etapa de QFD se determinó que la geometría del vehículo toma un papel importante para un buen rendimiento de motor, que es un aspecto de gran importancia para los compradores.

- Los estudios aerodinámicos por medio de software de computadora CFD, pueden ser de gran ayuda para dar una idea del comportamiento del fluido, sin embargo, es importante destacar que estos estudios no arrojan resultados exactos del comportamiento de los fluidos.

- Los estudios aerodinámicos más exactos son los realizados en túneles de viento físicos, sin embargo, aunque en la UNAM se encuentran 6 de estos túneles. La FES Aragón no cuenta con ninguno de ellos para pruebas de dinámica de fluidos.

Por lo que se justifica el uso de software computacional como forma alterna para el desarrollo de este tipo de proyectos, considerando las desviaciones en los resultados con el comportamiento real de los fluidos.

-Existen muchas variables que pueden afectar la aerodinámica del vehículo y con ello sus prestaciones de rendimiento al motor. Pueden ser desde cambios climáticos (como lluvia, ráfagas de viento, etc.), cambios en la geometría (ángulos muy abiertos o cerrados, aristas sin redondear, etc.), o cambios propiciados por el mismo



usuario (abrir las ventanas mientras se maneja, acelerar demasiado, utilizar accesorios que no fueron diseñados para el vehículo, etc.).

- El perfil alar NACA 63-215, utilizado para el modelado de la parte delantera del perfil del carro, propició el paso del fluido a una velocidad aproximada de 82 a 97 Km/hr en una prueba de 120 km/hr utilizando un ángulo de ataque de -2.5° .

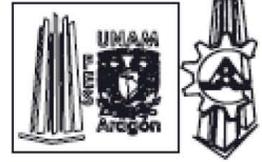
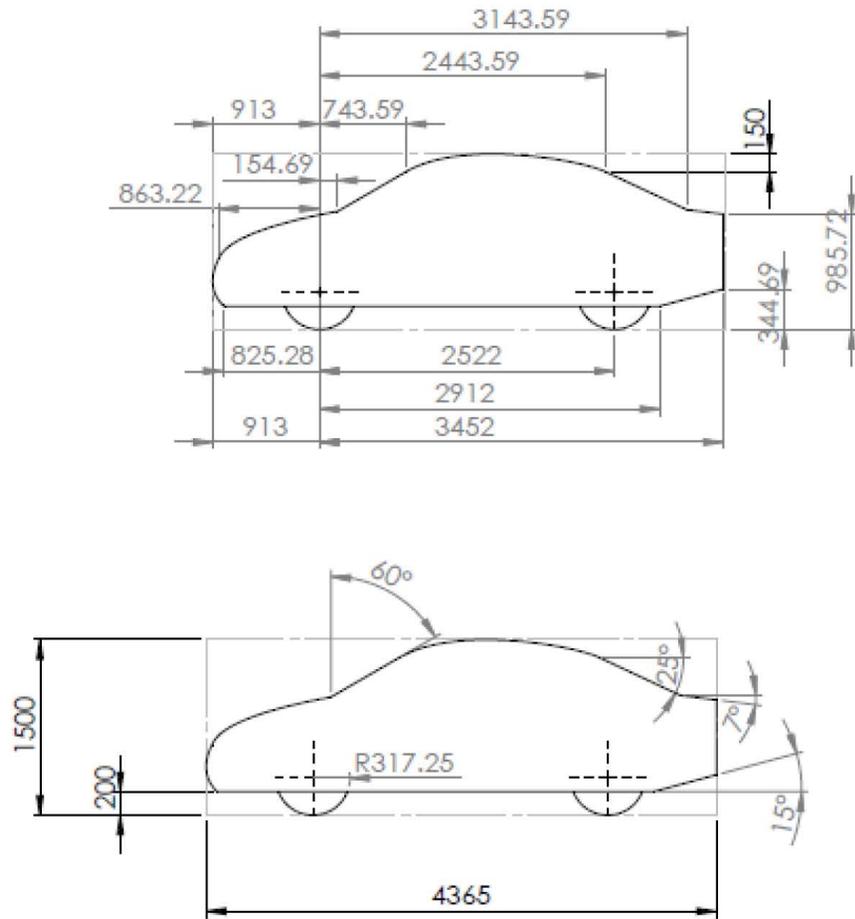
El régimen laminar del fluido se logra aumentando la velocidad desde la parte delantera (82 Km/hr) hasta el final del techo (133.2 Km/hr) donde se llega al punto de separación de la capa límite y empieza a disminuir la velocidad. Esto conlleva a una diferencia de presiones que forman las turbulencias.

En el estudio se nota que delante de la carrocería se forma una pequeña turbulencia y disminución de la velocidad del fluido en la parte delantera (120 Km/hr a 108.66 Km/hr).

- La parte trasera de los vehículos es la que más afecta el coeficiente de arrastre, ya que en ella se lleva a cabo un efecto de succión debido a la diferencia de presiones. El cambio de velocidad es de 133.2 Km/hr a 25.2 Km/hr.

Para ello, la primera idea era utilizar una terminación llamada “Kammback” sin embargo, las restricciones por parte de la SEMOVI hacia los vehículos que prestan el servicio de taxi fue un aspecto importante para el rediseño de la parte trasera.

- Es conveniente que en un futuro se realice un estudio 3D, en el cual se mantenga el mismo perfil, pero se modifique los radios de curvatura en las aristas y punta del vehículo. Este estudio servirá como una segunda fase, en la cual, al término podrán contemplarse materiales y forma de manufactura de la carrocería.



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Taxi Híbrido

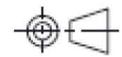
Pieza:
Ángulos y Dimensiones

Plano No. :
AERO-5100-A

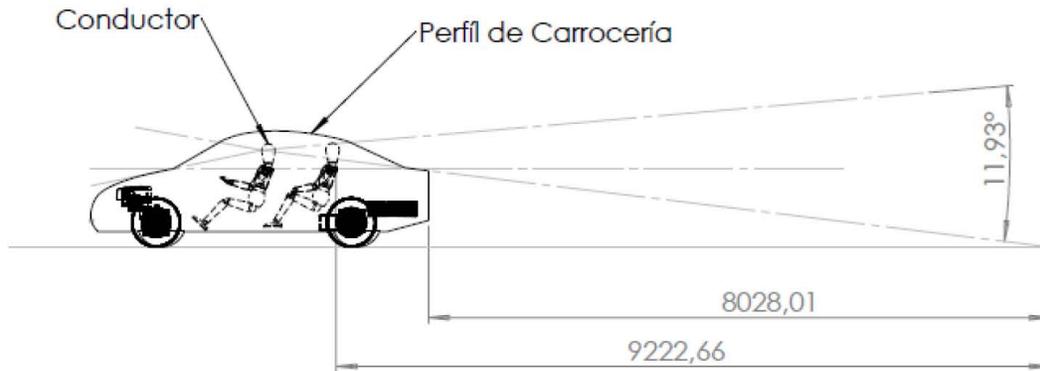
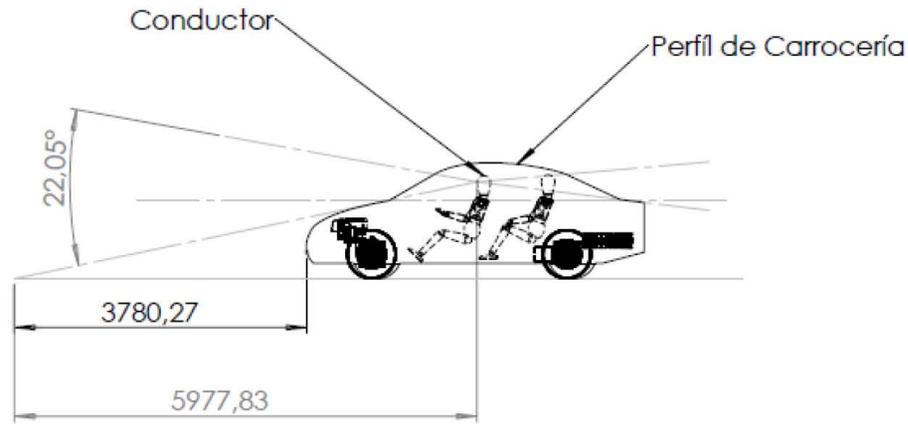
Dibujo: LARM Cotas: mm

Revisó: HMA Escala: 1:50

Aprobó: HMA Fecha Rev: 22/03/2017



ANSI B



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Taxi Híbrido

Pieza: Angulos de visibilidad de
conductor y distancias de visión.

Plano No. :
AERO-5100-B

Dibujó: LARM Cotas: mm

Revisó: HMA Escala: 1:75

Aprobó: HMA Fecha Rev:



ANSI A



Referencias

- BOSCH. (1996). *Manual de la técnica del automóvil 3a Edición*. Reverté.
- Chaurand, R. Á., Prado León, L. R., & Gonzalez Muñoz, E. L. (2007). *"Dimensiones Antropométricas de Población Latinoamericana"*. Guadalajara, Jalisco: CUARO.
- F. A., C. V., & V. D. (s.f.). *Teoría de los vehículos automóviles*. Madrid: Dextra.
- Gómez Morales, T., Martín Navarro, J., Águeda Casado, E., & García Jiménez, J. L. (2010). *Estructuras del Vehículo*. Madrid, España: Paraninfo.
- Hucho, W.-H. (1981). *Aerodynamics of Road Vehicles From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering*. Würzburg: Butterworth-Heinemann.
- J.A., Roebuck; , K.H.E Kroemer ; , W.G. Thomson;. (1996). *Anthropometric methods designing to fit the human body*. Santa Monica, California, USA: Human Factors and Ergonomic Society.
- Mott, R. L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Dayton, Ohio: Pearson.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Pearson Educación .
- Paz, S. P. (2013). El perfil alar y su nomenclatura NACA. *Ciencia y Poder Aéreo*.
- Santos, C. M. (2011). *Determinación del comportamiento Aerodinámico de un vehículo en movimiento* . Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Tumminelli, P. (s.f.). *Car Design*. teNeues Publishing Group.