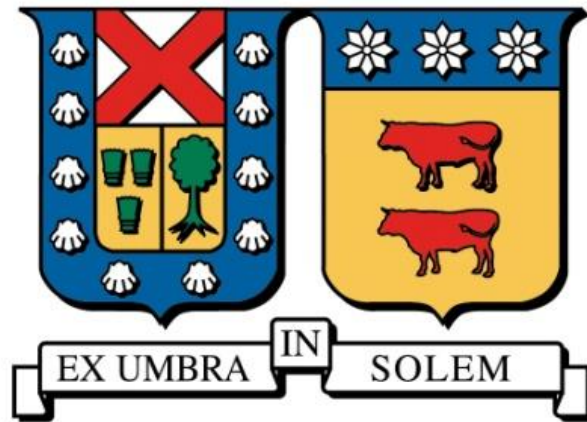


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO – CHILE



**“Diseño de Laboratorio Móvil y Material Audiovisual
para Medición de Material Particulado Vehicular en
Condiciones Reales de Operación”**

KEVIN AXEL ESPINDOLA

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**PROFESOR GUÍA: DR. MAURICIO OSSES
PROFESOR CORREFERENTE: DR. GERMÁN AMADOR**

2022

Agradecimientos

Quisiera agradecer a toda mi familia y a mi círculo más cercano por el apoyo incondicional brindado a lo largo de mis años como estudiante y por haber creído en mí. Adicionalmente para todas aquellas personas que fueron guiando mi camino hasta este punto; profesores, compañeros, amigos y familiares.

Este trabajo está dedicado a mis nonos, Ángel y María, quienes siempre me inculcaron el valor del esfuerzo y del trabajo, y que, a pesar de la distancia, estuvieron en los momentos más difíciles de mi vida. No solo son mis amados abuelos, sino que siempre los consideraré como mis padres.

Resumen

Con el paso de las décadas se ha podido observar un considerable aumento en la emisión de contaminantes atmosféricos, siendo las principales responsables, las fuentes de origen antropogénico. Un sector que ha cobrado real importancia en esta problemática es el transporte. Los medios de transporte no solo facilitan el acceso a empleos, educación, mercados, sino que, además, tienen un rol fundamental en el desarrollo económico de los países. Pese a ello, la popularización de esta tecnología, el continuo uso de combustibles fósiles y el gran daño medioambiental generado por las emisiones atmosféricas de este sector han opacado las grandes virtudes alcanzadas.

A nivel internacional, durante los últimos años se han realizado una serie de revisiones a la metodología de evaluación y homologación de vehículos. En el caso de determinados contaminantes, se ha podido observar la existencia de una discrepancia significativa entre las mediciones realizadas en el laboratorio y el comportamiento “real” del vehículo. Para corregir estas deficiencias, distintos países del mundo han empezado a incorporar a sus procesos de homologación, información obtenida a través de sistemas portátiles de monitoreo de emisiones (PEMS, Portable Emissions Measurement Systems), complementando los datos generados en los dinamómetros de chasis tradicionales.

De esta manera es que nace el Proyecto ANID FONDEF IDeA I+D ID18I10297, donde se enmarca el presente trabajo, el cual busca dar solución a una serie de problemáticas asociadas a la futura incorporación en Chile de la normativa EURO 6, proceso caracterizado por introducción del ensayo de mediciones bajo condiciones reales de operación, también conocido como ensayo RDE. Así, el objetivo general de este trabajo consistió en diseñar e implementar un laboratorio móvil multitareas con la finalidad de utilizarlo en la realización de ensayos de emisiones, además de brindar una instalación adecuada para la elaboración de diversas charlas informativas.

En base a lo anterior, y fijados los objetivos específicos, se establecieron 3 pilares de trabajo: diseño y equipamiento de laboratorio, diseño y validación de rutas de conducción para la realización de ensayos de emisiones, y finalmente, la realización de un documental que sería presentado en las charlas informativas, donde el trabajo desarrollado se enfocaría principalmente en la elaboración de un guion utilizado en la producción audiovisual de dicho documental.

Como resultado, fue posible diseñar y equipar un laboratorio con el espacio suficiente para que las distintas modalidades de trabajo puedan ser llevadas a cabo cómodamente. Además, se logró diseñar una ruta válida para su utilización en un ensayo de emisiones RDE, y finalmente contribuir en la elaboración del material de difusión audiovisual correspondiente.

De esta manera fue posible concluir, en base a los resultados obtenidos, que el objetivo principal de la presente memoria fue cumplido exitosamente. Pese a ello, este proceso no estuvo exento de complicaciones, siendo el proceso de montaje del laboratorio, uno de los principales temas que requieren una mayor atención en trabajos próximos a desarrollar.

Abstract

Over the decades, there has been a considerable increase in the emission of atmospheric pollutants, the main culprits being anthropogenic sources. One sector that has gained real importance in this problem is transportation. Means of transport not only facilitate access to jobs, education and markets, but also play a fundamental role in the economic development of countries. However, the popularization of this technology, the continued use of fossil fuels and the great environmental damage caused by atmospheric emissions from this sector have overshadowed the great virtues achieved.

Around the world, in recent years a number of revisions have been made to the methodology for vehicle evaluation and type approval. In the case of certain pollutants, it has been observed that there is a significant discrepancy between the measurements taken in the laboratory and the "real" behavior of the vehicle. To correct these deficiencies, various countries around the world have begun to incorporate information obtained from portable emission monitoring systems (PEMS, Portable Emissions Measurement Systems) into their homologation processes, complementing the data generated by traditional chassis dynamometers.

This is how the ANID FONDEF IDeA I+D ID18I10297 Project was born, in which the present work is framed, which seeks to solve a series of problems associated with the future incorporation in Chile of the EURO 6 regulation, which is characterized by the introduction of the test of measurements under real operating conditions, also known as RDE test. Thus, the general objective of this work was to design and implement a mobile multitasking laboratory in order to use it for emission tests, in addition to providing a suitable facility for conducting various informative lectures.

Based on the above, and having set the specific objectives, 3 work pillars were established: laboratory design and equipment, design and validation of driving routes for conducting emission tests, and finally, the production of a documentary that would be presented in the informative talks, where the work developed would focus mainly on the development of a script used in the audiovisual production of the documentary.

As a result, it was possible to design and equip a laboratory with enough space for the different work modalities to be carried out comfortably. In addition, it was possible to design a valid route to be used in an RDE emissions test, and finally, to contribute to the elaboration of the corresponding audiovisual dissemination material.

Thus, it was possible to conclude, based on the results obtained, that the main objective of this report was successfully achieved. Nevertheless, this process was not free of complications, being the laboratory assembly process one of the main issues that require further attention in future works.

Glosario

CARB	California Air Resource Board
COV	Compuesto Orgánico Volátil
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPC	Condensation Particle Counter
DOC	Diesel Oxidation Catalyst
DPF	Diesel Particulate Filter
DMA	Differential Mobility Analyzer
DMS	Differential Mobility Spectrometer
DC	Diffusion Charger
ELPI	Electrical Low Pressure Impactor
EPA	Environmental Protection Agency
EGR	Exhaust Gas Recirculation
GEI	Gas de Efecto Invernadero
LII	Laser-Induced Incandescence
LEV	Low Emission Vehicle
NEDC	New European Driving Cycle
NEE	Non Exhaust Emissions
NTE	Not to Exceed
NO	Óxido Nítrico
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno
PMP	Particle Measurement Program
PM	Particulate Matter
PN	Particulate Number
PASS	Photoacoustic Soot Sensor
PEMS	Portable Emissions Measurement System
PCV	Positive Crankcase Ventilation Valve
RDE	Real Driving Emissions
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer
SCR	Selective Catalytic Reduction
TWC	Tree Ways Catalyst
UE	Unión Europea
VAM	Vehicule Activity Monitor
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure

Tabla de Contenidos

Introducción	8
Objetivos	14
1 Marco Conceptual	15
1.1 Caracterización de partículas	15
1.2 Formación de material particulado.....	18
1.3 Métodos e instrumentos de medición de material particulado	24
1.4 Normativa internacional.....	32
2 Diseño y montaje de laboratorio móvil	40
2.1 Metodología	40
2.2 Dimensionamiento de laboratorio	48
2.3 Adquisición de equipos	48
2.4 Montaje de laboratorio	54
3 Diseño y validación de rutas de conducción RDE	63
3.1 Metodología	63
3.2 Rutas de conducción propuestas	69
3.3 Validación de rutas.....	73
4. Elaboración de material de difusión audiovisual	90
4.1 Metodología	90
4.2 Proceso de elaboración.....	91
4.3 Texto Base.....	92
5. Conclusiones Generales	113
6. Conclusiones Especificas	114
7. Recomendaciones.....	117
6. Bibliografía	119
7. Anexos.....	124

Lista de Figuras

Figura 1: Composición de partículas emitidas por motores de combustión interna [3]	15
Figura 2: Parámetros que caracterizan los aglomerados de partículas y las partículas sólidas individuales. Fuente: [3].....	16
Figura 3: Partículas típicas formadas en un motor de combustión interna a través de los métodos de nucleación, acumulación y grueso. Fuente: [9].....	17
Figura 4: Distribución del tamaño de las partículas formadas como resultado de la nucleación y agregación en los gases de escape de un motor de combustión. Fuente: [47].....	18
Figura 5: Formación de hollín (soot) para motores Diesel en función de la temperatura y el factor “λ” [3]	19
Figura 6: Vista esquemática del proceso de formación de material particulado. Fuente: [9]	21
Figura 7: Proceso de formación de material particulado. Fuente: [9]	22
Figura 8: Principios de trabajo en métodos ópticos. Fuente [11]	26
Figura 9: Contador de partículas de condensación de flujo continuo (CPC). Fuente [11].....	27
Figura 10: Principio de funcionamiento del sensor fotoacústico y de la incandescencia inducida por láser. Fuente [11].....	28
Figura 11: Esquema de un cargador de difusión. Fuente: [11].....	30
Figura 12: Esquema de un SMPS. Fuente [16]	30
Figura 13: Esquema de un FMPS. Fuente: [11]	31
Figura 14: Esquema de un ELPI. Fuente: [11].....	32
Figura 15: Evolución en la normativa asociada a las emisiones vehiculares Fuente: [4]	33
Figura 16: Limite de emisiones de vehículos a gasolina a nivel global. Fuente: [13].....	36
Figura 17: Resumen de requisitos para garantizar validez de ensayo realizado [18].....	39
Figura 18: Superficie de trabajo considerada de la Modalidad 1 [21]	43
Figura 19: Dimensiones de silla plegable disponible en el mercado [20].....	44
Figura 20: Distribución de sillas de tipo Filas.....	45
Figura 21: Distribucion de sillas de tipo Columns	45
Figura 22: Arreglo de sillas para la modalidad 3	46
Figura 23: Distribucion de las diversas zonas de trabajo para una superficie de 48 m ²	48
Figura 24: Distribucion de las diversas zonas de trabajo para una superficie de 42 m ²	52
Figura 25: Proceso de compra de productos	53
Figura 26: Carpa modelada mediante la utilización de Autodesk Inventor	54
Figura 27: Montaje digital de equipos bajo Modalidad 1	55
Figura 28: Montaje digital de equipos bajo Modalidad 2	56
Figura 29: Montaje digital de equipos bajo Modalidad 3	57
Figura 30: Plano de armado de carpa entregado por el fabricante	58
Figura 31: Proceso de montaje de carpa.....	58

Figura 32: Proceso de armado de arcos.....	59
Figura 33: Colocación de correas.....	60
Figura 34: Avances alcanzados tras 4,5 horas de trabajo.....	60
Figura 35: Ficha técnica de VAM utilizada para la medición de condiciones dinámicas. Fuente [28]	67
Figura 36: Interfaz de usuario de software utilizado.....	68
Figura 37: Principales autopistas urbanas disponibles en Santiago de Chile [27]	69
Figura 38: Trazado realizado por Google Maps para la Ruta Sur [30]	70
Figura 39: Trazado realizado por Google Maps para la Ruta Oriente [30].....	71
Figura 40: Trazado realizado por Google Maps para la Ruta Central [30]	72
Figura 41: Vehículo y equipos utilizados para la medición de condiciones dinámicas del mismo	73
Figura 42: Trazado del recorrido realizado mediante GPS Visualizer (Ruta Sur)	74
Figura 43: Discontinuidades presentes en el trazado del trayecto realizado (Ruta Sur).....	75
Figura 44: Conexión subterránea Autopista Vespucio Sur – Acceso Sur.....	75
Figura 45: Cambio de vía descubierta a subterránea en la autopista Acceso Sur.....	76
Figura 46: Gráfico de Velocidad vs Tiempo en el tramo donde se presentaron las desconexiones de la VAM.....	78
Figura 47: Trazado del recorrido realizado mediante GPS Visualizer (Ruta Oriente).....	79
Figura 48: Tramos con discontinuidades presentes en el trayecto realizado (Ruta Oriente)	80
Figura 49: Vía utilizada en el primer tramo de desconexiones. Fuente: Google Street View [31] ...	81
Figura 50: Vía utilizada en el tercer tramo de desconexiones. Fuente: Google Street View [31] ...	82
Figura 51: Gráfico de Velocidad vs Tiempo en el tramo donde se presentaron las desconexiones de la VAM.....	82
Figura 52: Tramo con posibles problemas de conexión en la Ruta Central [30]	85
Figura 53: Trazado realizado por Google Maps para la Ruta Poniente [30]	86
Figura 54: Trazado del recorrido realizado mediante GPS Visualizer (Ruta Poniente).....	87
Figura 55: Gráfico de Velocidad vs Tiempo en el tramo donde se presentaron las desconexiones de la VAM.....	88
Figura 56: Proceso de formación y emisión de contaminantes atmosféricos [48]	93
Figura 57: Emisiones anuales de CO ₂ de combustibles fósiles por región del mundo [34].....	94
Figura 58: Fuentes de emisión de GEI por sector productivo para el año 2020 [34].....	94
Figura 59: Tipos de emisiones vehiculares. Fuente [49].....	97
Figura 60: Distribución de tamaño de partícula de un flujo de escape según modo de crecimiento].....	99
Figura 61: Tecnologías de control de emisiones de un motor Diesel [47]	102
Figura 62: Laboratorio de homologación de vehículos [51]	105
Figura 63: Automóvil realizando un ensayo RDE, mediante el uso de PEMS [12].....	106
Figura 64: Efectos adversos de contaminantes vehiculares sobre el cuerpo humano [33].....	109

Lista de Tablas

Tabla 1: Métodos e instrumentos utilizados para la medición de PM.. Fuente [11]	19
Tabla 2: Límites para emisiones de vehículos ligeros para la normativa Euro V y Euro VI	28
Tabla 3: Límites para emisiones de vehículos ligeros de la normativa Tier 3, Fuente:[17].....	29
Tabla 4:Factores de conformidad para NOX y material particulado para normativa Euro [18]	32
Tabla 5: Presupuesto disponible para la adquisición de nuevos componentes.....	34
Tabla 6: Dimensiones establecidas para cada modalidad de trabajo.....	41
Tabla 7: Dimensiones estimadas para cada zona de trabajo requerida	41
Tabla 8: Resultado de cotizaciones solicitadas para la categoría Infraestructura.....	43
Tabla 9: Resultado de cotizaciones solicitadas para la categoría Equipos	43
Tabla 10: Resultado de cotizaciones solicitadas para la categoría Fungibles	43
Tabla 11: Especificaciones técnicas para PVC Covernil según proveedor	45
Tabla 12: Proveedores seleccionados para la adquisición de productos	45
Tabla 13: Resultado del proceso de adquisición de productos.....	47
Tabla 14: Requerimientos de viaje para un ensayo RDE.....	57
Tabla 15: Características de diseño seleccionadas de los requisitos de viaje del ensayo RDE.....	58
Tabla 16: Tipo de vía utilizada según el tipo de conducción a realizar	59
Tabla 17:Características de interés de la Ruta Sur	64
Tabla 18: Características de interés de la Ruta Oriente.....	65
Tabla 19: Características de interés de la Ruta Central.....	66
Tabla 20: Resumen de datos entregados por la VAM tras la realización de rutas Sur y Oriente.....	67
Tabla 21: Resumen de datos ya filtrados para las rutas Sur y Oriente	68
Tabla 22: Resultado de cumplimiento de requerimientos de ruta bajo estándar RDE - Ruta Sur.....	70
Tabla 23: Resultado de cumplimiento de requerimientos de ruta bajo estándar RDE - Ruta Centro	76
Tabla 24: Características de interés de la Ruta Poniente.....	79
Tabla 25: Resumen de datos entregados por la VAM tras la realización de Ruta Poniente con y sin filtrado.....	80
Tabla 26: Resultado de cumplimiento de requerimientos de ruta bajo estándar RDE para la Ruta Poniente.....	81
Tabla 27: Tecnologías de control de emisiones vehiculares	94

Introducción

Con el paso de los años se ha podido observar un considerable aumento en la emisión de contaminantes atmosféricos, siendo las principales responsables, las fuentes de origen antropogénico. El desarrollo tecnológico en todos los campos de la industria ha hecho necesaria la continua verificación de las condiciones de trabajo de los diversos equipos utilizados, con el objetivo de analizar y estudiar el impacto que estos generan.

Un sector que ha cobrado real importancia, tanto por su rol en la vida de las personas como en el medioambiente, es el transporte. Los medios de transporte no solo facilitan el acceso a empleos, educación, mercados, entre otros servicios, sino que, además, tienen un rol fundamental en el desarrollo económico de los países del mundo. La contracara de estas virtudes está relacionada con la emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos generados por el funcionamiento de estos equipos. Es por esto que, en las últimas décadas, mantener la calidad del aire en niveles adecuados se ha convertido en uno de los mayores retos a los que se enfrenta la sociedad actual y en un gran desafío para el progreso tecnológico.

Particularmente la industria automotriz está reconocida como una rama de desarrollo muy dinámica. Durante mucho tiempo los vehículos y motores a combustión interna han desempeñado un papel importante en la vida cotidiana de las personas. Pese a esto, representan también una amenaza debido a sus diversos efectos negativos, tanto en la salud humana como en el medioambiente.

Los vehículos no solo son responsables de la generación de gases de combustión (CO_x , NO_x , SO_x) sino también de la formación de pequeñas partículas, principalmente como resultado de una combustión incompleta al interior de un motor de combustión interna.

El concepto de material particulado (PM) se introdujo a partir de los años 70, y en el contexto de emisiones vehiculares, hace referencia a toda la materia, sólida o líquida, orgánica o inorgánica, que se acumula en un filtro, el cual atrapa partículas de dimensiones superiores a 300 nm, tras el paso de la corriente de escape diluida con aire a una temperatura de $52 \pm 3^\circ\text{C}$ [3].

A pesar de la definición antes entregada, el concepto de partículas es ambiguo dado que:

- Presenta heterogeneidades en cuanto a dimensiones y formas.
- Corresponde a una mezcla irregular de compuestos químicos.
- No puede definirse de forma precisa ni física ni químicamente.

La generación de partículas es una amenaza importante para el ser humano y constituye un obstáculo para el desarrollo de los motores de combustión interna modernos, especialmente para aquellos con inyección directa de combustible. Los efectos nocivos del material particulado sobre el medio ambiente y los organismos vivos se deben a que, dadas sus pequeñas dimensiones, las partículas

permanecen en el aire durante mucho tiempo y se absorben fácilmente a través del sistema respiratorio, alojándose en los alveolos pulmonares. Esto implica la penetración en el organismo de metales pesados, compuestos de nitrógeno, azufre y diversos hidrocarburos, entre los que se pueden encontrar sustancias que, directa o indirectamente, son cancerígenas. Por otro lado, las partículas pueden causar graves problemas en el medioambiente, tales como el cambio en el balance de radiación de la Tierra, el cambio en la formación de nubes, la contribución al calentamiento global y la reducción de la visibilidad a través de la formación de smog.

La creciente visibilización y concienciación sobre los riesgos medioambientales es la razón por la que en muchos países se han dictado disposiciones que buscan regular los límites para la emisión de estos compuestos tóxicos, lo que ha contribuido en gran medida, al desarrollo de estudios sobre el origen y la naturaleza física y química de las emisiones y a la búsqueda de nuevas tecnologías para limitarlas.

La implementación de estándares de emisión cada vez más exigentes ha implicado procedimientos más precisos en el monitoreo de los contaminantes expulsados por el sistema de escape de los vehículos a homologar. A nivel internacional, durante los últimos años se han realizado una serie de revisiones a la metodología de evaluación y homologación asociada a la normativa Euro 5 y Euro 6. En el caso de determinados contaminantes, se ha podido observar que existe una discrepancia significativa entre las mediciones realizadas en el laboratorio (proceso de homologación) y el comportamiento “real” del vehículo, conocido como operación “en ruta”. Para corregir estas deficiencias en la determinación del cumplimiento de estándares de emisión, los países de la Unión Europea han empezado a incorporar a sus procesos de homologación información obtenida a través de sistemas de monitoreo de emisiones portátiles (PEMS, Portable Emissions Measurement Systems), complementando los datos generados en los dinamómetros de chasis tradicionales que se emplean en laboratorios.

En el caso de compuestos gaseosos, el uso de equipos comerciales PEMS permite monitorear en forma precisa las concentraciones y el flujo másico de gases expulsados por el tubo de escape de un vehículo (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos totales no quemados, etc). Sin embargo, al tratarse de emisiones de material particulado, los equipos que se utilizan como PEMS son más complejos y costosos. En general, para medir correctamente el material particulado se debe incluir un dispositivo que permita diluir la muestra que ingrese al analizador de partículas. Este dilutor normalmente está restringido a la marca del equipo PEMS al cual se conectará siendo, además de costoso, poco versátil para conectar a otros equipos analizadores de partículas.

De esta manera es que nace el Proyecto ANID FONDEF IDeA I+D ID18I10297 el cual busca implementar un laboratorio portátil que permita la medición de emisiones, gases y partículas, en una modalidad llamada “en ruta”. Para ello se desarrollará un dispositivo denominado Dilutor, el cual sea posible integrar a equipos PEMS convencionales existentes y a diversos monitores de partículas.

Lo anterior permitiría acceder a un sistema de registro de emisiones “en ruta” de menor costo y versátil, tanto de gases como de partículas, dándole además un uso adicional a aquellos PEMS convencionales que existen en el mercado de un determinado fabricante y que no tienen la opción de integrar los nuevos desarrollos para partículas que ofrece el mismo fabricante.

Esta propuesta tiene como valor agregado el desarrollar e integrar un dispositivo adicional para el registro de actividad vehicular (VAM unit, Vehicle Activity Monitoring) que permitirá registrar las variables de movimiento de los vehículos medidos, de forma de poder ajustar los resultados monitoreados por el sistema de medición de emisiones “en ruta”. Adicionalmente se buscará desarrollar protocolos nacionales de medición, de acuerdo con las normas internacionales europeas, que exigen procedimientos de ensayo de emisiones en condiciones reales de conducción (RDE, Real Driving Emissions).

Objetivos

El objetivo general del trabajo es diseñar e implementar un laboratorio móvil con la finalidad de realizar mediciones de material particulado de origen vehicular bajo condiciones reales de operación. Dichas mediciones serán realizadas en rutas establecidas en la Región Metropolitana en la cual se consideren distintos tipos de conducción. Este trabajo se desarrolla en el marco del proyecto ANID FONDEF IDeA I+D ID18I10297, cuyo título es “Sistema de medición en ruta de emisiones contaminantes y actividad vehicular”, proyecto liderado por la Universidad Técnica Federico Santa María en colaboración con la Universidad Tecnológica Metropolitana.

A partir de lo anterior se establecieron como objetivos específicos:

- Diseñar y equipar un laboratorio móvil utilizado para la realización de mediciones y charlas de capacitación.
- Definir rutas para medición de emisiones que cumplan los requisitos EURO 6 de conducción real.
- Validar circuitos de conducción con vehículo instrumentado para dinámica de conducción y emisiones.
- Realizar material de difusión audiovisual sobre emisiones de material particulado vehicular.

1 Marco Conceptual

1.1 Caracterización de partículas

Dentro de un motor, la combustión completa de combustible, compuesto exclusivamente de carbono e hidrógeno, solamente generaría dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). Sin embargo, el corto tiempo disponible para que se realicen las reacciones de oxidación, la falta de homogeneidad en la mezcla aire-combustible, así como diferencias de temperatura dentro del cilindro, no permiten el estado de equilibrio termodinámico necesario para que se produzca la combustión completa. Esto, sumado a una baja calidad de los combustibles y a la presencia de posibles impurezas, da como resultado la formación de diversos contaminantes vehiculares, entre los que se encuentra el material particulado.

Las partículas contenidas en los gases de escape de un motor de combustión interna corresponden a un sistema polidisperso, formado por partículas de diferente tamaño, forma y composición. Dichas características dependen en gran medida de la ubicación y la temperatura dentro del sistema motor-escape-ambiente, donde, dependiendo del tipo de pruebas realizadas, se capturan distintos tipos de partículas para su análisis. Es por esta razón, que la forma más aceptada a la hora de definir las partículas contiene en su caracterización, un elemento que define las condiciones en las que se han realizado las respectivas mediciones.

En cuanto a la composición química de las partículas emitidas, estas están compuestas principalmente por Carbono acompañados de hidrocarburos absorbidos en forma líquida. A partir de diferentes estudios realizados (por ejemplo, Kittelson [3]) se ha podido determinar que la parte de carbono de una partícula (su "esqueleto") puede oscilar entre el 20 y el 45% de su masa total. La parte restante corresponde a aceite lubricante no quemado (25%), combustible (hasta el 10%), compuestos de azufre y agua, y otras sustancias.

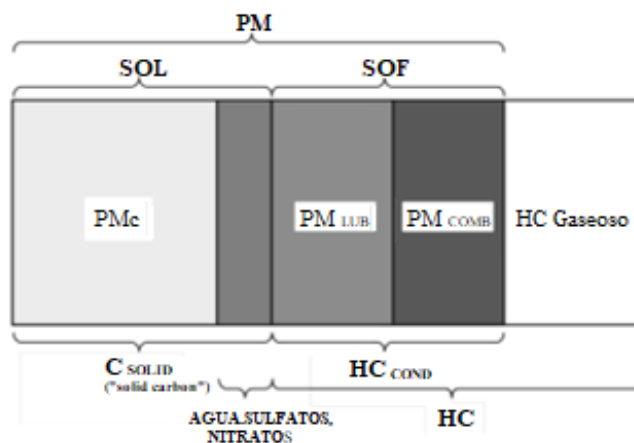


Figura 1: Composición de partículas emitidas por motores de combustión interna [3]

En cuanto a las partículas sólidas emitidas, estas pueden dividirse principalmente en dos fracciones, las cuales se muestran en la Figura 1:

- PM SOF - fracción orgánica soluble (SOF)
- PM SOL - fracción insoluble (SOL), cuya parte fundamental es el carbono sólido (solid')

Adicionalmente, los otros componentes de PM SOL incluyen:

- Sulfatos solubles en agua
- Agua asociada a los sulfatos
- Nitratos.
- Metales

Las partículas emitidas por todos los motores de combustión interna incluyen partículas sólidas y líquidas que, dependiendo de las condiciones físicas (temperatura, presión), están sujetas a condensación. Las partículas individuales se juntan formando aglomerados, los cuales poseen características diferentes a las partículas individuales.

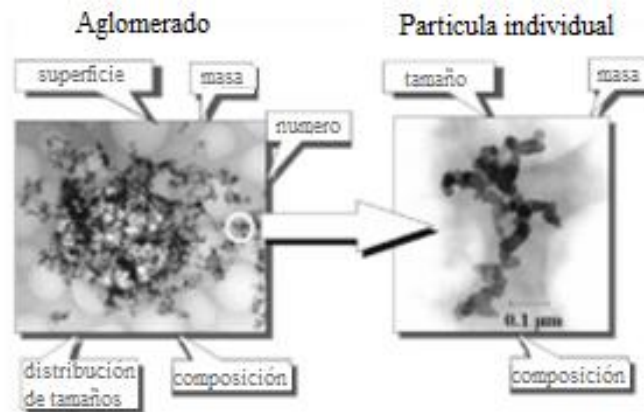


Figura 2: Parámetros que caracterizan los aglomerados de partículas y las partículas sólidas individuales. Fuente: [3]

En cuanto a valores representativos relacionados con el tamaño de las partículas individuales, es posible encontrar dimensiones de aproximadamente 10 a 120 nm, con un diámetro medio que puede variar de 25 nm a aproximadamente 50 nm. En motores Diesel es posible observar la predominancia de partículas con un diámetro de entre 60 y 100 nm mientras que en motores a gasolina los tamaños predominantes varían entre 50 y 80 nm.

Las distribuciones de tamaño de partículas permiten identificar, a grandes rasgos, tres modos de crecimiento de partículas diferentes (Figura 3). El primer modo corresponde a partículas que se forman por nucleación durante la dilución y el enfriamiento de los gases de escape (tras la emisión de los gases de escape al medio ambiente). A partir de este método se forman partículas más pequeñas,

de un diámetro de 1-80 nm, las cuales corresponden a una fracción volátil del SOF, una pequeña cantidad de carbono y compuestos metálicos. El segundo modo corresponde al modo de acumulación, el cual representa la mayor población de partículas, con diámetros que van desde 80 a 1000 nm (0,08-1,0 μm) formadas por aglomerados sólidos de hollín mezclados con condensados y material absorbido (hidrocarburos pesados). El tercer modo corresponde a la formación gruesa la cual implica partículas de grandes diámetros 2.500 a 40.000 nm (2,5-40 μm). Se trata de partículas creadas por la acumulación de partículas, que se asentaron en las paredes del cilindro y del escape, que luego fueron rotas y arrastradas por el flujo de gases.

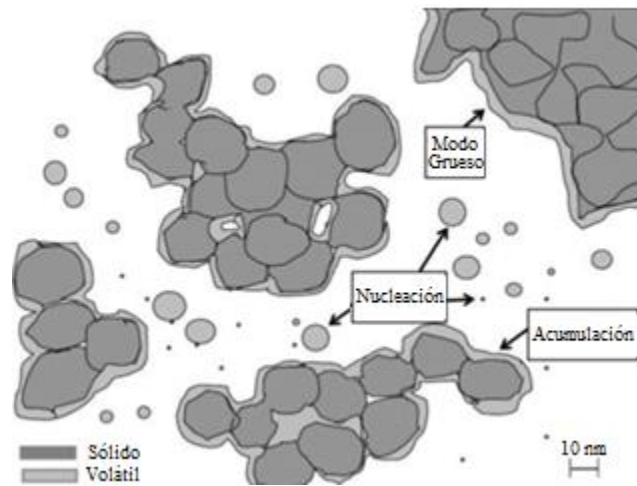


Figura 3: Partículas típicas formadas en un motor de combustión interna a través de los métodos de nucleación, acumulación y grueso. Fuente: [9]

Un factor determinante en el tamaño de las partículas es la temperatura de los gases de escape presentes en la formación del material particulado. Se ha podido observar que las dimensiones de las partículas, así como su tamaño medio, aumentan con la disminución de la temperatura de los gases de escape. A altas temperaturas, las partículas con dimensiones inferiores a 1 μm representan aproximadamente el 96% de la masa de las emisiones totales, mientras que a bajas temperaturas esta cantidad se reduce aproximadamente a un 80%. Es difícil aceptar un valor concreto como límite de temperatura, por debajo del cual se produciría un rápido aumento de las dimensiones de las partículas, sin embargo, diferentes estudios [3] han ubicado este límite en un rango de 120-160 $^{\circ}\text{C}$.

A partir de lo anterior, es posible clasificar las partículas en función de su diámetro. El rápido desarrollo actual de las técnicas de investigación ha permitido identificar y clasificar las partículas sólidas de diferentes tamaños en:

- $D < 10 \mu\text{m}$ - partículas grandes (designadas como PM_{10})
- $D < 2,5 \mu\text{m}$ - partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$)
- $D < 100 \text{ nm}$ - partículas muy finas
- $D < 50 \text{ nm}$ - nanopartículas.

Si bien existen distintas maneras de caracterizar la distribución dimensional de las partículas emitidas por los motores de combustión (escalas logarítmicas, porcentuales, etc.), la manera comúnmente aceptada para caracterizar el tamaño es a partir del uso de la distribución normal (Figura 4).

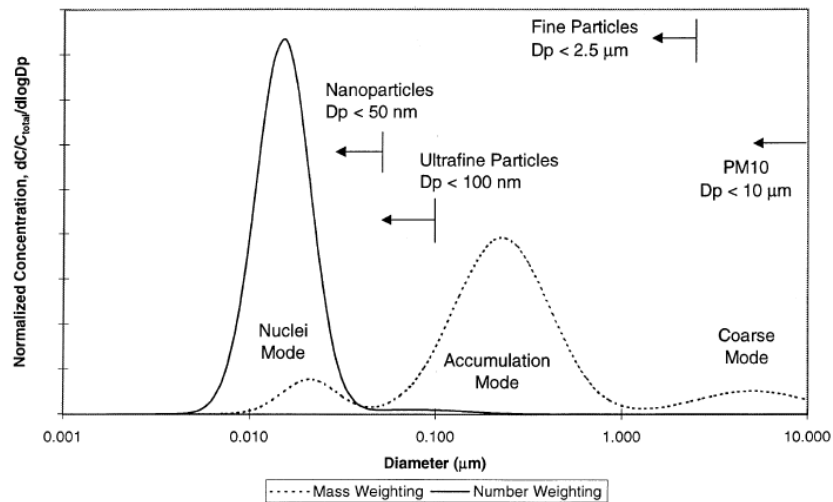


Figura 4: Distribución del tamaño de las partículas formadas como resultado de la nucleación y agregación en los gases de escape de un motor de combustión. Fuente: [47]

La distribución dimensional se caracteriza por la determinación del diámetro medio (media aritmética de la distribución), o bien por la mediana de la distribución, el cual corresponde a un tamaño de partícula tal que se encuentre por debajo del 50% del total de elementos de la muestra analizada.

1.2 Formación de material particulado

La naturaleza de las partículas, principalmente la distribución de las dimensiones geométricas, el número de partículas y su morfología, son factores importantes a la hora de estimar el impacto en el medioambiente y en el cuerpo humano. Es por ello, que en las últimas décadas se han intensificado las investigaciones para lograr entender el origen fisicoquímico de las partículas, además de conseguir mecanismos e instrumentos de medición más eficaces para la caracterización de las mismas.

Las partículas sólidas se crean como resultado de complejos procesos químicos y físicos, que a menudo se generan en el tiempo, aunque el momento y el lugar donde se producen son muy diferentes. La forma final de las emisiones se ve afectada por todas las etapas intermedias, sin embargo, algunas fases pueden ser decisivas. Normalmente los procesos que ocurren en el cilindro del motor, poco después de la inyección de combustible, son los más importantes. La naturaleza, los mecanismos de formación y las características de las partículas son diferentes para los distintos tipos de motores, sus condiciones de funcionamiento y los combustibles utilizados.

La formación de hollín (mezcla de nanopartículas formadas por pirólisis) en la llama de combustión es un proceso complejo, en el que, en pocos microsegundos, se forman partículas sólidas a partir de las gotas de combustible. Los factores que afectan a la formación de hollín son diferentes entre sí y se deben principalmente a:

- Las características del combustible
- El proceso de inyección de combustible
- La presión de combustión
- La forma de la cámara de combustión.

El proceso de combustión en los motores diésel tiene un curso diferente al de los motores de gasolina, el cual está caracterizado por una mayor concentración de hollín. Esto es el resultado del mayor contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos y del mayor valor del punto de ignición del Diesel.

En cuanto a la formación, las partículas tienden a generarse en zonas de la cámara de combustión ricas en combustible ($1/\lambda > 1$), lugar en donde se alcanzan temperaturas de 1400 a 2800 °K (la línea en negrita de la Figura 5).

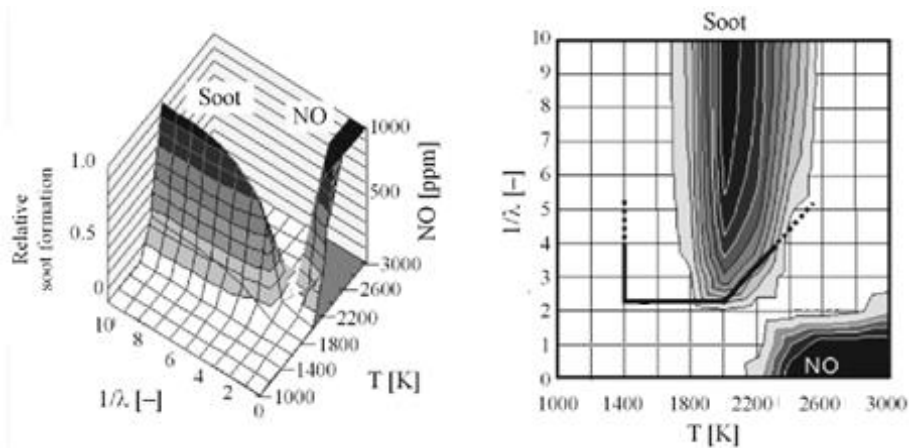


Figura 5: Formación de hollín (soot) para motores Diesel en función de la temperatura y el factor "λ" [3]

La combustión incompleta es la principal responsable de la formación de material particulado. La deficiencia de oxígeno da lugar a la aparición de reacciones pirolíticas que producen compuestos pirolizados. Uno de los principales productos de estas reacciones pirolíticas es el acetileno, el cual es la principal molécula precursora para la formación de moléculas de estructura policíclica. El número de moléculas de acetileno puede hacer una estructura anular para formar compuestos policíclicos.

Este tipo de reacciones son las principales responsables de la producción de partículas primarias muy pequeñas llamadas "esférulas" en un gran número, que son los principales bloques de construcción de las partículas aglomeradas. Esta cadena de formación de partículas es casi igual para todas las formas de combustión, aunque pueden existir pequeñas variaciones en las etapas de intermedias.

1.2.1 Mecanismos de formación

Para tomar medidas que restrinjan la emisión de partículas es necesario identificar y describir los mecanismos que conducen a la formación de material particulado y, al menos aproximadamente, determinar la masa formada durante el funcionamiento del motor. Adicionalmente es necesario tener en consideración los posibles cambios generados en las partículas al momento de medir sus emisiones.

A partir de lo anterior, los mecanismos de formación pueden explicarse de la siguiente manera:

- **Nucleación:** en esta etapa se produce la formación de una fase sólida desde una fase vapor en regiones localmente ricas de combustible y temperaturas elevadas (sobre los 1400°K). Consiste en la adición de pequeños hidrocarburos radicales a moléculas aromáticas de mayor tamaño hasta alcanzar un tamaño suficiente como para llegar a ser un núcleo de partícula.
- **Crecimiento de la partícula primaria de hollín:** Este puede ser por crecimiento superficial, es decir, se va adicionando masa a la superficie de una partícula ya nucleada y añadiendo hidrocarburos en fase gas en las partes más reactivas y a mayor temperatura de la superficie, o bien por coagulación, el cual corresponde a un proceso físico en que dos partículas esféricas colisionan generando una única.
- **Aglomeración y agregación:** por agregación se entiende la unión de partículas a partir de fuerzas cohesivas atómicas o moleculares que generan agregados lineales de alta estabilidad, mientras que la aglomeración es la unión mediante fuerzas de cohesión débiles (como la tensión superficial). La aglomeración supone un aumento considerable del tamaño de las partículas aglomeradas.
- **Oxidación:** este proceso convierte el carbono e hidrocarburos en productos de la combustión (CO, CO₂ y agua), el cual consta de dos etapas. En la primera se produce la adsorción del oxidante de la superficie de la partícula y en la segunda se produce la desorción del producto oxigenado (CO o CO₂) desde la superficie de la partícula. El proceso de oxidación comienza a temperaturas superiores a 1300 °K.

1.2.1.1 Proceso de formación

Las figuras 6 y 7 muestran un esquema del proceso de formación de PM resumidas principalmente en cinco etapas: pirólisis, nucleación, crecimiento superficial, aglomeración y oxidación.

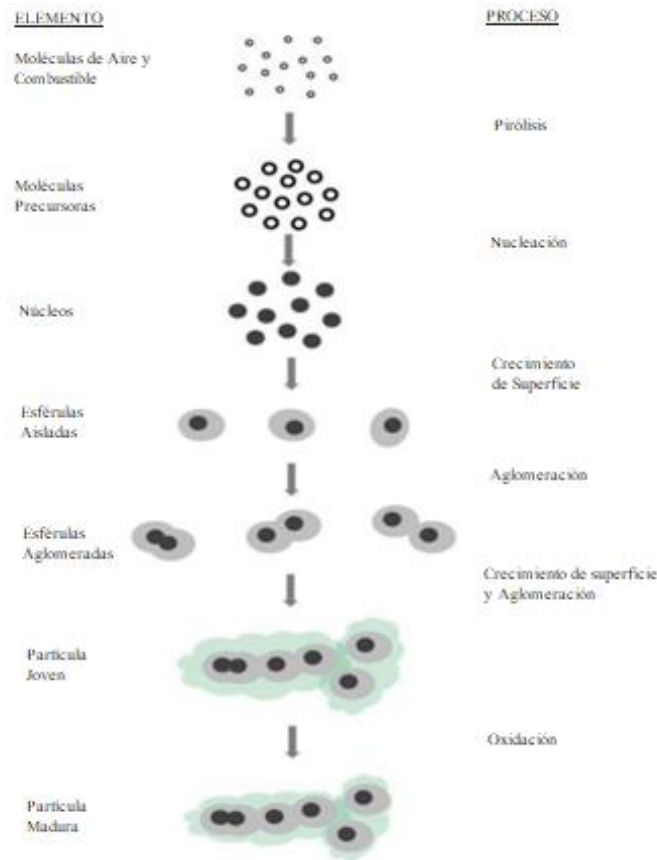


Figura 6: Vista esquemática del proceso de formación de material particulado. Fuente: [9]

El proceso de formación de las partículas dura sólo unos milisegundos y depende en gran medida de la relación aire-combustible, la presión y temperatura de la cámara de combustión. Bajo la influencia de estos tres factores y las reacciones pirolíticas correspondientes, las moléculas de combustible se rompen formando moléculas precursoras. Estas moléculas precursoras se someten a un proceso de nucleación y forman núcleos, generalmente de un tamaño inferior a 3 nm. En el crecimiento superficial, que se produce tras la formación de los núcleos, las moléculas de hidrógeno se desprenden de los núcleos formando esférulas. Estas esférulas, que varían entre 20 y 50 nm, se aglomeran y son los bloques de construcción de las partículas aglomeradas. Las esférulas varían de tamaño, pero su variación es limitada. Esto les ayuda a combinarse y a formar partículas relativamente más grandes. La combinación puede ser en forma de una larga cadena o, a veces, la primera esférula se une a la última esférula de la cadena y forma una partícula esférica aglomerada cerrada.

Cabe señalar que las partículas aglomeradas tienen una superficie mucho mayor que su tamaño esférico equivalente, teniendo la misma densidad. Esto aumenta la tendencia a la conversión de la fase de gas a la de partículas mediante la condensación de los compuestos orgánicos presentes en la corriente de escape en la superficie de las partículas aglomeradas. El quinto y último paso es la oxidación.

Pese a que es más fácil explicar estas etapas de manera lineal, en realidad, varias etapas de formación pueden ocurrir simultáneamente en dos lugares diferentes de la cámara de combustión.

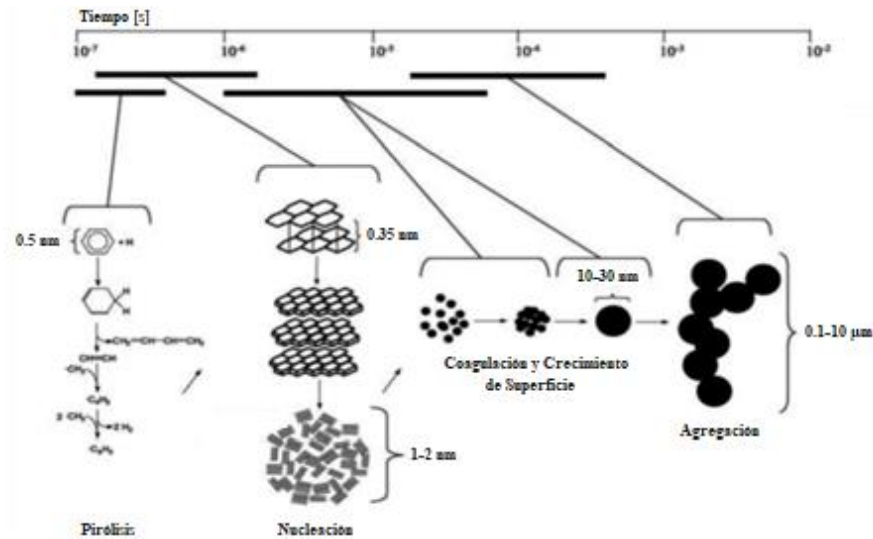


Figura 7: Proceso de formación de material particulado. Fuente: [9]

El aumento de los requisitos asociados a la protección del aire atmosférico hace necesario prestar atención al gran número de partículas con dimensiones inferiores a 100 nm emitidas por los motores diésel y motores de inyección directa de gasolina, ya que son muy peligrosas para la salud humana. Adicionalmente, las nanopartículas constituyen la mayor parte del número total de partículas emitidas por los motores, pero una parte muy pequeña de su masa total.

En general está aceptado que, a menor tamaño de partícula, más peligrosa es. Esto se debe principalmente a las razones siguientes:

- Poseen mayor tiempo de residencia en la atmósfera (una semana para aquellas 0,1-10 micras de diámetro). Además, tienen mayor facilidad de inhalación y provocan que disminuya la visibilidad atmosférica.
- Su superficie específica es mayor, facilitando la adsorción de compuestos orgánicos altamente cancerígenos.
- Penetran más profundamente en el sistema respiratorio, llegando a alcanzar los pulmones y la corriente sanguínea. Se las ha relacionado con diversas enfermedades e infecciones respiratorias.
- Los filtros y trampas de partículas de vehículos presentan más dificultades a la hora de eliminar la masa de partículas más pequeñas.

Actualmente los métodos de medición de masa para determinar las emisiones de partículas no son suficientemente eficaces para evaluar la emisión de nanopartículas. Los avances en las restricciones de emisiones de partículas hacen necesario el mejoramiento y la creación de nuevos métodos de medición, los que afortunadamente están siendo estudiados intensamente en la actualidad.

1.2.2 Condiciones favorables a la formación de material particulado

A grandes rasgos es posible identificar 3 factores que contribuyen a la formación de material particulado, entre las que se encuentran, las bajas temperaturas de funcionamiento del motor y del sistema de admisión, adición de dosis extras de combustibles para el arranque en frío y un consumo excesivo de aceite lubricante.

Las altas emisiones de material particulado generados en el arranque y calentamiento del motor son ocasionadas por el funcionamiento ineficaz de los sistemas de depuración de los gases de escape durante los primeros minutos de funcionamiento del motor. Estos sistemas son espacialmente diseñados para trabajar a temperaturas superiores a 300 °C y pierden gran parte de su efectividad a temperaturas menores. Adicionalmente el efecto de apagado de la llama (pared fría) tiene una influencia crucial en este caso. Las bajas temperaturas en el cilindro y en el sistema de escape favorecen la condensación de compuestos gaseosos, los cuales favorecen la formación de partículas. Los límites de emisión de compuestos nocivos en los gases de escape están obligando a los fabricantes a acortar la fase de frío. Debido a lo anterior en la actualidad los periodos de arranque y calentamiento del motor son consideradas en las pruebas encargadas de definir la cantidad de emisiones de compuestos tóxicos en los gases de escape.

Otro factor importante que aumenta la emisión de contaminantes durante el arranque en frío es el uso de la llamada “dosis de arranque”, la cual corresponde al suministro extra de combustible administrada en los ciclos iniciales de funcionamiento del motor para así facilitar su puesta en marcha. La dosis de arranque contribuye a una reducción sustancial del factor lambda λ (relación aire-combustible), haciendo que la mezcla sea más rica en combustible, lo que da lugar a una combustión incompleta. Sin embargo, el aumento de la dosis de combustible es necesario, ya que acorta el tiempo de arranque en frío, da lugar a una distribución más favorable de los diámetros de las gotas y contribuye a sellar el conjunto pistón-cilindro.

Finalmente, el excesivo consumo de aceite lubricante, provocado por diversos factores que tienen lugar en el cilindro, tiene un impacto significativo en el valor de las emisiones de hidrocarburos y material particulado. Dentro de las principales causas del consumo de aceite es posible encontrar:

- Aceite que entra en la cámara de combustión a través de los anillos.
- Procesos de absorción - desorción de aceite y vapor de combustible.
- Absorción de los vapores de aceite por las partículas de hollín.
- Evaporación del aceite como resultado de la cavitación que se produce durante la carrera de expansión.

1.3 Métodos e instrumentos de medición de material particulado

Las emisiones de partículas de vehículos con motores de combustión interna han recibido una mayor atención en las últimas dos décadas debido a las asociaciones observadas entre los niveles de partículas ambientales y los efectos sobre la salud. Estos cambios han creado una demanda de nuevos instrumentos capaces de realizar mediciones en tiempo real, con una mayor sensibilidad y que permitan su funcionamiento a bordo del vehículo. En respuesta, investigadores y fabricantes han desarrollado una serie de instrumentos y métodos de muestreo nuevos y mejorados. En general, se reconoce que la concentración de partículas medida en gases de escape depende tanto de la técnica de muestreo como del instrumento utilizado. Por ello, muchos de los nuevos instrumentos ofrecen ventajas en la medición de diversos atributos de las emisiones de partículas. Sin embargo, la selección del mejor instrumento para cada aplicación no es una tarea sencilla; requiere, por un lado, un objetivo de medición claro y, por otro, la comprensión de las características del instrumento empleado.

La forma tradicional de evaluar las partículas contaminantes ha sido medir la concentración en masa (PM) de partículas en el aire, las cuales suelen expresarse en microgramos (de partículas) por metro cúbico de aire. Las rutinas de medición basadas en la masa existen desde hace décadas y, de hecho, muchas normativas de todo el mundo se centran en las concentraciones de masa. Sin embargo, las mediciones basadas en la masa se centran intrínsecamente en las partículas más grandes, ya que poseen mayor masa. Sin embargo, investigaciones más recientes han sugerido que la exposición a partículas muy diminutas, las que son demasiado pequeñas para ser registradas en una medición de masa, también puede suponer riesgos para la salud. Por ello, para evaluar este riesgo, es necesario complementar las mediciones basadas en la masa con mediciones basadas en el número.

Las mediciones de número de partículas (PN) cuentan todas las partículas, independientemente del tamaño de cada una de ellas. Prestando atención a las concentraciones de número de partículas, es posible obtener valiosa información sobre la calidad del aire ambiental, además de poder relacionar la contaminación con las fuentes que emiten esas partículas.

Las propiedades físicas y químicas de los gases de escape de un motor a combustión cambian continuamente tras su formación, tanto a lo largo del sistema de escape como después de su emisión a la atmósfera. Un cambio bastante rápido se produce cuando los gases de escape salen del tubo de escape, donde se diluyen y enfrían bruscamente en el aire ambiente. Este proceso se aproxima en el laboratorio de pruebas mezclando los gases de escape con aire limpio en un túnel de dilución. Además, una dilución adecuada evita la condensación de los componentes volátiles de los gases de escape, especialmente el agua, en las paredes de los tubos de escape o de muestreo, mejorando así la precisión de la medición.

La Tabla 1 presenta una recopilación de los métodos comúnmente utilizados para la medición de material particulado, ya sea para la concentración (PN y PM) como para la distribución de tamaño.

Tabla 1: Métodos e instrumentos utilizados para la medición de PM. N=numero, m=masa, S=superficie. Fuente [11]

Principio	Nombre	Propiedad	Información en tiempo real	Información sobre el tamaño
Concentración de partículas				
<i>Método gravimétrico</i>				
Pesaje de filtros	PM ^a	m	No	No
<i>Análisis químicos</i>				
Disolución	Extracción Soxhlet	PM=SOL+SOF+SUL	No	No
Evaporación térmica	Térmico/Óptico	PM=EC+OC	No	No
	TGA	PM=SUL+VF+EC+Ceni za	No	No
Espectrometría de masas	Espectrómetro de masas	m	Si	Si
<i>Métodos Ópticos</i>				
Dispersión	Fotómetro de dispersión OPC CPC ^a	m	Si	No
		N	Si	Si
		N	Si	No
Absorción	Exposímetro Ethalómetro PASS ^a LII ^a	FSN	No	No
		m (BC)	Si	No
		m (BC)	Si	No
		m (BC)	Si	No
Extinción	Opacímetro ^a	Opacidad	Si	No
<i>Métodos de Microbalanza</i>				
Microbalanza	TEOM	m	Si,	No
	QCM	m	acumulativo Si, acumulativo	No
<i>Métodos basados en carga eléctrica</i>				
Corona eléctrica	Cargador de difusión ^a	S (activa)	Si	No
Luz ultravioleta	Sensor fotoeléctrico	S (fotoeléctrica)	Si	No
Distribución de tamaños de partículas				
Microscópico	Microscopio	N, S	No	Si
Impactación	Impactador	m	No	Si
Difusión	Batería de difusión	N	Si	Si
Carga	DMA	N	No	Si
Carga + Clasificación +Conteo	SMPS ^a	N	No	Si
	CMPA	m	No	Si
	DMS, EEPS ^a	N	Si	Si
	FIMS	N	Si	Si
	ELPI, DMM ^a	N, m	Si	Si
	EDB	N	Si	Si

^a: instrumentos comúnmente utilizados para la medición de material particulado vehicular

Dada la gran variedad de métodos disponibles, a continuación, se presentarán aquellos métodos que comúnmente son utilizados para la medición de material particulado de origen vehicular.

1.3.1 Métodos de medición de concentración de partículas

1.3.1.1 Método gravimétrico

La masa de partículas medidas por el método gravimétrico se determina recogiendo las partículas en un filtro tras su dilución, en donde la tasa de emisión se calcula pesando el filtro antes y después de la prueba. El filtro recoge todas las fracciones de tamaño de partícula (modos de nucleación, acumulación y grueso) a menos que haya un ciclón o un impactador para eliminar las partículas más grandes. En este método la manipulación del filtro y la pérdida de material de la superficie del filtro pueden desempeñar un papel importante, dada las posibles alteraciones en las mediciones realizadas. El acondicionamiento del filtro en la sala de pesaje también puede afectar al resultado final en unos pocos μg . Por este motivo, los filtros suelen acondicionarse en condiciones controladas de humedad relativa y temperatura.

En el caso de los vehículos con tecnologías modernas de postratamiento, el método gravimétrico está alcanzando sus límites de detección. Un filtro pesa aproximadamente 150 mg, mientras que la masa de PM recogida por el filtro de los vehículos equipados con DPF puede llegar a ser de tan sólo 10 μg , es decir, 0,1% de la masa del filtro. La falta de sensibilidad del método gravimétrico ha sido una de las principales razones para buscar técnicas de detección alternativas.

1.3.1.2 Métodos ópticos

En los métodos de detección óptica, la interacción de las partículas con la luz incidente sobre ellas sirve de base para la medición en tiempo real de la concentración de partículas. Las partículas iluminadas por un haz de luz irradian dicha luz en todas las direcciones (dispersión) y, simultáneamente, transforman parte de ella en otras formas de energía (absorción), como se ilustra en la Figura 8. La suma de la dispersión y la absorción es la extinción. Es por esto que existen instrumentos basados en los principios de dispersión, absorción y extinción.

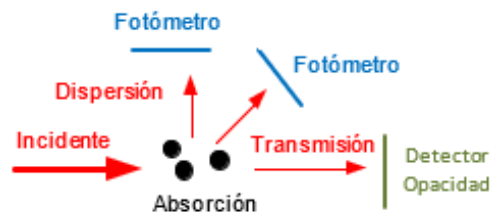


Figura 8: Principios de trabajo en métodos ópticos. Fuente [11]

1.3.1.2.1 Métodos basados en la dispersión de luz

En las interacciones partícula-luz el patrón de dispersión de la luz y la intensidad dependen en gran medida de la relación existente entre el tamaño de la partícula y la longitud de onda de la luz incidente. En el caso de las partículas esféricas, esto puede expresarse en términos del parámetro $x=2\pi a/\lambda$, donde a es el radio de la partícula esférica y λ es la longitud de onda. Para partículas muy pequeñas comparadas con la longitud de onda ($x \ll 1$), las partículas actúan como dipolos en donde la intensidad de la dispersión es independiente de la forma de la partícula, acercándose al régimen de dispersión de Rayleigh. A medida que el tamaño de la partícula se aproxima a la longitud de onda de la luz la dispersión de luz sufre alteraciones y se entra principalmente en el régimen de dispersión de Mie.

1.3.1.2.1.1 Contadores de partículas por condensación (CPC).

Los CPC utilizan la dispersión de la luz para contar las partículas después de que estas hayan crecido hasta alcanzar el tamaño de una micra. El primer CPC comercial de flujo continuo se introdujo en 1980 y todavía representa el tipo más común en el campo de la automoción. En este tipo de CPC, el crecimiento de las partículas se consigue haciendo pasar el aerosol (gas con partículas) a través de vapor saturado del fluido de trabajo, normalmente n-butanol, seguido de un enfriamiento en un condensador, como se muestra en la Figura 9. Las temperaturas del saturador y del condensador y las propiedades del fluido de trabajo determinan el tamaño inferior detectable, que suele estar en el rango de 3-10 nm. Un desarrollo reciente y atractivo es el CPC caliente el cual funciona a temperaturas superiores a 200 °C lo que permite que las especies volátiles no se condensen.

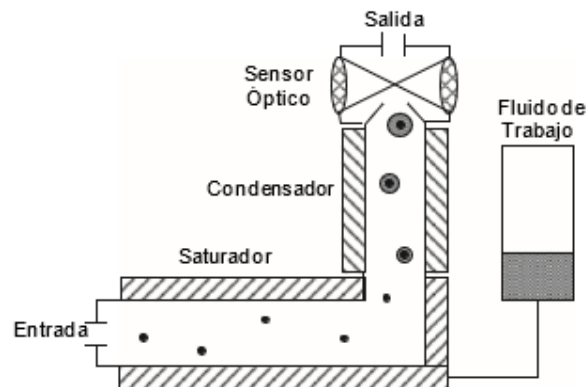


Figura 9: Contador de partículas de condensación de flujo continuo (CPC). Fuente [11]

1.3.1.2.2 Métodos basados en absorción de la luz

Entre las técnicas más comunes para medir la absorción de los aerosoles se puede encontrar (i) el método de la diferencia, en el que la absorción se deriva de la diferencia entre la extinción y la dispersión, (ii) los métodos basados en filtros, que miden la atenuación de la luz por las partículas recogidas en un filtro, y (iii) la espectroscopia fotoacústica y la incandescencia inducida por láser

(LII), que miden la concentración de partículas a través del calor que reciben las partículas al absorber la luz.

1.3.1.2.2.1 Sensor fotoacústico de hollín (PASS).

Este método se basa en el principio fotoacústico. La absorción de luz de amplitud modulada calienta periódicamente las partículas presentes en la muestra de gases. La conducción de este calor al gas circundante genera ondas de presión (acústicas), que son registradas por un micrófono, como se representa en la Figura 10. Las propiedades de las partículas pueden variar entre las diferentes formas de hollín y, por lo tanto, se necesitan factores de calibración para convertir el volumen en concentración de masa. Además de las partículas carbonosas, las especies gaseosas (por ejemplo, vapor de agua, NO_2) también pueden absorber la luz y contribuir a la señal. Pese a esto, la sensibilidad cruzada a dichas sustancias puede minimizarse eligiendo una longitud de onda adecuada para la aplicación específica.

1.3.1.2.2.2 Incandescencia inducida por láser (LII).

En este método las partículas se calientan con un pulso láser corto (por unos pocos ns) hasta justo por debajo de la temperatura de sublimación del carbono, en donde el subsiguiente decaimiento de la incandescencia es medido mediante un fotomultiplicador (Figura 10). La evaluación de los datos se basa en un modelo de radiación y requiere el conocimiento de las propiedades ópticas del hollín. La intensidad de la incandescencia y la tasa de decaimiento se analizan para obtener el número y el tamaño medio de las partículas primarias y, por tanto, la concentración de hollín. Es un método rápido (10-30 Hz dependiendo de la tasa de repetición del láser) con una alta sensibilidad ($<5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Recientemente se ha introducido un LII de dos colores, en el que las señales de incandescencia se detectan en dos longitudes de onda, de modo que la temperatura del hollín puede inferirse con la ayuda de un modelo.

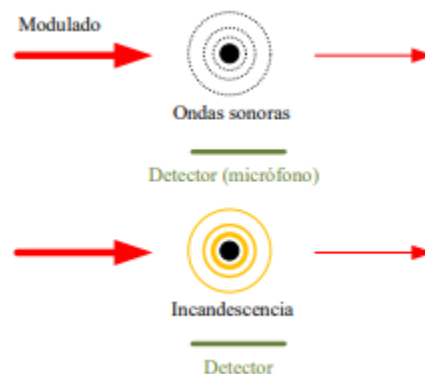


Figura 10: Principio de funcionamiento del sensor fotoacústico y de la incandescencia inducida por láser. Fuente [11]

1.3.1.2.3 Métodos basados en la extinción de luz

Las mediciones de extinción se realizan mediante medidores de opacidad e instrumentos CRDI (cavity-ring-down instruments) pero sólo los primeros se han utilizado en los estudios de partículas en gases de escape vehicular.

1.3.1.2.3.1 Medidor de opacidad

El medidor de opacidad mide la fracción de luz transmitida a través de un determinado volumen de escape (trayectoria). La extinción de la luz (también denominada opacidad u opacidad del humo) por absorción y dispersión es la diferencia entre la luz incidente y la transmitida. Las mediciones basadas en la extinción cuantifican las concentraciones de partículas a través de la ley de Beer-Lambert-Bouguer, en la que la relación entre la intensidad de la luz transmitida y la incidente, es una función exponencial de la longitud del trayecto y del coeficiente de extinción.

La opacidad depende del tamaño de las partículas y de la longitud de onda de la luz, así como de la forma y la composición de las partículas. Son comunes dos tipos de medidores de opacidad: los medidores de opacidad por muestreo, que muestrean una fracción del flujo de escape a través de una cámara de medición, y los medidores de opacidad en línea, que no tienen una cámara de medición separada, sino que envían un haz de luz a través del conducto de escape.

Los medidores de opacidad siguen siendo una herramienta sencilla y útil para la determinación del hollín en el motor, pero su límite de detección es bastante alto para los motores equipados con DPF.

1.3.1.3 Métodos basados en la carga eléctrica

La capacidad de las partículas de adquirir carga eléctrica ofrece la oportunidad de diseñar sensores sencillos, de bajo costo y con una mayor sensibilidad. Este método se basa en la carga eléctrica que se produce cuando las partículas de hollín se adhieren a iones y electrones gaseosos formados por las reacciones de ionización que se desarrollan al interior del motor durante el proceso de combustión.

1.3.1.3.1 Cargador de difusión

En un cargador de difusión (DC), como se muestra en la Figura 11, una vez que las partículas salen del motor, los iones, normalmente procedentes de una descarga de corona, se adhieren a las partículas. Mediante el uso de un electrómetro es posible medir la corriente eléctrica generada por las partículas cargadas, la cual permite determinar la masa y el número de partículas presentes en la muestra.

Los cargadores de difusión tienen un gran potencial para ser utilizados ya sea solos, para medir los cambios relativos en las emisiones de partículas, o en combinación con otros instrumentos, para proporcionar información adicional sobre las propiedades de las partículas, como puede ser el diámetro medio, cuando se combina un DC con un CPC.

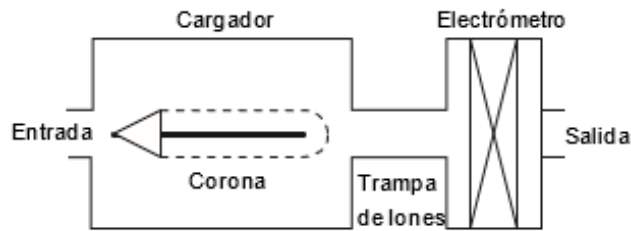


Figura 11: Esquema de un cargador de difusión. Fuente: [11]

1.3.2 Métodos de medición de distribución de tamaños

La medición del tamaño de las partículas puede basarse en las siguientes propiedades: tamaño geométrico (microscopía), inercia (impactadores), movilidad (baterías de difusión), movilidad eléctrica (analizadores de movilidad diferencial) y propiedades ópticas (contadores ópticos de partículas). La mayoría de los instrumentos miden la distribución de tamaño de las partículas combinando la carga (cargador de corona o neutralizador), la clasificación del tamaño (impactadores o clasificadores de movilidad) y la detección (CPC o electrómetros).

1.3.2.1 Medidor de partículas de movilidad de exploración (SMPS)

Los SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) utilizan una carga de difusión bipolar (neutralizador) para impartir una distribución de carga de Fuchs bien definida. A continuación, las partículas entran a un analizador de movilidad diferencial (DMA) en donde un clasificador electrostático separa las partículas según su rango de movilidad eléctrica (Figura 12). Posteriormente las partículas clasificadas se cuentan aguas abajo del DMA, generalmente mediante el uso de un CPC.

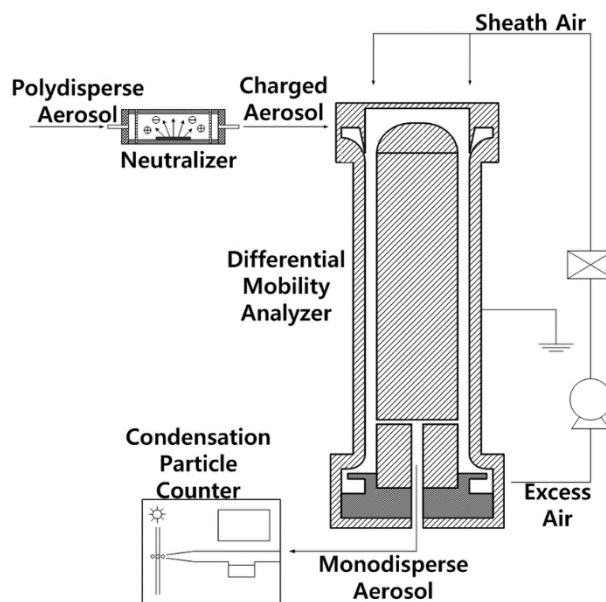


Figura 12: Esquema de un SMPS. Fuente [16]

1.3.2.2 Espectrómetros de movilidad diferencial

El Espectrómetro de Movilidad Diferencial (DMS) y el Medidor de Partículas de Movilidad Rápida (FMPS) o Espectrómetro de Partículas de Escape del Motor (EEPS) consisten en un cargador de partículas, una columna de clasificación y una serie de detectores, como se muestra en la Figura 13.

El flujo de gases de muestra pasa primero a través de un cargador de difusión de corona que establece una distribución de carga unipolar en las partículas. A continuación, el aerosol se introduce a lo largo de la periferia de la varilla central de un clasificador electrostático cilíndrico, cuya pared exterior está construida con una serie de anillos aislados eléctricamente y conectados a electrómetros. Las lecturas de corriente producidas por la deposición de las partículas cargadas en los electrodos del anillo se convierten entonces en una distribución del número de partículas en el rango de movilidad eléctrica del instrumento.

Los DMS tienen menor sensibilidad y resolución de tamaño que el SMPS. Pese a ello tienen suficiente sensibilidad para medir las distribuciones de tamaño de la mayoría de los vehículos equipados con DPF. Además, su alta resolución temporal (0,1-1 Hz) es ventajosa para la medición de gases de escape transitorios.

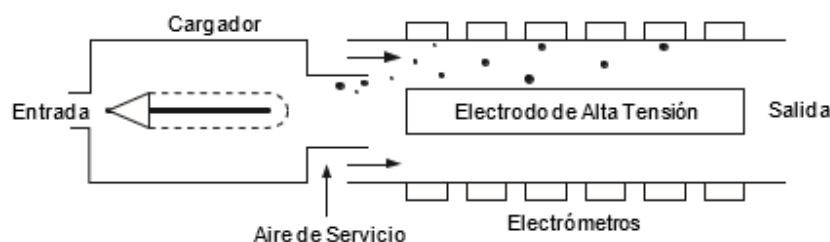


Figura 13: Esquema de un FMPS. Fuente: [11]

1.3.2.3 Impactador eléctrico de baja presión

En el Impactador Eléctrico de Baja Presión (ELPI) el aerosol se muestrea a través de un cargador de corona unipolar. Paso siguiente, las partículas cargadas pasan a un impactador en cascada de baja presión que consta de etapas de recogida aisladas eléctricamente. Cuando las partículas impactan en una etapa específica, se produce una corriente eléctrica que se registra en tiempo real mediante un electrómetro. Las partículas por debajo del diámetro de corte más bajo son recogidas por una etapa de filtrado encerrada en una jaula de Faraday aislada, que registra la corriente eléctrica de las partículas (entre 16,5 nm y 7 nm). De esta manera el impactador ELPI clasifica las partículas según su diámetro aerodinámico.

El analizador Dekati Mass Monitor (DMM) es una adaptación del ELPI para uso en automoción que añade una etapa de movilidad eléctrica para mejorar la determinación de la masa de PM en relación con el ELPI. La combinación de datos aerodinámicos y de tamaño de movilidad se utiliza para estimar

la densidad efectiva de las partículas y, por tanto, permite convertir los datos del impactador en una concentración de masa en tiempo real.

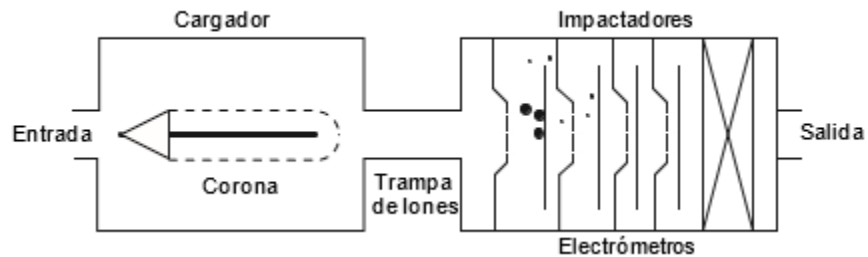


Figura 14: Esquema de un ELPI. Fuente: [11]

1.3.3 Métodos de medición en normativa regulatoria

Particularmente, para la medición de material particulado la normativa se basaba inicialmente en los niveles de humo registrados por los medidores de opacidad. Sin embargo, en los últimos 35 años, el método regulador se ha basado en la cuantificación gravimétrica de la masa de partículas (PM) recogida por los filtros. Con la introducción de los filtros de partículas (DPF) a principios de la década de 2000, el límite de detección del método gravimétrico dejó de ser lo suficientemente sensible para registrar las concentraciones de PM con la normativa vigente en ese momento. Es por esta razón que las diferentes entidades regulatorias debieron buscar alternativas capaces de combatir esta problemática. Un ejemplo de ello es la puesta en marcha del Programa de Medición de Partículas (PMP) en el año 2001, iniciativa de varios estados miembros de la Unión Europea (UE), con el objetivo de desarrollar una metodología de medición más sensible y precisa que la medición de la masa de PM. De esta manera el PMP propuso en el año 2007 el método de medición del número de partículas sólidas (NPS), basado en el recuento de partículas sólidas de >23 nm, el cual se integró en la legislación europea de control de emisiones de automóviles ligeros en 2009.

1.4 Normativa internacional

Las normas de emisiones vehiculares son un conjunto de requisitos que regulan los límites aceptables de emisiones de gases en el escape de los vehículos de motores de combustión interna. El primer país en disponer medidas para combatir la contaminación generada por los vehículos fue Estados Unidos en el año 1963. Con la implementación del Acta del Aire Limpio (Clean Air Act, CAA), se ordenó adoptar estándares de control de la calidad del aire a nivel mundial. Como consecuencia de esta ley, la Agencia de Protección Ambiental (EPA), desarrolló y estableció medidas para proteger la salud de la población expuesta a los contaminantes presentes en el aire.

A través los años, estas regulaciones se han hecho progresivamente más estrictas, hasta la actualidad. Los países que han tenido un importante aporte en la legislación del control de emisiones han sido Estados Unidos de América (EUA) y la Unión Europea (UE) a los que se les han sumado Japón y

China. Las restricciones legales más importantes en las emisiones de los gases de escape de los vehículos son:

- La regulación CARB (California Air Resources Board) de EUA
- La regulación EPA (Environmental Protection Agency) de EUA.
- La regulación EURO (Unión Europea).
- La regulación Japonesa.
- La regulación CHINA de la República Popular de China

A continuación, se presenta la evolución de la normativa asociada a emisiones vehiculares en los países antes mencionados.

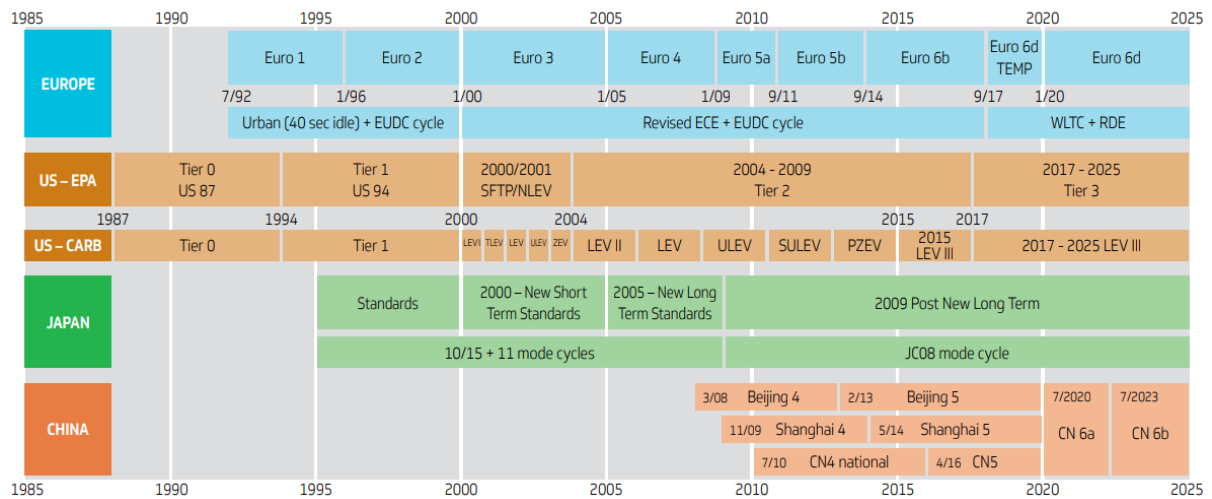


Figura 15: Evolución en la normativa asociada a las emisiones vehiculares Fuente: [4]

1.4.1 Límites de emisiones para vehículos livianos

1.4.1.1 Normativa Europea

La normativa Euro consta de seis etapas de requisitos de control de emisiones vehiculares, cada una más estricta que la anterior, empezando por la norma Euro 1 en 1992, avanzando hasta la norma Euro 6 en 2015. En lo que respecta a material particulado, las normas sobre la masa y el número de partículas de los vehículos diésel de la norma Euro 6 son similares a la norma Euro 5. No obstante, los límites de las emisiones de masa de partículas para los vehículos diésel se han reducido en gran medida desde que se introdujeron las normas Euro 1, alcanzando una reducción aproximada de un 96%. Los límites de masa de partículas son ahora tan bajos que la precisión y la sensibilidad de las mediciones son un problema, lo que ha provocado la introducción de límites en el número de partículas (PN), con el objetivo de complementar tales mediciones. Estos límites se introdujeron por

primera vez en el norma Euro 5 y están respaldados por las investigaciones realizadas en Europa, que han encontrado impactos significativos en la salud por la exposición a un alto número de partículas.

En lo que respecta a vehículos a gasolina los límites de emisiones también se han reducido considerablemente en relación con las anteriores normas europeas sobre emisiones. Particularmente, los límites para las emisiones de partículas según número (PN) de los motores GDI se introdujeron en la norma Euro 6 y son numéricamente iguales a los de los coches diésel.

La Tabla 2 presenta los límites para las emisiones de vehículos ligeros en las normas Euro 5 y 6.

Tabla 2: Límites para emisiones de vehículos ligeros para la normativa Euro V y Euro VI, Fuente: [14]

Compuesto (g/km)	Euro 5		EURO 6	
	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel
CO	1.0	0.5	1.0	0.5
HC	0.1 ^a	-	0.1	-
HC+NO_x	-	0.23	-	0.17
NO_x	0.06	0.18	0.06	0.08
PM	0.005 ^{b, c}	0.005 ^c	0.005 ^{b, c}	0.005 ^c
PN(#/km)	-	6.0 x 10 ¹¹	6.0 x 10 ¹¹ ^{b d}	6.0 x 10 ¹¹

^a and 0.068 g/km para NMHC; ^b solo para motores DI, ^c 0.0045 g/km utilizando procedimiento PMP, 6 x 10¹² #/km, ^d dentro de los tres primeros años de vigencia de la normativa Euro 6.

1.4.1.2 Normativa Estadounidense

La normativa estadounidense se ve dividida respecto a legislaciones ambientales entre los estados más exigentes y aquellos estados que optan por la normativa impuesta por el gobierno federal a través de la Agencia de Protección Ambiental o EPA. Dentro de los estados más rigurosos sobresale el estado de California que, a través de su Consejo de Recursos Atmosféricos (CARB por sus siglas en inglés), destaca por su alta exigencia al crear legislaciones.

En la actualidad sigue existiendo una diferencia interna al tratarse de normas de emisión y homologación de vehículos. A nivel país se trabajan principalmente 2 estándares de emisiones. Por un lado, está presente la norma de emisión nivel 3 (Tier 3), la cual opera desde el año 2017 y regirá hasta el año 2025. Por otro lado, están presentes los estándares aplicados por el estado de California denominados LEV (“Low emisión vehicle”), en donde la versión que se encuentra vigente corresponde a la norma LEV III.

La estructura de los estándares Tier 3 es similar a los estándares Tier 2; los fabricantes deben certificar los vehículos en uno de los siete “contenedores de certificación” o “Bin”, en donde deben cumplir con los estándares de emisión promedio para su flota de vehículos en un año modelo determinado.

Los estándares nivel 3 (Tier III) presentan los siguientes límites de emisión de contaminantes, que deben cumplir bajo la prueba federal FTP, además de la prueba HWFET de economía de combustible en autopista.

Tabla 3: Límites (en miligramos por milla) para emisiones de vehículos ligeros de la normativa Tier 3, Fuente:[17]

Bin	NMOG+NOX	PM	CO	HCHO
	mg/mi	mg/mi	g/mi	mg/mi
Bin 160	160	3	4.2	4
Bin 125	125	3	2.1	4
Bin 70	70	3	1.7	4
Bin 50	50	3	1.7	4
Bin 30	30	3	1.0	4
Bin 20	20	3	1.0	4
Bin 0	0	0	0	0

Donde NMOG corresponde a las emisiones de gases orgánicos menos el metano y HCHO a las emisiones de formaldehído.

Cabe destacar que los límites de material particulado (PM) se encuentran en un proceso de cambio, donde la fase 2017 – 2021 presenta un límite de 3 [mg/mi], mientras que la fase 2025 – 2028 estableció un límite de 1 [mg/mi], en donde para el final de cada periodo los vehículos fabricados y homologados deberán emitir como limite el valor estipulado, requiriendo que año a año se cumpla con un porcentaje de vehículos que cumplan con el nuevo valor de emisión. Adicionalmente es necesario destacar que la medición de material particulado en la normativa Tier 3 es aplicable individualmente a cada modelo de vehículo y no al promedio de la flota de cada fabricante.

1.4.2 Ciclos de conducción

Uno de los problemas detectados en la evaluación de las emisiones son los ciclos de prueba a los cuales son sometidos los vehículos. Tradicionalmente, las pruebas de emisiones se realizan sobre dinamómetros de chasis, donde los vehículos testeados se someten a ciclos de conducción predefinidos. Esto permite evaluar niveles de emisión y consumo, entre otros parámetros relevantes.

El nuevo ciclo de conducción europeo (NEDC) históricamente se ha utilizado en muchos países para evaluar las emisiones y la economía de combustible en vehículos ligeros durante su homologación. La prueba implica patrones de velocidad simples, con aceleraciones bajas, velocidades constantes y muchos eventos inactivos. Hoy en día es ampliamente aceptado que el NEDC es anticuado y se ha demostrado claramente que las mediciones obtenidas para las emisiones de contaminantes y consumo de combustible subestiman, en gran medida, a los obtenidos bajo condiciones de conducción real o “en ruta”. Para poder compensar los errores de estimación de emisiones obtenidos con el NEDC, se han realizado una serie de cambios a los ciclos de conducción en las normativas más recientes. En el año 2015 se publicó el procedimiento WLTP (World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure)

con el objetivo de reemplazar definitivamente el ciclo NEDC como procedimiento europeo de homologación de vehículos. Adicionalmente en las normas Euro 6, fue incorporado el Ciclo Estacionario Mundial Armonizado (WHSC) y el Ciclo Transitorio Mundial Armonizado (WHTC).

Durante los últimos años se han realizado una serie de revisiones a la metodología de evaluación y homologación asociada a la normativa Euro 5 y Euro 6. En el caso de determinados contaminantes, se pudo observar la existencia de una discrepancia significativa entre las mediciones realizadas en el laboratorio (proceso de homologación) y el comportamiento “real” del vehículo, conocido como operación “en ruta”. Un ejemplo de lo anterior es la emisión de NO_x en los vehículos diésel con estándar Euro 6, los cuales pueden llegar a emitir hasta 7 veces más en operación “en ruta” que en las pruebas oficiales de laboratorio (homologación). De forma similar, algunos estudios indican que los nuevos vehículos que salgan al mercado pueden emitir hasta un 40% más CO₂ en condiciones reales de conducción comparado con las mediciones oficiales reportadas en los laboratorios de homologación y certificación [2]. Es por esta razón que se introdujo el Reglamento 692/2008 en el Diario Oficial de la Unión Europea con el objetivo de establecer un procedimiento de ensayo de emisiones en condiciones reales de conducción (RDE, en inglés) que refleja de mejor manera las emisiones medidas “en ruta”.

Para el caso de Estados Unidos, la medición de emisiones contaminantes es realizada mediante el ciclo FTP (Federal Test Procedure) el cual está definido por la EPA. Este procedimiento se actualizó en 2008 e incluye cuatro tipos de pruebas: conducción en ciudad (FTP75), conducción en carretera (HWFET), conducción agresiva (SFTP US06) y prueba de aire acondicionado (SFTP SC03).

La Figura 16 presenta la puesta en marcha de las normativas más actuales en países como Estados Unidos, China, Japón y la Unión Europea, acompañados de sus respectivos ciclos de conducción y los límites de emisiones aplicables para vehículos ligeros con motores a gasolina.

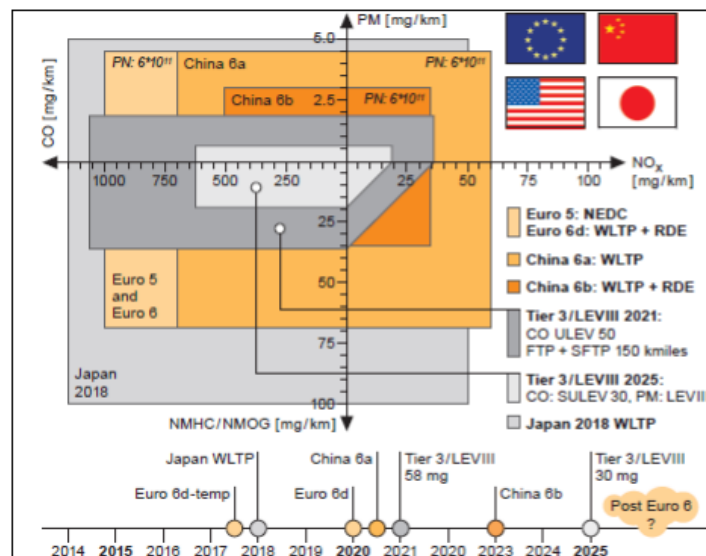


Figura 16: Limite de emisiones de vehículos a gasolina a nivel global. Fuente: [13]

1.4.3 RDE: Real Driving Emissions

Como se mencionó anteriormente, durante los últimos años se han realizado una serie de revisiones a la metodología de evaluación y homologación asociada a la normativa Euro 5 y Euro 6, debido a que se ha podido observar la existencia de discrepancias entre las mediciones realizadas en el proceso de homologación y el comportamiento “real” del vehículo.

Para corregir estas deficiencias, los países de la Unión Europea han empezado a incorporar a sus procesos de homologación, información obtenida a través de sistemas portátiles de monitoreo de emisiones (PEMS, Portable Emissions Measurement Systems) a través de las pruebas RDE, con el objetivo de complementar los datos generados en los dinamómetros de chasis empleados en los laboratorios de homologación.

1.4.3.1 Implementación

El procedimiento de prueba RDE se desarrolló inicialmente en Europa y se define en el Anexo IIIA del Reglamento 692/2008. La prueba RDE se introdujo en cuatro “paquetes” diferentes, entre marzo de 2016 y noviembre de 2018, dirigidos para vehículos Euro 6:

1. El *1^{er} paquete*, publicado en marzo de 2016 (2016/427), incluye las características básicas de la prueba RDE, características de la ruta, los requisitos técnicos del equipo PEMS y la presentación de informes. La atención se centró en las emisiones gaseosas, principalmente NO_x. El primer paquete fue solo para monitoreo e informes sin el requisito de cumplir con un límite NTE.
2. El *2^{do} paquete*, publicado en abril de 2016 (2016/646) incluye límites NTE en NO_x equivalente al límite EURO 6 multiplicado por un factor de conformidad y un calendario de aplicación RDE. También incluyó varias características técnicas como límites dinámicos, límites para la ganancia de altitud y el procedimiento de validación de GPS.
3. El *3^{er} paquete*, publicado en junio de 2017 (2017/1154) incluye la introducción de un protocolo de medición de número de partículas (PN) y del factor de conformidad asociado, incluyendo procedimientos para el arranque en frío y eventos de regeneración en la prueba RDE, además de disposiciones para vehículos híbridos. La introducción del tercer paquete coincidió con la introducción del procedimiento WLTP.
4. El *4^{er} paquete* publicado en noviembre de 2018 (2018/1832), formó la base de la conformidad en circulación (ISC) y pruebas de vigilancia junto con disposiciones específicas para los vehículos industriales ligeros. Además, se introdujeron modificaciones al factor de conformidad de NO_x y al método de evaluación para la determinación de emisiones vehiculares

La prueba RDE ha sido una herramienta eficaz que forzó al desarrollo de sistemas y estrategias de postratamiento de NO_x más robustos, lo que contribuyó a un aumento considerable de los niveles de cumplimiento de las emisiones de NO_x en los vehículos diésel. La prueba RDE también ha jugado un papel esencial en forzar el uso generalizado de filtros de partículas (GPF) en automóviles a gasolina.

1.4.3.2 Límites de emisión y corrección de resultados

La conducción real en carretera ha mostrado una alta variabilidad inherente en los resultados de medición de emisiones. Por este motivo, los llamados límites de no superación (NTE) definen las emisiones máximas permitidas de NO_x y PN en un ensayo RDE.

A lo largo de la vida normal de un tipo de vehículo, sus emisiones durante el ensayo no podrán ser superiores a los siguientes valores no superables (NTE):

$$NTE_{\text{contaminante}} = CF_{\text{contaminante}} \times \text{EURO-6}$$

donde EURO-6 es el límite de emisión de la normativa Euro 6 aplicable.

El margen de error de un equipo de medición portátil es mayor que el de un equipo dinamométrico de chasis. Por esta razón, el margen de error se introduce en la definición de los límites NTE a través del llamado factor de conformidad. Estos márgenes se revisan anualmente para tener en cuenta el progreso técnico de los equipos de medición. La definición del NTE se define para NO_x y PN por separado, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 4: Factores de conformidad (CF) para NO_x y material particulado (PN) para normativa Euro [18]

Normativa	CF NO _x	CF PN
Euro 6d- TEMP	2,1	1,5 = 1+ margen margen= 0,5
Euro 6	1,43 = 1+ margen margen= 0,43	

1.4.3.3 Validez del viaje

Una vez finalizada la recolección de información y antes de realizar el cálculo de emisiones, la normativa RDE estipula un procedimiento que tiene como objetivo garantizar la validez del viaje. Este procedimiento consta de tres pasos principales los cuales corresponden a:

- A. Cumplimiento de los requisitos generales, las condiciones límite, los requisitos operativos y de viaje, y las especificaciones de aceite lubricante, combustible y reactivos.
- B. Cumplimiento de los requisitos dinámicos y de ganancia de altitud.
- C. Cumplimiento de características dinámicas globales.

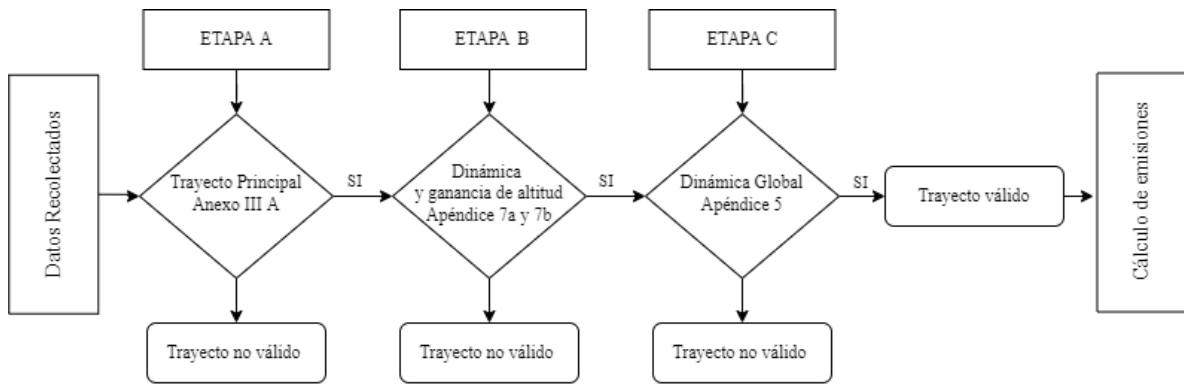


Figura 17: Resumen de requisitos para garantizar validez de ensayo realizado [18]

2 Diseño y montaje de laboratorio móvil

El presente capítulo tiene como objetivo describir el proceso de diseño, adquisición y montaje de un laboratorio móvil, utilizado para la realización de mediciones de emisiones vehiculares. Adicionalmente este tendrá como finalidad ser utilizado como un área útil para la realización de charlas informativas respondiendo, de esta manera, al primer objetivo de la presente memoria.

2.1 Metodología

La realización de las diversas tareas fue dividida en 4 etapas de trabajo: la definición de criterios de diseño, el diseño conceptual de laboratorio, la adquisición de equipos y el montaje del laboratorio.

Como primer paso en el proceso de diseño, fue necesaria la definición de los diversos equipos necesarios para el correcto funcionamiento del laboratorio. Si bien existía un inventario de equipamiento previo, fue necesaria la adquisición de productos que complementarían los ya disponibles. A partir de lo anterior surgió el primer requerimiento de diseño, el cual está relacionado con el cumplimiento de un presupuesto previamente establecido.

A continuación, se presenta una tabla resumen con el presupuesto disponible para la adquisición de cada componente del laboratorio, establecido por el proyecto ANID FONDEF IDeA I+D ID18II0297.

Tabla 5: Presupuesto disponible para la adquisición de nuevos componentes

Categoría	Componente	Cantidad	Presupuesto
Infraestructura	Carpa	1	\$4.290.000
	Mesas	2	
	Sillas	22	
Equipos	Televisor 50"	1	\$500.000
	Pedestal TV	1	
Fungibles	Caja Herramientas	1	\$500.000
	Cajas Protectoras	2	\$1.000.000
	Tótem Sanitario	1	\$500.000

Cabe destacar que el presupuesto disponible debe respetarse para cada categoría, imposibilitando la transferencia de recursos entre ellas.

2.1.2 Criterios de diseño

Como se mencionó anteriormente, una de las principales características de este laboratorio es su capacidad de ser móvil. Para ello se estableció que la mejor opción para albergar los diversos equipos sería una carpa de tipo evento. Dado el uso que se le dará a dicho laboratorio, se establecieron una serie de criterios para su correcto diseño.

- **Movilidad:** deberá ser de fácil armado, donde no se necesite un gran número de personas ni herramientas para su montaje y desmontaje, dado que, en muchos casos, esto deberá ser realizado en un día.
- **Resistencia:** dado que el laboratorio será emplazado en diversos puntos de la ciudad y en ocasiones en otras ciudades, la carpa deberá estar construida de un material de alta resistencia, capaz de soportar condiciones climáticas adversas, tales como lluvias, ráfagas de viento y una alta radiación solar. A su vez, deberá ser capaz de soportar condiciones de trabajo duras, dado el alto tránsito y constante montaje y desmontaje que el laboratorio tendrá.
- **Espacio de trabajo:** el laboratorio deberá contar con un espacio suficiente para que se lleven a cabo las tareas antes mencionadas. Para ello deberá disponer de área para el correcto trabajo en vehículos ligeros, pero también deberá ser capaz de albergar una conferencia para un determinado número de asistentes.

Adicionalmente se presentan algunas características que deberá cumplir cada uno de los componentes antes mostrados.

- **Mesas y sillas:** estas deben tener la característica de ser plegables para facilitar su transporte y almacenamiento. Para asegurar la durabilidad de las sillas se busca que estas sean de alta resistencia, con una carga máxima de al menos 150 kilos.
- **Televisor:** pantalla LED, de tipo SMART, con sistema operativo de preferencia Android, para asegurar el funcionamiento de algunas aplicaciones que serán utilizadas.
- **Pedestal TV:** debe sustentar al televisor a una altura mínima de 1,5 metros.
- **Caja de Herramientas:** de tipo modular, con ruedas, de fácil transporte.
- **Cajas Protectoras:** de tipo maleta, con ruedas y manillas, con un espacio suficiente para albergar un acondicionador de aire (Pegasor Air Supply).
- **Tótem Sanitario:** debe ser móvil, con un diseño institucional (USM), que cuente con dispensador de alcohol gel automático y un termómetro infrarrojo digital.

Finalmente cabe destacar que, por las características propias del proyecto, la adquisición de cualquier equipo requerirá la presentación de al menos 3 cotizaciones, cada una de diferente proveedor.

2.1.2 Dimensionamiento de carpa

Una vez definidos los requerimientos de diseño, se procedió a la elaboración de bocetos, con el objetivo de determinar las dimensiones adecuadas para el laboratorio y la posterior selección de carpa a adquirir. Como base, se utilizaron las características definidas en “*espacio de trabajo*” del punto anterior, es decir, un área de trabajo adecuada para el montaje de equipos en un vehículo liviano y un área en la cual se pueda desarrollar una charla con un aforo máximo determinado. De esta manera se definieron 3 modalidades:

- Modalidad 1: Medición de emisiones vehiculares
- Modalidad 2: Charla con capacidad para 10 personas con distanciamiento social
- Modalidad 3: Charla con capacidad para 20 personas sin distanciamiento social

Con el objetivo de establecer las dimensiones mínimas del laboratorio se estudió la zona de trabajo que requerirá cada modalidad, de tal manera de asegurar el correcto desarrollo de las actividades propias de cada una de ellas. Adicionalmente se consideraron zonas “permanentes” las cuales no cambiarán según varíe la modalidad utilizada. Estas zonas corresponderán a: almacenamiento de equipos, herramientas, sanitizado, multimedia y escritorios.

2.1.2.1 Modalidad 1: Medición de emisiones vehiculares

Para la primera modalidad fue necesaria la determinación de un vehículo representativo para el dimensionamiento del área de trabajo. Realizando una breve investigación fue posible encontrar el listado de los vehículos más vendidos en Chile en el año 2021. Dado que se ensayarán diversos tipos de vehículos, y que estos deben entrar fácilmente en el laboratorio, resulto prudente recurrir a la categoría Pick Up como base, debido a que estas se caracterizan por poseer mayores dimensiones respecto a otras categorías (city cars, sedanes, SUVs, etc.).

De esta manera, los 3 modelos de Pick Ups más vendidas [19], con sus respectivas dimensiones (largo*ancho*alto), corresponden a:

- Mitsubishi L200: 9.021 unidades, 5.225x1.815x1.780 mm
- Toyota Hilux: 8.700 unidades, 5325x1.845x1.815 mm
- Nissan Navara: 5.950 unidades, 5330x1.850x1.840 mm

Con las características de cada uno de estos vehículos fue posible determinar las dimensiones del vehículo representativo, las cuales corresponderán a la mayor dimensión de los modelos disponibles (largo, ancho y alto). De esta manera, se seleccionó a la Pick Up Nissan Navara como el vehículo representativo para esta modalidad.

Con el objetivo de asegurar que las tareas sean realizadas de forma eficiente y que no se entorpezca el trabajo en las distintas áreas del vehículo, se estableció una zona de libre tránsito alrededor de este, de tal manera de facilitar el desplazamiento de personas, equipos y herramientas.

Para la parte delantera se estableció una zona de tránsito que contempla una distancia de 0,5 metros desde la parte frontal del vehículo (Figura 18). Para los laterales del vehículo esta longitud aumenta, dada la posibilidad de tener que trabajar con las puertas abiertas. Teniendo en consideración que la longitud aproximada de una puerta es de 0,75 metros y que esta abre 70° , se estableció una distancia libre de al menos 0,7 metros. Sin embargo, con el objetivo de asegurar el correcto tránsito de personas se adicionó 0,5 metros, dando como resultado una longitud total de 1,2 metros para ambos lados. Finalmente, para la parte trasera, lugar donde se llevarán a cabo gran parte de las tareas, se estableció una separación de 1 metro.

La Figura 18 muestra el área total de trabajo considerada bajo la “Modalidad 1”. Sus dimensiones corresponden a 6,8 metros de largo por 4,2 metros de ancho, dando un área total de $28,56 \text{ m}^2$.

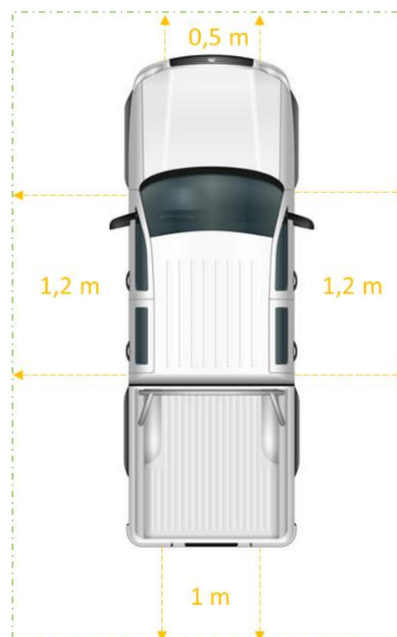


Figura 18: Superficie de trabajo considerada de la Modalidad 1 [21]

2.1.2.2 Modalidad 2: Charla para 10 Personas con distanciamiento social

Como primer paso en el proceso de determinación del espacio de trabajo requerido para la presente modalidad, fue necesario definir las variables de interés: el distanciamiento social y el espacio ocupado por cada silla.

Para el primer caso, se recurrió a recomendaciones sanitarias establecidas en el contexto de la pandemia de Covid19, estableciendo un distanciamiento entre sillas de al menos 1 metro en todas direcciones. Por otro lado, para poder determinar el espacio ocupado por cada silla fue necesario identificar las dimensiones aproximadas que estas poseen.

Realizando una revisión por las diferentes alternativas disponibles en el mercado, se pudo encontrar que la mayoría se encuentra en un rango cercano a la presentada en la Figura 19.

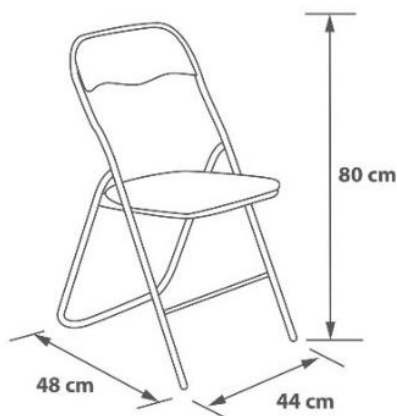





Figura 19: Dimensiones de silla plegable disponible en el mercado [20]

Dado las sillas por adquirir podrían poseer dimensiones superiores a las establecidas, se tomó la decisión de sobredimensionar el área ocupada por cada una de ellas. De esta manera se determinó que la superficie individual será de 0,5 x 0,5 metros, dando como resultado un área de 0,25 m² por unidad.

Una vez determinadas las características básicas, distanciamiento social y superficie requerida, fue necesario establecer una distribución para la ubicación de las 10 sillas. Dado que se busca optimizar las dimensiones del laboratorio, la distribución seleccionada deberá ocupar la menor área posible. Adicionalmente deberá tener una morfología similar a establecida en la modalidad anterior (medición de emisiones vehiculares) dado que ambas modalidades serán realizadas en el mismo lugar.

Para facilitar el diseño y la determinación del área de trabajo se estableció la siguiente simbología:

-  Silla plegable: 0,5 x 0,5 metros
-  Distanciamiento social: 1 metro
-  Distanciamiento para libre tránsito: 0,5 metros

De esta manera, se diseñaron 2 distribuciones, denominadas “Distribución Filas” y “Distribución Columnas” las cuales cumplen con las características solicitadas.

La Figura 19 muestra la Distribución Filas. Esta distribución abarca una superficie aproximada de 5 metros de largo por 4,5 metros de ancho, dando como resultado como un área de 22,5 m².

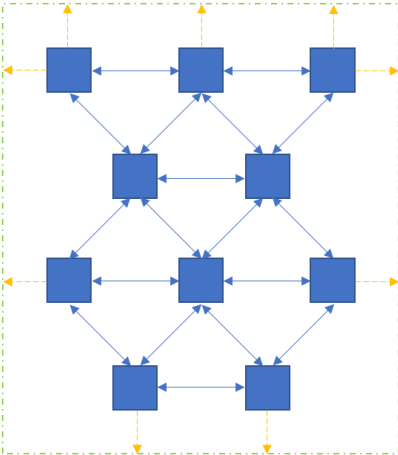


Figura 20: Distriubución de sillas de tipo Filas

Por otro lado, la Distribución Columnas presentada en la Figura 20, considera una superficie aproximada de 6 de largo por 4 metros de ancho, abarcando un área total de 24 m².

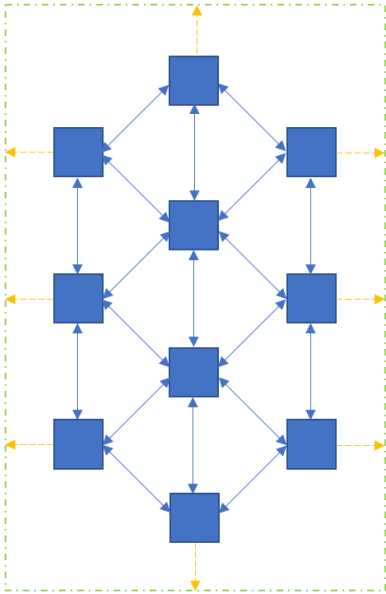


Figura 21: Distribucion de sillas de tipo Columnas





Dada la menor superficie abarcada y que los asistentes estarán dispuestos de una mejor manera frente a un expositor, se seleccionó a la Distribución Filas como la mejor disposición de sillas para esta modalidad.

2.1.2.3 Modalidad 3: Charla para 20 personas sin distanciamiento social

Ya definido el espacio requerido por cada silla en la modalidad anterior, para este caso solo bastó con definir la separación entre cada silla y la manera en que estas estarán distribuidas.

A partir de la elaboración de diversas pruebas fue posible determinar la separación ideal entre cada silla. Utilizando un arreglo rectangular (filas y columnas) se estableció una separación de 0,3 metros entre columnas y separación de 0,6 metros entre filas. Lo anterior debido a la necesidad de tránsito de personas antes, durante o al final de cada charla. Adicionalmente se estableció una distancia 0,5 metros alrededor de las sillas, de tal manera de facilitar el desplazamiento de personas por el laboratorio.

Siguiendo con lo desarrollado anteriormente, se estableció la siguiente simbología:

-  Silla plegable: 0,5 x 0,5 metros
-  Separación entre filas: 0,6 metros
-  Separación entre columnas: 0,3 metros
-  Distanciamiento para libre tránsito: 0,5 metros

Como resultado de lo anterior, se obtuvo una distribución de 5 filas y 4 columnas, tal como se presenta en la Figura 22, cuyas dimensiones corresponden a 6 metros de largo por 4 metros de ancho, abarcando un área de 24 m².

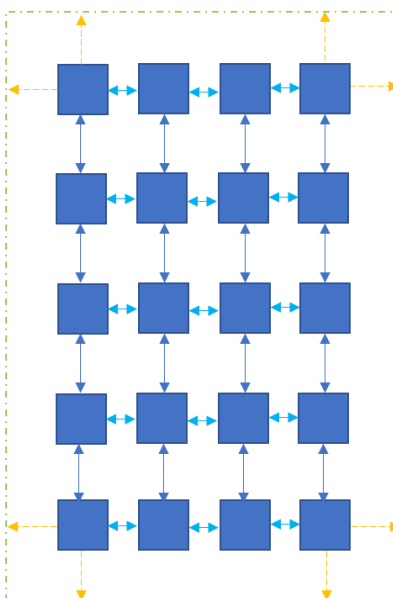


Figura 22: Arreglo de sillas para la modalidad 3

A modo resumen, la Tabla 6 presenta las características obtenidas para cada modalidad.

Tabla 6: Dimensiones establecidas para cada modalidad de trabajo

Modalidad	Largo [m]	Ancho [m]	Superficie [m ²]
Medición Emisiones	6,8	4,2	28,6
Charla 10p con Distanciamiento Social	5	4,5	22,5
Charla 20p sin Distanciamiento Social	6	4	24

Con las características antes mostradas fue posible determinar la zona común de trabajo. Las dimensiones de esta corresponderán al mayor largo y al mayor ancho de la tabla anterior. De esta manera la superficie ocupada abarcará 6,8 metros de largo por 4,5 metros de ancho, dando como resultado un área total de 30,6 m².

2.1.2.4 Zonas Permanentes

Una vez definida la zona común de trabajo fue necesario dimensionar las zonas restantes. Para ello se utilizó como base los equipos disponibles en inventario y aquellos que serán adquiridos. De esta manera, las características de cada una de estas zonas corresponden a:

- Escritorios: corresponde a mesas plegables en donde estarán ubicados algunos de los equipos de medición de emisiones, además de equipos computacionales utilizados para el análisis de datos. Lo anterior acompañado de 3 sillas que serán ocupadas por el team de trabajo del proyecto.
- Multimedia: espacio en el que estará ubicado el televisor y pedestal por adquirir.
- Almacenamiento: espacio utilizado para el almacenamiento de equipos y elementos utilizados en el laboratorio.
- Sanitización: espacio ocupado por el tótem sanitario.
- Herramientas: espacio destinado a almacenamiento de herramientas utilizada para el montaje de equipos.

De esta manera, fue posible determinar las características de cada una de estas zonas de trabajo, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7: Dimensiones estimadas para cada zona de trabajo requerida

Zona	Largo [m]	Ancho [m]	Área [m ²]
Trabajo	6,8	4,5	30,6
Escritorios	3	1,2	3,6
Multimedia	1,2	0,6	0,7
Almacenamiento	2	1,2	2,4
Sanitización	1,2	1	1,2
Herramientas	1,5	1	1,5

2.2 Dimensionamiento de laboratorio

Considerando las dimensiones de cada una de las zonas antes mencionadas, fue posible establecer la primera características base para el dimensionamiento del laboratorio. De esta manera se obtuvo el área de trabajo mínima que requerirá el laboratorio, la cual corresponde a la suma de todas las zonas definidas, dando como resultado, un total de 40 m². Sin embargo, esto resulta insuficiente para el dimensionamiento, dada la distribución que las diversas zonas podrían tener en el montaje final.

Mediante la realización de un diagrama a escala con las diferentes zonas vistas, fue posible determinar las dimensiones óptimas del laboratorio. Utilizando el área antes calculada y una distribución de zonas que facilitara el flujo de personas al interior del laboratorio (Figura 23), fue posible establecer que la superficie de trabajo deberá contar con 8 metros de largo y 6 metros de ancho. Así el área total abarcada será de 48 m².

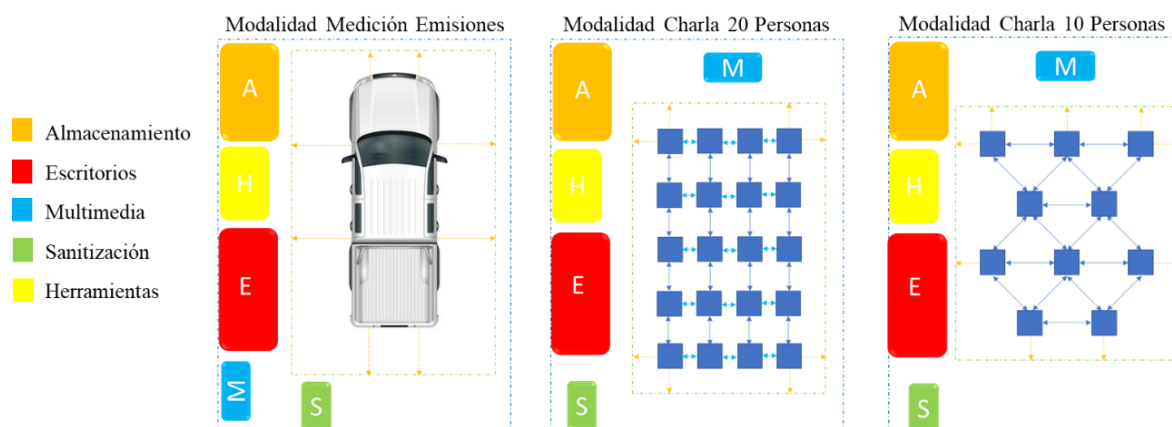


Figura 23: Distribución de las diversas zonas de trabajo para una superficie de 48 m²

2.3 Adquisición de equipos

2.3.1 Búsqueda de Proveedores

Una vez establecidos los requerimientos de cada elemento a adquirir, fue necesaria la búsqueda de su disponibilidad en el mercado y el posterior análisis de las diversas alternativas encontradas. Como se mencionó anteriormente, para que la compra de los productos sea autorizada, resulta indispensable la presentación de al menos 3 cotizaciones de cada producto.

A modo resumen se presenta una serie de tablas con el valor de los productos encontrados, acompañados de sus respectivos proveedores. Dichas cotizaciones es posible encontrarlas en los anexos de la presente memoria

Tabla 8: Resultado de cotizaciones solicitadas para la categoría Infraestructura

Categoría	Componente	Nombre Producto	Proveedor	Valor
Infra- estructura	Carpa	Carpa Tipo Evento	Carpas Hidalgo	\$8.271.238
		Carpa Modular	Full Tent	\$5.339.887
		Carpa PVC Multipropósito	Tu Carpa	\$3.570.000
	Mesas	Mesa Plegable	Superline	\$ 82.970
		Mesa Plegable Tipo Maletín	Bones	\$ 79.980
		Mesa Rectangular Maleta	Calas	\$ 69.979
	Sillas	Silla Alta Resistencia	Calas	\$ 437.808
		Silla Plegable XL	AGM	\$ 415.712
		Silla Plegable Evento	Fold	\$ 393.800

Tabla 9: Resultado de cotizaciones solicitadas para la categoría Equipos

Categoría	Componente	Nombre Producto	Proveedor	Valor
Equipos	Televisor 50"	Televisor TCL 50P615	Ripley	\$ 359.990
		Televisor TCL 50P615	Pc Factory	\$ 354.990
		Televisor TCL 50P615	Paris	\$ 349.990
	Pedestal	Soporte TV Pedestal Spektra	Pc Factory	\$ 104.490
		Rack de TV T1030	Casa del Soporte	\$ 99.990
		Soporte Móvil TV	Tromov	\$ 59.990

Tabla 10: Resultado de cotizaciones solicitadas para la categoría Fungibles

Categoría	Componente	Nombre Producto	Proveedor	Valor
Fungibles	Caja de Herramientas	Carro UyusTools CJH901C	Toolmania	\$ 144.990
		Caja 3 en 1 Stanley	Sodimac	\$ 129.990
		Caja maleta TRJF-C305ABD	Chilelift	\$ 105.910
	Cajas Protectoras	Estuche Pelican 1610	RannStore	\$1.040.000
		Caja Pelican 1640	Protecto	\$ 752.601
		Baúl Pelican 1640	Geoequipos	\$ 659.243
	Tótem Sanitario	Tótem Sanitario Acceso Móvil	Comercial HST	\$ 428.388
		Tótem Automático	Saniticov	\$ 357.000
		Tótem Sanitizador Covid	Dispensador Chile	\$ 308.210

2.3.2 Selección De Proveedores

2.3.2.1 Criterios de selección

Una vez identificados los diversos productos de interés y habiendo solicitado las respectivas cotizaciones, fue necesario establecer los criterios para la selección de los proveedores.

De esta manera, se establecieron 5 criterios principales, los cuales se presentan ordenados según su relevancia:

- Disponibilidad de productos inmediata (stock).
- Posibilidad de realizar la compra mediante la emisión de factura electrónica (documento tributario) y posterior pago por transferencia bancaria.
- Despacho disponible.
- Menor costo.
- Preferencia personal de selección

Estos criterios fueron aplicados a los todos los productos a excepción de la carpa, a la cual se le aplicaron criterios de selección particulares. Por esta razón se procedió a la revisión de las distintas alternativas disponibles.

Dada las necesidades de alta resistencia de la carpa, se estableció que el material de confección de la lona sería la característica utilizada como criterio de selección. Para ello fue necesario consultar por tales especificaciones a los respectivos proveedores. Como resultado fue posible observar que en cada uno de los casos el principal material de fabricación correspondía a PVC Covernil, el cual presenta las siguientes características:

- 100% impermeable
- Alta resistencia mecánica
- Posee filtro UV
- Posee tratamiento Anti-flamas

Pese a que en todas las alternativas se utilizó el mismo material, se pudieron apreciar diferencias entre ellas, las cuales se presentan a continuación:

Tabla 11: Especificaciones técnicas para PVC Covernil según proveedor

Especificaciones de material de confección de lona			
Proveedor	Tu Carpa	Full Tent	Carpas Hidalgo
Modelo	4.000	6.500	10.000
Densidad de Hilo	500D x 500D	1000D x 1000D	1000D x 1000D
Peso [g/m ²]	400	650	850
Espesor [mm]	0,45	0,60	0,90
Resistencia al desgarro [N/ 5cm]	180/155	320/280	580/530

Como se puede apreciar, el material Covernil 10.000 presenta mejores atributos en relación con la resistencia al desgarro y espesor. Es por ello que se tomó la decisión de adquirir la carpa propuesta por Carpas Hidalgo.

2.3.2.1 Proveedores seleccionados

Una vez aplicados los criterios de selección para los diversos productos, fue posible establecer el costo final que tendrá cada uno de ellos y el respectivo proveedor seleccionado, los cuales se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12: Proveedores seleccionados para la adquisición de productos

Categoría	Componente	Proveedor	Costo Individual	Costo Categoría	Presupuesto	Diferencia
Infra-estructura	Carpa	Carpas Hidalgo	\$ 8.271.238	\$ 8.748.008	\$ 4.290.000	\$ -4.458.008
	Mesas	Superline	\$ 82.970			
	Sillas	Fold	\$ 393.800			
Equipos	Televisor 50"	Pc Factory	\$ 354.990	\$ 454.980	\$ 500.000	\$ 45.020
	Pedestal	Casa del Soporte	\$ 99.990			
Fungibles	Caja de Herramientas	Sodimac	\$ 129.990	\$ 1.146.233	\$ 2.000.000	\$ 853.767
	Cajas Protectoras	Geoequipos	\$ 659.243			
	Tótem Sanitario	Saniticov	\$ 357.000			

Como es posible observar, en las categorías “Equipos” y “Fungibles” fue posible encontrar productos que cumplieran con los requerimientos solicitados y a un costo menor al presupuesto establecido. Sin embargo, esto no pudo cumplirse en la categoría “Infraestructura” dado el alto costo de la carpa.

De esta manera se presentaron 2 alternativas para la solución de este problema. Por un lado, seleccionar una opción que se acomode al presupuesto (Prov. Tu carpa), o bien, disminuir el tamaño de la carpa, de tal manera de disminuir su costo.

Dada la importancia asignada a la resistencia de la lona, se tomó la decisión de reducir las dimensiones del laboratorio. Como se mencionó anteriormente, el área mínima requerida para la colocación de las diferentes zonas correspondía a 40 m². Adicionalmente, de la Figura 23 fue posible observar que prácticamente todo el ancho del laboratorio sería abarcado. Es por ello que, para disminuir el tamaño de la carpa, las modificaciones debieron realizarse en el largo de esta. De esta manera se tomó la decisión de acortar dicho largo en 1 metro, dando como resultado una superficie de 7 metros de largo por 6 metros de ancho.

Para verificar que estas nuevas dimensiones fueran viables, se procedió a la elaboración de 3 diagramas, con las 3 modalidades antes vistas, manteniendo las zonas de trabajo establecidas previamente.

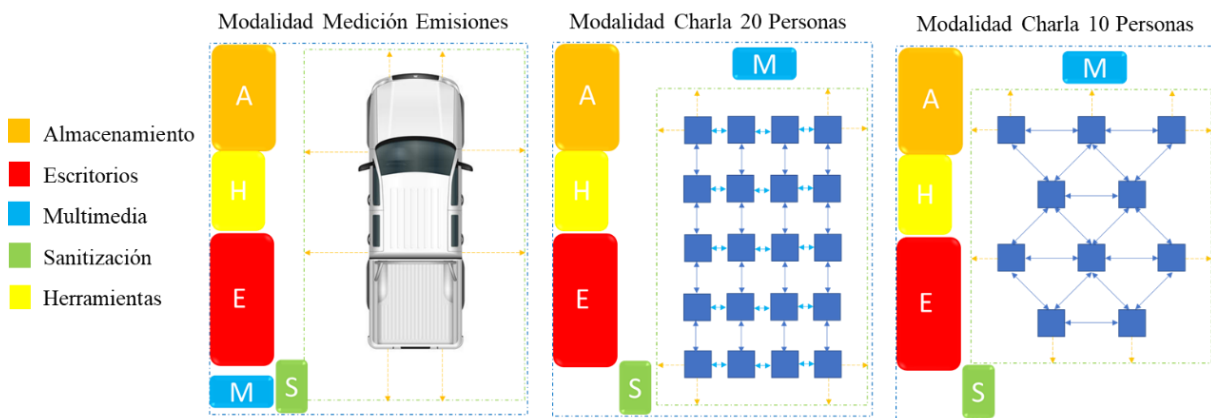


Figura 24: Distribución de las diversas zonas de trabajo para una superficie de 42 m²

Como es posible apreciar, la reducción en el largo del laboratorio no presenta mayores inconvenientes en la distribución de las diversas zonas.

Una vez verificadas las nuevas dimensiones, se procedió a realizar una nueva cotización para la carpa, manteniendo el mismo proveedor (Carpas Hidalgo). Como resultado, esta nueva carpa posee un valor de \$6.089.792, disminuyendo el costo de la categoría Infraestructura de \$8.748.008 a \$6.566.562.

Finalmente, para lograr la adquisición de estos equipos, fue necesaria la inyección de \$2.276.562 extras al presupuesto, destinado a la categoría Infraestructura.

2.3.3 Proceso de compra

Una vez seleccionados los respectivos proveedores para los diversos productos, se dio inicio al proceso de compra. Para ello fue necesaria una activa interacción con el área de finanzas de la universidad, de tal manera de facilitar la comunicación con los proveedores. Las etapas del proceso de adquisición de productos junto a los respectivos responsables, se puede resumir de la siguiente manera.



Figura 25: Proceso de compra de productos

Este proceso fue realizado individualmente para cada producto adquirido. Al finalizar, se obtuvieron los siguientes resultados respecto a la adquisición efectiva de los distintos componentes.

Tabla 13: Resultado del proceso de adquisición de productos

Categoría	Componente	Adquisición
Infraestructura	Carpa	✓
	Mesas	x
	Sillas	x
Equipos	Televisor 50"	✓
	Pedestal TV	✓
Fungibles	Caja Herramientas	✓
	Cajas Protectoras	✓
	Tótem Sanitario	✓

Como es posible observar, fue posible adquirir 6 de los 8 componentes requeridos. Para el caso de las mesas y sillas, se presentó un problema de stock por parte de los proveedores que imposibilitó su adquisición en los plazos definidos por el proyecto.

2.4 Montaje de laboratorio

Una vez adquiridos los diversos productos, se procedió al realizar el montaje del laboratorio, con el objetivo de verificar si el dimensionamiento de este fue realizado correctamente.

Con la finalidad de hacer un uso más eficiente de los recursos (tiempo y personal), antes de realizar el montaje real del laboratorio se procedió a realizar un modelo 3D del mismo.

2.4.1 Montaje Digital

Para la elaboración del montaje digital se recurrió a la utilización del software Autodesk Inventor bajo una licencia de estudiante otorgada por la universidad.

Las piezas utilizadas para el modelamiento de laboratorio se obtuvieron principalmente de 2 fuentes:

- Diseño Propio
- Biblioteca web gratuita GrabCad [22]

Adicionalmente, algunas de estas piezas fueron obtenidas desde la biblioteca GrabCad y se le realizaron modificaciones, de tal manera de obtener piezas similares a los productos adquiridos.

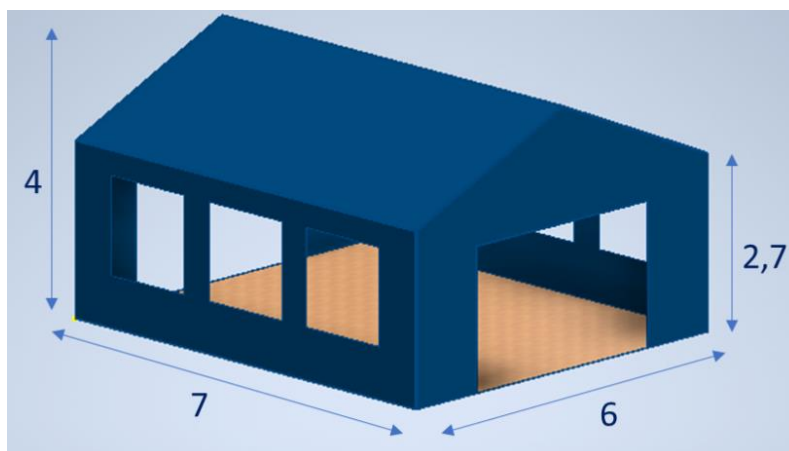


Figura 26: Carpa modelada mediante la utilización de Autodesk Inventor

A continuación, se presenta una serie de figuras obtenidas del ensamblaje de las diversas piezas, para los 3 tipos de modalidades antes establecidos. Para facilitar la observación de los componentes ubicados al interior del laboratorio, la carpa se presentará con una sección de corte en su parte superior.

2.4.1.1 Ensamblaje modalidad 1: Medición de Emisiones Vehiculares

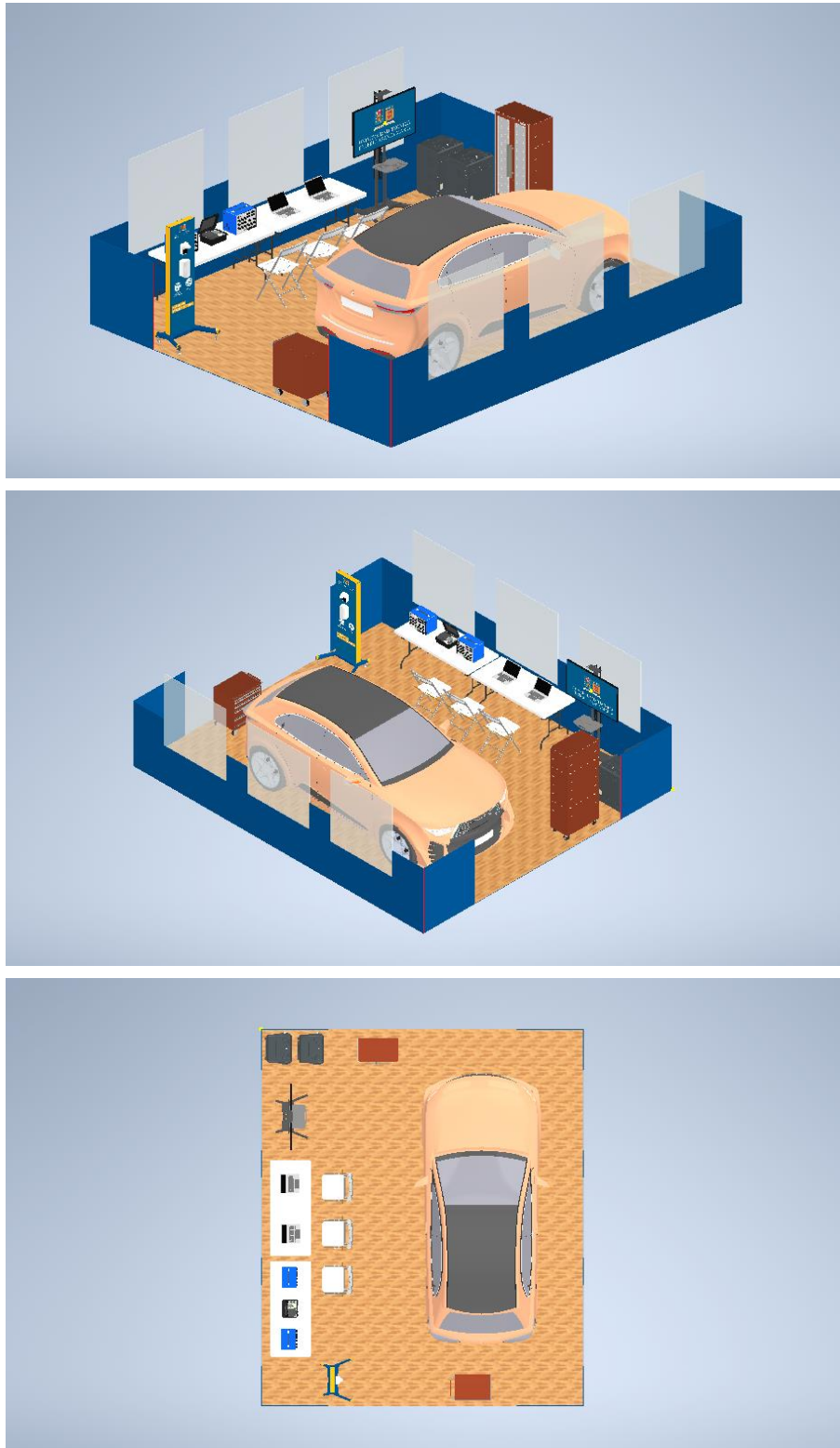


Figura 27: Montaje digital de equipos bajo Modalidad 1

2.4.1.2 Ensamblaje modalidad 2: Charla para 10 personas con distanciamiento social

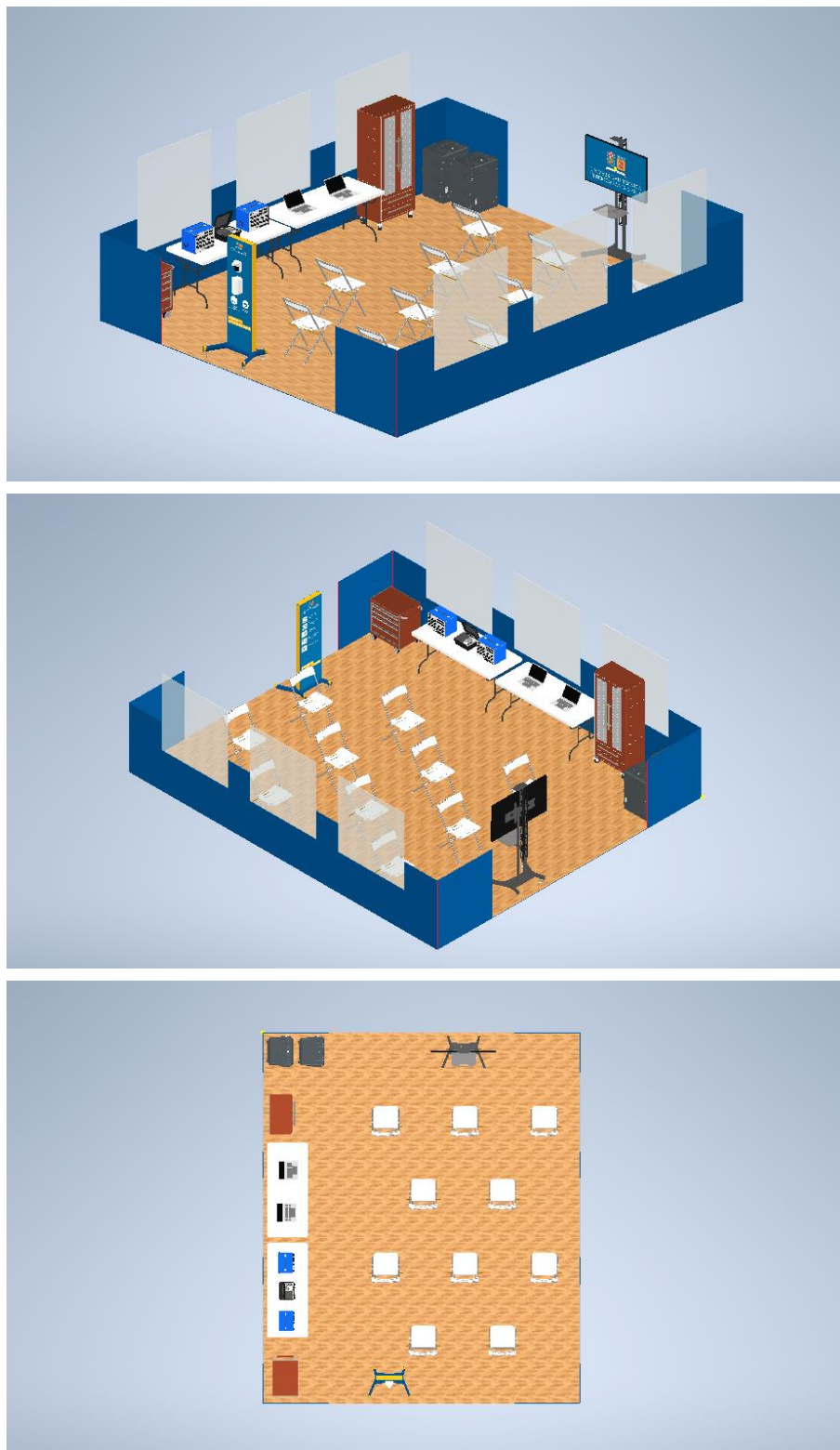


Figura 28: Montaje digital de equipos bajo Modalidad 2

2.4.1.3 Ensamblaje modalidad 3: Charla para 20 personas sin distanciamiento social

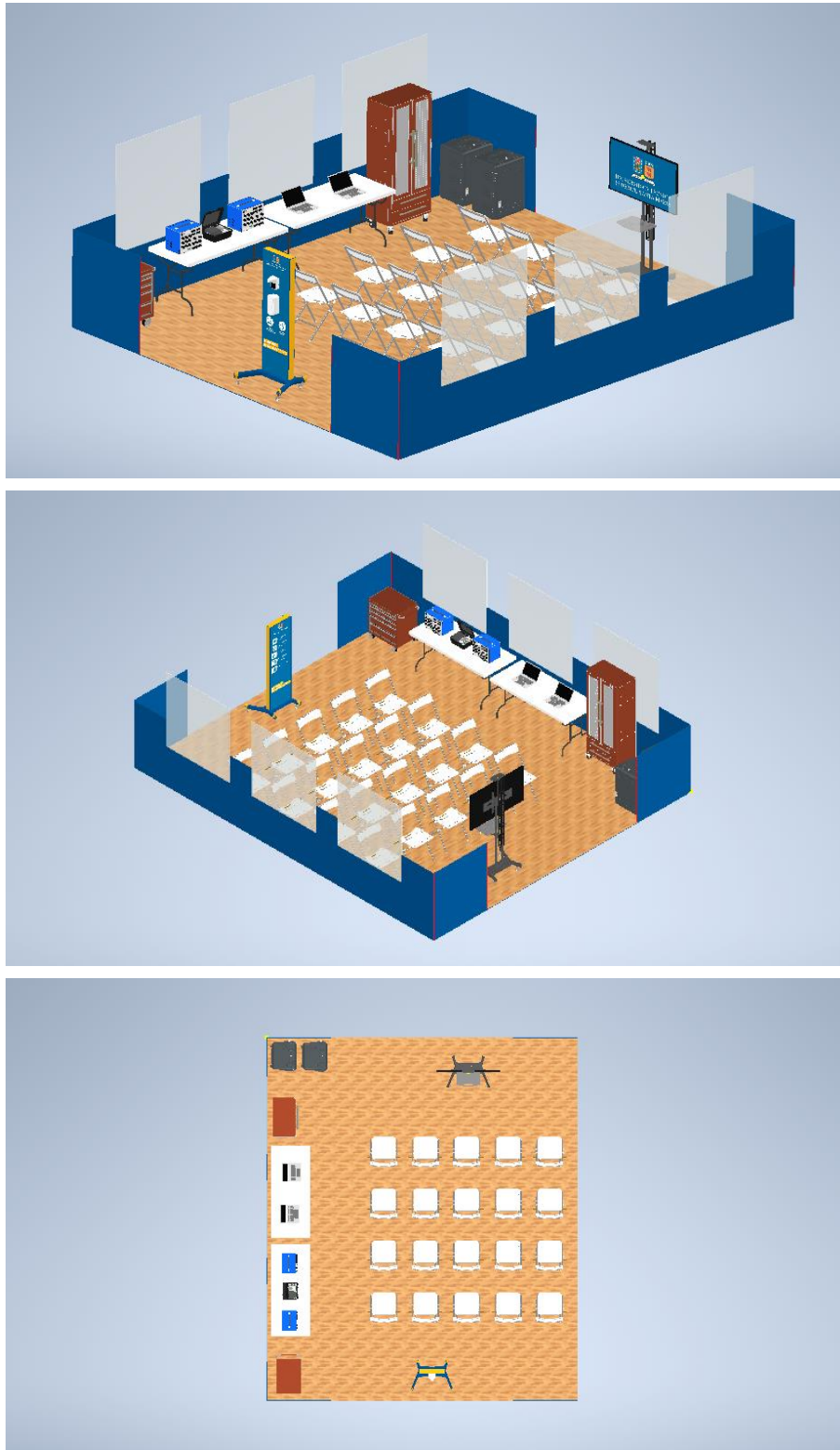


Figura 29: Montaje digital de equipos bajo Modalidad 3

2.4.2 Montaje Real

Esta tarea tuvo como objetivo principal familiarizarse con el proceso de armado de la carpa de tal manera de que, al momento de realizar una campaña real de mediciones, se tenga una mayor claridad con el proceso de ensamblaje y no se presentaran mayores contratiempos.

En cuanto a los elementos que componen la carpa, es posible encontrar:

- Pilares
- Vigas
- Correas
- Lona Principal
- Puertas
- Elementos de Anclaje

Para facilitar el transporte y almacenamiento de los elementos antes mencionados, estos se disponen bolsos de alta resistencia.

Adicionalmente se cuenta con un plano para facilitar el proceso de ensamblaje de la carpa.

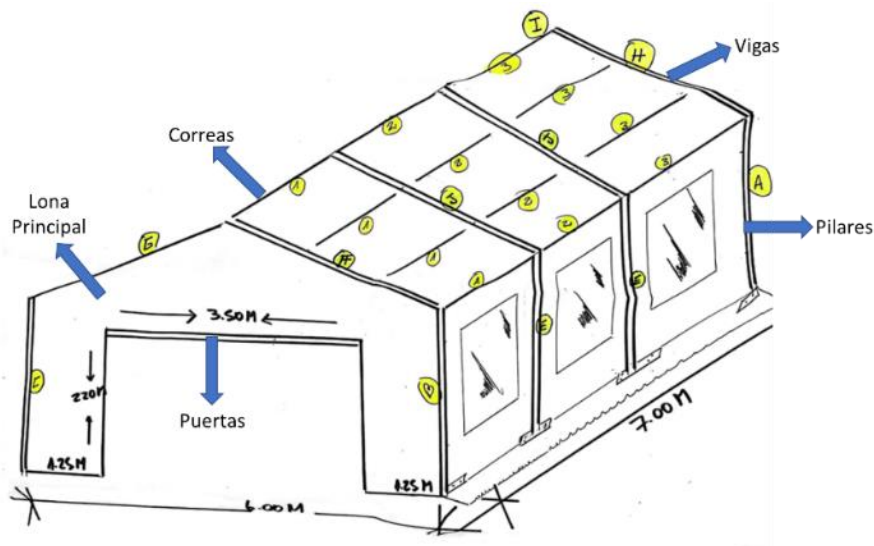


Figura 30: Plano de armado de carpa entregado por el fabricante

En cuanto al proceso de armado, se plantearon las siguientes fases:



Figura 31: Proceso de montaje de carpa

Para el caso del desmontaje, el proceso a seguir sería el inverso al mostrado anteriormente.

2.4.2.1 Primer Montaje

El día 11 de Noviembre de 2021 se procedió a realizar el primer montaje de la carpa, teniendo como ubicación el patio principal del Campus San Joaquín (USM). Los recursos disponibles para esta tarea fueron los siguientes:

- Tres personas encargadas del montaje y desmontaje
- Una llave métrica combinada de 21 mm y dos llaves inglesas
- Una escalera articulada de 3,5 metros
- Dos carros de carga facilitados por la universidad
- Seis horas para la realización de la actividad. Inicio 8 am, término 14 pm.

Siguiendo en proceso descrito en la Figura 31, se dio inicio al primer ensamblaje. A continuación, se presenta un resumen con las actividades realizadas.

Transporte Bodega- Patio: El transporte de los bolsos se realizó por aproximadamente 60 metros, desde una bodega hasta el patio principal. Para esta tarea resultó fundamental el uso de los carros de carga (facilitados por la universidad), debido al elevado peso que poseían los diversos componentes transportados (sobre 50 kilos). Cabe destacar que se necesitaron a lo menos 2 personas para cargar cada carro, lo que se tradujo en la necesidad de trabajar constantemente en parejas.

Armado de arcos: una vez dispuestos los bolsos en una ubicación estratégica (utilizando plano de montaje) se procedió a la formación de los arcos. Para ello se realizó, en primer lugar, la unión de vigas mediante la utilización de pernos. Posteriormente, se realizó la anexión de los pares de vigas a sus respectivos pilares (Figura 32). Para esta tarea fue necesario el trabajo conjunto de 3 personas.



Figura 32: Proceso de armado de arcos

Colocación de correas: una vez ensamblados los 4 arcos, se procedió a ponerlos de pie y a asegurarlos mediante sogas, dada la poca estabilidad que estos poseen individualmente. Una vez de pie, se procedió a la colocación de las correas, las cuales corresponden a perfiles metálicos que tienen como finalidad unir los distintos arcos y otorgarle mayor estabilidad a la estructura.



Figura 33: Colocación de correas

En esta tarea se presentaron los primeros inconvenientes, dado que las correas ubicadas a mayor altura no pudieron ser colocadas. Esto se debió a que la escalera utilizada no resultó ser adecuada, dada su poca longitud de alcance. Adicionalmente se evidenció la necesidad de disponer de 2 unidades para poder realizar el trabajo en parejas. Del mismo modo, se hizo presente la necesidad de disponer de elementos de protección personal (casco y sistemas de seguridad anticaídas) dado que el trabajo estaba siendo efectuado a una altura aproximada de 4 metros.

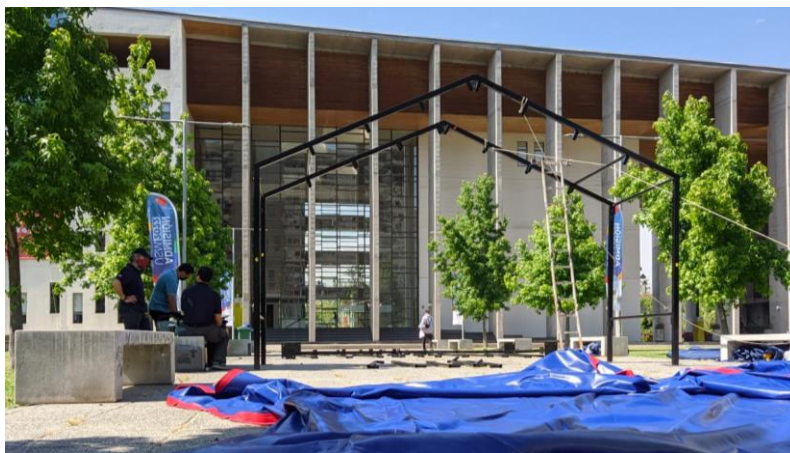


Figura 34: Avances alcanzados tras 4,5 horas de trabajo

Dados los inconvenientes antes mostrados, y el poco tiempo restante para finalizar la tarea (1,5 horas), se tomó la decisión de suspender el ensamblaje de la carpa y desmontar el avance logrado hasta ese momento (Figura 34). Pese a ello se decidió desplegar la lona a un costado de la estructura, de tal manera de indagar posibles requerimientos en la colocación de esta.

De esta manera, se pudo apreciar que serían necesarios elementos para traccionar la lona por sobre el armazón metálico, principalmente sogas y algún sistema de poleas, de tal manera que de facilitar el desplazamiento de esta. Esto se debe a que la lona posee un alto peso y debe ser elevada sobre los 4 metros para lograr envolver la estructura metálica.

A partir de las tareas desarrolladas fue posible rescatar las siguientes observaciones:

- Resulta fundamental contar con carros de cargas propios de tal manera de facilitar el transporte de bolsos.
- Seis horas de montaje resulta ser un tiempo insuficiente de montaje y desmontaje para un grupo de 3 personas que cuenten con los recursos antes mostrados.
- Para facilitar las diversas tareas sería recomendable contar con a lo menos 6 personas, de tal manera de poder realizar trabajos simultáneos y que no se presenten tiempos muertos.
- Se requiere a lo menos 3 llaves métricas combinadas de 21 mm y 3 llaves inglesas. Adicionalmente sería recomendable el uso de un martillo de goma para facilitar la correcta instalación de las piezas encastrables (correas).
- Resulta fundamental disponer de al menos 2 escaleras con una longitud mayor a 4 metros de tal manera de poder trabajar cómodamente en aquellas partes de mayor altura.
- Se requiere el uso de elementos de protección personal dado el riesgo que significa trabajar a la altura requerida por el montaje (mayor 4 metros).
- Es necesario el diseño de algún sistema de poleas o similar que facilite la colocación de la lona

2.5 Conclusiones particulares

El desarrollo del presente capítulo tuvo como resultado final el diseño, equipamiento y montaje de un laboratorio móvil multitareas enfocado principalmente a la medición de emisiones vehiculares.

Para el diseño del laboratorio se tomó como base la funcionalidad que este tendrá, definiendo para ello 3 modalidades de trabajo. A partir de estas modalidades fue posible determinar las dimensiones mínimas que el laboratorio debería tener para el correcto desarrollo de las diversas tareas, las cuales correspondieron a 7 metros de largo por 6 metros de ancho, dando un área total de 42 m².

Una vez definidas las dimensiones del laboratorio, se procedió al proceso de adquisición de los equipos que formarían parte del inventario utilizado en este. Para ello se inició la búsqueda en el mercado de los diversos componentes, teniendo como base un presupuesto previamente establecido. Como resultado fue posible encontrar la totalidad de los productos disponibles en el mercado local y a un costo inferior al presupuesto disponible, a excepción de la carpa, la cual presentó un costo superior al establecido debido a que se privilegió aquella alternativa que presentaba mejores prestaciones. Esto significó la inyección de mayores recursos, con el objetivo de asegurar la adquisición de todos los componentes seleccionados.

Finalmente, al momento de realizar el montaje del laboratorio, se pudo apreciar que existió una sobreestimación del material de fabricación de la carpa seleccionada, dado la estructura necesaria para soportar el peso de la lona aumentó considerablemente la dificultad de montaje del laboratorio. Adicionalmente se evidenció la necesidad de disponer de una mayor cantidad de recursos para el montaje del laboratorio, destacándose la indispensable necesidad de un mayor número de herramientas, equipos de seguridad y una mayor dotación de personal abocado al montaje del laboratorio.

De esta manera se pudo concluir que, si bien el diseño y equipamiento del laboratorio fue satisfactorio, existió un sobredimensionamiento de este, principalmente en la selección de la carpa adquirida. Esto se tradujo en el aumento de la dificultad de traslado, montaje y almacenamiento del laboratorio, dando como resultado una disminución en la capacidad de movilidad del mismo.

3 Diseño y validación de rutas de conducción RDE

3.1 Metodología

El presente capítulo tiene como objetivo responder al segundo y tercer objetivo establecido en esta memoria. El proceso de diseño y validación de rutas de conducción bajo estándar RDE (Real Driving Emissions) constó principalmente de 4 etapas de trabajo, las cuales correspondieron a: definición de criterios de diseño, la elaboración de rutas de conducción, ensayo de rutas y análisis de datos.

3.1.1 Definición de criterios de diseño

3.1.1.1 Criterios según normativa RDE

Para la determinación de los criterios de diseño de rutas se recurrió a la normativa europea asociada al ensayo de emisiones bajo condiciones reales de conducción conocido como ensayo RDE. Esta se encuentra definida en el Reglamento 2016/427 del Diario Oficial de la Unión Europea. El ensayo RDE tiene como característica principal la necesidad de realizarse en condiciones reales de conducción, también llamado operación “en ruta”. Es un ensayo complementario al que se lleva a cabo en el laboratorio de homologación.

Al finalizar el respectivo ciclo de conducción, y antes de realizar el cálculo de emisiones de contaminantes, se deben revisar una serie de parámetros característicos del ensayo realizado (Figura 17), entre los que se encuentran los requisitos de viaje.

Como es posible observar en la siguiente tabla, el viaje o trayecto realizado debe constar de tres fases de conducción: urbano, rural y autopista, cada una con requerimientos particulares.

Tabla 14: Requerimientos de viaje para un ensayo RDE

Tipo de conducción	Urbano	Rural	Autopista
Rango de velocidad	$V \leq 60$ Km/h	$60 < V \leq 90$ Km/h	$V > 90$ Km/h
Distancia mínima	16 Km	16 Km	16 Km
Tiempo de viaje	90-120 minutos		
% de Ruta	29-44 %	23-43%	23-43%
Vel. Promedio incluyendo paradas	$15 < V \text{ Prom.} \leq 40$ Km/h		
% Tiempo de detención ($V < 1$ km/h)	6-30 % tiempo de conducción urbana		
Tiempo de detención individual	≤ 300 s		
$V > 100$ Km/h			≥ 5 min
$V > 145$ Km/h			$< 3\%$ tiempo autopista
Diferencia altitud partida/llegada	< 100 m		

De esta manera, para obtener una medición válida es necesario que el viaje realizado cumpla con todas las condiciones antes mencionadas. En caso de no cumplir con alguna de ellas, la prueba será considerada inválida y deberá repetirse, ya sea utilizando el mismo trayecto o buscando una nueva alternativa. Es por ello que resulta fundamental el correcto diseño de la ruta a seguir, de tal manera que esta permita el desarrollo de los distintos tipos de conducción.

De la Tabla 16 es posible apreciar que un gran número de los requerimientos impuestos por la normativa dependen de condiciones externas, relacionadas principalmente con la conducción realizada y del tránsito al momento de realizar el ensayo, y no de la ruta previamente establecida. Es por esto que para el diseño de rutas se tomaron en consideración, en primera instancia, solo algunos de los requerimientos antes vistos, tales como: la fracción de ruta según tipo de conducción, la distancia mínima total del ciclo, el tiempo de duración y la diferencia de altitud entre el punto de partida y el punto de llegada.

Tabla 15: Características de diseño seleccionadas de los requisitos de viaje del ensayo RDE

Características de diseño según Normativa	
Distancia mínima total	42 Km
Porcentaje de ruta bajo conducción urbana	29-44 %
Porcentaje de ruta bajo conducción rural	23-43%
Porcentaje de ruta bajo conducción autopista	23-43%
Tiempo de viaje	90-120 minutos
Diferencia altitud partida/llegada	< 100m

3.1.1.2 Criterios adaptados a la ciudad

Paralelamente a los requerimientos provenientes de la normativa, se establecieron criterios de diseños aplicables a la ciudad de Santiago, con el objetivo de disponer de una ruta que realmente represente el uso real que tendría un vehículo en su día a día.

Un aspecto importante a tener en cuenta es la necesidad de realizar 3 tipos o modos de conducción: Urbano, Rural y Autopista. La diferencia entre cada uno de ellos radica principalmente en la velocidad de desplazamiento del vehículo durante el ensayo, las cuales varían desde el reposo hasta velocidades superiores a 90 km/h. A raíz de lo anterior, nace la problemática asociada a la imposibilidad de realizar los modos de conducción rural y autopista en zonas urbanas (calles, avenidas, etc.), ya que estos modos implican transitar a velocidades mayores a los límites impuestos por la autoridad, el cual corresponde, en el mejor de los casos, a 50 km/h. Debido a esto, la selección del tipo de vía que será parte de la ruta de conducción resulta crítica para el proceso de diseño.

Basándose en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.U.G.C) en su título 2, capítulo 3, artículo 2.3.2 [26], se establece la siguiente clasificación para las vías de circulación vehicular:

- **Vía Expresa:** Interconecta diferentes comunas a nivel regional, tiene una velocidad de diseño de 80 a 100 [km/h], con gran capacidad de desplazamiento vehicular con flujos superiores a los 4.000 [vehículos/hora] considerando ambos sentidos de circulación.
- **Vía Troncal:** Interconecta diferentes zonas urbanas de una intercomuna, tiene una velocidad de diseño de 50 a 80 [km/h], alta capacidad de desplazamiento vehicular con flujos superiores a 2.000 [vehículos/hora] considerando ambos sentidos de circulación.
- **Vía Colectora:** Esta vía cumple el rol de corredor de distribución entre la residencia, empleos y servicios, tiene una velocidad de diseño de 40 a 50 [km/h], una capacidad vehicular de 1.500 [vehículos/hora] considerando ambos sentidos de circulación.
- **Vía de Servicio:** Ubicadas en centros o subcentros urbanos, cuya finalidad es permitir la accesibilidad a los servicios y al comercio, presenta una velocidad de diseño de 30 a 40 [km/h], una capacidad vehicular de 600 [vehículos/hora] considerando toda su calzada.
- **Vía Local:** Establecen relaciones entre las vías troncales, colectoras y de servicios, además del acceso a la vivienda. Presenta una velocidad de diseño de 20 a 30 [km/h] y una capacidad vehicular baja.

Es debido a esto que, para poder realizar la prueba sin incurrir en una infracción de tránsito, se deberá procurar que los modos de conducción rural y autopista sean realizados en vías expresas o troncales. Por esta razón, y dadas las características de la ciudad, se tomó la decisión de utilizar autopistas urbanas para ambos tipos de conducción, mientras que el modo urbano sería realizado en vías urbanas (colectoras, de servicio, local, etc.)

De esta manera, para asegurar el cumplimiento del requerimiento asociado a la fracción del trayecto de cada modo de conducción, se debió definir un nuevo criterio de diseño. Este nuevo criterio tiene como objetivo establecer los límites para el tipo de vía utilizada en las rutas diseñadas, en las cuales se desarrollarán los 3 tipos de conducción. A partir de lo anterior el nuevo criterio queda definido de la siguiente manera.

Tabla 16: Tipo de vía utilizada según el tipo de conducción a realizar

Tipo de Conducción	Fracción de la Ruta Diseñada	
	Vía Urbana	Autopista Urbana
Urbano	29-44%	-
Rural	-	23-43%
Autopista	-	23-43%
	29-44%	56-71 %

Dado que las rutas a diseñar serán dentro de Santiago de Chile y que se busca un ciclo de conducción representativo a un uso real de un vehículo, resultó necesario indagar el comportamiento del flujo de personas en su día a día, principalmente en sus días laborables. Una característica que afecta a esta urbe es la “periferización” de la población (Cabrera, 2003), es decir, que gran parte de su población habita a una distancia superior a 10 km del centro de la ciudad, en comunas periféricas, tales como Puente Alto, La Florida, Maipú, Pudahuel, Quilicura, etc. Por el contrario, gran parte de las comunas donde se ubican los empleos corresponden a comunas céntricas, como lo es Santiago Centro, Providencia o Ñuñoa, lo que implica el desplazamiento de la población entre estos grupos de comunas. Por esta razón, se tomó la decisión de incluir como criterio de diseño adicional, que la ruta comunique al menos una comuna periférica y una comuna céntrica de las antes mencionadas.

Las comunas consideradas como periféricas serán aquellas que posean parte de su territorio o su totalidad a una distancia superior a 10 Km respecto al centro de la ciudad, ubicado en la Plaza de Armas de la comuna de Santiago. Dichas comunas corresponden a: Quilicura, Huechuraba, Vitacura, Lo Barnechea, Las Condes, La Reina, Peñalolén, La Florida, Puente Alto, La Pintana, El Bosque, San Bernardo, Maipú, Padre Hurtado y Pudahuel.

3.1.2 Diseño de Rutas de Conducción

Una vez definidos los criterios se procederá al diseño de 3 rutas diferentes. Para ello se recurra al programa Google Maps, el cual corresponde a una aplicación de mapas en la web perteneciente a la compañía Alphabet Inc. Este programa permite la elaboración de diversas rutas mediante la conexión de múltiples destinos. Además de proveer el trazado de la ruta, permite obtener algunas características de la misma, tales como la distancia total a recorrer y un tiempo estimado de viaje. Esto permite, en una primera instancia, conocer las propiedades de la ruta diseñada y saber si esta podrá cumplir con los criterios antes establecidos.

3.1.3 Medición de Condiciones Dinámicas

Posterior al diseño se dará inicio al ensayo de las rutas establecidas. Este tiene como objetivo verificar si un vehículo que transite por las rutas diseñadas será capaz de cumplir con los requerimientos de viaje necesarios (Tabla 14) al momento de realizar un ensayo de emisiones bajo condiciones RDE. Como primer paso en el proceso de ensayo, se deberá transitar por las rutas diseñadas y cuantificar las diversas variables dinámicas del vehículo a lo largo de la prueba.

Para la revisión de las variables dinámicas se utilizará una VAM (Vehicle Activity Monitoring), desarrollada por la Universidad Técnica Federico Santa María, la cual permite conocer y registrar en tiempo real parámetros claves, tales como la geolocalización (coordenadas geográficas), la velocidad, la aceleración, la temperatura, la presión, la altitud y la humedad, en intervalos de tiempos definidos.

Una vez finalizado el procedimiento de medición será posible obtener un archivo en formato CVS (valores separados por comas) con las características antes mencionadas.

A continuación, se presenta la ficha técnica disponible para el equipo utilizado.


FICHA TÉCNICA VAM							
EQUIPO				VAM: Vehicle Activity Monitor			
CARACTERÍSTICAS GENERALES							
PESO	260 [g]	ALTURA	36 [mm]	LARGO	145 [mm]	ANCHO	90 [mm]
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				FOTO DEL EQUIPO			
<ul style="list-style-type: none"> • Placa de desarrollo módulo ESP-WROOM-32D • Socket batería 18650 x2 salida 3.3V – 5V Step up down, con holder para PCB soldable • Batería IMR 18650 2100mAh 3.7V • Lector de SD con detección de tarjeta • Tarjeta Micro SD 16GB SanDisk Ultra • Módulo GPS NEO-6M • Par LED RGB transparente • Botones pulsadores 2-3 pines para protoboard 							
FUNCIÓN				Placa alimentada por baterías tipo Li-Ion 18650, con conectividad LoRa Wan y microcontrolador ESP32 con conexión WIFI para adquisición de datos mediante sistema de posicionamiento global, que entrega antecedentes de geolocalización, además de diferencias de altura, presión, temperatura, velocidades y aceleraciones presentes en el modelo o ruta de estudio.			

Figura 35: Ficha técnica de VAM utilizada para la medición de condiciones dinámicas. Fuente [28]

3.1.4 Análisis de datos

A partir de la información obtenida de la medición de las variables dinámicas realizadas por la VAM, se realizará el análisis de estos datos. Para ello se recurrirá a un software desarrollado en el proyecto ANID FONDEF IDeA I+D ID18I10297, cuyo principal creador es Mon Lee Wu [29].

Este programa fue desarrollado en el lenguaje de programación Python, en donde se trabajó con múltiples librerías disponibles para dicho lenguaje, tales como Numpy, Spicy, Plotlit, etc. Este software interpreta la información obtenida por la VAM, procesa dicha información y entrega diversas características del recorrido realizado, tales como el perfil de velocidad a lo largo del tiempo,

el perfil de aceleración, diferencias de altitud entre cada medición, etc. Adicionalmente entrega un trazado de la ruta realizada.

Si bien el método de funcionamiento del programa es mucho más complejo, este se podría resumir de la siguiente manera:

- ❖ Para determinar la distancia recorrida, se hace uso de la herramienta “cumtrapz” de la librería “Scipy”, el cual calcula la distancia total recorrida hasta cada segundo, integrando la velocidad mediante la regla del trapecio compuesta.
- ❖ Para el cálculo de la pendiente, se utiliza la función “get_route_grade” el cual divide la distancia total recorrida en tramos de 150 [m] y calcula la pendiente para cada segmento mediante una regresión lineal predictiva entre los valores de distancia y altura.
- ❖ Para la velocidad registrada por la VAM, se le aplica un filtro matemático Savitzky-Golay de la librería Scipy con el fin de suavizar la curva de velocidad, ajustando los datos que no siguen la tendencia natural de la curva de velocidad. Dado que la aceleración por definición corresponde a la derivada de la velocidad, la aceleración puede ser determinada utilizando métodos numéricos que permitan calcular la derivada a partir de datos discretos.
- ❖ Para el trazado de la ruta realizada se recurre a las coordenadas geográficas medidas por el GPS de la VAM (latitud y longitud) y a la utilización de la herramienta GPS Visualizer. Adicionalmente este programa contiene almacenados los requisitos de viaje impuestos por la normativa RDE (Tabla 14), los cuales son comparados con los determinados por el mismo programa.
- ❖ Finalmente, los resultados conseguidos son presentados en una interfaz web mediante la utilización de la herramienta Streamlit, tal como se muestra en la Figura 36.



The screenshot shows the PEMS Chile web interface. It features a logo at the top left, a navigation menu on the left, and a main content area on the right. The navigation menu includes options like 'Inicio', 'Información de la Medición', 'Sincronización', 'Emisiones', 'Potencia Especifica del Vehículo', 'Normativa', and 'EXTRA'. The main content area is titled 'Información de la Medición' and contains a dropdown menu for selecting a measurement to analyze, currently showing 'Medicion 006'. Below this, there are two sections: 'Información del vehículo' and 'Información de los equipo de medición'. The vehicle information section includes a car image and details: 'Vehículo: Seat Ibiza 2020', 'Categoría: Auto Compacto', 'Tamaño motor: 1.6', and 'Combustible: Gasolina'. The equipment information section includes an image of the measurement equipment and a list of equipment: 'Efilter', 'MiniPEMS', 'Pegasor', 'Semtech', and 'VAM'.

Figura 36: Interfaz de usuario de software utilizado

De esta manera, mediante el procesamiento de las variables dinámicas y de las características del trayecto realizado, será posible obtener parámetros relacionados directamente con la normativa RDE, tales como la distancia recorrida según tipo de conducción, velocidades promedio, tiempos de detención, etc. Finalmente, al aplicar los requerimientos de la normativa a los parámetros entregados por el software, será posible determinar si las rutas diseñadas son capaces de brindar las condiciones necesarias para que un ensayo RDE puede realizarse de manera válida.

3.2 Rutas de conducción propuestas

Mediante el uso de la herramienta “Como Llegar”, disponible en Google Maps, fue posible el diseño de 3 rutas. Esta herramienta, además de proporcionar características de ruta diseñada, permite identificar el tipo de vía de circulación por la cual se está transitando, posibilitando discernir si esta corresponde a una vía urbana o a una autopista urbana.

Con el objetivo de asegurar el cumplimiento del requisito asociado a la diferencia de altitud entre el punto de partida y llegada, se definieron ambos lugares como el ingreso de la Universidad Federico Santa María, ubicado en El Pinar 64, comuna de San Joaquín.



Figura 37: Principales autopistas urbanas disponibles en Santiago de Chile [27]

A continuación, se presentan las 3 rutas diseñadas, indicando en cada una de ellas, la distancia total, el tiempo estimado de viaje, la fracción el según tipo de vía y las comunas conectadas por la ruta diseñada. Para poder diferenciar las distintas rutas, se presenta el trazado de cada una de ella en un mapa de la ciudad. Con un color celeste se presenta el recorrido propuesto, junto a una circunferencia

roja que representa un anillo de aproximadamente 10 Km de radio, cuyo centro corresponde a la Plaza de Armas de la Santiago.

3.2.1 Ruta 1: Sur

La primera ruta diseñada se denominó “Ruta Sur”, dado que recorre principalmente comunas del sector sur de la ciudad. A continuación, se presenta el trazado de la ruta.

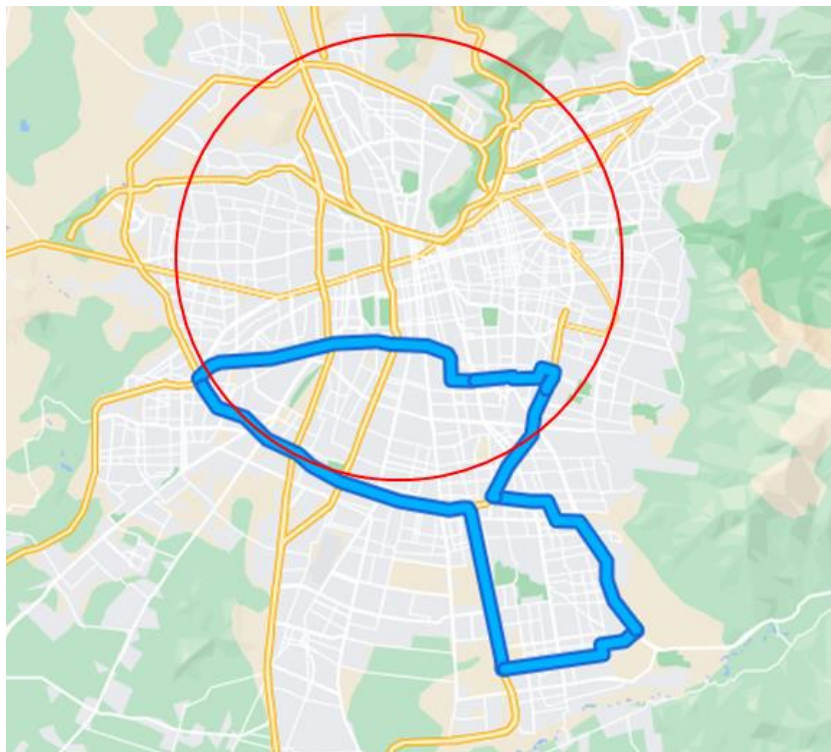


Figura 38: Trazado realizado por Google Maps para la Ruta Sur [30]

Este trayecto presenta las siguientes características:

Tabla 17: Características de interés de la Ruta Sur

Ruta 1: Sur		
Distancia Total	62,4 Km	
Vías Urbanas	21,6 Km	39 %
Aut. Urbanas	33,9 Km	61 %
Tiempo Est	92 min	

A continuación, se presentan las comunas por las que se transitará, siendo un total de 13. Aquellas consideradas como periféricas están diferenciadas por un asterisco (*).

Macul	Estación Central	Lo Espejo	La Pintana*
San Joaquín	Cerrillos	La Cisterna	Puente Alto*
Santiago Centro	Maipú*	La Granja	La Florida*
Peñalolén*			

3.2.2 Ruta 2: Oriente

La segunda ruta diseñada se denominó “Ruta Oriente”, dado que recorre principalmente comunas del sector oriente de la ciudad. A continuación, se presenta el trazado de la ruta.

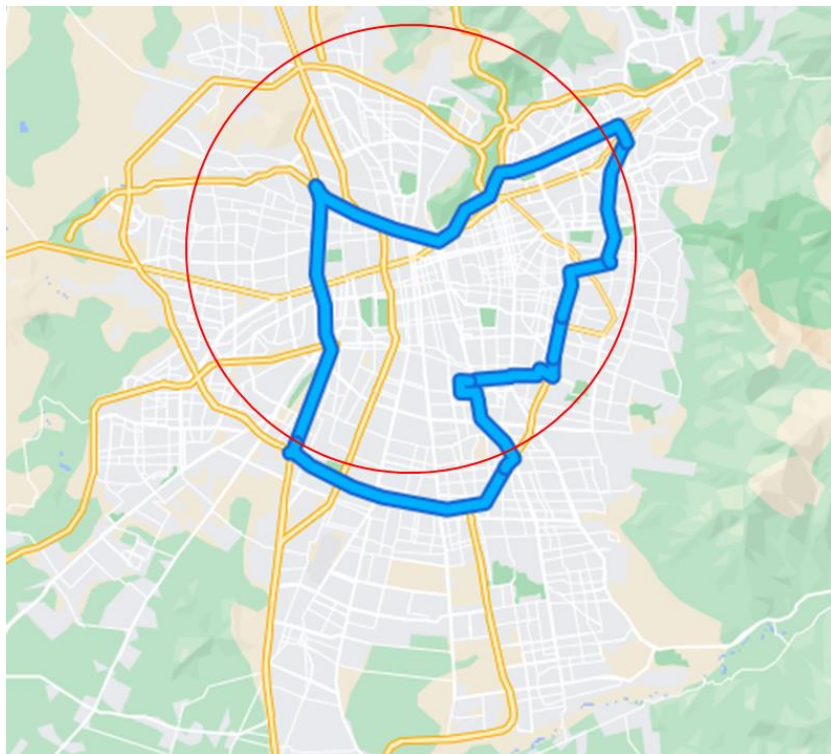


Figura 39: Trazado realizado por Google Maps para la Ruta Oriente [30]

Este trayecto presenta las siguientes características:

Tabla 18: Características de interés de la Ruta Oriente

Ruta 2: Oriente		
Distancia Total	62,5 Km	
Vías Urbanas	20 Km	32 %
Aut. Urbanas	42,5 Km	68 %
Tiempo Est.	95 min	

A continuación, se presentan las comunas por las que se transitará, siendo un total de 16. Aquellas consideradas como periféricas están diferenciadas por un asterisco (*).

Macul	Vitacura*	Estación Central	San Ramon
Peñalolén*	Providencia	Cerrillos	La Granja
La Reina*	Santiago Centro	Lo Espejo	La Florida*
Las Condes*	Quinta Normal	La Cisterna	San Joaquín

3.2.3 Ruta 3: Central

La tercera ruta diseñada se denominó “Ruta Central”, dado que su recorrido considera comunas del sector Oriente y Poniente de la ciudad. A continuación, se presenta el trazado de la ruta.

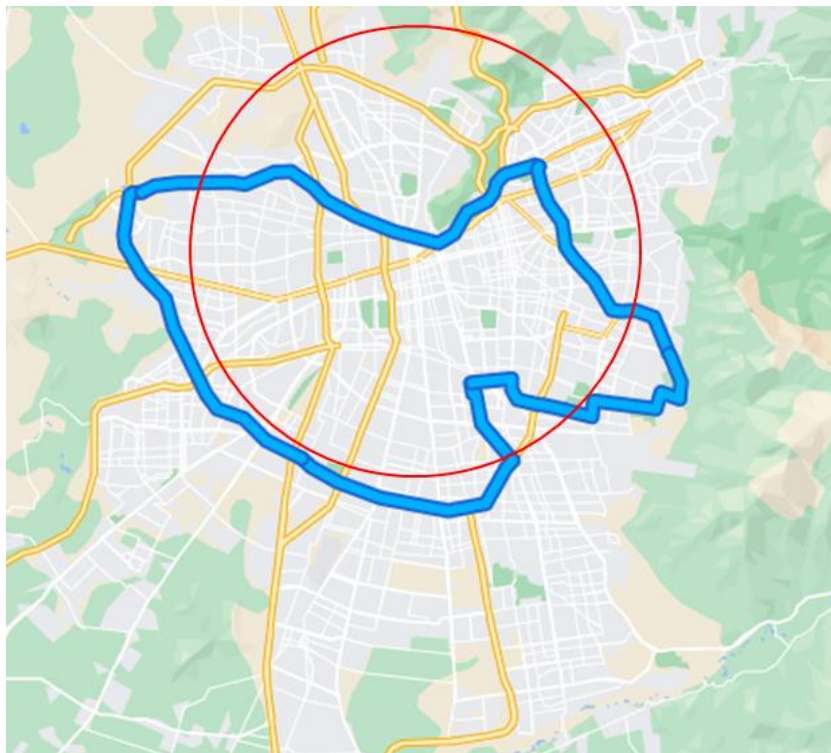


Figura 40: Trazado realizado por Google Maps para la Ruta Central [30]

Este trayecto presenta las siguientes características:

Tabla 19: Características de interés de la Ruta Central

Ruta 3: Central		
Distancia Total	70 Km	
Vías Urbanas	28.9 Km	41 %
Aut. Urbanas	41.1 Km	59 %
Tiempo Est.	100 min	

A continuación, se presentan las comunas por las que se transitará, siendo un total de 18. Aquellas consideradas como periféricas están diferenciadas por un asterisco (*).

Macul	Providencia	Maipú*	La Granja
Peñalolén*	Santiago	Cerillos	La Florida*
La Reina*	Quinta Normal	Lo Espejo	San Joaquín
Las Condes *	Renca	La Cisterna	
Vitacura*	Pudahuel*	San Ramon	

3.3 Validación de rutas

Para lograr verificar que las rutas diseñadas sean adecuadas para su uso en un ensayo de emisiones RDE, fue necesario la puesta a prueba de estas. Para ello se procedió a transitar por las rutas diseñadas, medir las condiciones dinámicas del vehículo utilizado y finalmente realizar un análisis de los datos obtenidos.

El proceso de medición se planificó de tal manera de contar con 2 jornadas de medición, en donde se probarían las 3 rutas diseñadas. Para lograr representar de mejor manera el uso habitual que tendría un vehículo, se decidió realizar las mediciones durante la semana, es decir, de lunes a viernes y en una ventana horaria que abarcara desde las 7 am hasta las 20 pm.

3.3.1 Recolección de información

De esta manera, la primera jornada de mediciones fue realizada el día jueves 6 de Enero de 2022, en donde fueron ensayadas las rutas 1 y 2. La primera ruta a ensayar fue la “Ruta Sur”, con una hora de inicio programada a las 11 am. Por otro lado, la segunda ruta ensayada fue la Oriente, la cual tendría una hora de inicio a las 14 pm.

La realización de las mediciones constó de 2 personas: un conductor (Kevin Espindola) encargado del manejo del vehículo y del correcto seguimiento de la ruta, y un copiloto (Axel Peña), encargado de la revisión del correcto funcionamiento de los equipos de medición.



Figura 41: Vehículo y equipos utilizado para la medición de condiciones dinámicas del mismo. Fuente [52]

Una vez realizadas ambas rutas, se procedió a una revisión de la información obtenida. A continuación, se presenta una tabla resumen de las mediciones realizadas por la VAM.

Tabla 20: Resumen de datos entregados por la VAM tras la realización de rutas Sur y Oriente

Ruta	Hora Inicio	Hora Término	Número de mediciones
Sur	10:58:56	12:50:00	6665
Oriente	14:16:27	15:48:37	5527

3.3.2 Análisis de Datos Ruta Sur y Ruta Oriente

Antes de comenzar con el análisis de los datos obtenidos, se procedió a realizar un filtrado de estos, con el objetivo de evitar una interpretación errónea de información obtenida. Uno de los principales puntos de interés que se abordaron fue el tiempo transcurrido desde el inicio del muestreo de datos y el inicio de la conducción. Del mismo modo, fue necesario analizar el tiempo transcurrido desde la detención final del vehículo y la finalización de la toma de muestras. Esto se debe a que en estos intervalos de tiempo el vehículo se encuentra detenido más del tiempo habitual, por lo que se podrían ver afectados los resultados finales, principalmente, los tipos de conducción realizados.

Para lograr una homogeneidad en el análisis de la información obtenida, se consideró como punto de inicio del muestreo de datos, aquella medición realizada como máximo 10 segundos antes de iniciar la conducción ($V > 1$ km/h). Del mismo modo, se consideró como punto de término de muestreo aquella medición realizada hasta 10 segundos después de la detención final del vehículo. De esta manera, luego de realizar el filtrado, la cantidad de datos a analizar es la siguiente.

Tabla 21: Resumen de datos ya filtrados para las rutas Sur y Oriente

Ruta	Hora Inicio	Hora Término	N° de Mediciones	Mediciones Filtradas
Sur	11:11:47	12:49:47	5881	784
Oriente	14:17:30	15:46:54	5365	162

Una vez filtradas las mediciones, se procedió a incorporarlas al software, el cual permite analizar las condiciones dinámicas del vehículo durante la circulación por las rutas diseñadas.

3.3.2.1 Análisis Ruta Sur

Como primer paso en el proceso de análisis, se procedió a realizar una inspección al trazado del trayecto realizado obtenida mediante GPS Visualizer (Figura 42).

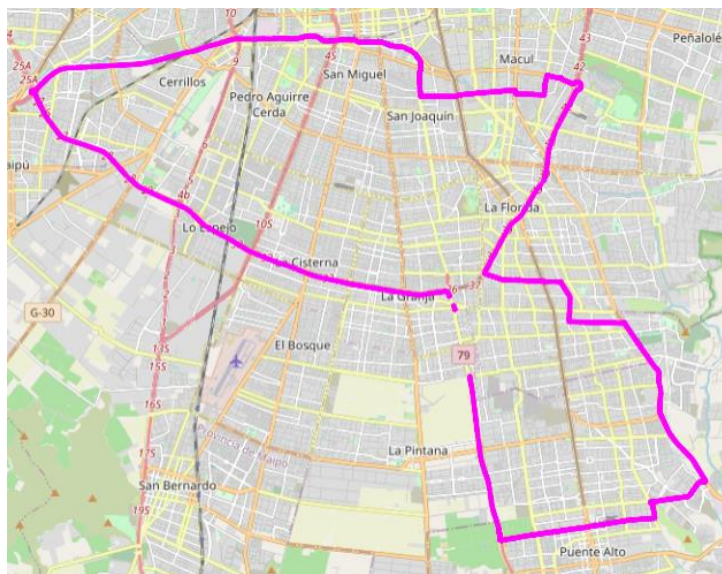


Figura 42: Trazado del recorrido realizado mediante GPS Visualizer (Ruta Sur)

Pese a que el desarrollo del viaje fue exitoso, fue posible observar la presencia de “discontinuidades” en el trazado del recorrido realizado. Estas se presentan con mayor detalle en la Figura 43, las cuales fueron representadas como líneas de segmento rojas.

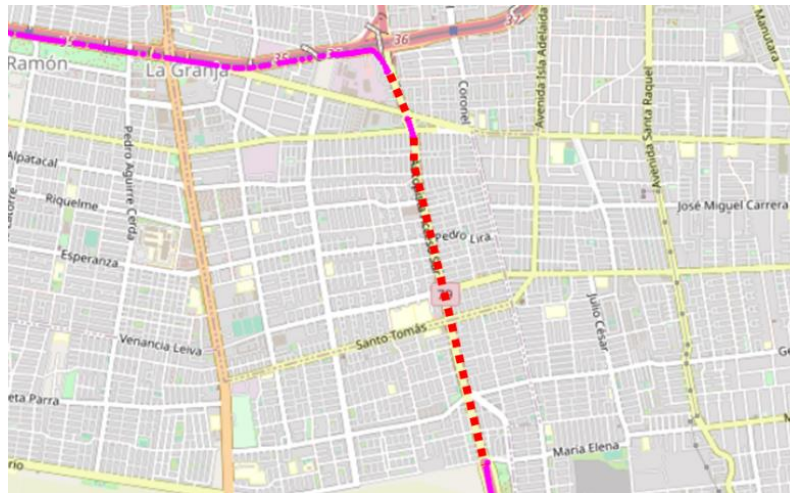


Figura 43: Discontinuidades presentes en el trazado del trayecto realizado (Ruta Sur)

Geográficamente este tramo de discontinuidades se presenta en la comuna de la Granja y tiene como punto de inicio la conexión entre la Autopista Vespucio Sur y el Acceso Sur, la cual se caracteriza por ser una intersección a desnivel, como se aprecia en la Figura 44.



Figura 44: Conexión subterránea Autopista Vespucio Sur – Acceso Sur. Fuente: Google Street View [31]

Posterior a esta conexión subterránea, se presenta un pequeño tramo descubierto. Sin embargo, la vía rápidamente cambia su morfología pasando de ser una vía al aire libre a convertirse nuevamente en una vía subterránea, como se aprecia en la Figura 45.



Figura 45: Cambio de via descubierta a subterránea en la autopista Acceso Sur. Fuente: Google Street View [31]

Con el objetivo de indagar las causas de estas desconexiones, se realizó una inspección a las mediciones obtenidas en este tramo. Como resultado, fue posible evidenciar la pérdida de señal GPS por parte de la VAM. Como se puede observar en el siguiente gráfico, el número de satélites en conexión con la VAM se redujo a 0 en el tramo estudiado. Esto significó la interrupción en la correcta medición de parámetros claves, tales como el posicionamiento (coordenadas geográficas).

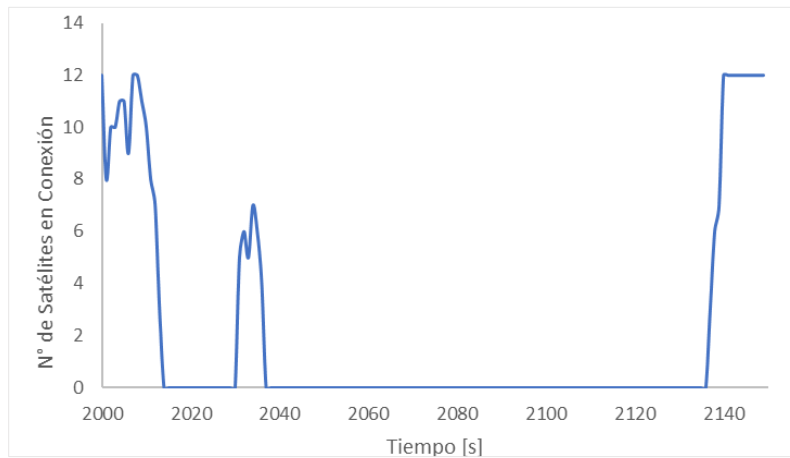


Figura 46: Número de satélites conectados a la VAM en el intervalo de tiempo 2000 a 2150 segundos

Estas desconexiones tuvieron una duración de 107 segundos y significó la interrupción en la adquisición de datos por aproximadamente 2,4 kilómetros, es decir, un 1,8% del tiempo total de mediciones y un 3,8% del recorrido total.

Una vez estudiadas las causas de las desconexiones, se procedió a la revisión de las condiciones dinámicas del vehículo a lo largo del recorrido y de su respectivo cumplimiento según la normativa asociada. Para ello se recurrió a la herramienta “Normativa” del software antes utilizado.

A continuación, se presenta una tabla resumen con las características de interés, en donde se indica si el requerimiento de la normativa RDE fue cumplida o no.

Tabla 22: Resultado de cumplimiento de requerimientos de ruta bajo estandar RDE para la Ruta Sur

Característica	Requerimiento	Resultado	Cumple / No cumple
Conducción Urbana	34% ± 10%	46,34%	No Cumple
	>16 km	29,15 km	Cumple
Conducción Rural	33% ± 10%	32,28%	Cumple
	>16 km	20,31 km	Cumple
Conducción Autopista	33% ± 10%	21,39%	No Cumple
	>16 km	13,45 km	No Cumple
V promedio C. Urbana	15 < V ≤ 40 km/h	23,47 km/h	Cumple
V>145 km/h	<3% T aut.	0%	Cumple
V> 100 km/h	≥ 300 s	209 s	No Cumple
Diferencia Altura	<100 m	0,4 m	Cumple
Tiempo Total	5400 < t <7200 s	5881 s	Cumple
% T. de detención (V<1 km/h)	6-30% T.urb	25%	Cumple
T. de detención ind.	<300 s	62 s	Cumple

Como se mencionó anteriormente, para lograr que la ruta diseñada sea considerada apta para ser utilizada en un ensayo RDE, el recorrido desarrollado debe cumplir con todos los requerimientos establecidos por el reglamento. Debido a lo anterior, fue posible afirmar que la “Ruta Sur” no es apta para ser utilizado un ensayo RDE, puesto que cumple solamente 9 de los 13 requerimientos impuestos por la normativa.

Pese a que el trayecto realizado no cumple con las características solicitadas, y por ende, la ruta no podría ser utilizada en un ensayo RDE, resulta fundamental el estudio de las causas que llevaron a este resultado.

Uno de los requerimientos de mayor relevancia que no fue cumplido fue el tipo de conducción, en donde se pudo apreciar un exceso en la conducción de tipo urbana, acompañado de un déficit en la conducción de tipo autopista. Adicionalmente fue posible apreciar que el vehículo no fue conducido a una velocidad mayor a 100 km/h por un tiempo mayor a 5 minutos.

En primera instancia, se podría concluir que la conducción fue “lenta” dada la predominancia de velocidades menores a 90 km/h, en donde 78,62% del recorrido fue realizado bajo una conducción de tipo urbano y rural. Lo anterior podría deberse a múltiples factores, tales como la actitud de manejo del conductor, un alto tráfico a la hora de realizar las mediciones o interrupciones en las vías (arreglos,

accidentes, etc.). Esto podría ser corregido en una nueva prueba, realizando las mediciones en un horario con un menor flujo de vehículos y procurando tener una conducción a una velocidad mayor, cumpliendo en todos los casos, los límites de velocidad establecidos en las vías utilizadas.

Si bien la solución antes propuesta podría ser suficiente para que el trayecto desarrollado cumpla con los requerimientos, resulta fundamental estudiar como la pérdida de la señal GPS pudo afectar en las mediciones realizadas y en los resultados obtenidos.

Como se mencionó anteriormente, la pérdida de señal GPS implica, en primer lugar, la pérdida de la recolección en tiempo real de las coordenadas geográficas del vehículo. Sin embargo, realizando una revisión a las mediciones obtenidas en el intervalo de tiempo en el cual se produjeron las desconexiones, se pudo apreciar un comportamiento peculiar, en donde aquellos parámetros que no pudieron ser medidos o determinados, fueron repetidos respecto al intervalo de tiempo anterior, en el cual se pudo realizar correctamente la medición. En otras palabras, se produce una reiteración de la información durante la desconexión, la cual es mantenida hasta la recuperación de la señal GPS.

Para este caso se pudo apreciar que tanto la posición geográfica como la velocidad fueron repetidas reiteradas veces. Esto se evidencia al estudiar el gráfico de velocidad vs tiempo entregado por el software, en el intervalo comprendido entre los segundos 2000 y 2200, localizándose en el tramo descrito en la Figura 43.

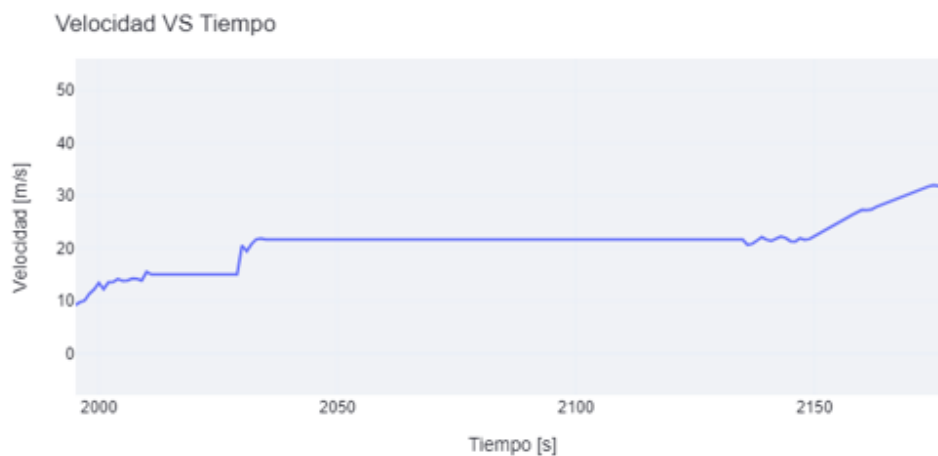


Figura 47: Gráfico de Velocidad vs Tiempo en el tramo donde se presentaron las desconexiones de la VAM

Como es posible observar, la velocidad en el intervalo de tiempo estudiado fue reiterado en múltiples ocasiones. En primer lugar, se presenta un tramo más pequeño, con una velocidad de 15 m/s (54 km/h) seguido por un tramo más extenso, con una velocidad de 21,7 m/s (78,1 km/h).

La constante repetición en los valores de velocidad se tradujo en que, en el tramo recorrido sin señal GPS (2,4 km, 3,8% del trayecto total), se generasen distorsiones en el tipo de conducción desarrollado. Esto dio como resultado un aumento en el tipo de conducción urbano y rural y una posible disminución en la conducción de tipo autopista.

Cabe destacar que este tramo tiene como inicio la entrada a una autopista urbana, la cual se caracteriza por la necesidad de incorporarse a la vía a una alta velocidad, lo que podría significar que la conducción real de tal tramo haya sido de tipo rural y/o autopista.

3.3.2.2 Análisis Ruta Oriente

Siguiendo el procedimiento realizado con la ruta anterior, antes de analizar los datos obtenidos, se procedió a la verificación de la ruta seguida a lo largo de las mediciones, la cual es posible apreciar en la Figura 48.

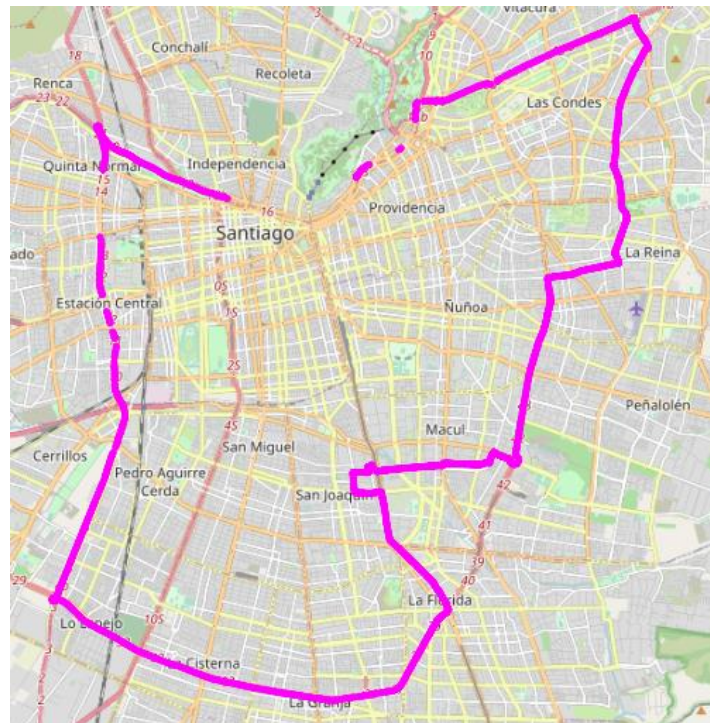


Figura 48: Trazado del recorrido realizado mediante GPS Visualizer (Ruta Oriente)

Similar al caso anterior, se pudo apreciar la existencia de discontinuidades en el trazado entregado por el software, destacándose 3 tramos. Estas discontinuidades se presentaron en el tránsito por autopistas urbanas particularmente por la autopista Costanera Norte y Central (Gral. Velásquez).

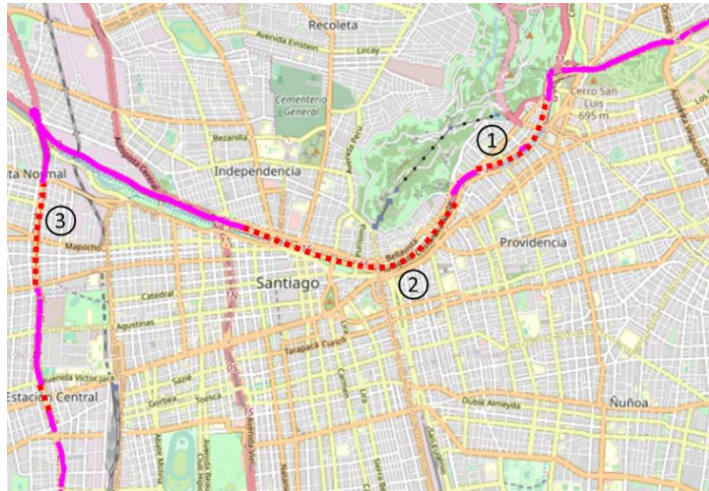


Figura 49: Tramos con discontinuidades presentes en el trayecto realizado (Ruta Oriente)

Realizando una revisión a las mediciones obtenidas, se pudo observar que las discontinuidades en el trazado se debieron nuevamente a desconexiones de la VAM, ocasionadas por la pérdida de la señal GPS. Esto es posible validarlo al observar el número de satélites en conexión con la VAM en aquellos tramos donde se presentaron estos problemas.

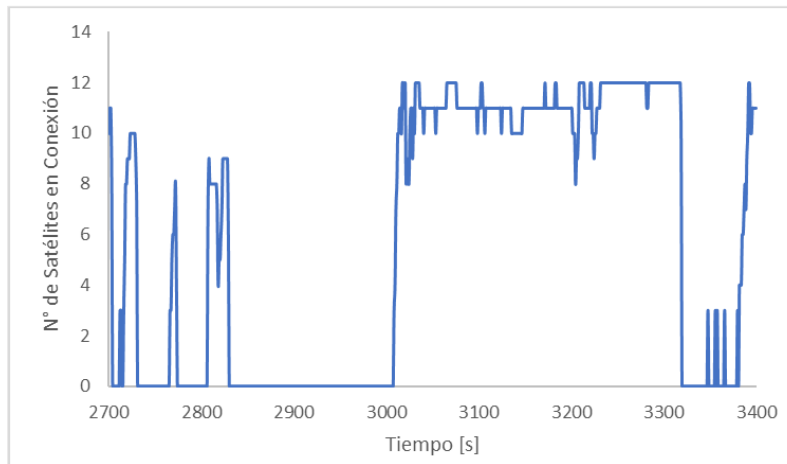


Figura 50: Número de satélites conectados a la VAM en el intervalo de tiempo 2700 a 3400 segundos

En el caso de la autopista Costanera Norte, los tramos de desconexión 1 y 2 tuvieron una duración total de 262 segundos, abarcando una longitud aproximada de 5,2 kilómetros. Por otro lado, las desconexiones ocurridas en la autopista Central (tramo 3) se presentaron durante 110 segundos, implicando un recorrido sin señal GPS por aproximadamente 3 kilómetros. Teniendo en consideración los 3 casos, esta serie de desconexiones tuvieron una duración de 272 segundos, abarcando una distancia de 8,2 kilómetros. En otras palabras, la pérdida de señal comprendió un 5% del tiempo total de mediciones e implicó un 13% de la distancia total recorrida.

Con el objetivo de averiguar las causas de las pérdidas de señal, se procedió a revisar las características de las vías utilizadas en los tramos de interés.

El primer tramo en donde se presentaron esta serie de problemas (autopista Costanera Norte) está caracterizado por el tránsito por vías subterráneas, como también por vías ubicadas a un nivel de subsuelo en modalidad cubierta y semicubierta, tal como se muestra en la Figura 51.



Figura 51: Vía utilizada en el primer tramo de desconexiones. Fuente: Google Street View [31]

De esta manera, se pudo apreciar que la poca disponibilidad de una conexión estable entre el VAM y los satélites ubicados en la órbita terrestre produjo la interrupción intermitente de esta, permitiendo obtener mediciones consistentes únicamente en aquellos puntos en donde la vía se encontraba descubierta.

El segundo tramo estuvo caracterizado por el ingreso al Túnel San Cristóbal, el cual atraviesa de manera subterránea al cerro San Cristóbal. Esto produjo la desconexión de manera continua durante el tránsito por el túnel, imposibilitando la obtención de datos.

Finalmente, fue posible observar que el tercer tramo, perteneciente a la Autopista Central, posee características similares al primero, en donde la vía utilizada tiene la cualidad de ser subterránea cambiando en pequeñas fracciones a una modalidad semicubierta, como se muestra en la Figura 52.



Figura 52: Vía utilizada en el tercer tramo de desconexiones. Fuente: Google Street View [31]

Similar a la ruta anterior, fue necesario indagar como estas pérdidas de señal repercutieron en las mediciones obtenidas. Para ello se recurrió al perfil de velocidad del vehículo a lo largo del recorrido.

A continuación, se presenta el gráfico de velocidad vs tiempo, particularmente en el intervalo de tiempo que abarca desde el segundo 2700 al 3500. En él es posible observar como la pérdida de señal GPS trajo consigo, nuevamente, una mala interpretación de datos, lo cual se vio plasmado en las reiteradas inconsistencias en la determinación de la velocidad real del vehículo (valores repetitivos).

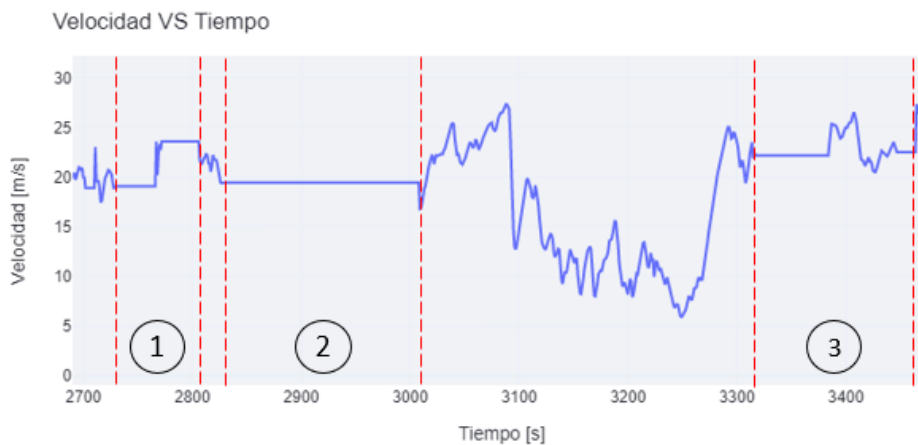


Figura 53: Gráfico de Velocidad vs Tiempo en el tramo donde se presentaron las desconexiones de la VAM

Una vez analizadas las mediciones obtenidas y las causas de las desconexiones que se hicieron presentes, se procedió a la revisión del cumplimiento de los requerimientos necesarios para la validación del trayecto.

La Tabla 23 presenta los resultados obtenidos para la Ruta Oriente.

Tabla 23: Resultado de cumplimiento de requerimientos de ruta bajo estandar RDE para la Ruta Oriente

Característica	Requerimiento	Resultado	Cumple/ No cumple
Conducción Urbana	34% ± 10%	37,06%	Cumple
	>16 km	22,76 km	Cumple
Conducción Rural	33% ± 10%	43,01%	No Cumple
	>16 km	26,41 km	Cumple
Conducción Autopista	33% ± 10%	19,93%	No Cumple
	>16 km	12,24 km	No Cumple
V promedio C. Urbana	15 <V ≤ 40 km/h	22,49 km/h	Cumple
V > 145 km/h	<3% T aut.	0%	Cumple
V > 100 km/h	≥ 300 s	128 s	No Cumple
Diferencia Altura	<100 m	1,16 m	Cumple
Tiempo Total	5400 <t < 7200 s	5365 s	No Cumple
% T. de detención (V < 1 km/h)	6-30% T urb.	29.8%	Cumple
T. de detención ind.	<300 s	98 s	Cumple

Como es posible observar, el recorrido por la ruta diseñada cumplió únicamente 6 de los 13 requerimientos necesarios para que la ruta sea considerada valida, siendo el tipo de conducción, el tiempo total del recorrido y el tiempo de circulación sobre los 100 km/h las principales causas de este rechazo.

En lo que respecta al tipo de conducción, se aprecia una predominancia de la conducción del tipo rural con un 43,01%. Si bien este valor se encuentra por sobre su límite máximo, este exceso es relativamente pequeño (+0,1%) y podría ser fácilmente corregido en una nueva prueba. Caso opuesto es la conducción de tipo autopista en donde no se cumplió la respectiva fracción de recorrido ni el desplazamiento mínimo de circulación. Esto se complementa con el incumplimiento del requisito asociado a la conducción por sobre los 100 km/h por al menos 5 minutos, obteniendo únicamente 128 segundos. Estos antecedentes permitirían concluir que la ruta seguida se realizó de manera más “lenta” de lo esperado, lo cual podría corregirse en una nueva prueba aumentando la velocidad de circulación.

A partir de la Figura 5353, es posible observar como la pérdida de señal GPS se tradujo en una incorrecta interpretación de la velocidad, dando como resultado la invariabilidad de esta en los 3 tramos estudiados.

En el primer tramo la velocidad “reiterativa” se presentó en dos valores, 19 m/s (68,4 km/h) y 23,6 m/s (85 km/h). En el segundo tramo, y a su vez el de mayor duración, la velocidad tuvo un valor 19,5 m/s, es decir, aproximadamente 70 km/h. Finalmente, el tercer tramo de desconexiones estuvo caracterizado por velocidades de 22,2 m/s y 22,5 m/s, correspondientes a 79,9 km/h y 81 km/h respectivamente.

De esta manera, se puede apreciar que estas velocidades reiterativas se encontraron en un rango que va desde los 68,4 km/h a los 85 km/h, pudiendo clasificarse, para todos los casos, como conducción de tipo rural (60 a 90 km/h). La reiterada consideración de estos valores por parte del software explicaría la predominancia de la conducción de tipo rural y el posible desmedro de otros modos de conducción. Cabe destacar que estas desconexiones se presentaron en la circulación por autopistas urbanas, lo que podría implicar que en la realidad se presentaran velocidades mayores a las vistas anteriormente, principalmente de tipo autopista ($V > 90$ km/h).

En síntesis, el proceso de medición y posterior análisis de datos dio como resultado la imposibilidad de utilizar esta ruta en un ensayo RDE, además de exponer el considerable efecto negativo que genera la incorrecta interpretación de información causada por la pérdida de señal GPS por parte la VAM.

3.3.3 Modificaciones a Ruta Central

A partir del análisis de rutas desarrollado y de la experiencia obtenida, fue necesaria una revisión al diseño de la tercera ruta a ensayar, con el objetivo de evitar la aparición de los problemas detectados anteriormente. De esta manera, se realizó una inspección visual de las vías a transitar mediante la utilización de imágenes entregadas por la herramienta Street View de Google Maps, buscando principalmente la presencia de túneles o vías subterráneas que pudieran generar intermitencias en la adquisición de datos.

Como resultado, se pudo apreciar la presencia de un tramo de ruta en el que la vía de circulación entraría en una serie túneles y vías subterráneas, lo cual podría significar nuevamente problemas en la interpretación de datos. Tal tramo de conflicto es posible observarlo en la Figura 544, el cual se presenta como una fracción de color rojo en la ruta propuesta.

Tras analizar posibles modificaciones al trazado de la ruta, de tal manera de que esta siguiera cumpliendo con los criterios de diseño antes expuestos, se tomó la decisión de realizar un diseño totalmente nuevo.

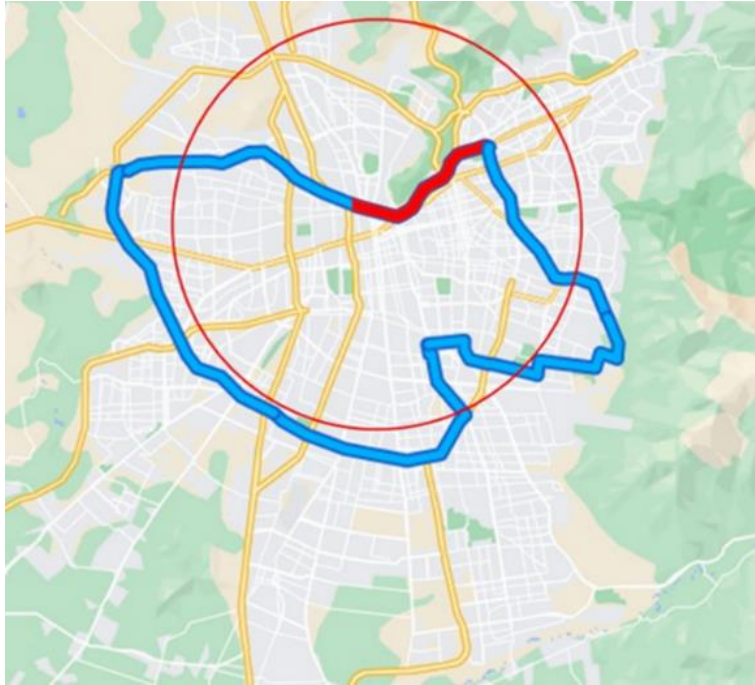


Figura 54: Tramo con posibles problemas de conexión en la Ruta Central [30]

Esta nueva ruta no solo debería cumplir los criterios estipulados en el punto 3.1.1, sino que además debería cumplir con aquellos que surgieron de la realización de las rutas anteriores, los cuales se pueden resumir de la siguiente manera:

- La ruta no deberá contemplar el tránsito por túneles, vías subterráneas o parcialmente cubiertas que podrían implicar la pérdida de la señal GPS.
- La ruta diseñada debe tener a lo menos a 70 kilómetros de longitud, de tal manera de disponer de una mayor holgura para lograr desarrollar los 3 tipos de conducción.
- El tiempo estimado de viaje debe ser de a lo menos de 100 minutos, de tal manera de no incumplir el requerimiento asociado con el tiempo mínimo de conducción.

Adicionalmente, al momento de realizar el proceso de medición de esta ruta se deberá procurar, si las condiciones del tránsito lo permiten, que el vehículo transite por lo menos 5 minutos a una velocidad mayor a 100 km/h.

3.3.3.1 Diseño Ruta Poniente

En base a lo anterior, se procedió al diseño de la cuarta ruta a la cual se le denominó “Ruta Poniente”, dado que recorre principalmente comunas del sector poniente de la ciudad. A continuación, se presenta el trazado de la ruta.



Figura 55: Trazado realizado por Google Maps para la Ruta Poniente [30]

Este trayecto presenta las siguientes características:

Tabla 24: Características de interés de la Ruta Poniente

Ruta 3: Centro		
Distancia Total	73 Km	
Vías Urbanas	23,1 Km	32 %
Aut. Urbanas	49,9 Km	68 %
Tiempo Est.	105 min	

A continuación, se presentan las comunas por las que se transitará, siendo un total de 14. Aquellas consideradas como periféricas están diferenciadas por un asterisco (*).

San Joaquín	Quilicura*	San Ramon
San Miguel	Pudahuel*	La Granja
Santiago	Maipú*	La Florida*
Independencia	Lo Espejo	Macul
Conchalí	La Cisterna	

3.3.4 Medición y Análisis de Datos Ruta Poniente

El día lunes 30 de Mayo de 2022 se procedió al desarrollo del proceso de medición de la Ruta Poniente. Siguiendo con el procedimiento utilizado en las rutas anteriores, una vez realizadas las mediciones se procedió al filtrado de estas, mediante el criterio de velocidades menores a 1 km/h.

A continuación, se presenta una tabla resumen con la información correspondiente a las mediciones disponibles para el análisis, antes y después de su filtrado.

Tabla 25: Resumen de datos entregados por la VAM tras la realización de Ruta Poniente con y sin filtrado

Tipo	Hora Inicio	Hora Término	N° de Mediciones
Sin Filtrar	13:51:32	15:33:49	6138
Filtrada	13:53:52	15:33:26	5976

Posterior al filtrado de datos, se procedió al estudio del trazado entregado por el software (Figura 56). Al revisar el recorrido realizado se pudo corroborar que no existieron discontinuidades que pudieran significar desconexiones por parte de la VAM.

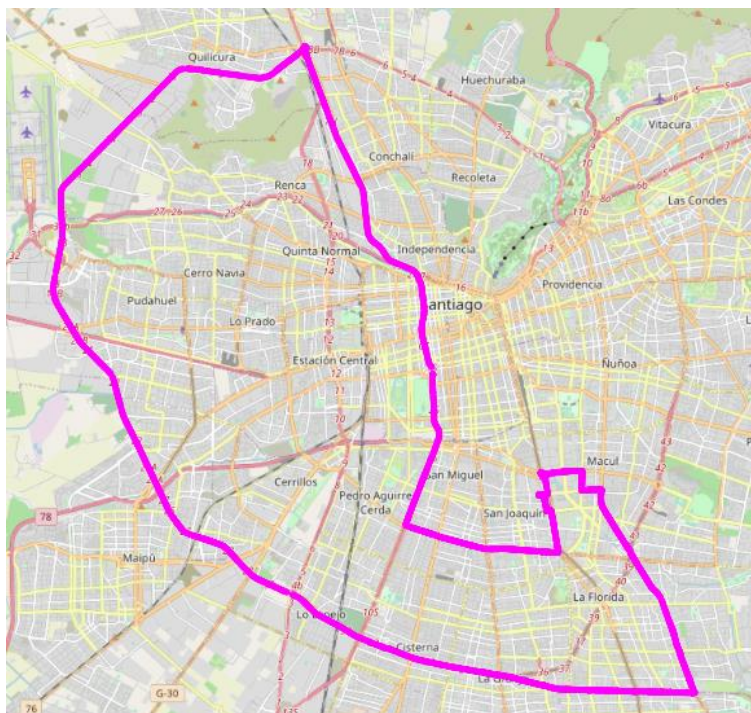


Figura 56: Trazado del recorrido realizado mediante GPS Visualizer (Ruta Poniente)

Con el objetivo de asegurar la correcta recopilación de información, se procedió al estudio del perfil de velocidad del vehículo obtenido a lo largo del trayecto. De esta manera, a partir de la Figura 57 fue posible corroborar que no se presentaron valores reiterativos por largos periodos de tiempo, los cuales podrían significar la pérdida de la señal GPS, y por ende, una incorrecta interpretación de datos.

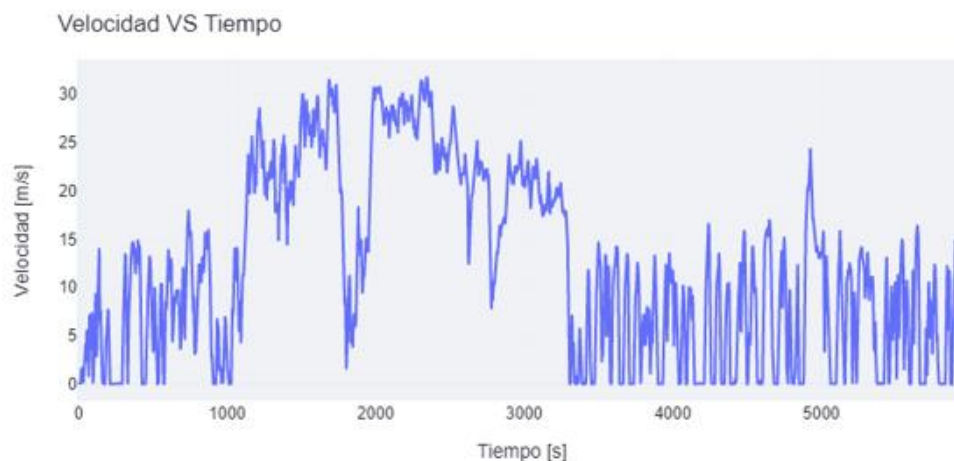


Figura 57: Gráfico de Velocidad vs Tiempo en el tramo donde se presentaron las desconexiones de la VAM

Una vez indagadas las posibles desconexiones por parte de la VAM, se procedió a la revisión del cumplimiento de los requerimientos impuestos por la normativa RDE. La Tabla 26 presenta un resumen con el resultado obtenido para cada uno de estos.

Tabla 26: Resultado de cumplimiento de requerimientos de ruta bajo estandar RDE para la Ruta Poniente

Característica	Requisito	Resultado	Cumple/ No cumple
Conducción Urbana	34% ± 10%	36,61 %	Cumple
	>16 km	26,75 Km	Cumple
Conducción Rural	33% ± 10%	35,18 %	Cumple
	>16 km	25,68 Km	Cumple
Conducción Autopista	33% ± 10%	28,21 %	Cumple
	>16 km	20,59 Km	Cumple
V promedio C. Urbana	15 <V≤ 40 km/h	22,93 %	Cumple
V>145 km/h	<3% T aut.	0 %	Cumple
V> 100 km/h	≥300 s	433 s	Cumple
Diferencia Altura	<100 m	0,11 m	Cumple
Tiempo Total	5400 <t<7200 s	6137 s	Cumple
% T. de detención (v<1 km/h)	6-30% T urb.	28%	Cumple
T. de detención ind.	<300 s	87 s	Cumple

A partir de los resultados antes obtenidos se pudo verificar el cumplimiento de la totalidad de los requerimientos impuestos por la normativa.

De esta manera es posible concluir que la “Ruta Poniente” cumple con las características necesarias para que un ensayo de emisiones RDE pueda ser desarrollado de una manera válida.

3.4 Conclusiones particulares

A partir de la revisión de la normativa europea (Reglamento 692/2008 y 427/2016 de la Unión Europea) y la definición de criterios particulares, fue posible el diseño de 3 rutas de conducción (Sur, Oriente y Central), con el objetivo de ser utilizadas en un ensayo de emisiones bajo condiciones reales de operación RDE. Para comprobar que dichas rutas fuesen válidas se procedió al ensayo de estas mediante la utilización de una VAM (Vehicle Activity Monitoring) y un software especializado en la revisión de condiciones dinámicas de conducción.

En una primera instancia, se procedió a ensayar las rutas Sur y Oriente. Como resultado se pudo apreciar que en ambos casos no se cumplieron los requerimientos mínimos que impone la normativa, siendo el tipo de conducción uno de los principales motivos de rechazo. Con estos incumplimientos se pudo concluir que las rutas diseñadas (Sur y Oriente) no poseían las características adecuadas para su uso en la realización de ensayos de emisiones RDE.

Indagando las causas de estos rechazos y posibles soluciones, fue posible apreciar la presencia de tramos de ruta en los cuales la adquisición de datos no fue correcta, debido a la pérdida de señal GPS por parte de la VAM. Realizando una revisión a las características de las vías utilizadas, fue posible determinar que la presencia de túneles, vías subterráneas y los pasos bajo nivel fueron los principales responsables de provocar interferencias entre el dispositivo (VAM) y los satélites en órbita. Esto trajo como consecuencia una incorrecta medición de ciertos parámetros, destacándose la velocidad real del vehículo. Lo anterior no solo significó que se vieran afectados parámetros medibles, sino también aquellos determinados por el software, como lo es el tipo de conducción, principal requerimiento incumplido que ocasionó el rechazo de las rutas. Por esta razón, adicionalmente se pudo concluir que en un hipotético caso en donde no se hubiesen presentado estos problemas, las rutas antes desestimadas posiblemente hayan cumplido con varios de los requerimientos rechazados.

De esta manera, con el objetivo de evitar repetir la aparición de este tipo de problemas, se realizó una revisión a la tercera ruta por ensayar (Centro). Así se pudo apreciar que dicho trazado posiblemente presentaría inconvenientes, debido a la presencia de tramos de varios kilómetros con túneles y vías subterráneas. Por esta razón se procedió al diseño de una cuarta ruta, denominada “Ruta Poniente”, procurando no transitar por vías que presentaran las características antes mencionadas.

El proceso de validación de la cuarta ruta tuvo un resultado positivo, ya que no ocurrieron pérdidas de la señal GPS, por lo que no se presentaron errores en la interpretación de datos. Adicionalmente se pudo verificar el cumplimiento de todos los requerimientos de diseño establecidos por la normativa RDE. De esta manera se pudo concluir que la Ruta Poniente es válida y apropiada para la realización de un ensayo de emisiones con características RDE.

4. Elaboración de material de difusión audiovisual

El presente capítulo responde al cuarto objetivo establecido, el cual corresponde a la elaboración de material de difusión audiovisual. Dicho material audiovisual corresponderá a un documental de tipo científico junto a un documento complementario a este, los cuales llevarán como título principal “Emisiones Vehiculares: El desafío del presente”.

La confección de dicho documental constará de 2 etapas. En primera instancia se elaborará un texto base, utilizado para la confección del guion del documental y el documento complementario. Posteriormente, se llevará a cabo la producción audiovisual del documental. En cuanto a los responsables de dichas tareas, Kevin Espindola estará a cargo de la elaboración del texto base, mientras que la empresa León Findel Multimedia será responsable de la producción audiovisual del documental.

Cabe destacar que en la producción final del material de difusión existirán 2 documentos. Por un lado, habrá un texto base, de una mayor envergadura y profundidad, que tiene como objetivo albergar toda la información recopilada para la elaboración del guion documental, y a la vez, servir como material didáctico complementario. Paralelamente, habrá un guion dinámico, el cual será narrado a lo largo del documental, y que será modificado constantemente en función de las necesidades de la producción audiovisual.

De esta manera, el presente capítulo se enfocará en el proceso de elaboración del texto base, además de brindar apoyo respecto al material que podría utilizarse en la producción audiovisual

4.1 Metodología

El presente trabajo constó de 3 etapas, iniciando por la definición de criterios de diseño, seguido por una recopilación de información, para finalizar con la síntesis y adaptación del texto.

En cuanto a la definición de los criterios de diseño, se establecieron 3 características básicas para la construcción del documental: el público al cual estará dirigido, los temas por abordar y el tiempo estimado de duración, las cuales se presentan a continuación.

- Público objetivo: el documental estará dirigido a un público general, sin limitaciones de edad, el cual tenga nociones sobre emisiones vehiculares a un nivel básico. Pese a ello, deberá ser lo suficientemente claro y sencillo para que cualquier persona interesada lo comprenda.
- Duración de documental: el tiempo total de duración del documental deberá rondar los 40 minutos, con la posibilidad de flexibilizar tal valor en ± 5 minutos. Adicionalmente, se estableció que un 80% del tiempo total estará destinado a la narración del guion, mientras que un 20% estará destinado a transiciones entre temas o pausas necesarias para la exposición de contenido relevante (gráficos, tablas, figuras, etc.)

- Temas por abordar: en línea con el título del video, los temas a abordar estarán relacionados con la emisión de diversos tipos contaminantes de origen vehicular, abarcando desde su proceso de formación hasta su efecto en el medioambiente. En primera instancia, los temas a abordar son los siguientes:

1. Contexto general, transporte, calidad del aire y cambio climático
2. Formación de contaminantes en motores (PM, NO_x y CO₂)
3. Emisiones por desplazamiento (desgaste, polvo resuspendido)
4. Métodos de medición de contaminantes (laboratorio homologación, PEMS)
5. Tecnologías de control de contaminantes (TWC, EGR, SCR, DPF, DOC)
6. Efectos en la salud y el entorno
7. Efectos globales en el clima

4.2 Proceso de elaboración

Una vez definidos los criterios de diseño se precedió a la recopilación del material necesario para la elaboración del texto base. El medio principal de búsqueda de información fue Internet, con un mayor empleo del buscador Google Académico. De esta manera, fueron consultadas un total de 20 fuentes bibliográficas (disponibles en el anexo bibliográfico), encontradas principalmente en las plataformas ResearchGate y Elsevier.

Para la elaboración del texto se trabajó individualmente cada uno de los 7 temas propuestos, para posteriormente unificarlos. Con el objetivo de facilitar la posterior elaboración del material audiovisual se incluyeron 2 tipos de indicadores dentro del texto base:

- **[Indicadores de animación]**: representan sugerencias sobre la animación que acompañará a la narración.
- **[Indicadores de tiempo]**: representan un tiempo estimado en la narración de cada capítulo.

En base a lo anterior, y habiendo recopilada toda la información necesaria, se obtuvo como primer resultado un borrador que contó con 8126 palabras y un tiempo de narración de aproximadamente 55 minutos. Tal como se definió en un comienzo, la duración máxima que posee el documental corresponde a 45 minutos, donde un 80% de este tiempo debe ser utilizado para la narración. En otras palabras, el tiempo máximo de narración que deberá tener el guion final deberá ser de 36 minutos. Debido a lo anterior, resultó necesario realizar una síntesis del material disponible, seguido por un proceso de mejora de la coherencia y cohesión del texto.

4.3 Texto Base

De esta manera, luego de realizar la síntesis del borrador elaborado, fue posible obtener el texto base final, el cual consta de 9 capítulos, con un total de 6617 palabras y un tiempo de narración aproximado de 44 minutos. A continuación, una tabla con los temas finalmente tratados, seguido del contenido de cada uno de ellos.

1. Contexto Global
2. Transporte como Fuente de Contaminantes
3. Emisiones de Escape
4. Tecnologías de Control
5. Emisiones No Procedentes de Escape “NEE”
6. Medición De Emisiones Vehiculares
7. Efectos De Contaminantes Vehiculares Sobre El Entorno
8. Efectos De Contaminantes Vehiculares Sobre La Salud
9. Cierre

4.3.1 Contexto Global

Contrariamente a lo que se puede pensar, la contaminación atmosférica no es algo reciente. Este problema ha existido en nuestro planeta desde su conformación y ha estado asociado a eventos naturales, tales como incendios forestales o tormentas de arena.

La aparición y el desarrollo de la especie humana en el planeta ha implicado un progresivo aumento en la emisión de contaminantes a la atmósfera, empeorando la calidad del aire en muchas ciudades del planeta. Ya en tiempos del imperio romano existían problemáticas con algunas actividades metalúrgicas, dado que las emisiones que estas producían afectaban negativamente a la comunidad. Unos cuantos siglos más tarde, sin embargo, la calidad del aire en las ciudades continúa siendo un problema de primer orden.

[Tierra animada con los eventos naturales, posteriormente, romanos expuestos a la contaminación]

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en el aire, de materias o formas de energía que alteren la composición de esta y que implican un riesgo, daño o molestia grave para el medioambiente, tanto para las personas como para los ecosistemas.

Los contaminantes pueden dividirse en dos grandes grupos. Cuando son originados mediante procesos naturales, como las erupciones volcánicas, se les denomina contaminantes naturales. Por otro lado, cuando estos se generan producto de la acción del hombre, se denominan contaminantes

antropogénicos. Paralelamente, es posible clasificarlos según la fuente responsable de su formación, ya sea como fuentes fijas o como fuentes móviles, las cuales se diferencian según la capacidad de desplazamiento que posean.

Finalmente, según sea el proceso de formación y emisión, los contaminantes se consideran primarios cuando están presentes tal como fueron emitidos, y secundarios, cuando se forman a partir de los primarios, debido a reacciones con el medioambiente.

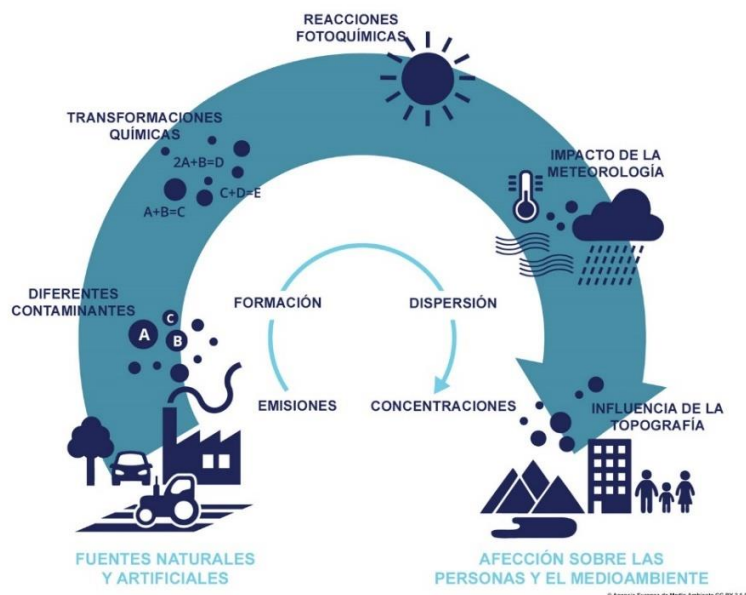


Figura 58: Proceso de formación y emisión de contaminantes atmosféricos [48]

4.3.1.1 Emisiones Atmosféricas

A medida que las sociedades se han ido desarrollando y ampliando sus necesidades de producción y consumo, se han explotado múltiples recursos naturales y energéticos. Como consecuencia, se ha producido una gran diversificación de las fuentes de contaminación, acompañado de un crecimiento considerable en la tasa de emisión de contaminantes.

Según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, en 1950 un 6% de la población mundial vivía en grandes ciudades, en 2016 este porcentaje ya superaba el 54%, y la previsión es que en 2050 alcance el 66%. Este incremento de la población urbana ha ido acompañado de un aumento del consumo energético per cápita a escala global. Para suplir esta demanda energética se ha recurrido, en gran medida, al uso de combustibles fósiles.

[Secuencia de como las ciudades han ido creciendo con los años]

Como consecuencia de la quema de estos combustibles se ha producido, entre otras cosas, un aumento considerable en las emisiones de diversos contaminantes atmosféricos, siendo uno de los más preocupantes el dióxido de carbono (CO₂.)

[Animar el gráfico con la evolución de las emisiones de CO₂ a lo largo de los años]

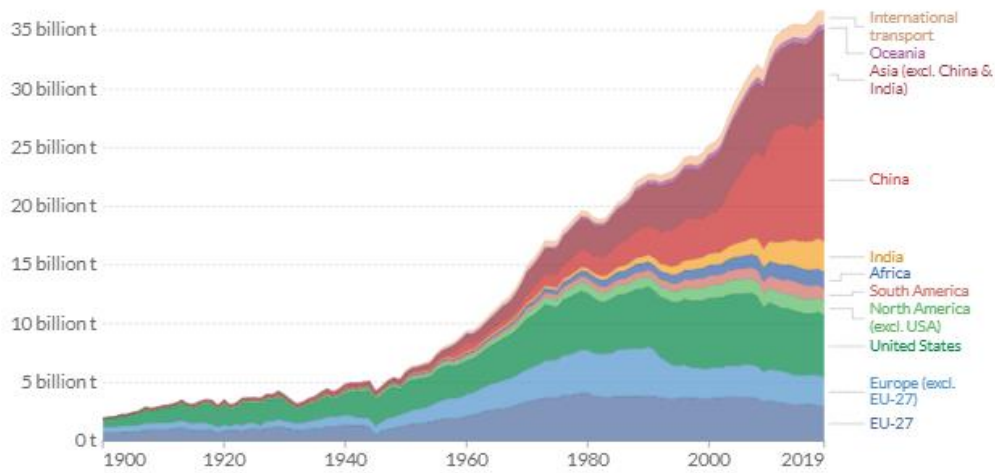


Figura 59: Emisiones anuales de CO₂ de combustibles fósiles por región del mundo [34]

Una de las principales problemáticas asociadas a la emisión de CO₂ es su potencial de calentamiento global, lo que lo clasifica como un gas de efecto invernadero (GEI), junto con otros gases como el metano y el óxido nitroso. Los gases de efecto invernadero corresponden a gases atmosféricos que absorben radiación del Sol y de la misma Tierra. Cuando la concentración atmosférica de este tipo de gas aumenta, se produce el efecto invernadero, en donde la radiación terrestre es retenida en la atmosfera, provocando un aumento en la temperatura del planeta, dando como resultado, una aceleración en el calentamiento global.

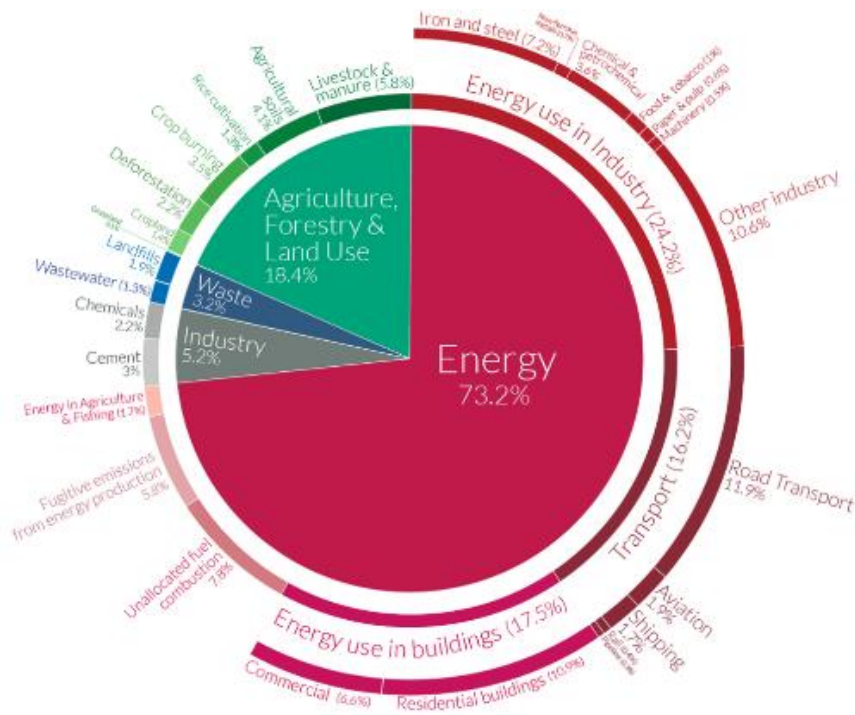


Figura 60: Fuentes de emisión de GEI por sector productivo para el año 2020 [34]

Para poder combatir de mejor manera la alta concentración atmosférica de contaminantes ha sido necesario estudiar las principales fuentes de emisión. El estudio presentado por Hanna Richie en el año 2020 (Figura 60) permite identificar, con una mayor claridad, los principales sectores responsables de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero en una escala global.

Como es posible observar, la producción de energía es la principal fuente de emisiones de este tipo de gas. Dentro de este gran grupo se encuentra el sector del transporte, el cual es responsable del 16% de las emisiones globales, es decir, cerca de 8 billones de toneladas de CO₂ equivalentes expulsadas a la atmosfera año a año.

En este sector es posible encontrar al transporte por carretera, el cual está relacionado principalmente con la quema de hidrocarburos, tales como la Gasolina o el Diesel, en vehículos impulsados por motores de combustión interna tales como automóviles, camiones, motocicletas y autobuses.

[Mostrar gráfico destacando los sectores de importancia: Energía → Transporte → Transporte por carretera, con un símil a un latido]

Si bien la emisión de dióxido de carbono (CO₂) ha sido de gran preocupación por su gran impacto en el medio ambiente, existen otros tipos de contaminante generados por el uso de vehículos que no solo tienen un efecto negativo en la naturaleza, sino que también están asociados a graves consecuencias en la salud pública.

Es por esta y muchas otras razones, las cuales serán vistas más adelante, que los distintos gobiernos del mundo han incrementado sus esfuerzos en combatir la emisión de contaminantes vehiculares. Para ello ha sido necesario estudiar cada proceso en la cadena de eventos, desde el proceso de formación de cada contaminante hasta los diversos efectos que estos provocan en el medioambiente.

[T=5 min]

4.3.2 Transporte como Fuente de Contaminantes

Las emisiones vehiculares corresponden a contaminantes antropogénicos generados por una fuente móvil, los cuales provienen principalmente de 4 subfuentes encontrados en un vehículo: el cárter del motor, el sistema de combustible, el sistema de escape y la abrasión de componentes móviles.

I. Emisiones del cárter

Las emisiones de cárter corresponden a componentes de combustible no quemados o parcialmente quemados que, bajo presión, escapan de la cámara de combustión, pasan por los pistones y entran en el cárter del motor. Los vapores del cárter contienen hidrocarburos ligeros, vapores de aceite y gases de combustión, los cuales forman una mezcla denominada “blow-by”, la cual tiende a fugarse por retenes y juntas debido a la sobrepresión ocasionada por la acumulación de esta mezcla.

II. Emisiones evaporativas

El término "emisiones evaporativas" se refiere a la suma de todas las emisiones de compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVNM) relacionadas con el combustible, que no se derivan de la combustión dentro del motor. Las pérdidas por "respiración" a través del tanque de combustible y la permeación del combustible en los sistemas de alimentación son, en general, las fuentes más importantes de emisiones por evaporación en un vehículo.

III. Emisiones de escape

Las emisiones de escape corresponden a un conjunto de sustancias, principalmente gaseosas, que se forman como resultado de la combustión dentro del motor, las cuales son emitidas posteriormente al medioambiente a través del sistema de escape del vehículo. Las emisiones de escape corresponden a la principal fuente de contaminantes vehiculares, abarcando alrededor del 60% del total de las emisiones.

IV. Emisiones no procedentes de escape (NEE)

Las "emisiones no procedentes de escape" o NEE por sus siglas en inglés (Non Exhaust Emissions) consisten en la emisión de partículas cuyo origen no se encuentra en el motor o en el sistema de escape. Por el contrario, son generadas por el desplazamiento del vehículo, principalmente por el desgaste de los frenos, el roce entre los neumáticos y superficies de las carreteras y la suspensión del polvo.

[T=1,5 min]

4.3.3 Emisiones de Escape

Dentro de un motor, la combustión completa de combustible, compuesto exclusivamente de carbono e hidrógeno, solamente generaría dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). Sin embargo, el corto tiempo disponible para que se realicen las reacciones de oxidación, la falta de homogeneidad en la mezcla aire-combustible, así como diferencias de temperatura dentro del cilindro, no permiten el estado de equilibrio termodinámico necesario para que se produzca la combustión completa. Esto, sumado a una baja calidad de los combustibles y a posibles impurezas, da como resultado la formación de diversos contaminantes vehiculares.

De esta manera, las emisiones de escape se componen de una amplia gama de contaminantes, siendo los de mayor relevancia el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx), el material particulado (PM) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs). Para poder combatir de mejor manera la emisión de estos contaminantes resulta primordial entender las causas y los procesos de formación de cada uno de ellos, de tal manera de poder desarrollar tecnologías cada vez más efectivas que mitiguen la emisión de estos compuestos a la atmosfera.



Figura 61: Tipos de emisiones vehiculares. Fuente [49]

[Imagen indicando emisiones desde tanque de combustible, motor y línea de escape, similar a anteriores]

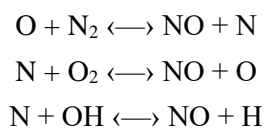
4.3.3.1 Formación de NO_x

El término NO_x hace referencia a un grupo de gases muy reactivos que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones, destacándose el óxido nítrico (NO) y al dióxido de nitrógeno (NO₂).

La formación de óxido nítrico (NO) depende principalmente de 4 factores: la temperatura de los gases de combustión, la presión alcanzada dentro del cilindro, el tiempo característico del proceso de formación y la concentración de oxígeno presente en la combustión.

El óxido nítrico (NO) se produce cuando se alcanza una alta presión y temperatura en la cámara de combustión, disociando el Nitrógeno gaseoso (N₂) presente en el aire y oxidándolo. Es por esto que, mientras mayor sea la temperatura de los gases quemados, mayor será la tasa de formación de óxido nítrico (NO).

El mecanismo de formación de óxido nítrico (NO) a partir de nitrógeno atmosférico ha sido ampliamente estudiado. En general se acepta que las principales reacciones químicas responsables de la formación de este contaminante forman parte de un conjunto denominado mecanismo de Zeldovich.



Estas reacciones son de cinética lenta, por lo que la concentración de gases producidos dependerá del tiempo en el cual los gases están sometidos a una alta temperatura, pero también de su enfriamiento en la cámara de combustión.

Una vez producido el óxido nítrico (NO) se produce la oxidación de este, dando como resultado la formación de dióxido de nitrógeno (NO₂), proceso que generalmente se produce en la atmósfera. Sin embargo, cuando los gases que salen del motor aún contienen oxígeno, parte del óxido nítrico se oxida y forma dióxido de nitrógeno dentro sistema de escape del vehículo, dando lugar a la mezcla que conocemos como NO_x. Dentro de esta mezcla, el óxido nítrico es el más abundante,

representando el 80-95% de los NO_x emitidos por un vehículo. Pese a ello, el dióxido de nitrógeno resulta más nocivo para la salud.

Dado que los motores diésel se caracterizan por utilizar exceso de oxígeno en la combustión y tienen una mayor temperatura de combustión, la emisión de NO_x es un problema asociado fundamentalmente a este tipo de vehículos.

Un aspecto importante de este contaminante primario es su capacidad de producir un gran número de contaminantes secundarios. Los óxidos de nitrógeno reaccionan con hidrocarburos en presencia de la luz del sol para formar ozono troposférico (O_3), que es uno de los agentes contaminantes secundarios más importantes y uno de los componentes del smog fotoquímico. Del mismo modo, debido a la exposición a la radiación solar, se producen reacciones fotoquímicas que se encargan de convertir el dióxido de nitrógeno en ácido nítrico y nitratos, los cuales son transportados fácilmente a través del viento, los que, ante la presencia de precipitaciones, dan como resultado la formación de lluvia ácida. Adicionalmente, algunos de los nitratos formados pueden permanecer en la atmósfera como partículas muy finas, de menos de 10 micrones de diámetro (PM_{10}), contribuyendo a una mayor concentración de material particulado secundario disuelto en el aire.

[Partículas de NO viajando por el escape, se encuentran con partículas de oxígeno en el mismo escape y forman NO_2 . Posteriormente salen a la atmósfera y el NO que no se transformó reacciona con oxígeno completando la formación de NO_2 . Finalmente, el NO_2 reacciona con el sol y el agua para formar contaminantes secundarios]

4.3.3.2 Formación de Material Particulado (PM)

Las partículas contenidas en los gases de escape de un motor de combustión interna corresponden a un sistema polidisperso formado por partículas de diferente tamaño, forma y composición. En cuanto a las partículas sólidas emitidas, estas pueden dividirse principalmente en dos fracciones; una fracción orgánica soluble (SOF) y una fracción insoluble (SOL), cuya parte fundamental es el carbono sólido, acompañado de sulfatos, nitratos y metales.

La combustión incompleta es la principal responsable de la formación de material particulado. La deficiencia de oxígeno da lugar a la aparición de reacciones pirolíticas que producen compuestos pirolizados, como el acetileno. En cuanto a las condiciones de formación, las partículas tienden a generarse en zonas de la cámara de combustión expuestas a alta presión y ricas en combustible. Las partículas inicialmente formadas de tamaño nanométrico van creciendo y juntándose con otras por aglomeración. Posteriormente, al bajar la temperatura en el escape, estas adsorben hidrocarburos condensados, aumentando aún más su tamaño.

Las partículas pueden clasificarse según su diámetro; partículas grandes designadas como PM_{10} ($D < 10 \mu m$), partículas finas conocidas como $PM_{2.5}$ ($D < 2,5 \mu m$), partículas muy finas ($D < 100 \text{ nm}$) y nanopartículas ($D < 50 \text{ nm}$).

Las distribuciones de tamaño de partículas de un flujo de gases de escape permiten identificar, a grandes rasgos, tres modos de crecimiento diferentes. El primer modo corresponde a partículas que se forman por nucleación durante la dilución y el enfriamiento de los gases de escape. A partir de este método se forman partículas pequeñas, de un diámetro de 1-80 nm, las cuales corresponden a una fracción volátil del SOF, una pequeña cantidad de carbono y algunos compuestos metálicos. El segundo modo se denomina modo de acumulación e involucra partículas con diámetros que van desde 80 a 1000 nm (0,08-1,0 μm), las cuales corresponden principalmente a aglomerados sólidos de hollín mezclados con vapores condensados. El tercer modo corresponde a la formación gruesa, la cual implica partículas de grandes diámetros, de 2.500 a 40.000 nm (2,5-40 μm). Se trata de bloques de partículas creadas por la acumulación de otras más pequeñas, que se asentaron en las paredes del cilindro y del sistema de escape, que posteriormente fueron rotas y arrastradas por el flujo de gases.

[Partículas pequeñas que van aglomerándose y formando partículas cada vez más gruesas]

El siguiente gráfico presenta la distribución normal característica para el número y masa de partículas de un flujo de gases de escape. En él, es posible observar que el mayor número de partículas emitidas corresponden a aquellas formadas por el modo de nucleación. Pese a ello, es el modo de acumulación el responsable de la formación de partículas que aportan la mayor fracción de masa al flujo de material particulado, a pesar de estar en una menor cantidad.

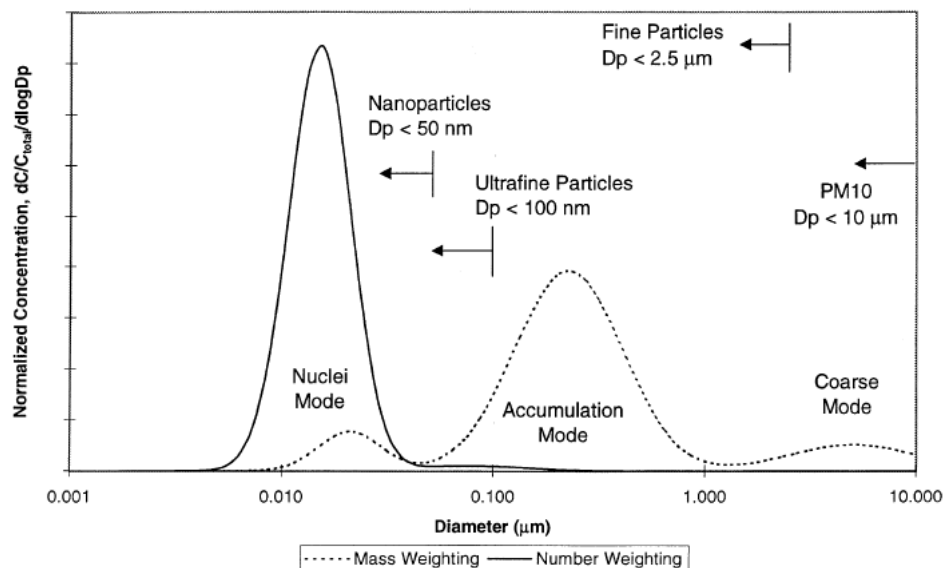


Figura 62: Distribución de tamaño de partícula de un flujo de escape según modo de crecimiento [47]

4.3.3.3 Formación de Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono (CO) se genera por causas químicas en la reacción de combustión y postcombustión. Es la consecuencia de la falta de oxidación del carbono en la formación de dióxido de carbono (CO₂), por lo que se emite en cantidades muy abundantes cuando la mezcla es rica en combustible. También puede emitirse en mezcla estequiométrica o pobre debido a la cinética lenta de la oxidación del monóxido de carbono, al bajar la temperatura en la expansión de los gases y no alcanzarse el equilibrio químico de la reacción de formación de dióxido de carbono.

4.3.3.4 Formación de COV_s

Los compuestos orgánicos volátiles, o COVs, corresponden a compuestos formados principalmente por carbono, como lo son los hidrocarburos y los halocarburos, los cuales están presentes como vapor en la atmósfera. En vehículos, la emisión de COVs está relacionada principalmente con la combustión incompleta del combustible. En los últimos años estos tipos de contaminantes ha tomado relevancia debido a alto potencial cancerígeno de algunas de estas sustancias, destacándose el benceno y el butadieno.

Un tipo de COV son los hidrocarburos no combustionados o HC, los cuales consisten en fracciones de combustible no quemado o quemado en forma parcial. El mecanismo de formación de hidrocarburos en un motor Diesel es completamente diferente al de un motor a gasolina. Las emisiones de hidrocarburos aparecen en el motor a gasolina cuando la mezcla de aire y combustible se esconde en lugares inaccesibles para la llama, principalmente en el volumen contenido entre el pistón y la pared del cilindro, imposibilitando su combustión. Por otro lado, en un motor Diesel, la principal fuente de emisiones de hidrocarburos se debe a la mezcla heterogénea y pobre de aire y combustible. En mezclas pobres, la velocidad de la llama puede ser demasiado baja para que la combustión se complete durante la carrera de potencia a tal punto de que el combustible no logre iniciar el proceso de combustión.

4.3.3.5 Formación de Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre se produce por la quema de combustibles que contienen cantidades de azufre importantes. El dióxido de azufre se oxida con la luz del sol para formar partículas secundarias, como el ácido sulfúrico. En la actualidad se ha logrado disminuir las emisiones de dióxido de azufre de origen vehicular gracias a la reducción de azufre en los combustibles utilizados.

De esta manera, la disminución en las emisiones de contaminantes presentes en los gases de escape puede realizarse atacando 3 pilares principales: el combustible utilizado, el proceso de combustión y el tratamiento de los gases de escape, donde los mayores avances se han conseguido en este último punto.

[10 min]

4.3.4 Tecnologías de Control

El término control de emisiones vehiculares se refiere a las tecnologías que se utilizan para la reducción de las causas de la polución producida por los vehículos. Estas tecnologías están enfocadas en combatir los 3 tipos de emisiones antes vistas: evaporativas, de cárter y de escape. En la actualidad es posible encontrar diversos equipos enfocados en cada tipo de emisión.

Tabla 27: Tecnologías de control de emisiones vehiculares

Tecnología	Emisiones Evaporativas	Emisiones de Cárter	Emisiones de Escape				Tipo de Combustible
			NOx	MP	CO	HC	
Canister	X						Gasolina
PVC		X					Gasolina/Diesel
EGR			X				Gasolina/Diesel
TWC			X		X	X	Gasolina
DOC				X	X	X	Diesel
SCR			X				Diesel
DPF				X			Diesel

Cánister: El cánister es un sistema que almacena los vapores de la gasolina que se producen en el tanque de combustible mediante una serie de válvulas y tuberías. Estos vapores se acumulan en un depósito para posteriormente ser transportados hacia el sistema de admisión y ser utilizados en la combustión.

PCV: La válvula de ventilación positiva del cárter, PCV en inglés, permite la incorporación de los gases del cárter a la entrada de aire del motor. En vez de emitirlos al ambiente, la PCV se encarga de enviar la “blowby” al sistema de admisión, para finalmente entrar a la cámara de combustión como parte de una mezcla fresca de aire y combustible.

EGR: El sistema de recirculación de los gases de escape, EGR por sus siglas en inglés, tiene como objetivo la reducción de las emisiones de NO_x. Mediante la recirculación de los gases de escape se disminuye la cantidad de oxígeno disponible para la combustión, provocando una reducción de la temperatura de los gases al interior de la cámara de combustión. En consecuencia, se consigue una disminución en la producción de óxidos de nitrógeno generados térmicamente.

TWC: corresponden a convertidores catalíticos de tres vías, los cuales están formados por una malla cerámica o metálica recubierta principalmente de alúmina (Al₂O₃). Mediante la utilización de metales nobles se reducen las emisiones de Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC) y Óxidos de nitrógeno (NO_x), mediante un proceso que combina la oxidación de los dos primeros contaminantes (CO => CO₂ y HC => H₂O + CO₂) y la reducción química del tercero (NO_x a N₂). La eficiencia de

este convertidor dependerá en gran medida de que la combustión realizada sea lo más cercana a la reacción estequiométrica del combustible.

DOC: Similar a un convertidor de 3 vías, el convertidor catalítico de oxidación diésel DOC, reduce las emisiones de hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO) mediante la oxidación de estos contaminantes CO a CO₂ y HC a H₂O + CO₂. Adicionalmente permite reducir la fracción orgánica soluble presente en el material particulado.

SCR: El sistema de reducción catalítica selectiva SCR, reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) a partir de la utilización de un agente reductor, como la urea. Este agente reacciona con los NO_x dando como resultado la formación de N₂ y agua.

DPF: El filtro de partículas diésel, DPF por sus siglas en inglés, reduce la emisión de partículas en vehículos con motores diésel. El filtro está compuesto por canales que están bloqueados en los extremos alternadamente, forzando a los gases a pasar a través de las paredes de las celdas. Como estas paredes son porosas, sólo gases logran pasar a través de éstas, reteniendo el material particulado. De esta manera, las partículas logran ser atrapadas en las paredes del filtro. Dado que las partículas son retenidas, es necesaria la regeneración del filtro, la cual puede ser activa o pasiva, con el objetivo de evitar el bloqueo del flujo de gases.

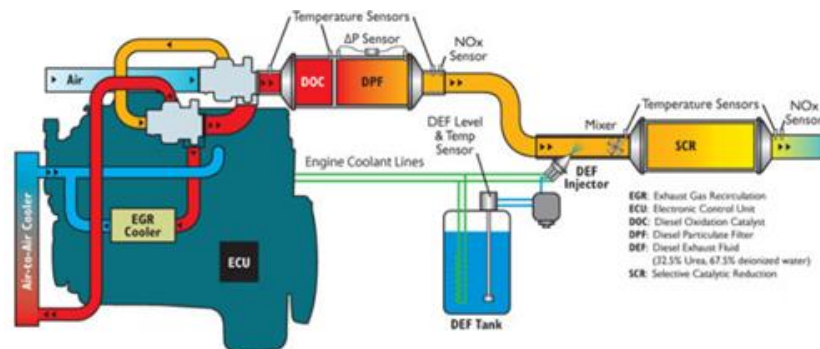


Figura 63: Tecnologías de control de emisiones de un motor Diesel [47]

[T=3 min]

4.3.5 Emisiones No Procedentes de Escape

En las últimas décadas la emisión de material particulado ha tomado real importancia debido al grave efecto de este contaminante sobre la salud. El endurecimiento de las normas de emisión aplicadas a las flotas de vehículos, junto a la implementación generalizada de convertidores catalíticos y filtros de partículas diésel, han logrado reducir considerablemente las emisiones de escape. Aun así, las grandes ciudades no han experimentado un fuerte descenso de las concentraciones de PM₁₀ como se esperaba, lo que demostró la existencia de una fuente primaria que había sido subestimada o incluso ignorada en los inventarios de fuentes de emisiones.

Estudios realizados a lo largo de los años permitieron identificar esta fuente primaria, la cual fue definida como “emisiones no procedentes de escape” o NEE por sus siglas en inglés (Non Exhaust Emissions).

Las partículas que “no son de escape” surgen de una variedad de fuentes relacionadas con el desplazamiento y uso de los vehículos, pero distintas al proceso de combustión. Entre los principales contribuyentes se encuentran: el desgaste de los frenos, el desgaste de neumáticos y carreteras y la resuspensión del polvo.

- a) **Desgaste de los frenos:** Los frenos de fricción en un vehículo funcionan en virtud de la fricción entre una pastilla de freno y un disco o un tambor giratorio. El proceso de fricción provoca la abrasión tanto de la pastilla de freno como de la superficie del disco o tambor, causando la liberación de diversos tipos de partículas, principalmente de origen metálico u orgánico.
- b) **Desgaste de los neumáticos y carretera:** La superficie de un neumático se desgasta constantemente cuando está en contacto con la carretera debido al roce entre ambas superficies. Esto conduce a la liberación de grandes cantidades de partículas de caucho que cubren una amplia gama de tamaños. Del mismo modo, la fricción entre el neumático y la carretera puede erosionar el pavimento, especialmente cuando se encuentra en malas condiciones, aumentando la emisión de material particulado. El rango de tamaño de estas partículas puede extenderse por debajo de 10 micrómetros de diámetro, contribuyendo a la emisión de PM_{10} .
- c) **Polvo de carretera resuspendido:** Conocido como Road Dust (RD), corresponde a polvo procedente de diversas fuentes, el cual se acumula en las superficies de las carreteras. Se originan a partir de la deposición seca y húmeda de las partículas transportadas por el aire. Parte de este material se encuentra en el rango de tamaño PM_{10} cuando se deposita en el pavimento. Posteriormente, la acción de los neumáticos de los vehículos sobre el polvo ocasiona la molienda de las partículas depositadas, lo que conduce a la creación de partículas cada vez más pequeñas, que son fácilmente transportadas por el aire. Debido a ello, tanto la tasa de emisión como el tamaño de partícula dependerá de factores como: las características del tráfico, el tipo de neumático utilizado, el tipo y estado de las carreteras y la tasa de carga de limo de esta última.

En cuanto a emisión de partículas PM_{10} provenientes de NEE, la Comisión Europea describe tres categorías, confiriendo a la resuspensión de polvo de carretera un rango que varía entre el 28-59%, seguido por el desgaste de los frenos con un rango entre 16 y 55%, finalizando con el desgaste de los neumáticos, con una participación de un 5% a un 30%.

[T=3 min]

4.3.6 Medición De Emisiones Vehiculares

Para poder contrarrestar los altos niveles de contaminantes presentes en el aire, los gobiernos de diferentes países han impuesto, a lo largo de los años, diversas normativas que buscan limitar la cantidad de emisiones producidas por los vehículos.

Los países que han tenido un importante aporte en la legislación del control de emisiones han sido Los Estados Unidos de América (EUA) y la Unión Europea (UE), a los que se les han sumado Japón y China.

A la vez, los países miembros del grupo G-20 representan el 90% de las ventas mundiales de vehículos, en donde 17 de los 20 participantes han optado por seguir la vía reglamentaria europea para el control de las emisiones. La normativa Euro consta de seis etapas de requisitos de control de emisiones vehiculares, cada una más estricta que la anterior, empezando por la norma Euro 1 en 1992, avanzando hasta la norma Euro 6 en 2015.

4.3.6.1 Aprobación del tipo

Antes de salir al mercado cada modelo de vehículo debe pasar por un proceso de revisión para verificar el cumplimiento de las normas medioambientales y de seguridad requeridas, en un proceso conocido como ensayo de homologación. Como no es práctico ensayar cada vehículo, se ensaya uno de cada tipo producido, considerado como representativo.

Para la revisión de emisiones de gases de escape, los vehículos ligeros se ensayan en un dinamómetro de chasis, también conocido como banco de rodillos, que está diseñado para operar un vehículo sobre una plataforma estacionaria. A partir de ello se busca simular la operación del vehículo en el mundo real, pero en condiciones ideales de laboratorio, perfectas para lograr medir con repetibilidad y reproducibilidad. Para determinar las emisiones y el consumo de combustible, el vehículo se somete a un “ciclo de conducción” predefinido, con fases de aceleración, cambio de marcha, velocidad constante, desaceleración y ralentí, bajo condiciones de temperatura y humedad definidas y controladas. Mientras tanto, se recogen todas las emisiones del tubo de escape del vehículo, las cuales posteriormente son analizadas, determinando de esta manera, los gramos de contaminante por km conducido.

Durante muchos años el ciclo predefinido para los vehículos ligeros fue el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC). Sin embargo, a partir del año 2007 se inició una revisión, con el objetivo de actualizar dicho ciclo, dado que se pudieron encontrar diferencias significativas entre lo medido en el proceso de homologación y las mediciones realizadas bajo una operación “en ruta”. En el año 2015 se publicó el procedimiento WLTP (World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure) el cual contiene condiciones de conducción más dinámicas que el NEDC, ya que se diseñó

utilizando un mayor número de recorridos, con el objetivo de simular de mejor manera las condiciones a las que estaría sometido un vehículo en su uso diario.

Actualmente, la normativa EURO 6 estipula una serie de límites máximos para las emisiones vehiculares, que varían según la categoría del vehículo ensayado. Los contaminantes que se ven afectados por esta normativa son: el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos totales (HC), los óxidos de Nitrógeno (NOx) y el material particulado, tanto en masa (PM), como en número de partículas (PN). Para el caso del dióxido de carbono (CO₂), los límites no están definidos por cada modelo producido, sino que son aplicados a la flota de vehículos vendidos por cada fabricante.

Para realizar los respectivos ensayos, un laboratorio de homologación está compuesto, a grandes rasgos, por:

- Dinamómetro de chasis
- Sistemas de dilución
- Sistemas de muestreo de gases
- Banco de analizadores de gases
- Analizadores de partículas
- Sistema computarizado de sincronización de equipos



Figura 64: Laboratorio de homologación de vehículos [51]

Los niveles de emisión dependerán de diversos factores relacionados con el vehículo, tales como el modelo, el tamaño, su peso, el tipo de combustible y la tecnología utilizada, pero también de la dinámica de conducción del ensayo. Por ello, el tipo de ensayo que se utilice es un factor importante para determinar las emisiones del vehículo, ya que puede variar según el ciclo de conducción utilizado y las condiciones de medición establecidas.

4.3.6.2 RDE: Ensayo de homologación en condiciones reales de conducción

Durante las últimas décadas se pudo corroborar que las emisiones medidas en el proceso de homologación presentaban diferencias respecto al comportamiento real del vehículo o también conocido como operación en ruta. Es por esta razón que se introdujo el Reglamento 692/2008 en el Diario Oficial de la Unión Europea, con el objetivo de establecer un procedimiento medición de emisiones vehiculares en condiciones reales de conducción, conocido como ensayo RDE (Real Driving Emissions).

El ensayo RDE tiene como característica principal la necesidad de realizarse en condiciones reales de conducción. Es un ensayo complementario al que se lleva a cabo en el laboratorio de homologación. Cuenta con una duración de entre 90 y 120 min y es realizado en unos rangos de temperatura y altitud similares a la que un vehículo tendría en su uso diario. Consta de tres fases de conducción: urbano, rural y autopista, que representan aproximadamente un tercio de la distancia total recorrida y que difieren principalmente por la velocidad de circulación del vehículo.

Para la medición de las emisiones de gases de escape se utiliza un PEMS (Portable Emissions Measurement System), el cual corresponde a un sistema de medición transportable que contiene una variedad de instrumentos que pueden llevarse a bordo del vehículo, con el objetivo de controlar en tiempo real las emisiones de determinados contaminantes.



Figura 65: Automóvil realizando un ensayo RDE, mediante el uso de PEMS [12]

Gran parte de estos equipos están diseñados para medir de CO, CO₂ y NO_x, además de la posibilidad de agregar analizadores de partículas. La medición de hidrocarburos en los ensayos RDE es poco frecuente debido su complejidad y porque diferentes estudios han demostrado que en la práctica los vehículos modernos cumplen sin problemas con los límites legales de este contaminante.

Adicionalmente a los analizadores de gases y partículas, estos PEMS suelen contar con:

- Sistema GPS para determinación de la posición, velocidad y altitud conocida como VAM
- Estación meteorológica para la medición de presión barométrica, temperatura y humedad

T= 5 min

4.3.7 Efectos De Contaminantes Vehiculares Sobre El Entorno

Existen múltiples impactos en el entorno asociados a la emisión de contaminantes vehiculares, algunos de alcance global y otros de alcance local. Estos efectos pueden ser directos o indirectos y abarcan desde la reducción de la visibilidad hasta la muerte prematura en casos de exposición aguda.

Efecto Invernadero y Calentamiento Global

Uno de los principales efectos de la contaminación vehicular es el calentamiento global. La contaminación vehicular provoca la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que, acompañado al debilitamiento de la capa de ozono, da como resultado el aumento de la temperatura atmosférica. En consecuencia, se favorece a la aparición de fenómenos meteorológicos adversos, como lluvias torrenciales, inundaciones y temperaturas extremadamente altas o frías, lo que conlleva a la pérdida de vidas, la destrucción de bienes y al deterioro de los suelos. Si bien esta problemática está asociada principalmente al dióxido de carbono, las altas concentraciones de material particulado y dióxido de nitrógeno en la atmósfera contribuyen de igual manera a la generación del efecto invernadero.

Calidad de Aire Deficiente

La contaminación vehicular ha contribuido al empeoramiento en la calidad del aire respirable en grandes ciudades del mundo, lo que ha provocado que en algunos países la población deba utilizar elementos de protección personal especiales, con el objetivo de reducir el número de sustancias nocivas inhaladas. Adicionalmente, cuando la calidad del aire disminuye aún más, las autoridades deben limitar ciertas actividades productivas, la circulación de vehículos puede verse restringida e incluso, en situaciones más críticas, pueden llegar a prohibirse actividades recreativas, como el deporte. Debido a lo anterior, a la población le resulta desagradable vivir en ciudades con esta clase de problemas. Adicionalmente, se ve afectado el turismo local, debido a que las personas evitan visitar este tipo de lugares.

Smog Fotoquímico

El smog fotoquímico se origina por la combinación del aire con contaminantes atmosféricos durante un período de altas presiones. Este tipo de smog se desarrolla en prácticamente todas las grandes ciudades del mundo, especialmente en aquellas con mucho tráfico, soleadas y con poco movimiento de las masas de aire. El smog fotoquímico se forma a partir de las reacciones entre la luz solar y los

óxidos de nitrógeno (NO_x) y/o compuestos orgánicos volátiles (COVs). Estas reacciones provocan la formación de ozono (O_3) y otros contaminantes secundarios como formaldehído y cetonas.

La producción de smog fotoquímico sumado a una alta concentración de material particulado oscurece la atmósfera, dejando un aire teñido de color marrón rojizo, cargado de componentes dañinos para la salud de las personas y el medioambiente. Aparte de ensuciar el aire y entregarle un aspecto de niebla, dificulta la visibilidad, además de causar daños sobre zonas forestales y agrícolas cercanas a las ciudades.

Lluvia ácida

La lluvia ácida es originada debido a altas concentraciones de dióxidos de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en el aire. Estos componentes reaccionan con la humedad de la atmósfera y se convierten en ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3), los cuales dan el carácter ácido a las precipitaciones.

La lluvia ácida, al entrar en contacto con los suelos, disuelve elementos minerales básicos como el potasio, magnesio y calcio, acidifica los terrenos y permite la infiltración de metales tóxicos que pueden llegar a aguas subterráneas. Adicionalmente, causa un daño directo en las hojas de los vegetales, provocando pequeñas lesiones que alteran la acción fotosintética. Con ello, las plantas pierden la capacidad de alimentarse y de seguir viviendo.

Por otro lado, los lagos y ríos se acidifican, provocando la disminución de especies vegetales y animales, ya que muchas de ellas son sensibles a las variaciones de pH. La lluvia ácida también acelera la corrosión en edificios, estatuas y monumentos, aumentando el costo de mantenimiento de ciudades. Los compuestos químicos que contiene la lluvia ácida pueden provocar que la pintura se desprenda o estropear monumentos y edificaciones construidas con mármol o caliza.

Problemas en la Salud

Del mismo modo, los contaminantes vehiculares pueden provocar un gran número de complicaciones en la salud, tales como infecciones pulmonares, problemas cardíacos e incluso varios tipos de cáncer. La exposición a emisiones vehiculares no es buena para la salud humana dada la posibilidad de desarrollar múltiples enfermedades, siendo los sistemas nervioso y respiratorio los más afectados. Por otro lado, el tratamiento de estas enfermedades requiere un alto gasto económico, además de afectar emocionalmente a los familiares de las personas enfermas.

[En este punto pueden mostrarse en paralelo los 5 efectos sobre el entorno, agrandando la imagen o video correspondiente según vayan pasando, explicando cada uno de ellos]

[T= 4 min]

4.3.8 Efectos De Contaminantes Vehiculares Sobre La Salud

A finales de los años 70 y durante la década siguiente, la mayoría de los expertos pensaban que, con los niveles que se registraban en las ciudades, la contaminación atmosférica no representaba un peligro importante para la salud. Hoy en día las principales agencias encargadas de la protección de la salud y del medio ambiente -como la OMS, la Agencia Europea de Medio Ambiente o la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (EPA), reconocen que la inhalación de contaminantes, especialmente de partículas finas, representa un riesgo para salud pública.

Los efectos de la contaminación del aire en la salud humana varían en el grado de severidad, abarcando desde efectos menores hasta enfermedades graves, así como la muerte prematura. Tal es el caso que, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor de dos millones de defunciones prematuras pueden ser atribuidas a la contaminación atmosférica cada año.

En los últimos años ha habido un importante avance en el conocimiento y comprensión de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la población. Estos estudios han puesto de manifiesto la importancia de la calidad del aire y han permitido identificar los principales mecanismos de acción por los cuales la exposición a la contaminación atmosférica causa daños en la salud.

Los principales contaminantes aéreos han podido ser asociados a efectos específicos sobre los diferentes sistemas del organismo. Se ha comprobado que la mayoría de ellos afectan directamente al sistema respiratorio y al cardiovascular, e indirectamente, a otros sistemas. Sumado a esto, las personas están habitualmente expuestas a una mezcla de diversos contaminantes, lo que puede potenciar los efectos atribuidos a cada uno de ellos.

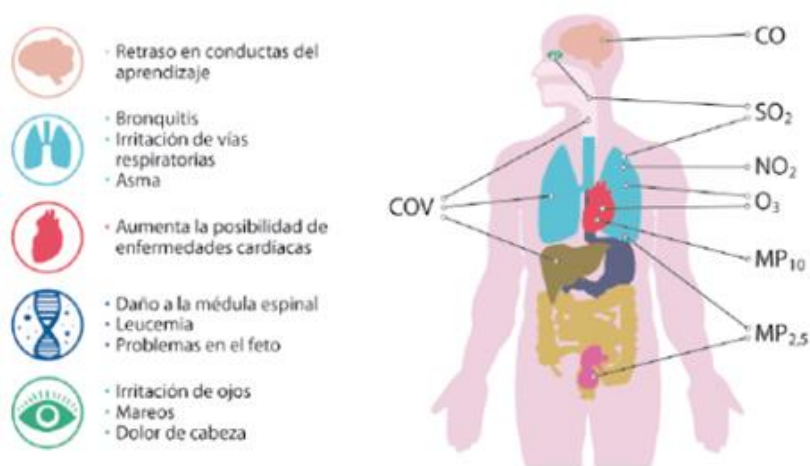


Figura 66: Efectos adversos de contaminantes vehiculares sobre el cuerpo humano [33]

[Mostrar imagen anterior presentando los diversos sistemas afectados, destacando cada uno a medida que son nombrados]

Sistema Respiratorio

El sistema respiratorio es uno de los sistemas más comprometidos por los contaminantes vehiculares, en donde el material particulado forma parte de los agentes más dañinos, dada su facilidad para penetrar en el organismo y alojarse en los alveolos pulmonares. Debido a esto, se generan diversas problemáticas, tales como la disminución de la capacidad pulmonar, la interferencia en los mecanismos de defensa, el aumento en los síntomas de afecciones respiratorias y la exacerbación del asma, entre otros. Adicionalmente, la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos en el material particulado, conocidos como HAPs, aumenta la posibilidad de desarrollar cáncer de pulmón en la edad adulta.

Otras problemáticas que pueden surgir es la obstrucción bronquial y el desarrollo de bronquitis crónica debido a la exposición periódica de dióxido de azufre (SO₂). Finalmente, el Ozono (O₃) puede causar la disminución de la frecuencia respiratoria, como también, un daño celular considerable el todo el sistema.

Sistema cardiovascular

La morbimortalidad por enfermedades cardiovasculares aumenta con la contaminación atmosférica, especialmente ante la exposición de PM₁₀ y monóxido de carbono (CO). La combinación de estos contaminantes contribuye al desarrollo de arterioesclerosis, arritmias e insuficiencia coronaria en adultos.

La intoxicación por la inhalación de monóxido de carbono impide el transporte de oxígeno realizada por la hemoglobina, generando, entre otras cosas, dificultad para respirar, dolor de cabeza y náuseas, pudiendo provocar la pérdida de la conciencia, el coma, o en casos más graves, la muerte.

Sistema Nervioso

En el sistema nervioso la exposición en el tiempo al monóxido de carbono es responsable del desarrollo de migraña crónica y del aumento de la irritabilidad, acompañado de la disminución de la percepción auditiva y visual. Adicionalmente conlleva un compromiso progresivo de la conciencia y dificulta el proceso de aprendizaje. Por otro lado, la inhalación persistente de ozono puede provocar un severo daño neuronal en todo el organismo.

Unidad Materno Fetal

Finalmente, se ha podido comprobar que, en mujeres embarazadas, la exposición a monóxido de carbono en combinación con material particulado con una alta fracción de HAPs, dificulta el crecimiento fetal durante el periodo de gestación, dando como resultado un bajo peso y talla en recién nacidos.

[T=3,5 min]

4.3.9 Cierre

Como ha sido posible observar, la contaminación atmosférica no es evento reciente, sino que se remonta a millones de años. Pese a ello, el desarrollo de la humanidad ha incrementado tanto la cantidad como la variedad de contaminantes atmosféricos, llevando al planeta a una situación crítica. El gran impacto negativo de estas sustancias no solo representa la necesidad de desarrollar legislaciones más estrictas en la limitación de emisiones, sino que también, un gran desafío para el progreso de la civilización, en donde se deberán redoblar los esfuerzos en el área tecnológica, con el objetivo de desarrollar tecnologías cada vez más eficiente en la lucha contra la contaminación atmosférica.

Para esta tarea, el sector del transporte juega y jugará un rol clave. Los avances en el desarrollo de eFuels, pilas de hidrogeno y la electromovilidad están sentando las bases para el proceso de retirada de los combustibles fósiles tradicionales, en donde no solo será necesario el apoyo de la comunidad, sino que también requerirá un cambio en el pensamiento, y un compromiso por parte de la población global.

[T=1 min]

4.4 Conclusiones particulares

De esta manera, a partir de la definición de diversos criterios de diseño, tales como el público objetivo, tiempo de duración y temas a abordar, fue posible la redacción de un texto base, el cual tiene como finalidad ser utilizado en la elaboración de un guion, el cual será parte de la producción audiovisual de un documental. Adicionalmente, este texto base tiene como objetivo presentarse como material complementario al documental, destinado para aquellas personas que deseen tener un respaldo escrito y una mayor profundidad en los temas presentados.

En cuanto a la composición del texto base, este abarca múltiples aristas alrededor de las emisiones de contaminantes de origen vehicular, tales como su clasificación, procesos de formación, métodos de medición, tecnologías de control y efectos sobre el medio ambiente. En cuanto a su envergadura, este posee 6617 palabras y 44 minutos de narración.

Posteriormente, un vez sintetizada y adaptada la información disponible, fue posible la elaboración del guion denominado “Guion Dinámico”, el cual corresponde a aquel que será utilizado en la narración del documental. Para su elaboración se tomó como punto de partida al texto base y se le realizaron múltiples modificaciones según los requerimientos de la producción audiovisual. De esta manera fue posible la reducción del contenido, de 6617 a 5287 palabras y de 44 a 36 minutos de narración, cumpliendo de esta manera los requerimientos previamente impuestos (descritos en el punto 4.1).

De esta manera es posible concluir que la producción del contenido base para el material de difusión audiovisual fue exitosa, logrando cumplir el objetivo planteado en la presente memoria. Adicionalmente a través del trabajo desarrollado fue posible dilucidar y concluir que la problemática medioambiental ocasionada por las emisiones vehiculares es un tema de estudio sumamente complejo que se destaca por la multicausalidad. Por lo mismo pudo observarse que, dada la gran variedad factores que confluyen en esta problemática, es necesario el desarrollo de la multidisciplinariedad en el campo de la investigación científica relacionado a este tema. Por esta razón, una de las mayores problemáticas del desarrollo del texto antes mostrado radicó en incorporar de manera, precisa y concisa, los distintos temas presentados, de tal manera de lograr un contenido completo y de calidad.

En el material anexo al presente trabajo es posible encontrar un tráiler del documental producido, además de presentarse el Guion Dinámico en su versión final.

5. Conclusiones Generales

De esta manera, a través del desarrollo de diversas tareas, fue posible responder al objetivo principal de la presente memoria, el cual corresponde al diseño e implementación de un laboratorio móvil. Como punto de partida de este proceso fue necesario esclarecer la funcionalidad que el laboratorio tendría, con el objetivo de realizar un diseño óptimo del mismo. Por un lado, este sería utilizado para la realización de campañas de medición de material particulado de origen vehicular en condiciones reales de operación. A su vez, serviría como punto de encuentro para la realización de diversas charlas informativas asociadas a campañas de medición de contaminantes vehiculares.

En base a lo anterior, y fijados los objetivos específicos, se establecieron 3 pilares de trabajo: diseño y equipamiento de laboratorio, diseño y validación de rutas de conducción para la realización de los ensayos de emisiones y finalmente la realización de un documental que sería presentado en las charlas informativas, donde el trabajo desarrollado se enfocó principalmente en la elaboración de un guion utilizado en la producción audiovisual de dicho documental. Cada uno de estos pilares requirieron metodologías de trabajo individuales, además de ser abordados desde puntos de vista sumamente diferentes.

Si bien estos tres pilares podrían parecer heterogéneos, todos se desarrollan en el contexto de la incorporación en Chile de nuevas normativas medioambientales para la regulación emisiones de contaminantes vehiculares (Euro 6), cuyo gran cambio radica en la incorporación de ensayos de emisiones en condiciones reales de operación o “en ruta” (RDE). De ahí la necesidad de poseer un laboratorio que sea capaz de desplazarse continuamente por distintos puntos de una ciudad, o inclusive, por distintas ciudades.

Como resultado, fue posible diseñar y equipar un laboratorio con el espacio suficiente para que las distintas modalidades de trabajo puedan ser llevadas a cabo cómodamente. Además, se logró diseñar una ruta válida para su utilización en un ensayo de emisiones RDE y finalmente contribuir en la elaboración del material de difusión audiovisual correspondiente. Si bien cada una de estas tareas fue completada, no fue posible realizar una campaña de medición real en donde pudiera materializar y poner a prueba estos tres pilares en conjunto.

De esta manera es posible concluir, en base a los resultados obtenidos, que el objetivo principal de la presente memoria fue cumplido exitosamente. Sin embargo, este proceso no estuvo exento de complicaciones, siendo proceso de montaje del laboratorio, uno de los principales temas que requieren una mayor atención en trabajos próximos a desarrollar.

6. Conclusiones Especificas

De esta manera, a partir de los objetivos específicos planteados en la presente memoria, fue posible establecer las siguientes conclusiones específicas.

6.1 Diseño y equipamiento de laboratorio móvil

Para el diseño del laboratorio se tomó como base la funcionalidad que este tendrá, definiendo para ello 3 modalidades de trabajo: medición de emisiones vehiculares, charla con distanciamiento social y charla sin distanciamiento social. A partir de estas modalidades fue posible determinar las dimensiones mínimas que el laboratorio debería tener para el correcto desarrollo de las diversas tareas, las cuales correspondieron a 7 metros de largo por 6 metros de ancho, dando un área total de 42 m².

Una vez definidas las dimensiones, se procedió al proceso de adquisición de los equipos que formarían parte del inventario utilizado en el laboratorio. Para ello se inició la búsqueda en el mercado de los diversos componentes requeridos, teniendo como base un presupuesto previamente establecido. Como resultado fue posible encontrar la totalidad de los productos disponibles en el mercado local y a un costo inferior al presupuesto disponible, a excepción de la carpa, la cual presentó un costo superior al establecido, debido a que se privilegió aquella alternativa que presentaba mejores prestaciones. Esto significó la inyección de mayores recursos, con el objetivo de asegurar la adquisición de todos los componentes seleccionados.

Finalmente, al momento de realizar el montaje del laboratorio, se pudo apreciar que existió una sobreestimación del material de fabricación de la carpa seleccionada, dado que la estructura necesaria para soportar el peso de la lona aumentó considerablemente la dificultad de montaje del laboratorio. Adicionalmente se evidencio la necesidad de disponer de una mayor cantidad de recursos para el montaje del laboratorio, destacándose la indispensable disponibilidad de un mayor número de herramientas, equipos de seguridad y una mayor dotación de personal abocado a esta tarea.

De esta manera se pudo concluir que, si bien el diseño y equipamiento del laboratorio fue satisfactorio, existió un sobredimensionamiento de este, principalmente en la selección de la carpa adquirida. Esto se tradujo en el aumento de la dificultad de traslado, montaje y almacenamiento del laboratorio, dando como resultado una disminución en la capacidad de movilidad del mismo.

6.2 Diseño y validación rutas de conducción bajo normativa RDE

A partir de la revisión de la normativa europea (Reglamento 692/2008 y 427/2016 de la Unión Europea) y la definición de criterios particulares, fue posible el diseño de 3 rutas de conducción (Sur, Oriente y Central), con el objetivo de ser utilizadas en un ensayo de emisiones bajo condiciones reales de operación RDE.

Para comprobar que dichas rutas fuesen válidas se procedió al ensayo de estas mediante la utilización de una VAM (Vehicle Activity Monitoring) y un software especializado en la revisión de condiciones dinámicas de conducción.

En una primera instancia, se procedió a ensayar las rutas Sur y Oriente. Como resultado se pudo apreciar que en ambos casos no se cumplieron los requerimientos mínimos que impone la normativa, siendo el tipo de conducción uno de los principales motivos de rechazo. Con estos incumplimientos se pudo concluir que las rutas diseñadas (Sur y Oriente) no poseían las características adecuadas para su uso en la realización de ensayos de emisiones RDE.

Indagando las causas de estos rechazos y posibles soluciones, fue posible observar la presencia de tramos de ruta en los cuales la adquisición de datos no fue correcta, debido a la pérdida de señal GPS por parte de la VAM. Realizando una revisión a las características de las vías utilizadas, fue posible determinar que la presencia de túneles, vías subterráneas y los pasos bajo nivel fueron los principales responsables de provocar interferencias entre el dispositivo (VAM) y los satélites en órbita. Esto trajo como consecuencia una incorrecta medición de determinados parámetros, destacándose entre ellos, la velocidad real del vehículo. Lo anterior no solo significó que se vieran afectados parámetros medibles, sino también aquellos determinados por el software, como lo es el tipo de conducción, principal requerimiento incumplido que ocasionó el rechazo de las rutas. Por esta razón, se pudo concluir, de igual manera, que en un hipotético caso en donde no se hubiesen presentado estos problemas de desconexión, las rutas antes desestimadas quizás hubiesen podido cumplir con los varios de los requerimientos rechazados.

De esta manera, con el objetivo de evitar repetir la aparición de este tipo de problemas, se realizó una revisión a la tercera ruta por ensayar (Centro). Así se pudo apreciar que dicho trazado posiblemente presentaría inconvenientes, debido a la presencia de tramos de varios kilómetros con túneles y vías subterráneas. Por esta razón se procedió al diseño de una cuarta ruta, denominada "Ruta Poniente", procurando no transitar por vías que presentaran las características antes mencionadas.

El proceso de validación de la cuarta ruta tuvo un resultado positivo, ya que no existieron pérdidas de la señal GPS, por lo que no se presentaron errores en la interpretación de datos. Adicionalmente se pudo verificar el cumplimiento de todos los requerimientos de diseño establecidos por la normativa RDE. De esta manera se pudo concluir que la Ruta Poniente es válida y apropiada para la realización de un ensayo de emisiones con características RDE.

6.3 Guion para material de difusión audiovisual

Finalmente, en lo que respecta a la elaboración del guion utilizado en la producción audiovisual del documental, cabe destacar que este proceso inició con la definición de diversos criterios de diseño, tales como el público objetivo, tiempo de duración y temas a abordar. Posteriormente, una vez finalizado el proceso de recolección de información fue posible la redacción de un texto base, el cual tendría como finalidad ser utilizado en la elaboración de un guion y a la vez presentarse como material complementario al documental, destinado para aquellas personas que deseen tener un respaldo escrito y una mayor profundidad en los temas presentados.

En cuanto a la composición del texto base, este abarca múltiples aristas alrededor de las emisiones de contaminantes de origen vehicular, tales como su clasificación, procesos de formación, métodos de medición, tecnologías de control y efectos sobre el medio ambiente. En cuanto a su envergadura, este posee 6617 palabras y 44 minutos de narración.

Posteriormente, una vez sintetizada y adaptada la información disponible, fue posible la elaboración del guion denominado “Guion Dinámico”, el cual corresponde a aquel que será utilizado en la narración del documental. Para su elaboración se tomó como punto de partida al texto base y se le realizaron múltiples modificaciones según los requerimientos de la producción audiovisual. De esta manera fue posible la reducción del contenido, de 6617 a 5287 palabras y de 44 a 36 minutos de narración, logrando cumplir con los requerimientos de diseño previamente impuestos.

De esta manera es posible concluir que la producción del contenido base para el material de difusión audiovisual fue exitosa, logrando cumplir el objetivo planteado en la presente memoria. Adicionalmente a través del trabajo desarrollado fue posible dilucidar y concluir que la problemática medioambiental ocasionada por las emisiones vehiculares es un tema de estudio sumamente complejo que se destaca por la multicausalidad. Por lo mismo pudo observarse que dada la gran variedad de factores que confluyen en esta problemática es necesario el desarrollo de la multidisciplinariedad en el campo de la investigación científica. Por esta razón una de las mayores problemáticas del desarrollo del texto antes mostrado radicó en incorporar, de manera precisa y concisa, los distintos temas presentados, de tal manera de lograr un contenido completo y de calidad.

7. Recomendaciones

A partir de las diversas tareas desarrolladas fue posible rescatar una serie de recomendaciones para cada pilar de trabajo realizado.

Para el **primer objetivo**, las recomendaciones están enfocadas principalmente para el proceso de montaje del laboratorio, y se resumen de la siguiente manera:

- Resulta fundamental contar con carros de cargas propios de tal manera de facilitar el transporte de bolsos contenedores de piezas.
- Para facilitar las diversas tareas sería recomendable contar con a lo menos 6 personas y considerar un tiempo de montaje de 3 horas, de tal manera de poder realizar trabajos simultáneos y que no se presenten tiempos muertos.
- Se requiere a lo menos 3 llaves métricas combinadas de 21 mm y 3 llaves inglesas. Adicionalmente sería recomendable el uso de un martillo de goma para facilitar la correcta instalación de las piezas encastrables (correas).
- Resulta fundamental disponer de al menos 2 escaleras con una longitud mayor a 4 metros, de tal manera de poder trabajar cómodamente en aquellas partes de mayor altura.
- Se requiere el uso de elementos de protección personal dado el riesgo que significa trabajar a la altura requerida por el montaje (mayor 4 metros).
- Es necesario el diseño de algún sistema de poleas o similar que facilite la colocación de la lona

Ahora bien, para el diseño y validación de rutas de conducción se presentan las siguientes recomendaciones:

- Para el diseño de nuevas rutas resulta primordial evitar el tránsito por túneles, vías subterráneas o aquellas que estén en un nivel de subsuelo, en modalidad cubierta o semicubierta, como también la presencia de elementos que puedan provocar interrupciones en la conexión de la VAM con los satélites en órbita.
- Para el caso particular de Santiago de Chile y con el objetivo de asegurar el correcto desarrollo de los diversos tipos de conducción, es recomendable el uso de autopistas urbanas (vías expresas), debido a que la alta congestión vehicular de la ciudad y los límites de velocidad existentes, no permiten desarrollar rutas válidas en vías urbanas.

- En el caso de utilizar el procedimiento de diseño establecido en el presente trabajo, es recomendable que las rutas de conducción tengan un tiempo de duración mínimo estimado de 100 minutos y una longitud de a lo menos 70 km, con el objetivo de facilitar el cumplimiento de los todos los requerimientos antes mostrados (Tabla 14).

Finalmente, para el ultimo objetivo abordado, cabe destacar que sería favorable dar continuidad a los temas abordados en el documental, enfocándose principalmente en el transporte del futuro, abordando la movilidad sustentable, la electromovilidad y el uso de hidrogeno, entre otros temas de interés.

Como recomendación general, resultaría primordial realizar una primera campaña real de medición de emisiones vehiculares, realizando un montaje y equipamiento efectivo del laboratorio, en donde los vehículos a ensayar utilicen la ruta diseñada (Poniente). Adicionalmente, se recomendaría que en la charla previa al inicio de actividades pueda ser presentado el material audiovisual producido, de tal manera de capacitar a todas aquellas personas participantes de la campaña.

6. Bibliografía

- [1] Bravo N. (2019). *Análisis técnico y regulatorio para la homologación de vehículos mediante sistema de monitoreo de emisiones portátiles en Chile*. Memoria de Titulación. Universidad Técnica Federico Santa María.
- [2] Proyecto ANID FONDEF IDeA I+D ID18110297 (2018). *Formulación de proyecto: Concurso IDeA I+D 2018*.
- [3] Merkisz, J., & Pielecha, J. (2015). *Nanoparticle emissions from combustion engines*. Springer International Publishing.
- [4] Delphi Technologies (2019). *Worldwide emissions standards-Passenger cars and light duty vehicles*
- [5] TSI Incorporated (2019). *How air quality is measured*. [En línea]. Disponible en https://tsi.com/getmedia/1577ad6e-f48e-422a-9580-e523d072b220/Air-Quality-White-Paper_How-Air-Quality-is-Measured_2_A4_5002335_RevA_We?ext=.pdf
- [6] Rubio J. (2014). *Determinación de la distribución de tamaño y número de partículas provenientes de motores Diesel operando en tráfico real con equipos embarcados*. Tesis Doctoral, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).
- [7] (s.f). *Qué son, cómo son y cómo se originan las partículas*. [En línea]. Disponible en, <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/695/queson.pdf>
- [8] Martínez J. (2016). *Análisis de emisiones de un vehículo en conducción por ciudad y renovación del sistema PEMS utilizado*. Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Madrid.
- [9] Rohini K., Sunit K., Pravesh C., Tarun G., Ahmed S, Avinash K. & Nitin K. (2019). *Chemical composition of diesel particulate matter and its control*. [En línea]. DOI: 10.1080/01614940.2019.1617607
- [10] Simões Amaral, S. & Carvalho, Joao & Martins Costa, Maria & Pinheiro, Cleverson. (2015). *An Overview of Particulate Matter Measurement Instruments*. *Atmosphere*. [En línea]. Disponible en, <https://doi.org/10.3390/atmos6091327>
- [11] Giechaskiel B., Maricq M., Ntziachristos L., Dardiotis C, Wang X., Axmann H., Bergmann A., Schindler W. (2014). *Review of motor vehicle particulate emissions sampling and measurement: From smoke and filter mass to particle number*. *Journal of Aerosol Science*, Volume 67. [En línea]. Disponible en, <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2013.09.003>

- [12] Soria, M. (2017). *Evolución de la reglamentación europea sobre emisiones y homologación de vehículos*. Sernauto. [En línea]. Disponible en, https://www.motorpoint.com/adjuntos/7946/02_evolucion_reglamentacion_europea_emisiones_homologacion_de__vehiculos.pdf
- [13] Continental (2019). *Worldwide emissions standards and related regulations-Passenger cars/ Medium duty vehicles*.
- [14] Williams, M., & Minjares, R. (2016). *A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards*. The internacional council on clean transportation. [En línea]. Disponible en https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Euro6-VI_briefing_jun2016.pdf
- [15] Sánchez L., Fabela M., Flores O., Hernández J., Vázquez D., Cruz M. (2019). *Revisión de la normativa internacional sobre límites de emisiones contaminantes de vehículos de carretera*. Instituto Mexicano del Transporte. [En línea]. Disponible en, <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt562.pdf>
- [16] Woo K., Daekwang P., Doo J., Taesung, S. (2009). *Formation of Silicon Nanoparticles Using SiH₄ Pyrolysis at Atmospheric and Low-Pressure*. Journal of The Korean Physical Society. [En línea]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/243586550_Formation_of_Silicon_Nanoparticles_Using_SiH₄_Pyrolysis_at_Atmospheric_and_Low-Pressure](https://www.researchgate.net/publication/243586550_Formation_of_Silicon_Nanoparticles_Using_SiH4_Pyrolysis_at_Atmospheric_and_Low-Pressure)
- [17] DieselNet (s.f.). *United States: Cars and Light-Duty Trucks*. [En línea]. Disponible en, <https://dieselnet.com/standards/us/ld.php>
- [18] DieselNet (s.f.). *Cars and Light Trucks: RDE Testing*. [En línea]. Disponible en, https://dieselnet.com/standards/eu/ld_rde.php
- [19] Lira G. (16 de Mayo de 2022). *Top 10: Camionetas más vendidas en Chile*. Autofact. [En línea]. Disponible en, <https://www.autofact.cl/blog/noticias/autofact/camionetas-mas-vendidas>
- [20] Fold (s.f.). *Silla plegable altus blanc*. Sodimac. [Figura en línea]. Disponible en, <https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/product/110102149/Silla-plegable-altus-blanc/110102159?exp=sodimac>
- [21] Imgvector (s.f.). *Camioneta pickup del vector en el fondo blanco*. [Figura en línea]. Disponible en, <https://es.dreamstime.com/stock-de-ilustraci%C3%B3n-camioneta-pickup-del-vector-en-el-fondo-blanco-image79151343>
- [22] Librería GrabCad. [En línea]. Disponible en, <https://grabcad.com/library>
- [23] Cabrera E., Diaz C., Sanhueza R. (2003). *La congestión en Santiago*. Capítulo 14. [En línea]. Disponible en, <https://www.cepchile.cl/cep/site/docs/20170322/20170322112224/14.pdf>

- [24] Caballero M. (2011). *Análisis de emisiones de vehículos livianos según ciclo de conducción específicos para la región metropolitana*. Memoria de Titulación. Universidad de Chile.
- [25] Diario Oficial de la Union Europea (2208). *Reglamento (CE) n° 692/2008 de la Comisión de 18 de julio de 2008 por el que se aplica y modifica el Reglamento (CE) n° 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos*. [En línea]. Disponible en, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32008R0692>
- [26] M. D. V. Y. URBANISMO (1992). *Decreto 47. Fija nuevo texto de la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones*. Biblioteca del Congreso Nacional. [En línea]. Disponible en, <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=8201>
- [27] Ruiz J. (2012). *Violencias en la periferia de Santiago: La población José María Caro*. Revista INVI, 27(74), 249-285. [En línea]. Disponible en, <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582012000100008>
- [28] Peña A. (2022). *Ficha Técnica VAM*.
- [29] Mon L. (2021). *Desarrollo de un programa para la integración y análisis de datos proveniente de diversos equipos de medición de emisiones vehiculares en condiciones reales de operación*. Memoria de Titulación. Universidad Técnica Federico Santa María.
- [30] Google Maps [En línea]. Disponible en, <https://www.google.cl/maps>
- [31] Modo Street View - Google Maps [En línea]. Disponible en, <https://www.google.cl/maps>
- [32] Querol, X. (2018). *La calidad del aire en las ciudades: Un reto mundial*. [En línea]. Disponible en, <https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>
- [33] Ministerio de Medio Ambiente – Gobierno de Chile (2016). *Guía de calidad del aire y educación ambiental*. [En línea]. Disponible en, <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>
- [34] Ritche H., Roser M., Rosado P. (2020). *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. Our World in Data. [En línea]. Disponible en, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gasemissions>
- [35] Dey S., Mehta N. (2020). *Automobile pollution control using catalysis*. [En línea]. Disponible en, <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2020.100006>

- [36] Khandar C., & Kosankar, S. (2014). *A review of vehicular pollution in urban India and its effects on human health*. Journal of Advanced Laboratory Research in Biology. [En línea]. Disponible en, <https://e-journal.sospublication.co.in/index.php/jalrb/article/view/187>
- [37] Alam, Md. (2020). *The Impact Study Of Vehicular Pollution On Environment*. [En línea]. Disponible en, <https://www.researchgate.net/publication/346946690>
- [38] Casotti I., Alves C. (2021). *Road dust resuspension: A review*. Atmospheric Research. [En línea]. Disponible en, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105740>
- [39] Air Quality Expert Group (2019). *Non-Exhaust Emissions from Road Traffic*. Department for Environment, Food and Rural Affairs. [En línea]
- [40] Gulia, S., Goyal, P., Goyal, S., & Kumar, R. (2018). *Re-suspension of road dust: Contribution, assessment and control through dust suppressants—a review*. International Journal of Environmental Science and Technology, 16. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2001-7>
- [41] Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (s.f.). *Tabla 3- Sistema de control de emisiones*. [En línea]. Disponible en, https://www.anla.gov.co/documentos/certificaciones/prueba_dinamica/17-06-2021-anla-tabla-3.pdf
- [42] Centro Complutense de Estudios e información Medioambiental (2012). *Cambio Global España 2020/50- Cambio climático y salud*. [En línea]. Disponible en, <http://istas.net/descargas/LIBRO%20CAMBIO%20GLOBAL.pdf>
- [43] Oyarzún M. (2010). *Contaminación aérea y sus efectos en la salud*. Revista chilena de enfermedades respiratorias. [En línea]. Disponible en, <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482010000100004>
- [44] Bhandarkar S.& Nijagunappa R. (2010). *Minimization of Vehicular pollution at NE-Karnataka Road Transport Corporation-Gulbarga by the use of CNG in place of diesel fuel*. [En línea]. Disponible en, https://www.researchgate.net/publication/235337432_Minimization_of_Vehicular_pollution_at_NE-Karnataka_Road_Transport_Corporation-Gulbarga_by_the_use_of_CNG_in_place_of_diesel_fuel
- [45] Kumar S., Sharma L. Patel S., Soju A., Trivedi P. & Purohit D. (2016). *Vehicular pollution: a current issue*. Workosh newsletter, Vol. 11, No. 4. [En línea]. Disponible en, http://niohenvi.nic.in/newsletters/vol11_no4_Vehicular_pollution.pdf
- [46] Colaboradores de Wikipedia. (2012). *Contaminación atmosférica*. Wikipedia, La enciclopedia libre. [En línea]. Disponible en, https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica&oldid=54972220.

- [47] Osses M. (s.f). *Formación y control de emisiones*. Curso de Motores de Combustión Interna. [Diapositivas de PowerPoint]. Universidad Técnica Federico Santa María.
- [48] Agencia Europea de Medio Ambiente. (2016). *Air pollution: from emissions to exposure*. [En línea]. <https://www.eea.europa.eu/media/infographics/air-pollution-from-emissions-to-exposure/view>
- [49] Acela (s.f.). *La combustión y/o la evaporación del combustible resultan en las emisiones producidas por vehículos*. [En línea]. Disponible en, <https://www.acela.org/es/fuel-basics/fuels-and-emissions-101/>
- [50] Kittelson, D.B., McMurry, P., Park, K., Sakurai, H., Tobias, H., Ziemann, P. (2002) *Chemical and Physical Characteristics of Diesel Aerosol*. En: Cambridge Particle Conference
- [51] Ligterink, N., Mensch G., Pim R. (2016). *NOx emissions of Euro 5 and Euro 6 diesel passenger cars – test results in the lab and on the road*. [En línea]. Disponible en, https://www.researchgate.net/publication/308201738_NOx_emissions_of_Euro_5_and_Euro_6_diesel_passenger_cars_-_test_results_in_the_lab_and_on_the_road
- [52] Fernando Robayo (2018). *El Chery Tiggo 5 irrumpe con fuerza entre los SUV*. Carburando. [Imagen en línea]. Disponible en, <https://www.carburando.ec/noticias/mercado/chery-tiggo-irrumpe-fuerza-suv.html>

7. Anexos

A continuación, se presentan las diversas cotizaciones de los productos buscando para aquellos proveedores seleccionados

Cotización N°: 1332

IMPORTADORA Y EXPORTADORA TORNADO CHILE LIMITADA

Giro: IMP.EXP.COMER.ARR.MAQUIN.LA INDUSTRIA Y BICLY REPUESTOS EXPBICICLE
Dirección: EXEQUIEL FERNANDEZ 3685, LOCAL 330
Ciudad: SANTIAGO
Comuna: MACUL
E-mail: ventas@tornado.cl
Tel. Oficina:



SEÑOR(ES): UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA	FECHA EMISIÓN: 09/06/2021
RUT: 81.668.700-4	TELÉFONO: 984513099
GIRO: EDUCACION SUPERIOR	
DIRECCIÓN: Av España 1680	CORREO: kevin.espindola@sansano.usr
COMUNA: Valparaiso	
CONTACTO: Kevin Espindola	

SKU	Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Subtotal
HY-Y56-08	22	Silla PLEGABLE 'EVENTO' Negra	\$ 15.042,02	\$ 330.924

Observaciones: Los Datos de Transferencia son los siguientes: Banco de Chile; Cta Cte 160-14412-04, A nombre de Tornado Chile Ltda, Rut 76.415.653-6, contacto: elizabeth@tornado.cl.

NETO(\$)	\$ 330.924
I.V.A(19%)	\$ 62.876
TOTAL	\$ 393.800

PERSONAL COMPUTER FACTORY S.A.



Ventas e Importación Artículos Computacionales e Insumos
Asesoría y Administración en Venta de Equipos y Sistemas
Computacionales.

Casa Matriz:
Av. Manuel Montt 170, Providencia, Santiago
Fono: +56 2 2560 0010
Sucursal: Vicuña Mackenna 6100 Local 2095, La Florida, Santiago

PC FACTORY
www.pcfactory.cl

Fecha Emisión: 2 de Julio de 2021

Fecha Vigencia: 4 de Julio de 2021 14:08

R.U.T.: 78.885.550 - 8

COTIZACION

N° 36.011.373

S.I.I. - SANTIAGO ORIENTE



Señor(es): **KEVIN ESPINDOLA**

R.U.T.: **22.817.565-K**

Giro: **PARTICULAR**

Dirección: **VICUÑA MACKENNA #3939**

Comuna: **SAN JOAQUÍN**

Teléfono: **984513099**

Ciudad: **SANTIAGO**

Email: **kevin.espindola@sansano.usm.cl**

Cond. de Pago: **Deposito**
Cond. de Entrega: **Cotizacion WEB**

CANTIDAD	DETALLE	GARANTÍA	P. UNITARIO	TOTAL
1	38696 TCL Smart TV 50P615 50" Ultra HD 4K WiFi	3 meses Garantía Legal	298.311	298.311

Observaciones: **Solicitud de Pedido N°3152165**

Cotización válida desde fecha de emisión hasta fecha señalada en "Vigente:", ambas fechas inclusive o hasta agotar stock, lo que ocurra primero.

La cotización no representa en forma alguna, reserva de inventario.

Cheques o transferencias bancarias a:

Nombre: PC Factory S.A / Rut: 78.885.550-8

Banco : Santander / N° Cuenta Corriente : 5201682-7

Liberación cheques 72 horas.

Recuerde enviar durante la vigencia de la cotización una copia de su transferencia o deposito al vendedor indicado en el documento.

NETO \$ 298,311

I.V.A 19% \$ 56,679

TOTAL \$ 354,990



CLIENTE:
KEVIN ESPINDOLA

PLAZO DE ENTREGA:
30 DIAS HABILES

FORMA DE PAGO:
50% CON ORDEN DE TRABAJO
50% CONTRA ENTREGA

Comercial Hidalgo Ltda.
RUN 76.115.340-4
Av. Manuel Antonio Matta 1499
Santiago Centro
(56) 22 699 03 36
(56) 22 695 88 87
www.carpashidalgo.cl
ventas@carpashidalgo.cl



Presupuesto
N° 72361

Fecha: 19 - 05 - 2021

Detalle	Cant.	Valor
CARPA TIPO EVENTO		
<i>Señor</i> <i>Kevin Espindola</i> <i>Presente.-</i>		
<i>De nuestra consideración:</i> <i>Por intermedio de la presente, tenemos el agrado de cotizar lo siguiente:</i>		
CARPA TIPO EVENTO DE 6.00 X 7.00 MTS		
ALTURA EN PARED 2.70 MTS		
ALTURA CENTRAL 4.00 MTS		
<i>Confeción:</i> <i>Tela P.V.C. COVERNYL DE ALTA RESISTENCIA</i> <i>CON TRATAMIENTOS UV. ANTI-FLAMA</i> <i>IMPERMEABLE 100%</i> <i>Uniones y terminaciones sellado electrónico</i> <i>Cenefa de 0.40 Cmts en contorno.</i>		
<i>Estructura:</i> <i>Estructura metálica Auto-Soportante en tubos acerados</i> <i>75 X 75 X 2 mm. Fijaciones en pernos de acero grado 8</i> <i>Base de peso en pilares de 400 X 400 X 8 mm</i> <i>Pintura epoxy al horno.</i>		
Valor neto sin impuesto I.V.A.	01	\$ 6.089.792

CARPAS HIDALGO SPA
RUT 77.257.277-8
Carlos Hidalgo Nunez
998213415

Razón Social: SODIMAC S.A..
Rut: 96792430 - K
Dirección: AV. Eduardo Frei Montalva 3092, Renca
Teléfono: 227381000



Cotización

Razón Social Empresa: Universidad Técnica Federico Santa María
Rut empresa: 81668700-4
Dirección facturación: Av España 1680, Valparaíso
Contacto: Kevin Espindola
Teléfono: 984513099
Correo electrónico: kevin.espindola@sansano.usm.cl

Producto



Stanley
Caja de herramientas 3 en 1
Modelo STST83319-1 | Código 6153828

\$129.990 C/U

Total IVA Incl.

\$129.990




Geoequipos S.A.
88.901.300-1
Miguel Claro 786
Providencia
C.P. 664 0953
Santiago de Chile
tel: 2 22355248

COTIZACIÓN N°: 30037

16 junio, 2021

Kevin Espindola
kevin.espindola@sansano.usm.cl

Producto	Imagen	Cantidad	Precio unidad	Precio
BAUL PELICAN 1640 SKU: 30-108		2	\$276.993	\$553.986

Subtotal	\$553.986
IVA	\$ 105.257
Total	\$ 659.243

Para más información del producto
realice un click sobre el nombre

Condiciones generales

1. Precios del listado NO incluyen I.V.A.
2. Plazo de entrega: Inmediata
3. Validez de la oferta: 10 días
4. Forma de pago: Contado
5. Moneda de cotización: Pesos chilenos
6. IMPORTANTE: Los precios están sujetos a cambios sin previo aviso

Gracias por cotizar en GeoEquipos
www.geoequipos.cl
Si desea puede imprimir esta cotización para su archivo.

Conrado Gómez
Geoequipos S.A.
Tel: +56 (2) 2235-5248
conrado@geoequipos.cl

Copyright © 2021
Geoequipos, Todos los Derechos Reservados



Cotización

MODELO	DESCRIPCION	UNID.	PRECIO NETO C/UNO	IVA	VALOR C/IVA UNID.	VALOR TOTAL C/IVA
SBRR05	T1030 RACK de TV móvil de acero de 37 "a 75" altura ajustable con inclinación. 	1	\$ 84.025	\$15.965	\$ 99.990	\$99.990
					A PAGAR	\$ 99.990

Forma de pago: efectivo, tarjetas débito o crédito, transferencia.

Datos Empresa y transferencias

RUT	77685240-6	RAZON SOCIAL:	IMP. Y COM. MKP LTDA		
DIRECCION	Av. EINSTEIN	N°	835	OFICINA	
COMUNA	Recoleta	CIUDAD	SANTIAGO		
Fono	2-6291791	Fono Fax	Rut: 77.685.240-6		
Mail	ventas@casadelsoporte.cl	Contacto	Samir Faraj		
Cta. Cte. Banco Santander N° 75-67008-7					



Una empresa de **GTgroup**




N° 4781
martes, 22 de junio de 2021

Para :
Email: : **NA**
De : FRANCISCO VERGARA
Email : FVERGARA@GYTGROUP.CL

Cliente : USM

TOTEM USM

COTIZACIÓN

Nombre	Cant.	Unid.	Días	P.U.	Subtotal
SANITICOV					
SKU 39 TOTEM AUTOMATICO + CONTROL T TÓTEM DE ESTRUCTURA CUBIERTO DE MELAMINA GRÁFICA ADHESIVA EN TODAS SU CARAS RUEDAS GIRATORIAS CON FRENO DISPENSADOR AUTOMÁTICO DE ALCOHOL GEL DE 1 LT. TERMÓMETRO INFRARROJO ESPACIO UTILIZADO, 0,2 M2	1		1	\$ 260.000	\$ 260.000
					
SKU 75 DESPACHO TOTEMS 1 - 3 UN.	1		1	\$ 40.000	\$ 40.000
				SUBTOTAL	\$ 300.000
				TOTAL NETO	\$ 300.000
				IVA (19%)	\$ 57.000
				TOTAL	\$ 357.000