

FABRICACIÓN DE CARROCERÍAS DE BUSES TIPO BRT EN COLOMBIA PARA TRANSPORTE DE PASAJEROS EN SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO

Hermann Fuquen G., Consultor en Innovación Tecnológica

Resumen — La fabricación de buses articulados y biarticulados para los sistemas de transporte masivo tipo BRT (Bus Rapid Transit), ha sido fundamental para la puesta a punto de sistemas de transporte masivo en distintas ciudades en el mundo. Para el caso colombiano, varias de las empresas fabricantes de estos vehículos recientemente plantearon la transformación de sus procesos productivos con el fin de desarrollar los nuevos buses usando motores de alta eficiencia diésel y de gas natural, que cumplen la normatividad ambiental más exigente como es el estándar europeo Euro VI, logrando disminuir las emisiones de partículas contaminantes en más de un 90% de las generadas por los buses de generación pasada. Es así como las nuevas flotas de transporte de sistemas BRT en distintas ciudades colombianas son renovadas con vehículos que cumplen altos estándares de calidad con bajas emisiones y vehículos fabricados localmente, lo que ha promovido que esta industria se prepare para nuevos retos y se transforme.

Palabras Clave — Buses de Transporte Masivo, Desarrollo de Producto, Proveedores de Autopartes, Bus Rapid Transit

1. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz en Colombia ha desarrollado importantes capacidades, como es el caso de la fabricación de autopartes y ensamble de vehículos automotores de gran tamaño como lo son camiones y buses. Existen varias empresas que ensamblan buses tipo BRT (Bus Rapid Transit) para abastecer el mercado de grandes ciudades como Bogotá, las cuales han creado capacidades para proveer vehículos a otras ciudades colombianas y de países vecinos.

Los nuevos vehículos tipo bus BRT biarticulados y articulados que se venden en Colombia deben cumplir altos estándares de calidad y de alta eficiencia en consumo de combustible con niveles de emisiones limitados preferiblemente a la norma Europea Euro VI. Los nuevos vehículos aseguran su calidad a través de materiales y procesos productivos altamente eficientes y de alto componente tecnológico, por lo que las capacidades de ingeniería del personal de empresas fabricantes y ensambladoras de carrocerías se incrementaron al poder adaptar y mejorar varios procesos y técnicas de fabricación.

La legislación colombiana establece en la ley 1972 del 18 de Julio de 2019 que para el año 2023, los nuevos vehículos diésel que entren al mercado deberán cumplir los estándares establecidos en la norma Euro VI. También se establece que para el año 2035 todos los vehículos con motor diésel en el país deberán cumplir la norma Euro VI.

Al poder realizar la fabricación de estos buses en Colombia, se promueve la sustitución de importaciones de unidades que de otra manera deberían ser importadas,

en una industria de síntesis que genera empleos de calidad directos e indirectos. Por tanto, se desarrollan nuevas soluciones para enfrentar la demanda de buses para los sistemas de transporte masivo de la región, generando capacidades propias en las empresas colombianas que sostendrán las bases para que próximamente puedan adaptar sus procesos de fabricación más fácilmente a la nueva generación de buses eléctricos, los cuales serán el futuro de la movilidad y conllevan un mayor nivel de capacidades tecnológicas para su apropiación.



Las empresas ensambladoras realizan un esfuerzo tecnológico importante en el diseño de carrocerías para la fabricación de éstas utilizando por ejemplo chasis pertenecientes a las empresas Scania y Volvo. El chasis Scania es propulsado por un motor a gas natural y cumple con los niveles de emisiones determinados en la norma europea de emisiones Euro VI. Los chasis Volvo cuentan con motores diésel con tecnología Euro V de fábrica, aunque se le adiciona un catalizador o filtro que

hace que cumplan también con el standard Euro VI.

Por tanto, ambos tipos de vehículos alcanzan altas eficiencias en consumo de combustible y limitan su nivel de emisiones a los requerimientos más exigentes de la norma europea.

Para la fabricación y ensamble de vehículos en Colombia las empresas deben tomar decisiones en sus procesos, los cuales debe evaluarse, buscando asegurar una adecuada fabricación de los productos (Stylidis, Madrid, Wickman, & Söderberg, 2017). Por tanto, las empresas ensambladoras colombianas están implementando sistemas avanzados de control de la producción basados en transferencia de conocimientos de socios internacionales, los cuales permiten un control integral del proceso de producción, brindando mayor visibilidad de todos los trabajadores y un control integral de los procesos basados en sistemas de información versátiles y ejecutados en tiempo real.

2. ESTADO DEL ARTE

Los sistemas de tránsito rápido de buses o BRT por sus siglas en inglés (Bus Rapid Transit) ha sido una solución viable para varias ciudades alrededor del mundo, la cual se enfoca en usar buses junto a estaciones de pasajeros, por lo general en vías dedicadas sin tráfico mixto, basado en un plan operativo y tecnológico enfocado en el usuario que sea costo eficiente (Nikitas, 2015). Se trata de emular la infraestructura aplicada en el transporte de pasajeros en tren, donde las estaciones son el punto de carga y descarga de pasajeros (Currie, 2011).

Las aplicaciones de BRT están diseñadas para ser apropiadas en los mercados que atienden, teniendo en cuenta sus entornos físicos, y pueden implementarse de manera incremental en una variedad de configuraciones y tipos. Debido a las ventajas inherentes a la flexibilidad de los autobuses, por ejemplo, a diferencia de los sistemas ferroviarios, el mismo vehículo que funciona como un transportador de línea también puede transformarse en un alimentador local, el BRT también es adecuado para muchas áreas de menor densidad (Cervero R. K., 2011).

Sin embargo, el vasto potencial del BRT podría utilizarse a su ritmo máximo en entornos urbanos congestionados donde los servicios de tránsito masivo adecuados no podrían ser proporcionados a los usuarios por opciones modales más costosas, como el tren ligero o el metro (Nikitas, 2015). Por tanto, los sistemas BRT son una solución de bajo costo de inversión inicial, al compararlos con sistemas ferroviarios, mientras que su costo de operación es moderado (Hidalgo, 2010).

Buses con Motores Diesel Euro VI

Se introdujeron una serie de disposiciones importantes en la regulación Euro VI que han dado como resultado una mejora significativa en el rendimiento de las emisiones en el mundo real para los motores certificados según estos estándares. Estos incluyen límites de emisión de contaminantes más estrictos y la introducción de ciclos de prueba de certificación que representan mejor las condiciones de conducción del mundo real, incluidos los requisitos de arranque en frío, los requisitos de prueba de conformidad en servicio y los períodos de durabilidad prolongados (Chambliss, 2015).

Es importante destacar que los estándares Euro VI introdujeron un límite de emisión de partículas, que ha exigido el uso de la tecnología más efectiva para controlar las emisiones de PM (material particulado) de los motores diésel contando con filtros avanzados de partículas diesel (DPF) en los diseños de motores diesel Euro VI. La regulación Euro VI también reforzó las medidas contra la manipulación para los sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) utilizados para controlar las emisiones de NOx (Façanha, 2016)

En la figura 2 se puede apreciar la notable reducción en contaminantes donde por ejemplo se redujo el material particulado (PM) en un 91% y de NOx se presenta una reducción del 94%. La figura 2 evidencia el notable progreso desde los motores Euro III hasta los nuevos Euro VI (Dallmann, 2019).

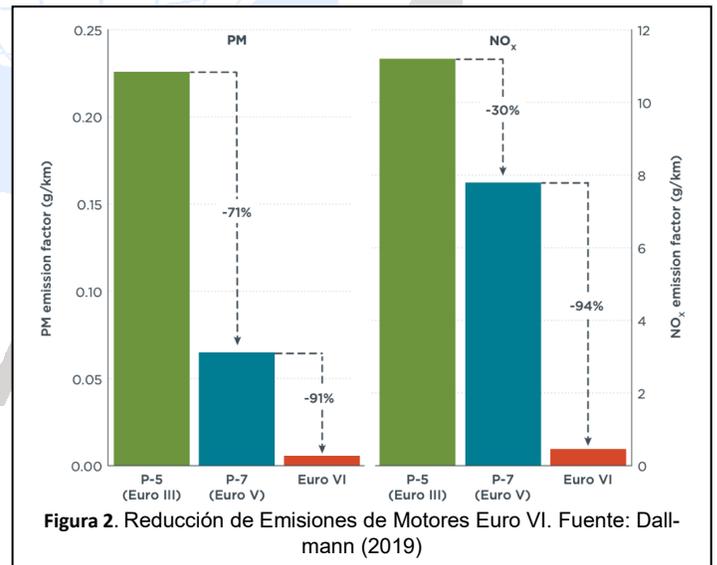


Figura 2. Reducción de Emisiones de Motores Euro VI. Fuente: Dallmann (2019)

Otra ventaja de los motores Euro VI es que la emisión de carbón negro el cual representaba el 75% del material particulado emitido por los viejos motores diésel es reducido en un 99% gracias a la utilización de filtros especiales de material particulado. Por tanto, estos buses según Dallmann (2019) podrán ser utilizados en el cor-

to plazo para alcanzar las metas cercanas de la ley de Sao Paulo.

2.1. BUSES CON MOTORES CON USO DE BIOCOMBUSTIBLES

En Brasil al igual que en Colombia, se ha utilizado una mezcla de hasta el 10% de biocombustibles con combustibles fósiles como la gasolina o el diésel. Para el 2023 se espera que la mezcla alcance hasta un 15% de biocombustibles. Los biocombustibles, por definición, tienen cero emisiones de CO₂ en el tubo de escape y, por lo tanto, pueden contribuir significativamente al cumplimiento de la Ley 16.802 de Sao Paulo (Dallmann, 2019).

Sin embargo, las reducciones en las emisiones de CO₂ en el tubo de escape no necesariamente equivalen a impactos al medio ambiente más bajos, en particular porque las reducciones de las emisiones del ciclo de vida del combustible no se tienen en cuenta. Las emisiones aguas arriba de la producción de estos combustibles y las materias primas de las que se derivan pueden ser significativas. Esto es especialmente cierto para los biocombustibles producidos a base de materias primas alimentarias, como el biodiésel de aceite de soja, donde el uso de la tierra cambia la matriz de emisiones que puede superar a las reducciones de emisiones de CO₂ del tubo de escape logradas por las transiciones a estos combustibles (Currie, 2011).

2.2. CATALIZADORES Y FILTROS PARA EL CONTROL DE EMISIONES EN VEHÍCULOS DIESEL

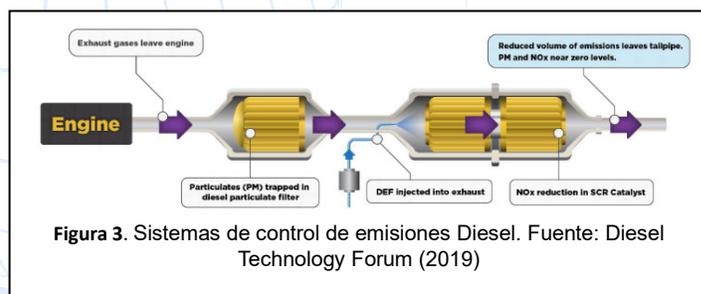
2.2.1. REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA - SCR

La reducción catalítica selectiva o Selective Catalytic Reduction (SCR) es un sistema avanzado de tecnología de control de emisiones activas que inyecta un agente reductor de líquidos a través de un catalizador especial en la corriente de escape de un motor diesel. La fuente reductora suele ser la urea de grado automotriz, también conocida como líquido de escape diésel (DEF). La DEF desencadena una reacción química que convierte los óxidos de nitrógeno en nitrógeno, agua y pequeñas cantidades de dióxido de carbono (CO₂), componentes naturales del aire que respiramos, que luego se expulsa a través del tubo de escape del vehículo (Diesel Technology Forum, 2019).

La tecnología SCR está diseñada para permitir que las reacciones de reducción de óxido de nitrógeno (NO_x) tengan lugar en una atmósfera oxidante. Se llama "se-

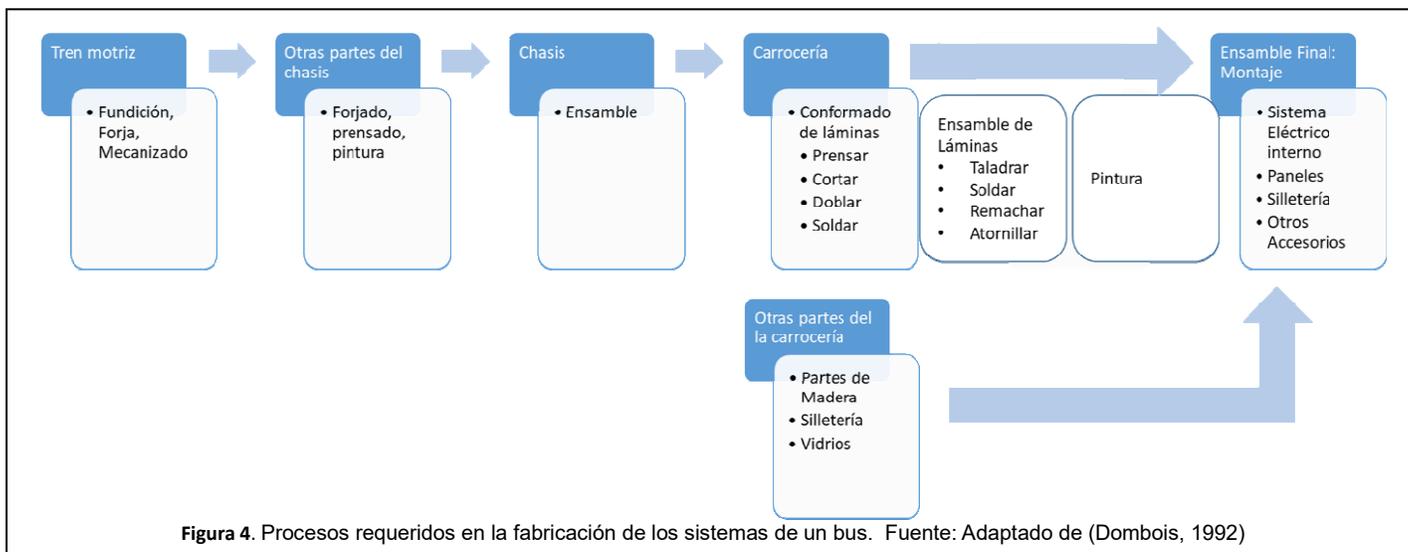
lectivo" porque reduce los niveles de NO_x al usar amoníaco como reductor dentro de un sistema catalítico. La reacción química se conoce como "reducción" donde la DEF es el agente reductor que reacciona con los NO_x para convertir los contaminantes en nitrógeno, agua y pequeñas cantidades de CO₂. La DEF se puede descomponer rápidamente para producir el amoníaco oxidante en la corriente de escape. La tecnología SCR por sí sola puede lograr reducciones de NO_x de hasta el 90 por ciento (Ibid).

La tecnología SCR es una de las tecnologías más rentables y económicas disponibles para ayudar a reducir las emisiones de los motores diesel. Estos sistemas permiten reducir el material particulado (PM) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) a niveles cercanos a cero. SCR puede reducir las emisiones de NO_x hasta en un 90 por ciento, mientras que al mismo tiempo reduce las emisiones de HC y CO en un 50-90%, y las emisiones de PM en un 30-50%. Los sistemas SCR también se pueden combinar con un filtro de partículas diésel para lograr incluso mayores reducciones de emisiones para el PM. En la industria de camiones comerciales, algunos operadores de camiones equipados con SCR están reportando ganancias de ahorro de combustible del 3-5% (Ibid).



2.2.2. TECNOLOGÍA DE REGENERACIÓN CONTINUA CRT

"CRT": una abreviatura del nombre comercial "Continuously Regenerating Technology", originalmente introducido como "Continuously Regenerating Trap", es una marca registrada de Johnson Matthey, cuyos investigadores describieron por primera vez el uso de NO₂ para la oxidación del hollín (Cooper, 1989). Este tipo de filtro también se conoce como el CR-DPF, que significa "filtro de partículas diesel de regeneración continua" (Ibid). La unidad CRT se compone de un filtro de partículas Diesel el cual puede eliminar virtualmente todas las partículas de hollín (PM) de los gases de escape emitido desde un motor diesel para garantizar el cumplimiento de estándares de emisión muy estrictos. A pesar del límite de emisión real, los filtros de partículas diesel satisfacen las necesidades de los operadores que logrando emisiones de hollín extremadamente bajas (Ibid).



Un filtro de partículas diesel elimina las partículas de hollín de los gases de escape que se producen durante el proceso de combustión que tiene lugar en el motor. Esto se hace dirigiendo el gas de escape a través del llamado sustrato de filtro, una estructura cerámica de poro fino con paredes porosas dentro del filtro. Las partículas de hollín se depositan en las paredes de los canales a medida que el gas de escape pasa a través de la estructura (Schäffner, 2017).

De otra parte, el sistema CRT se compone de un catalizador de oxidación diesel (DOC) debe su nombre a su capacidad para promover la oxidación de los componentes de los gases de escape por el oxígeno, que está presente en grandes cantidades en los gases de escape de motores diesel. Cuando se pasa sobre un catalizador de oxidación, el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos en fase gaseosa (HC), la fracción orgánica de partículas diesel (OF), así como emisiones no reguladas como aldehídos o HAP pueden oxidarse a productos inocuos, por lo tanto, se puede controlar utilizando el DOC. En los sistemas modernos de tratamiento diesel, una función importante del DOC es oxidar el óxido nítrico (NO) al dióxido de nitrógeno (NO₂), un gas necesario para respaldar el rendimiento de los filtros de partículas diesel y los catalizadores SCR utilizados para la reducción de NO_x, (Russell, 2011).

2.3. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE BUSES

El sector automotor se ha conocido como una industria de síntesis, por cuanto requiere, para el desarrollo de sus productos de la interacción de empresas de diferentes sectores productivos (Sánchez, 2017). En este mismo sentido, la fabricación de un vehículo involucra una serie de procesos de manufactura que van desde la fabricación de los sistemas motrices (motores, ejes, entre otros) que no se fabrica en Colombia, por lo que son partes y sub-ensambles importados, que se integran al chasis de los buses. Por otro lado, se realiza el ensamble

de la carrocería, para lo cual se realizan procesos de manufactura en lámina metálica, entre los cuales se encuentran procesos de corte, doblado, soldadura, armado y pintura. Posteriormente, se realizan los procesos de montaje de partes como piso, sillas, vidrios, sistemas eléctricos, luces, etc. (Dombois, 1992). Un esquema del proceso de fabricación, se puede ver en la Figura 4.

Los fabricantes de carrocerías desarrollan procesos de producción que permiten fabricar partes y componentes, así como realizar el ensamble de las carrocerías, tal como se ve en la Figura 4. Los vehículos están constituidos por piezas estandarizadas, razón por la cual se requiere adicionalmente en el proceso contar con herramientas que permitan la fabricación, ensamble y verificación de las geometrías y características de las partes y ensambles. Para ello, se utilizan moldes, dispositivos, troqueles, sistemas de sujeción, galgas, entre otros elementos en ocasiones fabricados también por la empresa. El número de referencias (partes) diferentes que requieren los vehículos implica la necesidad de especializar máquinas o secciones del proceso por familias de partes en algunas empresas. Adicionalmente, el desarrollo de nuevos vehículos genera la necesidad de realizar cambios de herramental frecuente, en la medida en que cambian los modelos de vehículos que pasan por la línea.

2.4. ESTADO DEL ARTE A NIVEL NACIONAL

Con respecto a las temáticas asociadas al presente artículo, se identificó una publicación como resultado de un proyecto financiado por ECOPEPETROL a la Universidad Nacional de Colombia, asociado con la implementación de gas natural comprimido, en un bus articulado del sistema de transporte masivo. Se hace referencia a una serie de pruebas realizadas sobre un bus articulado ensamblado por la empresa Colombiana de Chasises S.A. y carrocería BUSSCAR S.A., con el fin de establecer la viabilidad de implementación de este tipo de combusti-

ble y la tecnología que requiere, en vehículos para sistemas de transporte masivos. Los autores mencionan la realización de pruebas en Bogotá y Cali. Dentro del set de pruebas se realizaron: llenado de tanques, aceleración, velocidad máxima, arranque en pendiente, maniobrabilidad, consumo de combustible en trayecto urbano y flexibilidad – habilidad de giro, de acuerdo con especificaciones como SAE J1491, SAE J1635, SAE J695, SAE J218, SAE J68, y la norma colombiana NTC 4901- 1 Vehículos para el Transporte Urbano de Pasajeros, Parte 1. Como conclusión, se identificó que el vehículo cumplía con los requerimientos establecidos en las normas para su desempeño en transporte público urbano, excepto en su desempeño en Bogotá, donde no logró una velocidad igual o mayor a cuarenta kilómetros por hora (40 km/h) en veintidós segundos con cincuenta centésimas (22,50 seg) que son los requerimientos de la NTC 4901. Adicionalmente, los autores indicaron que no se contaba con aire acondicionado en el vehículo que fue probado, sistema que al implementarse, cambiaría las condiciones de desempeño del vehículo (Mantilla, Galeano, Acevedo, & Duque, 2008).

De acuerdo con la información disponible en la red Scienti, se pudo establecer que con las temáticas “bus rapid transit” y “BRT”, se encontraba una serie de documentos registrados por los investigadores, entre los que se identificaron 34 artículos, 21 trabajos de grado de pregrado, 14 trabajos de maestría, 11 documentos de trabajo y 2 capítulos de libro.

Al hacer un filtro vinculando las mismas palabras clave: “bus rapid transit” “BRT”, con la palabra “gas” o con “diesel” (COLCIENCIAS, 2019), el número de productos se limitó a 5 documentos, en temáticas dirigidas a desarrollo e implementación de los sistemas de transporte usando este tipo de vehículos.

- Road Safety Effects of Bus Rapid Transit BRT Systems a Call for Evidence
- Implementation of the Bus Rapid Transit BRT System in Colombia
- Metodología para la generación de tablas de programación y operación de un Sistema Bus Rapid Transit BRT con corredor compartido para dos rutas
- Estudio de factibilidad técnica para utilizar el carril exclusivo de un sistema BRT Bus Rapid Transit comparado con las motocicletas de la Ciudad De Bucaramanga

Al realizar una búsqueda con las palabras fabricación bus “transporte masivo”, se identificaron 5 productos: 2 artículos, 2 tesis de pregrado y una tesis de maestría.

2.5. PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Los procesos de producción representan un importante

pilar de transformación para adaptar las capacidades de las empresas ensambladoras a los nuevos productos de buses articulados y biarticulados, por tanto, para alcanzar un mayor nivel de capacidad tecnológica, los equipos de ingeniería de las empresas diseñan el alcance de los nuevos requisitos de la plantas de producción con capacidades propias con nuevos conocimientos incorporados a partir de asesorías de empresas expertas dueñas de los diseños de buses a nivel mundial. Con estas fuentes de conocimiento se define los procesos de diseño para la realización de cambios en diferentes áreas de las empresas, con el fin de dar velocidad en la fabricación, soporte e implementación de mejoras.

Por tanto, se implementan procesos nuevos y eficientes por ejemplo para el doblado de perfiles y marcos de ventana, se deben realizar pruebas y se generan ajustes a los herramientas, a partir de los resultados de las pruebas. También se introduce procesos con corte laser más avanzados, así como mejoras en las áreas de laminación.

El proceso de secado y pintura también se transforma al contar con sistemas de accionamiento automático para la desviación del aire de la fase de pintura a la fase de secado, haciendolos más eficientes y rápidos.

Adicionalmente además de los anteriores y otros procesos productivos impactados para la mejora en el desarrollo de buses BRT, las empresas colombianas de ensamble de buses BRT han iniciado la conformación de áreas de investigación y desarrollo, con el fin de poder solucionar aspectos puntuales de los procesos de ensamble y fabricación de piezas junto a proveedores e iniciar un camino para realizar investigaciones formales para el aumento de la productividad en el mediano plazo.

3. CONCLUSIONES

La fabricación y ensamble de buses BRT a nivel local permite mejorar las capacidades industriales en Colombia y disminuir el volumen de vehículos importados generando mayor competitividad y menor dependencia tecnológica. Proyectos que sirven como punto de partida para aumentar sus capacidades y escala industrial, a través de la mejora de sus procesos y capacidades de diseño con el fin de ser capaz de satisfacer la demanda futura en la región.

Al desarrollar este tipo de proyectos, se pueden establecer las bases para que en el mediano plazo la industria nacional se adapte a la fabricación de la nueva generación de buses eléctricos los cuales serán el futuro de la movilidad y conllevan un mayor nivel de capacidades tecnológicas para su apropiación.

BIBLIOGRAFÍA

- Cervero, R. K. (2011). Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea. *Transport Policy*, 18(1), 102-116.
- Chambliss, S. &. (2015). Accelerating progress from Euro 4/IV to Euro 6/ VI vehicle emissions standards. *International Council on Clean Transportation*, 1-17.
- COLCIENCIAS. (2019). *Buscador Colciencias*. Retrieved from Sitio Web de COLCIENCIAS: https://sba.colciencias.gov.co/Buscador_Productos/busqueda?q=%22bus%20rapid%20transit%22%20brt%20diesel&pagenum=1&start=0&type=load
- Cooper, B. T. (1989). Role of NO in Diesel Particulate Emission Control. *SAE Technical Paper* 890404. doi:doi:10.4271/890404
- Currie, G. D. (2011). Understanding bus rapid transit route ridership drivers: An empirical study of Australian BRT systems. *Transport Policy*, 18(5), 755-764.
- Dallmann, T. (2019). Climate and Air Pollutant Emissions Benefits of Bus Technology Options in Sao Paulo. *The international council of clean transportation*, 1-47.
- Diesel Technology Forum. (2019, 06 26). *About clean diesel*. Retrieved from What is SCR?: <https://www.dieselforum.org/about-clean-diesel/what-is-scr>
- Dombois, R. (1992). *Trabajadores en el cambio industrial: estudio de una empresa del sector automotriz*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Retrieved 2019, from <http://bdigital.unal.edu.co/1553/>
- Façanha, C. (2016). *Deficiencies in the Brazilian PROCONVE P-7 and the case for P-8 standards*. International Council on Clean Transportation.
- Hidalgo, D. C. (2010). Modernizing public transportation, lessons learned from major bus improvements in Latin America and Asia. *World Resources Institute*.
- Mantilla, J. M., Galeano, C., Acevedo, H., & Duque, C. A. (2008). Implementación de un bus articulado con motor dedicado a gas natural en los sistemas de transporte masivo de Colombia: Estudio Técnico. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 18-32. Retrieved junio 2019, from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n43/n43a02.pdf>
- Nikitas, A. K. (2015). A worldwide state-of-the-art analysis for bus rapid transit: Looking for the success formula. *Journal of Public Transportation*, 18(1), 3-12.
- Russell, A. E. (2011). Diesel Oxidation Catalysts. *Cat. Rev. - Sci. Eng.*, 53(4), 337-423. doi:doi:10.1080/01614940.2011.596429
- Sánchez, C. M. (2017). Serie de Empresas Innovadoras: GRUPO FANALCA. *COLINNOVACION TE CONECTA*, 3, pp. 1-4. doi:10.13140/RG.2.2.17371.41769
- Schäffner, G. (2017). How does a Diesel Particulate Filter work? *MTU Report*, 1-12.
- Stylidis, K., Madrid, J., Wickman, C., & Söderberg, R. (2017). Towards overcoming the boundaries between manufacturing and perceived quality: an example of automotive industry. *50th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 63, 733 - 738. doi:doi:10.1016/j.procir.2017.03.091

INNOVACION