

CRITERIOS TÉCNICOS PARA APOYAR LA COMPRA DE VEHÍCULOS DE CERO Y BAJAS EMISIONES DE 50 O MENOS PASAJEROS PARA COLOMBIA



Autor:

Rodrigo Zabala

Diseño y diagramación:

Valeria Bernal Carvajal

Reconocimientos:

Este informe de consultoría se realizó entre 2020 y 2021 en el marco de la asistencia técnica dada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) cooperación nacional en Colombia CO-T1558 financiada con recursos del Fondo UK-SIP de la Embajada Británica para el transporte urbano sostenible en ciudades colombianas.

Agradecimientos por su contribución al desarrollo de la investigación y/o del presente documento:

Fanny Bertossi, Consultora División de Transporte en Colombia del Banco Interamericano de Desarrollo
Laureen Montes, Especialista División de Transporte del Banco Interamericano de Desarrollo
Juanita Concha Rivera, Consultora División de Transporte del Banco Interamericano de Desarrollo
Diana Galarza, Consultora de la División de Transporte en Colombia del Banco Interamericano de Desarrollo
Gibet Camós, Especialista de la División de Transporte en Colombia del Banco Interamericano de Desarrollo
Juan Carlos Melo, asesor Unidad de Transporte Masivo UMUS, del Ministerio de Transporte de Colombia
Blanco y Negro Masivo, operador del MIO en Cali
Masivo Capital, operador del SETP de Bogotá
Trasnambiental, operador de TransCaribe en Cartagena
Sistema Alimentador Oriental S.A.S, operador de SITVA en Medellín.

Contenido

Reconocimientos

Preámbulo

Acrónimos

Términos que debe conocer

Sección 1

Inventario de flota. 9

Sección 2

Especificaciones técnicas del motor. 11

Sección 3

Especificaciones técnicas de transmisión de velocidades. 14

Sección 4

Especificaciones técnicas del sistema de suspensión 16

Sección 5

Especificaciones técnicas del sistema de frenos. 18

Sección 6

Dimensiones del autobús e infraestructura sugerida. 21

Sección 7

Accesibilidad universal. 24

Sección 8

Lineamientos para la selección de autobuses. 26

Conclusiones y recomendaciones 29

Anexo 1 - Inventario de Flota

Anexo 2 - Aspectos relativos a la infraestructura para la puesta en operación de una flota de autobuses

Preámbulo

El propósito de esta guía es proveer criterios técnicos de operación, mantenimiento e infraestructura necesarios para apoyar la compra de flota de vehículos de cero y bajas emisiones, para vehículos de 50 pasajeros o menos, evaluando especificaciones técnicas y criterios de costo y disponibilidad en Colombia.

En este documento se establecen lineamientos técnicos e imparciales para la selección de vehículos de cero o bajas emisiones, a partir de un listado de autobuses de 50 o menos pasajeros disponibles, a la fecha de realización del estudio (septiembre de 2021), a nivel mundial para ser puestos en operación en Colombia.

Cada una de las secciones del documento busca entregar al lector conceptos técnicos que permitan apoyar la toma de decisiones frente a la selección de los autobuses que más se acoplen a las necesidades operativas y a las condiciones propias de cada ciudad colombiana.

Para ello, el documento está compuesto por 8 secciones que buscan entregar al lector conceptos técnicos sobre las diferentes unidades funcionales de los autobuses, apoyando la toma de decisión de acuerdo con las necesidades operativas y las condiciones propias de cada ciudad. La primera sección presenta el inventario de vehículos de cero y bajas emisiones actualmente disponibles para la venta en Colombia que cumplen con los criterios de capacidad y tamaño del estudio.

En las siguientes seis secciones, se presentan las características técnicas de los vehículos por unidades funcionales : el motor, la transmisión de velocidades, el sistema de suspensión, el sistema de frenos, las dimensiones de los vehículos y la infraestructura asociada, y los dispositivos de accesibilidad universal.

La última sección presenta los lineamientos para la selección de la flota, con criterios de costo, técnico-mecánicos, de disponibilidad.



Acrónimos

ABS: sistema antibloqueo de ruedas (por sus siglas en alemán Antiblockiersystem)

CAPE: Gasto en capital (por sus siglas en inglés Capital Expenditure)

CPK: Costo Por Kilómetro

EBD: sistema electrónico de distribución de frenado (por sus siglas en inglés Electronic Brakeforce Distribution)

GNVC: Gas Natural Comprimido para uso Vehicular

NTC: Norma Técnica Colombiana

OPEX: Gasto operacional (por sus siglas en inglés Operational Expenditure)

SETP: Sistema Estratégico de Transporte Público

SITP: Sistema Integrado de Transporte Público

Términos que debe conocer

Las definiciones han sido tomadas de las Normas Técnicas Colombianas 5206 y 4901, las cuales establecen los métodos de ensayo y requerimientos mínimos para autobuses de transporte de pasajeros

1.1 Autobús. Vehículo automotor destinado al transporte de personas.

1.2 Bastidor y/o plataforma de chasis. Estructura que proporciona el soporte a la carrocería y los elementos mecánicos de suspensión, propulsión y dirección del vehículo.

1.3 Capacidad del eje. Es el límite máximo de carga que puede soportar un eje; es determinada por el fabricante.

1.4 Carrocería. Parte del autobús conformada por una estructura revestida y equipada para alojar pasajeros en condiciones de seguridad y comodidad.

1.5 Cinturón de seguridad. Conjunto de elementos de sujeción, provisto de dispositivos de cierre, ajuste, anclaje y unión, cuyo fin es disminuir el riesgo de lesiones cuando suceda una desaceleración súbita.

1.6 Clase de vehículo. Denominación dada a un automotor de acuerdo con el servicio al que está destinado y con requisitos técnicos.

1.7 Chasis. Conjunto de bastidor y todos los sistemas de suspensión, propulsión y dirección del vehículo, excluida la carrocería.

1.8 Distancia entre ejes. Distancia medida entre los centros geométricos de los ejes de rotación.

1.9 Eje de un vehículo. Sistema que transmite el peso de un vehículo a la vía, conformado por un conjunto de llantas que giran alrededor de una línea de rotación.

1.10 Eje direccional. Eje de una o dos líneas de rotación que soporta parte de la carga del vehículo y está dispuesto para girar respecto al eje longitudinal del mismo.

1.11 Eje simple. Ensamble de dos o cuatro llantas unidas entre sí por una línea de rotación. El eje simple puede ser de llanta sencilla cuando el ensamble consta de dos llantas y de llanta doble cuando consta de cuatro llantas.

1.12 Eje tandem. Eje formado por dos líneas de rotación que están articuladas por un dispositivo común que incluye un sistema efectivo de compensación para las cargas transmitidas a cada una de ellas. El eje tandem puede ser de llanta sencilla, cuando el ensamble consta de cuatro llantas, de llanta doble cuando consta de ocho o mixto cuando una línea de rotación une dos llantas y la otra cuatro. El centro de un eje tandem es el centro geométrico entre las dos líneas de rotación

1.13 Habitáculo de pasajeros. Espacio concebido para ser usado por los pasajeros.

1.14 Habitáculo del conductor. Espacio concebido para el uso exclusivo del conductor del vehículo, que contiene la silla, el volante de dirección, los controles, instrumentos y demás mecanismos necesarios para la conducción del vehículo.

1.15 Longitud total exterior del vehículo. Distancia total de un vehículo, medida entre los extremos anterior y posterior, sin incluir los espejos ni el tubo de escape.

1.16 Pasajero. Persona, diferente del conductor, que es transportada en un vehículo.

1.17 Puerta de servicio. Puerta dispuesta para ser usada en el ascenso y descenso de los pasajeros en circunstancias de operación normales.

1.18 Transporte urbano masivo de pasajeros. Servicio de transporte que se presta a través de una red organizada de infraestructura y equipos, en un sistema que cubre un alto volumen de pasajeros y da respuesta a un porcentaje significativo de las necesidades de movilización de una población.

Sección 1

Inventario de flota.

En la primera sección encontrará las marcas de chasis y referencias encontradas dentro del estudio, su país de procedencia y una breve descripción de las principales características de estos (Nivel de emisiones, tipo de combustible y marca). Los criterios para la selección de un chasis para que haga parte del estudio se enmarcarán en los siguientes parámetros:

- a) Cumplir con el nivel de emisiones Euro V o superior incluyendo cero emisiones.
- b) Capacidad de pasajeros 50 o inferior.
- c) Longitud máxima de chasis 9.000 mm.
- d) Accesibilidad universal.
- e) Contar con disponibilidad para venta en Colombia.

Mencionados los parámetros de longitud, capacidad y accesibilidad con los que se adelantó la búsqueda de los chasis, los cuales son fabricados a nivel mundial, hay 48 opciones de las cuales 20 están disponibles para Colombia, estas se relacionan en la Tabla 1.



Tabla 1 Listado de chasises disponibles a nivel mundial

Marca	Referencia	Tipo de combustible	Norma de emisiones	Procedencia	Disponible Colombia
Agrale	MA 9.6	Diesel	Euro V	Brasil	Si
Agrale	MA 11.0 GAS	Gas	Euro VI	Brasil	Si
Anhui Ankai Automobile	HFF6700BEV	Eléctrico	Cero Emisiones	China	No
Anyuan	PK6800BEV	Eléctrico	Cero Emisiones	China	No
Bolloré	BlueBus	Eléctrico	Cero Emisiones	Francia	No
BredaMenarinibus	BredaMenarinibus Zeus	Eléctrico	Cero Emisiones	Italia	No
BYD	K7	Eléctrico	Cero Emisiones	China	Si
BYD	eBuzz K6 Goldstone	Eléctrico	Cero Emisiones	China	Si
BYD	B93S01	Eléctrico	Cero Emisiones	China	Si
Chevrolet	NPR	Diesel	Euro V	Japón	Si
Chevrolet	NQR	Diesel	Euro V	Japón	Si
Daewoo	A85	Diesel	Euro V	Corea del sur	No
Dongfeng Yangtse	Q6620CLBEV6	Eléctrico	Cero Emisiones	China	No
Evopro Bus Kft.	Evopro Modulo C68e	Eléctrico	Cero Emisiones	Hungría	No
Foton	City Bus	Eléctrico	Cero Emisiones	China	No
Hino	FC9J	Diesel	Euro V	Japón	Si
Karsan Jest	Karsan Jets	Eléctrico	Cero Emisiones	Turquía	No
King long	XMQ 6858	Diesel	Euro V	China	No
King Long	XMQ6802G	Eléctrico	Cero Emisiones	China	No
King Long	XMQ6706GEV	Eléctrico	Cero Emisiones	China	No
King Long	XMQ6706EV	Eléctrico	Cero Emisiones	China	No
King Long	XMQ6662GEV	Eléctrico	Cero Emisiones	China	No
Mellor Coachcraft	Orion Lite	Eléctrico	Cero Emisiones	Inglaterra	No
Mellor Coachcraft	Orion E	Eléctrico	Cero Emisiones	Inglaterra	No
Mercedes benz	LO 916	Diesel	Euro V	Alemania	Si
Mercedes enz	OF 917	Diesel	Euro V	Alemania	Si
Modasa	APOLO HG	Gas	Euro VI	Perú	Si
Navya SAS	Autonom Shuttles	Eléctrico	Cero Emisiones	Francia	No
Optare	Solo EV	Eléctrico	Cero Emisiones	UK	No
Optare	Full Electric	Eléctrico	Cero Emisiones	UK	No
Scania	F280 4x2	Gas	Euro VI	Suecia	Si
Solaris	Urbino 8.9 LE electric	Eléctrico	Cero Emisiones	Polonia	No
SORLibchavy	ENB 8	Eléctrico	Cero Emisiones	República Checa	No
SORLibchavy	EBN 9.5	Eléctrico	Cero Emisiones	República Checa	No
Sun long	KMU180	Gas	Euro V	China	Si
Sun long	KMU140	Gas	Euro V	China	Si
Sunwin	SWB6890M64	Diesel	Euro V	China	Si
Sunwin	SWB6850Q	Gas	Euro V	China	Si
TAM	Vero 9	Eléctrico	Cero Emisiones	Eslovenia	No
Tata Motors Limited	Starbus Ultra Electric 6/12 EV	Eléctrico	Cero Emisiones	India	No
Transportes Metropolitanos de Barcelona	TMB bus electric	Eléctrico	Cero Emisiones	España	No
Trolza Electro buses	Ford	Eléctrico	Cero Emisiones	Rusia	No
Van Hool	A308 citybus	Eléctrico	Cero Emisiones	Bélgica	No
VDL Bus & Coach	LLE-99Electric	Eléctrico	Cero Emisiones	Países Bajos	No
Volkswagen	11.180 OD	Diesel	Euro VI	Brasil	Si
Volkswagen	9.160 OD	Diesel	Euro VI	Alemania	Si
Volkswagen	8.160 OD	Diesel	Euro VI	Alemania	Si
Yutong	ZK6729D	Eléctrico	Cero Emisiones	China	Si

Fuente: Elaboración propia

Sección 2

Especificaciones técnicas del motor.

Para esta sección se tiene dispuesto lo referente al tipo de motor y tecnología que tiene cada una de las opciones disponibles. Aquí podrá encontrar una explicación inicial del funcionamiento de cada una de las alternativas y algunas de sus ventajas y desventajas.

Frente a las prestaciones mecánicas y tecnológicas, las cuales permiten realizar una comparación de los chasis de forma objetiva, la inclusión de todos estos aspectos se segmentó en unidades funcionales de los vehículos. Estas incluyen el tipo de configuración con la que cuenta cada motor, el combustible empleado, la capacidad volumétrica o cilindrada (para el caso de los motores de combustión interna), su potencia, torque máximo y nivel de emisiones.

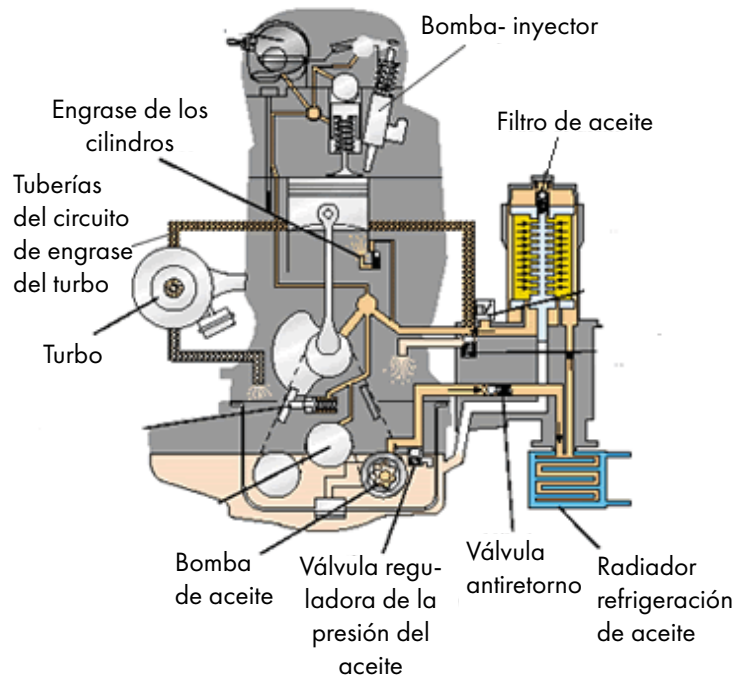
Factores a considerar: Al momento de realizar la selección del chasis requerido para una operación específica, se hace imperativo conocer las pendientes por las que transitará el autobús puesto que un vehículo que opera continuamente en pendientes necesitará un torque y potencia mayor. Por el contrario si su operación se limita a terrenos planos, no serán necesarias unas prestaciones tan altas. La cantidad de kilómetros promedio a recorrer en un día, el nivel de emisiones requerido por las autoridades son otros factores a contemplar.

En cuanto a las opciones de propulsión para los autobuses objeto de estudio se encontraron tres tecnologías (gas, diésel y eléctrico), las cuales se amplían a continuación:

Diésel: este tipo de motor funciona mediante la ignición (encendido) del combustible al ser inyectado y pulverizado, con alta presión en una cámara (o precámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de auto combustión. Este no emplea una chispa como en los motores de gas. Este proceso es lo que se llama la autoinflamación, en la Figura 1, se puede apreciar la configuración de un motor tipo diésel y sus principales componentes.

Figura 1. Configuración motor diésel con turbocompresor

Circuito de engrase de un motor TDi



Fuente: <https://jeinyectores.webcindario.com/turbo-engrase>

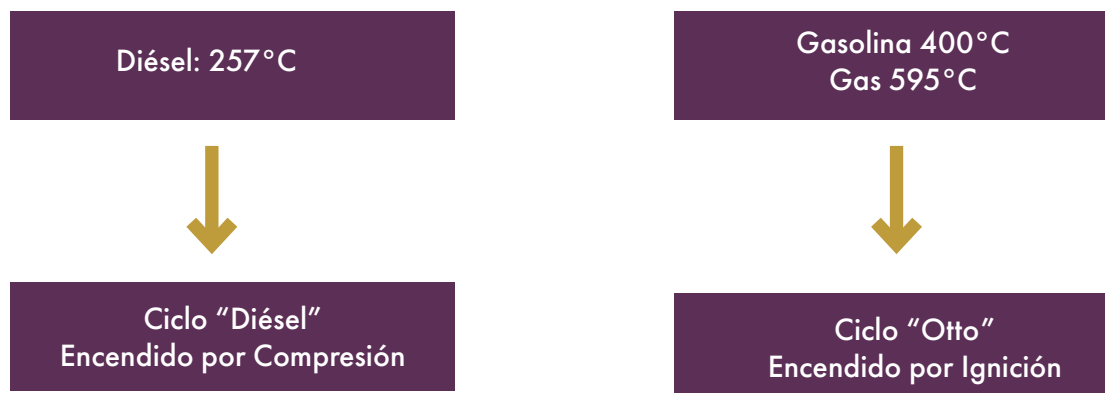
Este tipo de motores son ampliamente empleados a nivel nacional en el transporte de carga, pasajeros e individual, puesto que, tiene una muy buena eficiencia, en donde el porcentaje indicado corresponde a la eficiencia¹ energética, con la que el motor produce trabajo, el restante se pierde en forma de energía térmica. En cuanto al nivel de emisiones, estos motores requieren de sistemas adicionales para dar cumplimiento a la normatividad europea.

Gas: es un motor que funciona mediante la aplicación del ciclo Otto², con grandes similitudes en su forma física, con el motor Diésel, sin embargo su principio de funcionamiento requiere de una chispa al interior de la cámara de combustión para que haga ignición (ver Figura 2).

1. Hernández, L. (2012) "Uno de los aspectos que ha favorecido la expansión de los motores Diésel es su eficiencia térmica. Mientras que los motores Diésel presentan valores máximos de eficiencia del 48% en el año 2.000, los motores de gasolina solo alcanzan valores del 35%."

2. Ciclo Otto: es característico de los motores de combustión interna, a gas o gasolina, que encienden por la ignición de un combustible, provocada por una chispa eléctrica, este ciclo cuenta con 4 etapas: admisión (entrada de aire y combustible), compresión (el pistón comprime la mezcla), expansión (se produce la explosión de la mezcla) y escape (se liberan los gases resultantes de la explosión)

Figura 2. Diferencias de funcionamiento por energético



Fuente: Manual de capacitación motor Scania

El motor dedicado a gas requiere únicamente de un catalizador para cumplir con la normatividad de emisiones Euro V o VI., la calidad mínima del GNVC debe ser suministrada por el fabricante del autobús.

Los motores a gas, en Colombia han ido tomando un lugar en el transporte de carga y pasajeros, como recientemente lo demuestra la empresa de transporte de carga TEKA, la cual realizó la vinculación de un gran número de tractocamiones con propulsión dedicada a gas. Asimismo, en el transporte de pasajeros, empresas como SAO 6 del sistema integrado de Medellín y Masivo Capital (con 320 autobuses dedicados a gas) en la ciudad de Bogotá D.C, han dado lugar a esta tecnología.

Finalmente, también es importante evaluar junto con los proveedores de flota, los costos de mantenimiento de los componentes y el personal requerido para ejecutar las actividades de mantenimiento.

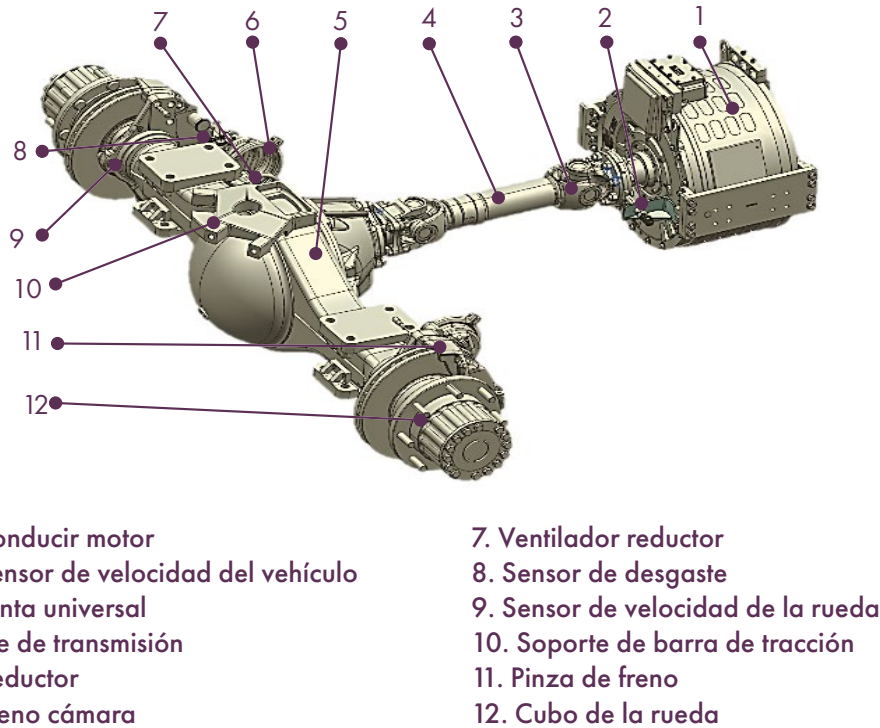
El costo por kilómetro (CPK), es una variable de la cual dependen las ganancias que se puedan obtener al realizar una selección óptima del equipo de trabajo, puesto que un motor más robusto afecta directamente la eficiencia energética, teniendo un consumo mayor.

Eléctrico: el principio de funcionamiento de este tipo de motor se fundamenta en la unidad de control del vehículo (computador principal), la cual reconoce la posición del acelerador, si el pedal de freno se encuentra presionado y la marcha seleccionada (drive o conducción hacia adelante, neutral o reverso), indicando al motor la fuerza con la que debe iniciar la marcha.

Los motores eléctricos exhiben un funcionamiento y armado completamente diferente a los motores de combustión interna (gas y diésel) antes expuestos, dado que, la energía que los propulsa es la electricidad la cual se encuentra contenida en las baterías de almacenamiento con las que cuentan los autobuses. Al interior de estos no se presenta ningún tipo de combustión, lo que permite que no haya emisión de contaminantes al medio ambiente.

La mayoría de los vehículos eléctricos cuenta con un computador a bordo que se encarga de recuperar energía y apoyar el proceso de frenado, convirtiendo al motor eléctrico en un generador que al momento de accionar el freno, almacenando dicha energía en las baterías del autobús, a este efecto se le llama “regeneración” permitiendo aumentar la autonomía (cantidad de kilómetros recorridos sin recargarse) del autobús, en la Figura 3 se puede apreciar la forma en la que se acopla un motor eléctrico al tren motriz y a su vez la descripción de los componentes.

Figura 3. Configuración del motor eléctrico



Fuente: manual de mantenimiento BYD.

Una vez expresados los criterios de evaluación frente a las prestaciones de motor, en el Anexo 1 se pueden apreciar las características que exponen los 20 autobuses contenidos en el presente documento cuyo instructivo de uso.

Sección 3

Especificaciones técnicas de transmisión de velocidades.

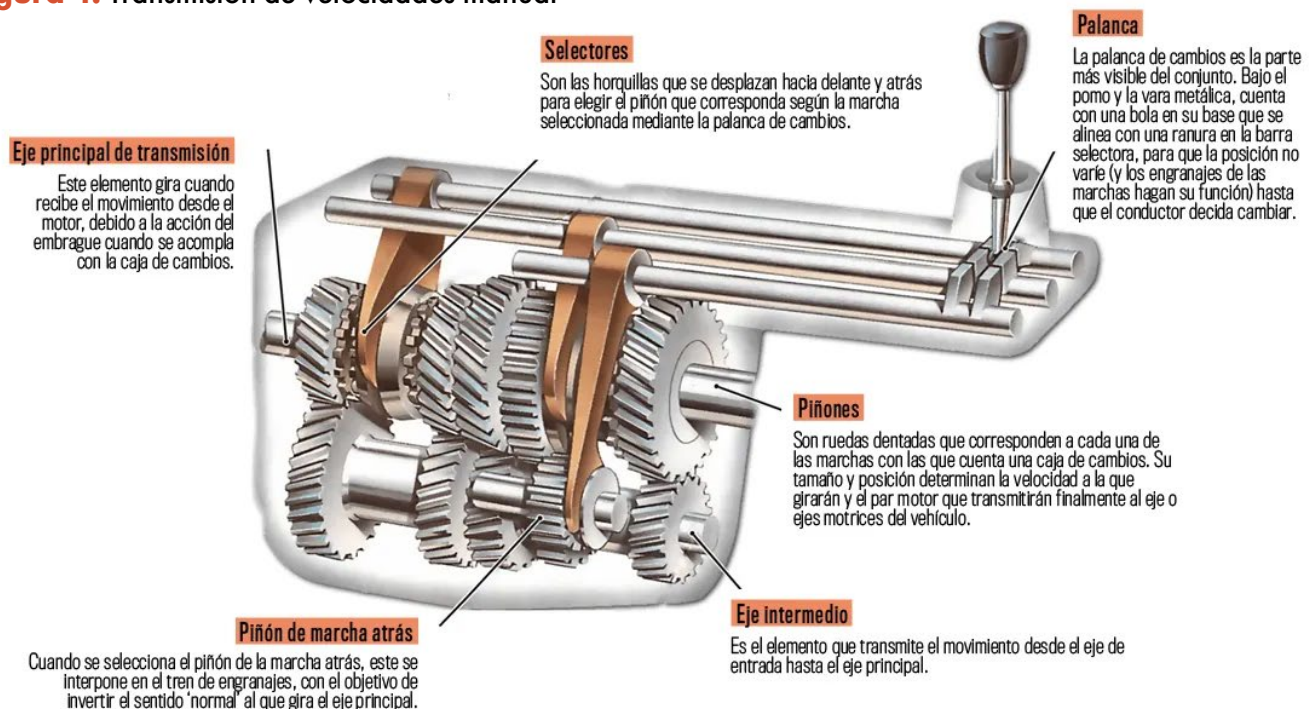
La transmisión de velocidades es otro de los componentes que debe ser evaluado al momento de seleccionar un autobús, el cual hace parte primordial del tren motriz y permite un cambio de marcha de acuerdo a las necesidades de operación. A continuación, se indican las opciones disponibles para este componente.

Factores a considerar: Es el elemento encargado de trasladar a las ruedas el torque suficiente para poner en movimiento el vehículo. Una vez en marcha, la transmisión permite obtener un par motriz suficiente en ellas para vencer las resistencias al avance, fundamentalmente las derivadas del perfil aerodinámico, de rozamiento con la rodadura y de las pendientes en ascenso. Para el caso de estudio, se ofrecen dos configuraciones: manual y automática. Sin embargo, dentro de las automáticas ha surgido una variante

conocida como automatizada, la cual cuenta con una configuración en su interior similar a una transmisión de velocidades manual, pero su accionamiento es automático. Cabe aclarar que este tipo de configuración no ha dado buenos resultados en su operación para transportes masivos en Colombia, los cuales obligan a una detención y re arranque constante³.

Transmisión Manual: es la forma más conocida y simple en su funcionamiento que puede ser integrada en el vehículo. Esta requiere de una acción continua y sistemática por parte del operador del autobús. Sus costos de reparación son mucho menores a los de una transmisión automática, sin embargo, al depender por completo del operador del autobús es mucho más susceptible a la falla y a una menor eficiencia energética, véase Figura 4.

Figura 4. Transmisión de velocidades manual



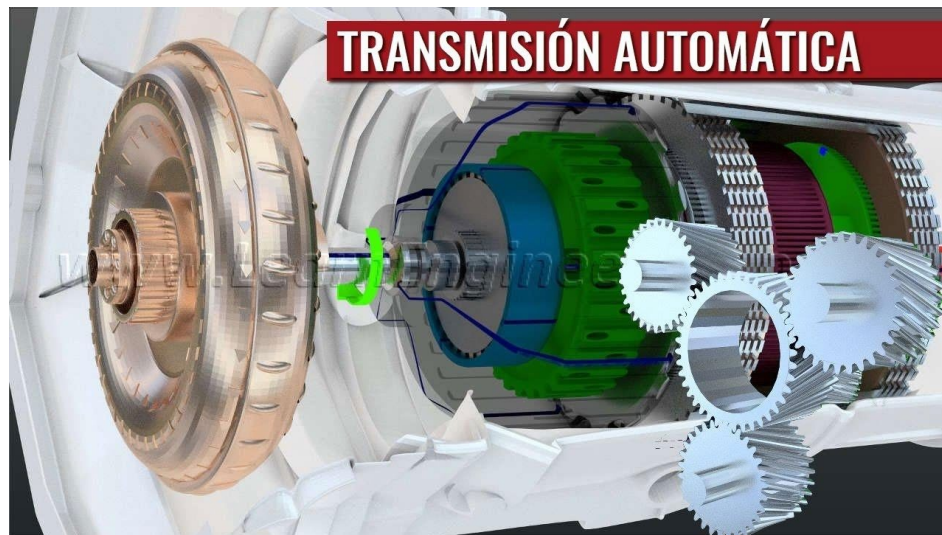
Fuente: <https://cdn.autobild.es/sites/navi.axelspringer.es/public/media/image/2016/04/534395-caja-cambios-coche.jpg>

Transmisión Automática: este tipo de transmisión se encarga por si misma de efectuar los cambios de marcha, de acuerdo a diferentes variables, como velocidad, revoluciones por minuto del motor, entre otros. Las principales ventajas de este tipo de transmisión son: el confort para el operador y ocupantes, el ahorro de combustible, y la facilidad de operación. Sin embargo, los costos de mantenimiento y/o reparación de este tipo de transmisiones son mucho más elevados, dada la complejidad del funcionamiento de las mismas, así como, su mayor nivel tecnológico, véase Figura 5.

El éxito de estas se encuentra en el correcto mantenimiento preventivo y predictivo, siguiendo las indicaciones del fabricante.

3. De acuerdo con lo reportado por los operadores de varios sistemas de transporte público de ciudades colombianas en entrevistas realizadas en el marco de la consultoría

Figura 5. Transmisión de velocidades automática



Fuente: https://i.ytimg.com/vi/dZNWvjK_UvM/maxresdefault.jpg

En la Figura anterior, se puede apreciar el tipo de transmisión de velocidades dentro de las unidades funcionales (sistemas del autobús), donde se indica la marca de la transmisión, la cantidad de marchas con las que cuenta y si se apoya de algún sistema auxiliar de frenado, como lo es el retardador. Este sistema es muy benéfico para autobuses que operan en condiciones de descenso pronunciadas, ya que apoyan en gran medida la función de frenado y descenso controlado como lo indica Etrasa. (2008) *“Para reducir la utilización de los frenos de servicio, algunos vehículos disponen de sistemas complementarios de frenado como el retardador, el retardador debe ser empleado de forma progresiva, ya que actúa sobre el eje de tracción”*.

Al igual que lo indicado en la sección anterior, en el Anexo 1 encontrará el detalle de las características de los 20 autobuses y el instructivo de uso para la comparación entre las distintas alternativas vehiculares.

Sección 4

Especificaciones técnicas del sistema de suspensión

Dentro de la sección el lector podrá encontrar las alternativas que hay disponibles para la suspensión de los autobuses, la cual se encarga de brindar un viaje confortable a los ocupantes del vehículo y a su vez garantizar en todo momento el control del mismo por parte del conductor.

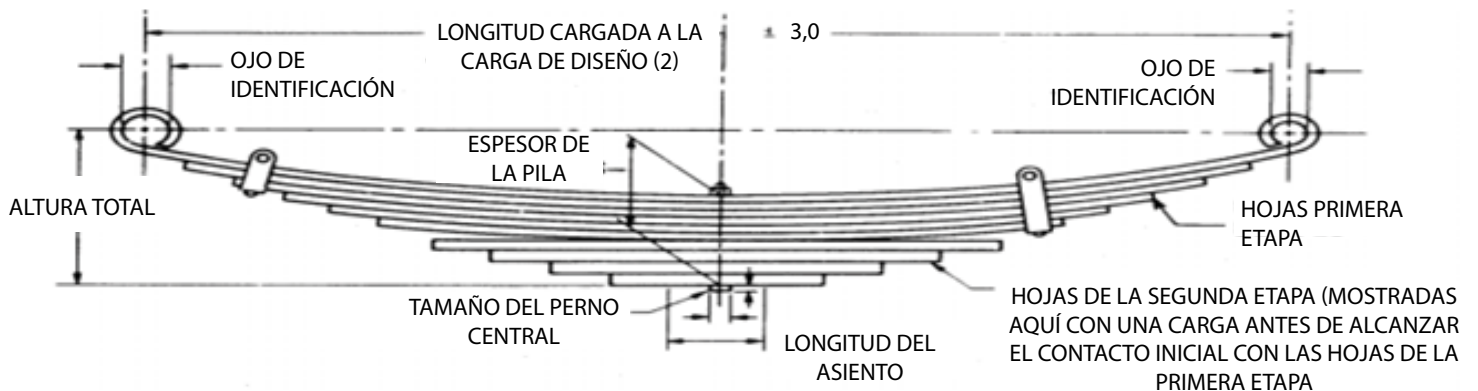
Para los autobuses contenidos en la sección 1, los tipos de suspensión disponibles son: suspensión rígida o de ballesta y suspensión neumática, las cuales se describen a continuación, véase Figura 6 y Figura 7:

Suspensión tipo ballesta o rígida: es un sistema sencillo y eficaz que cumple con las funciones principales de cualquier suspensión:

- Apoyar al vehículo.
- Absorber los impactos de baches, y otras irregularidades de la carretera.
- Permite que el vehículo gire en respuesta a las entradas del conductor. (El sistema de dirección puede considerarse parte de la suspensión, o un sistema propio, pero en cualquier caso la suspensión debe permitir el movimiento de las ruedas a medida que el vehículo gira).

Los resortes en general, y los resortes de láminas en particular, ayudan a realizar las dos primeras de estas funciones, soportan el peso del vehículo mientras absorben los golpes y dan estabilidad.

Figura 6. Sistema de suspensión rígida.



Fuente: Análisis estructural para resortes de ballesta granallados bajo condiciones de cargas cíclicas, Universidad de los Andes

Suspensión neumática: se utiliza en lugar de la suspensión rígida, mencionada en el punto anterior. Al igual que las ballestas, tienen múltiples aplicaciones en vehículos de tipo pesado como autobuses y camiones. Una de sus ventajas y principal propósito es proporcionar un desplazamiento sin rebotes y con un confort mayor para los ocupantes del vehículo, de igual forma cumple con todos los parámetros requeridos en una suspensión.

Figura 7. Sistema de suspensión neumática.



Fuente: <https://www.volvotrucks.com>

Aspectos a tener en cuenta: para la selección del tipo de suspensión es necesario conocer el terreno bajo el cual van a transitar los autobuses, dado que, cada tipo de suspensión ofrece bondades y desventajas. Por ejemplo, para los vehículos que operan en condiciones adversas, con una malla vial deteriorada y con cambios continuos de nivel, la suspensión rígida tiene una resistencia mayor, unos costos de reparación muchos más bajos, pero un menor confort para los ocupantes del vehículo.

Para el caso de la suspensión neumática, el confort es su mayor ventaja puesto que minimiza la transferencia de las irregularidades del camino a los ocupantes del autobús, sin embargo, los costos y tiempos de mantenimiento son superiores, así como la cantidad de componentes que la conforman, finalmente, los sistema de suspensión neumática también integran la posibilidad de variar la altura del bus con respecto al piso durante la operación y en estando en movimiento, lo que facilita el superar algunos obstáculos de la vía, opción con la que no se cuenta en la suspensión rígida.

En el Anexo 1, se relacionan las especificaciones de suspensión que integran los 20 autobuses contemplados para este caso.

Sección 5

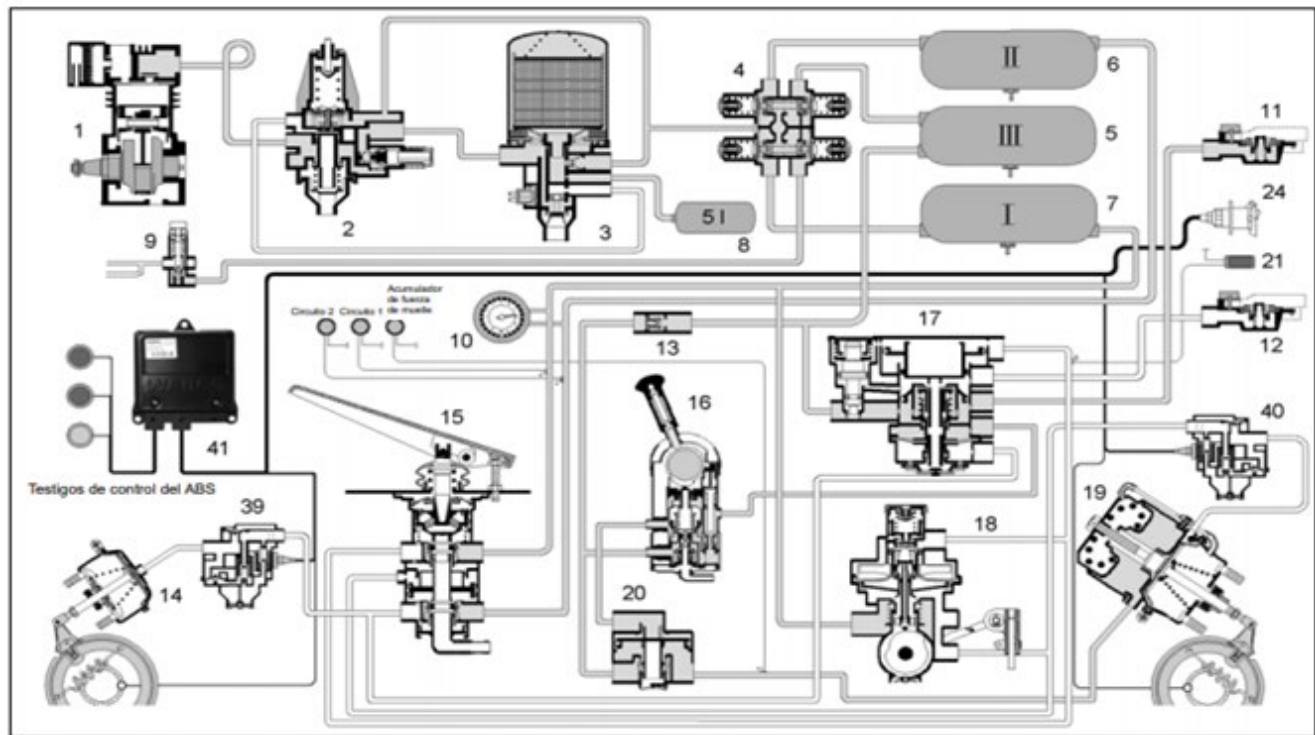
Especificaciones técnicas del sistema de frenos.

En la sección 5 el lector hallará las opciones disponibles para el sistema de frenos, cuya función principal es realizar una desaceleración controlada del vehículo a través de las acciones efectuadas por el conductor. Para líneas de autobuses incluidos en el análisis se presentan dos tipos de sistemas, el neumático y el hidráulico.

El sistema de frenos neumático: es el más usado en este tipo de vehículos, puesto que ofrece condiciones de seguridad, eficacia y costo mejores que otros tipos de sistemas.

El sistema neumático es mucho más confiable, pues su configuración y funcionamiento están controlados por una serie de válvulas mecánicas y electrónicas que alertan en todo momento al operador del autobús del funcionamiento de dicho sistema y en caso de presentarse una falla en el mismo, integra diferentes controles que limitan el desplazamiento del vehículo en condiciones inseguras. El diagrama de un sistema neumático convencional se puede apreciar en la Figura 8.

Figura 8. Sistema neumático de frenos convencional



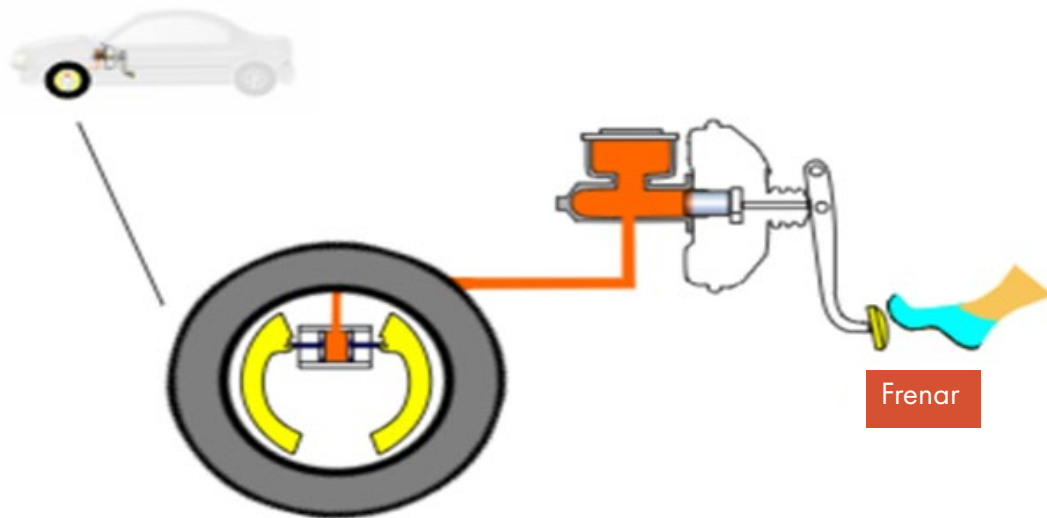
Fuente: Manual WABCO sistemas neumáticos

A continuación, se listan cada uno de los componentes que integran el sistema neumático en la Figura 8:

- | | |
|---|--|
| 1. Compresor | 20. Válvula de control del remolque |
| 2. Secador con regulador de presión | 21. Cabezal de acoplamiento, alimentación |
| 3. Válvula cuádruple de protección de circuito | 22. Cabezal de acoplamiento freno |
| 4. Depósito de aire | 23. Válvula de dos vías |
| 5. Cinta tensora | 24. Testigos de control del ABS |
| 6. Conexión de prueba | 25. Lámpara de información |
| 7. Válvula de purga | 26. Conector del remolque, ABS |
| 8. Válvula de retención | 27. Cable de prolongación para sensor |
| 9. Válvula de freno de la cabeza tractora con regulador integrado del eje delantero | 28. Cable magnético |
| 10. Válvula del freno de mano con control de remolque | 29. Casquillo |
| 11. Válvula de relé | 30. Soporte del sensor |
| 12. Actuador de pistón | 31. Sensor con cable |
| 13. Actuador de membrana | 32. Corona dentada |
| 14. Actuador regulable ASR | 33. Electroválvula ABS |
| 15. Electroválvula de control direccional 3/2 vías | 34. Sistema electrónico |
| 16. Actuador Tristop | 35. Módulo de información |
| 17. Válvula de escape rápido | 36. Interruptor de presión |
| 18. Válvula ALB | 37. Válvula proporcional |
| 19. Cuerpo elástico | 38. Válvula de control direccional 3/2 vías. |

El sistema de frenos hidráulico: es un sistema de frenos que opera bajo el principio de Pascal, el cual al pisar el pedal transmite la presión a través del fluido y pone en contacto el material de fricción con los elementos de frenado, como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Sistema de frenos hidráulico.



Fuente: <http://recursostic.educacion.es>

Entre las unidades incluidas en el estudio, casi todas cuentan con un sistema de frenos neumático. La Chevrolet de línea NPR, es el único chasis que no cuenta con sistema de frenos neumático, por el contrario integra un sistema de frenos hidráulico que le resta confiabilidad frente a las demás.

Una vez citado lo anterior, se recomienda que los autobuses seleccionados integren un sistema de frenos neumático. En todo caso, todo sistema de frenos debe ser objeto de mantenimiento periódico y de calidad, para que a lo largo del tiempo conserve su eficiencia y garantice la seguridad de los actores viales que lo rodean.

Aunado a esto, los sistemas de frenos modernos cuentan con ayudas electrónicas y sistemas auxiliares que disminuyen la exigencia sobre este sistema:

Para Colombia, a través de la Resolución 3752 del 6 de octubre de 2015, el Ministerio de Transporte reglamentó como obligatorio que los vehículos particulares, oficiales y públicos, así como remolques y semirremolques, cuenten desde enero del 2017 con las medidas de seguridad activa y pasiva definidas en reglamentos internacionales, indicando que todos los tipos de vehículos anteriormente mencionados deben contar como mínimo con ABS.

- **ABS:** Funciona de manera conjunta con el sistema de frenado convencional del autobús. Consiste en un sistema electrónico que se incorpora a los frenos y se acopla a una serie de sensores que controlan las revoluciones de las ruedas. En caso de detectar una frenada brusca, y que por consiguiente una o varias ruedas reduzcan repentinamente sus revoluciones, el ABS entrará en acción e interpretará que las ruedas están a punto de quedar bloqueadas sin que el autobús se haya detenido. Por lo

tanto, el vehículo podría deslizarse sobre la superficie de desplazamiento sin control y sin lograr modificar su trayectoria. Para que esta situación no tenga lugar, los mencionados sensores envían una señal al Módulo de Control del sistema ABS, el cual reduce la presión realizada sobre los frenos, sin que intervenga en ello el conductor. En caso de emergencia, el procedimiento se puede repetir entre 50 y 100 veces por segundo.

- **EBD:** Para las paradas más duras o suaves, no todas las ruedas requieren la misma fuerza de frenado debido a que cada una tiene una adherencia diferente. El sistema EBD, extensión de los frenos ABS, es el responsable de desviar la fuerza de frenado necesaria a cada rueda respectivamente.

Una vez expuesto el funcionamiento de los asistentes en la operación de frenado, es recomendable que los autobuses cuenten con estos sistemas, puesto que en paradas de emergencia el operador tendrá un apoyo electrónico adicional y a su vez el control en todo momento del vehículo.

- **Freno de ahogo:** también conocido como freno de escape, es un dispositivo que genera un efecto de desaceleración en el motor mediante el cierre o bloqueo parcial de los gases de escape de manera que los comprime en el sistema de escape y en los cilindros mismos. Debido a esta compresión, y dado que, en ese instante no se inyecta combustible a los cilindros, se produce una contrapresión en los cilindros que reducen la rotación del motor. Esto se logra normalmente con una válvula de compuerta con accionamiento neumático. Por tener un nivel de frenado medio, se usan en motores Diésel con potencia medias a bajas.
- **Retardador:** Es un sistema de freno de apoyo que controla o disminuye la velocidad del vehículo sin tener que utilizar el freno de servicio (freno que se encuentra en las ruedas). El sistema, que actúa hidráulicamente, está integrado mecánicamente a la transmisión de velocidades e interactúa electrónicamente con otros sistemas del vehículo. Empleado en combinación con el freno de ahogo, el retarder provee una potencia de frenado de hasta 883 CV. Eso permite mantener el vehículo bajo control en pendientes y con grandes cargas.

Los sistemas auxiliares de frenado, son recomendados para autobuses que operan en pendientes prolongas con inclinaciones superiores al 4%, puesto que garantizan una mayor eficacia del sistema de frenos principal, reducen su desgaste y permiten descensos controlados en todo instante.

Mencionado lo anterior, en el Anexo 1 se relacionan los sistemas de freno y ayudas que integran los 20 autobuses.

Sección 6

Dimensiones del autobús e infraestructura sugerida.

En lo referente a las dimensiones del autobús, se deben tener en cuenta varios aspectos, principalmente lo indicado por las Normas Técnicas Colombianas 4901-2, 4901-3 y 5206 en donde se encuentra un apartado en específico para las dimensiones del autobús, la forma en la que se deben tomar las medidas

requeridas y los métodos de ensayo necesarios para garantizar el cumplimiento de las mismas. A continuación, se mencionan algunas de las características a tener en cuenta para la selección del autobús.

- **Dimensiones máximas:**

Las dimensiones exteriores de los autobuses no deben sobrepasar los valores establecidos en la Tabla 2:

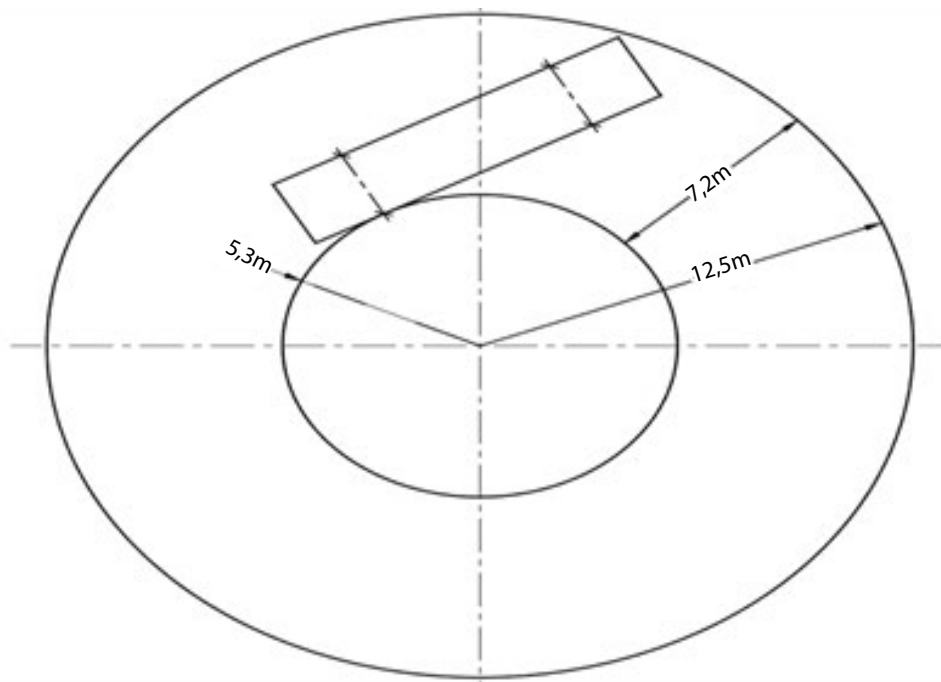
Tabla 2. Dimensiones máximas del autobús.

CONFIGURACIÓN DEL AUTOBÚS	LONGITUD MÁXIMA, M	ANCHO MÁXIMO, M	ALTURA MÁXIMA, M
DOS EJES	13,5	2,60	4,10
TRES O CUATRO EJES	15,5	2,60	4,10

Fuente: NTC 4901-3:2020

- **Radio de Giro:** El autobús debe inscribir su trayectoria en una corona circular de radio exterior (distancia entre paredes) y de radio interno (distancia entre andenes), cuando se verifique de acuerdo a lo establecido en la NTC 4901-2, véase Figura 10.

Figura 10. Radio de giro autobús

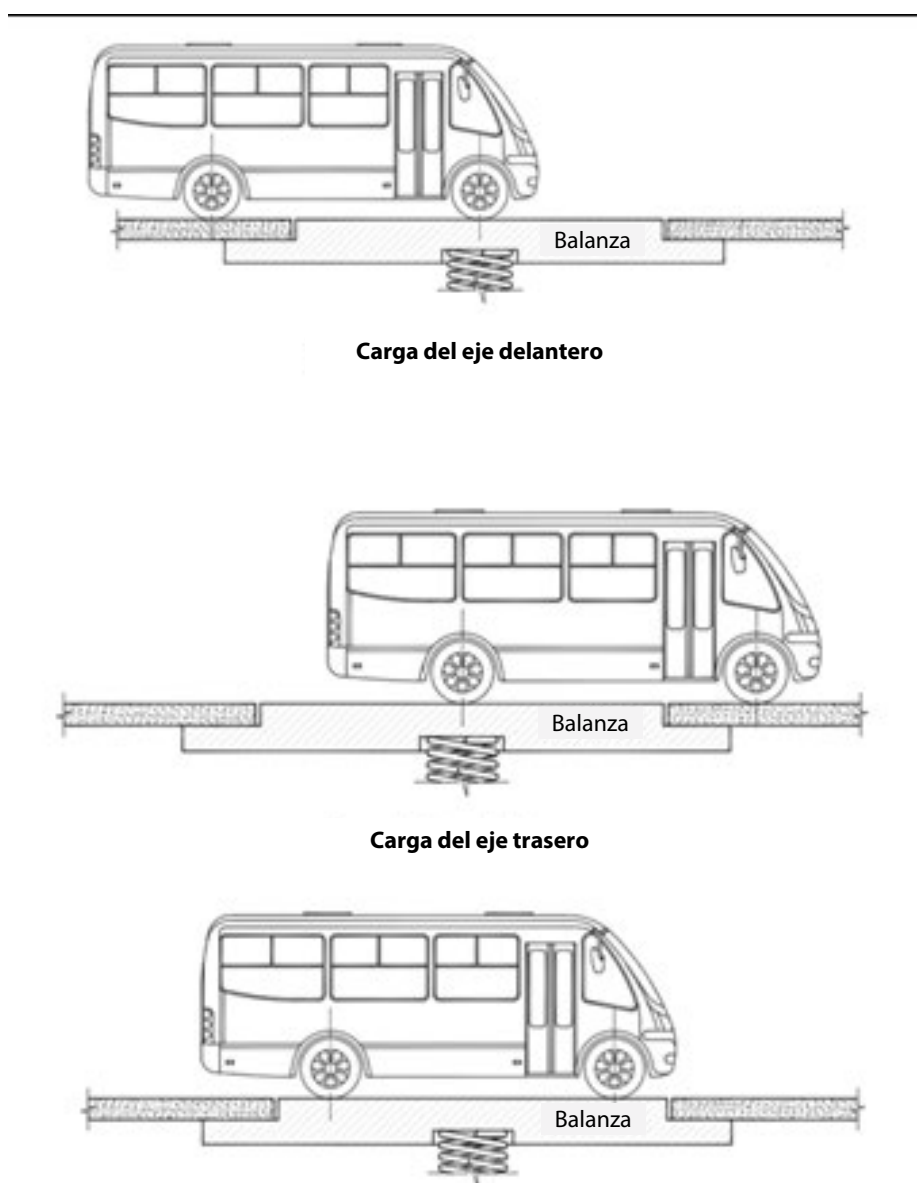


Fuente: NTC 4901-3:2020

- **Pesos y cargas:** la masa máxima admisible debe ser la establecida por las autoridades competentes, para este caso el Ministerio de Transporte quien determina la ficha de homologación del autobús.

La distribución de carga entre ejes, debe ser determinada estando en vacío y con el vehículo cargado, de acuerdo a los métodos de ensayo contenidos en la norma NTC 4901-2, véase Figura 11, teniendo en cuenta que el fabricante de chasis indica la distribución de carga aplicable para cada uno de los casos, el cual puede ser apreciado para los 20 chasis en el Anexo 1.

Figura 11. Prueba de carga



Fuente: NTC 4901-2

- **Voladizados:** las dimensiones máximas del voladizo trasero y delantero, no deben superar lo indicado por el fabricante del autobús. Los valores de estos se encuentran en el Anexo 1, para el caso de los vehículos que cuentan con motor delantero, esta distancia no debe superar en ningún caso el 70% de la distancia entre ejes, de acuerdo a como lo indica la NTC 4901-3

Previo a la adquisición de un autobús o a la selección de una tipología en particular, se hace necesario consultar toda la normatividad vigente para el momento de la adquisición, en donde se recomienda como mínimo validar los requerimientos de las siguientes normas:

- NTC 4901-2: Vehículos para el transporte urbano masivo de pasajeros. Parte 2: Métodos de ensayo.
- NTC 4901-3: Vehículos para el transporte urbano masivo de pasajeros. Parte 3: Vehículos de un solo cuerpo.
- NTC 5206: Vehículos para el transporte terrestre de pasajeros. Parte 1: Colectivo (metropolitano distrital y municipal), nacional y especial.

En el Anexo 1, se encuentran contenidas las dimensiones de los 20 autobuses para que sean validadas de acuerdo a lo indicado en la presente sección.

- **Infraestructura:** la puesta en operación de una flota de autobuses además de una adecuada selección requiere de afrontar muchos retos, entre los cuales se encuentra el diseño o ajuste de una infraestructura para el alojamiento de una nueva tecnología, por lo cual, anexo a este documento se indican algunos parámetros a tener en cuenta para la puesta en operación de una flota de autobuses, en lo tocante a temas de:

- Infraestructura.
- Lugares de estacionamiento.
- Abastecimiento de energéticos.
- Planta de personal sugerida de acuerdo a la recolección de lecciones aprendidas.
- Zona destinada para mantenimiento (preventivo, correctivo y predictivo).
- Zona de lavado de flota y Planta PETARI.
- Baterías de sanitarias (Personal técnico y administrativo).
- Línea de vida (para trabajo en alturas).

El detalle del de esta información se encuentra contenido en el Anexo 2 del presente documento.

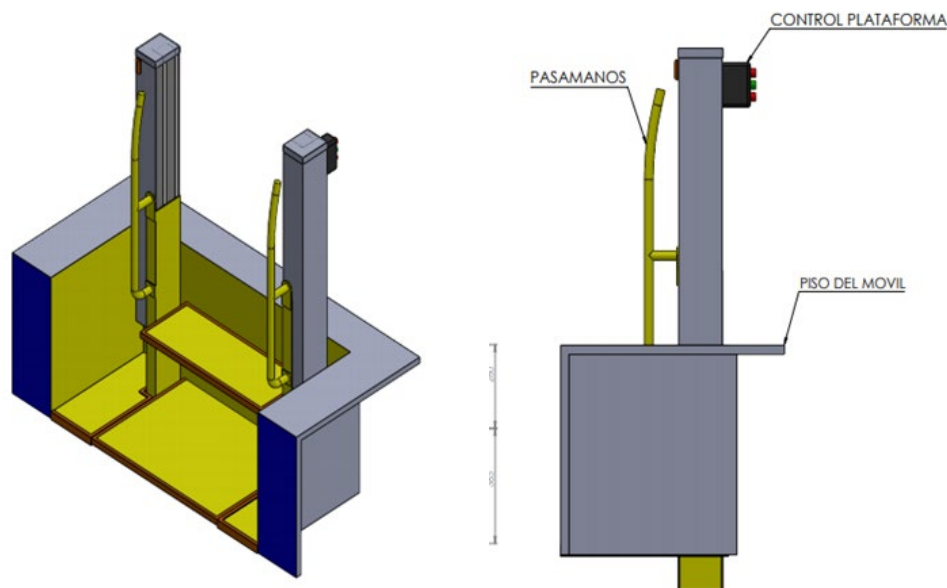
Sección 7

Accesibilidad universal.

Teniendo en cuenta lo que indica el Decreto 1660 de 2003 *“Por el cual se reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte de la población en general y en especial de las personas con discapacidad”* y lo contenido en la NTC 4901-3, frente a los dispositivos de accesibilidad para personas en condición de movilidad reducida, existen dos configuraciones posibles para la plataforma para personas en condición de discapacidad, las cuales se indican a continuación:

- **Plataforma Automática:** la plataforma de accionamiento automático cuenta con un sistema electro-hidráulico que genera el desplazamiento el cual permite desplegar la plataforma al nivel del piso y realizar el acceso al autobús de la persona en condición de discapacidad. Este dispositivo es accionado por el dispositivo “control de plataforma” indicado en la Figura 12. Este tipo de configuración requiere de un mantenimiento preventivo programado, que incluye actividades sobre los componentes mecánicos, electrónicos e hidráulicos.

Figura 12. Configuración plataforma automática.



Fuente: propia

- **Rampa de accesibilidad:** en lo que respecta a este tipo de dispositivo su funcionamiento es mucho más sencillo que el de la plataforma automática, sin embargo, este es empleado únicamente en autobuses con plataforma baja. Las acciones de mantenimiento preventivo se limitan a una limpieza adecuada y a una correcta lubricación de las bisagras, véase Figura 13.

Figura 13. Accesibilidad con rampa.



Fuente: https://www.vitoria-gasteiz.org/docs/wb021/img/gestor/63/99/gi_46399_smart.jpg

En el Anexo 1, se exponen las configuraciones posibles para los 20 autobuses citados.

De igual forma, de acuerdo a la NTC 4901 – 3 NTC 5206, estos autobuses deben incluir sillas preferenciales, ubicación destinada para perro lazarillo, asimismo, se recomienda que incluyan ayudas auditivas y visuales para aquellas personas que presentan otros tipos de discapacidad, brindando una accesibilidad universal a los mismos.

Sección 8

Lineamientos para la selección de autobuses.

Dentro de este apartado, se indican algunas recomendaciones que se sugiere se tengan en cuenta para la adquisición de los autobuses. Estas se encuentran condensadas en los siguientes aspectos: costos de adquisición, apreciaciones frente a prestaciones mecánicas, servicio post-venta, relación beneficio-costos y disponibilidad en Colombia, las cuales se consolidan a partir de la experiencia del consultor y de las entrevistas realizadas a los equipos de mantenimiento de cuatro ciudades del país.

- **Costos de adquisición:**

En el Anexo 1, se encuentran relacionados los costos de adquisición aproximados (la adquisición de más unidades puede conllevar a descuentos) y los cuales fueron consultados con los representantes y fabricantes de cada una de las marcas.

Los costos mencionados son únicamente para la adquisición del autobús, no incluye costos de mantenimiento, estos se deben ajustar dentro de la negociación final y deben ser pactados de acuerdo a las particularidades de la operación.

Para la selección óptima del autobús se recomienda contar con un modelo financiero que dé cubrimiento al tiempo estimado de operación del autobús (fin de vida útil), en donde se tengan en cuenta todas las variables como los costos fijos, variables, Capex, Opex y CPK.

- **Prestaciones mecánicas:**

En lo referente a las prestaciones mecánicas se hará un breve resumen de lo ya indicado en cada una de las secciones contenidas en el presente documento, indicando las opciones disponibles y de acuerdo a la experiencia se darán algunas precisiones frente a cada una de los sistemas.

- a) **Motor:** a lo largo del documento, se ha indicado que se cuenta con tres (3) tecnologías para la propulsión de los autobuses (gas, diésel y eléctrico), cada uno de ellos presenta unas particularidades. Para la selección del autobús es necesario contrastar las variables de potencia, torque, consumo de combustible, tecnología de emisiones y todos los aspectos contenidos en el Anexo 1, frente a lo requerido por la operación, contemplando la demanda esperada para estos, los tiempos destinados para mantenimiento y el presupuesto para la adquisición de los mismos.

b) Transmisión de velocidades: frente a la selección del vehículo en lo que respecta a la transmisión de velocidades, de acuerdo a las opciones disponibles, la opción automática es la que más toma fuerza actualmente en los sistemas masivos de Colombia, por su facilidad de operación, la reducción en costos de operación por conducción eficiente, sin embargo, es importante tener en cuenta que los procesos de mantenimiento de este componente requieren de personal calificado, equipos de diagnóstico más robustos e infraestructura mucho más tecnificada.

c) Suspensión: los lineamientos para seleccionar un autobús teniendo en cuenta la configuración de la suspensión, se ven muy atados al confort esperado, dado que, una suspensión de tipo neumático elimina gran parte de las imperfecciones de la vía, dando una mejor experiencia a los ocupantes del vehículo, asimismo reduce la rigidez del conjunto chasis carrocería.

Por otra parte, la suspensión de tipo rígida es mucho más sencilla en su construcción. Por la tanto, sus costos de mantenimiento (CPK) son mucho más bajos. Como desventajas principales, este tipo de suspensión no ofrece el mismo confort de la suspensión neumática. El principal aspecto para definir el tipo de suspensión es conocer claramente el terreno a transitar y el confort esperado en el vehículo.

d) Frenos: finalmente en el apartado de frenos, se recomienda la utilización del tipo neumático, dado que, brindan una mayor fiabilidad en su operación y al momento de presentarse una falla, por su construcción, esta opción permite bloquear la operación del vehículo en caso de tener una falla grave que comprometa su accionamiento. De igual forma, se recomienda para Colombia la selección de vehículos con algún sistema adicional de frenado (retarder, freno de ahogo, etc.) principalmente en aquellas operaciones que impliquen descensos constantes y pronunciados.

- **Disponibilidad en Colombia:**

Finalmente, en el aspecto de disponibilidad para nuestro país, de las 48 líneas de autobuses que se encontraron a nivel mundial, en la Tabla 3, se encuentran contenidas las 20 que actualmente tienen disponibilidad y operación para Colombia.

Tabla 3. Disponibilidad de chasises Colombia.

ID	MARCA	REFERENCIA	TIPO DE COMBUSTIBLE	NORMA DE EMISIONES	PROCEDENCIA
1	Agrale	MA 11.0 GAS	Gas	Euro VI	Brasil
2	Modasa	APOLO HG	Gas	Euro VI	Perú
3	Volkswagen	11.180 OD	Diesel	Euro VI	Brasil
4	Scania	F280 4x2	Gas	Euro VI	Suecia
5	Mercedes 1 benz	OF 917	Diesel	Euro V	Alemania
6	Mercedes benz	LO 916	Diesel	Euro V	Alemania
7	Hino	FC9J	Diesel	Euro V	Japón
8	Chevrolet	NQR	Diesel	Euro V	Japón
9	Chevrolet	NPR	Diesel	Euro V	Japón
10	Volkswagen	9.160 OD	Diesel	Euro VI	Alemania
11	Volkswagen	8.160 OD	Diesel	Euro VI	Alemania
12	Sunwin	SWB6890M64	Diesel	Euro V	China
13	Sunwin	SWB6850Q	Gas	Euro V	China
14	Agrale	MA 9.6	Diesel	Euro V	Brasil
15	Sun long	KMU180	Gas	Euro V	China
16	Sun long	KMU140	Gas	Euro V	China
17	BYD	K7	Eléctrico	Cero Emisiones	China
18	BYD	eBuzz K6 Goldstone	Eléctrico	Cero Emisiones	China
19	Yutong	ZK6729D	Eléctrico	Cero Emisiones	China
20	BYD	B93S01	Eléctrico	Cero Emisiones	China

Fuente: propia

Servicio Postventa: se recomienda incluir dentro del contrato inicial de adquisición, el acompañamiento en cuanto a capacitación del personal tanto de mantenimiento, como los operadores de los autobuses, como mínimo durante el primer año de operación.

Definir los términos de atención de garantías, en donde se especifiquen los plazos máximos de atención a las novedades que se pueden presentar y cuales son las limitantes para que durante el plazo de garantía no se otorguen las mismas.

Solicitar la entrega de los manuales de partes, mantenimiento y operación de los autobuses.

Dentro del contrato de adquisición se recomienda incluir el equipo de diagnóstico del vehículo (escáner), el cual permite adelantar la detección de fallas de forma acertada y confiable.

Valoración Beneficio – Costo: este tipo de análisis es una herramienta financiera que permite comparar el costo de adquisición e implementación de un producto o tecnología, que para este caso en particular son autobuses, versus el beneficio que esta entrega. Dentro del desarrollo de este ejercicio se evaluaron los siguientes beneficios:

Cuadro 1. Beneficios sustitución de buses

ASPECTO	BENEFICIO
AMBIENTAL	Reducción de las emisiones de GEI y contaminantes en las principales ciudades del país, contribuyendo a las metas de lucha contra el cambio climático y contra la contaminación del aire
SOCIAL	Disminución en tasas de morbilidad y mortalidad principalmente por enfermedades respiratorias agudas Aumento en la esperanza de vida de la población. Mejoramiento en calidad de vida para algunas personas en condición de discapacidad
ECONÓMICO	Reducción en los costos por tratamientos médicos de enfermedades (salud y accidentalidad)

Fuente: Propia

Conclusiones y recomendaciones

Recomendaciones:

- Es significativo para el desarrollo de un proyecto SETP, la construcción de una matriz legal y técnica que permita conocer todos los requerimientos para la adquisición masiva de autobuses.
- La actual adquisición de vehículos en Colombia para los SITP y SETP, se encuentra encaminada hacia una gestión eco-eficiente, en la que se adquiere conciencia del impacto ambiental derivado del uso de autobuses de bajas o cero emisiones, que brindan una mayor eficiencia energética.
- Para la selección de la tecnología vehicular, si ya se cuenta con un parque automotor, se recomienda evaluar la vida útil de los mismo y efectuar una valoración beneficio – costo, dado que, no es aconsejable contar con tecnologías multiclase dentro del parque automotor, puesto que esto demanda costos superiores en la operación.
- Una vez seleccionada la tecnología a emplear, se recomienda realizar un análisis de costo y ciclo de vida del activo. Este análisis se debe realizar teniendo en cuenta todos los costos inherentes al autobús como la inversión inicial, costos fijos, costos variables, capex, opex, depreciación y financiación.

- Se recomienda hacer una verificación de infraestructura, riesgos operacionales, estado de la malla vial, pendientes, radios de giro, entre otros, mencionado en la Sección 6 para evaluar los requerimientos técnicos de los autobuses.
- Se recomienda hacer contacto para la recopilación de más lecciones aprendidas con los operadores de autobuses eco-eficientes que se encuentran próximos o ya se encuentran en operación en la ciudad de Bogotá D.C., vinculados al Sistema TransMilenio en sus diferentes componentes.

Conclusiones:

- Las 20 líneas de autobuses disponibles para Colombia, cuentan con diferentes características técnicas y mecánicas, ofreciendo versatilidad para la inclusión de las tecnologías eco eficientes en los SETP del país.
- La ciudad de Bogotá D.C. y el Sistema TransMilenio, son uno de los referentes a nivel mundial en la inclusión de tecnologías limpias a su operación, lo que permite a los SETP recopilar lecciones aprendidas para la renovación de su parque automotor.
- La disponibilidad de los recursos energéticos para la migración a las tecnologías limpias en el país se encuentra garantizada por el Ministerio de Minas y energía.
- Los impactos en la salud de los colombianos por la reducción de emisiones contaminantes son uno de los grandes atractivos para la renovación del parque automotor en las diferentes ciudades del país.
- La renovación del parque automotor en las diferentes ciudades del país, hará que las personas con alguna discapacidad se sientan incluidos y mejoren su calidad de vida.

Bibliografía

- BUN-CA, & E&Co. Reducción de Emisiones de Carbono UNA GUÍA PARA EMPRESARIOS DE ENERGÍA RENOVABLE, Fenerca 1–65 (2014).
- DNP (2017) Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones. Departamento Nacional de Planeación. Disponible en: [https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costosen-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones-.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costosen-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx).
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, PNUD, MAPS, & Low Emission Capacity Building Programme. (2014). Desarrollo y aplicación piloto de la Metodología de Evaluación de los Cobeneficios de acciones de mitigación del Cambio Climático en Colombia. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosMarinosCosterosyRecursosAcuatico/Metodologia_Cobeneficios.pdf
- Universidad de los Andes (2016) Actualización del estudio, Conveniencia del gas natural vehicular en Colombia: Caso de estudio para el sector transporte público. Grupo de estudios en sostenibilidad urbana y regional – SUR
- Unión Europea, (2005), Combustibles y vehículos alternativos Combustibles, como adaptación del manual “Cleaner fuels & vehicles: A summary of road transport fuels and technologies from an environmental perspective” de Energy Saving Trust.
- (2020). Vehículos para el transporte urbano masivo de pasajeros. Parte 3: Vehículos de un solo cuerpo. <https://ebooks.icontec.org/pdfreader/vehiculos-para-el-transporte-urbano-masivo-de-pasajeros-parte-3-un-solo-cuerpo>.
- (2019). Vehículos para el transporte terrestre de pasajeros. Parte 1: Colectivo (metropolitano distrital y municipal), nacional y especial.
- <https://ebooks.icontec.org/pdfreader/vehiculos-para-el-transporte-terrestre-depasajeros>

