Transporte Masivo de Panamá, S.A.

Plan piloto con buses a Gas Natural

Informe consolidado

Dirección de Estudios y Proyectos
Mayo 2024

Tabla de contenido

1. Introducción ... 3
1.1 Antecedentes ... 3
1.2 Objetivo de prueba piloto ... 4
1.3 Alcances de prueba piloto ... 4
1.4 Preparación de la prueba piloto ... 5
1.4.1 Etapa 1 - construcción de estación de gas natural comprimido (GNC) ... 5
1.4.2 Etapa 2 - adecuación de los buses ... 9
1.4.3 Etapa 3 - plan operativo ... 12
2. Implementación de prueba piloto ... 16
2.1 Selección de rutas ... 16
2.2 Características operativas del servicio ... 17
2.3 Metodología de seguimiento ... 17
2.3.1 Sistema de posicionamiento Global (GPS) ... 17
2.3.2 Datos de carga ... 18
2.3.3 Toma de datos con “checklist” ... 18
3. Descripción de variables ... 20
4. Fase I: rutas representativas del sistema ... 21
4.1 Demanda ... 21
4.2 Troncales ... 23
4.3 Complementarias ... 24
4.4 Corredores ... 26
5. Fase II: extensión del plan piloto ... 27
5.1 Demanda ... 27
5.2 Troncales ... 28
5.3 Complementarias ... 29
6. Registro de novedades ... 30
6.1 Novedades en fase 1 ... 30
6.2 Novedades en fase 2 ... 30
7. Estudios complementarios ... 30
7.1 Prueba de emisión de gases ... 31
7.2 Encuesta a operadores de MiBus ... 32
7.3 Estimación de emisiones GNC y diésel ... 37
8. Conclusiones ... 38

1. Introducción

Este documento presenta el desarrollo y ejecución de un plan piloto destinado a la implementación de buses de gas natural en el sistema de transporte público de la ciudad de Panamá. Este proyecto responde a la creciente necesidad de explorar alternativas más sostenibles y amigables con el medio ambiente en el ámbito del transporte urbano.

A lo largo de este informe, se examinarán detalladamente los criterios que guiaron la selección de rutas para el plan piloto, teniendo en cuenta la representatividad del sistema y la eficiencia operativa. Asimismo, se abordarán las características operativas del servicio, incluyendo los horarios de carga, la dinámica entre los operadores y la estación de gas. Además, se explorará la metodología de seguimiento implementada para la recopilación de datos relacionados con la carga de gas y evaluación de otras variables.

A medida que se avanza en la lectura, se revelarán hallazgos clave y lecciones aprendidas, contribuyendo así al conocimiento acumulado en la transición hacia opciones más sostenibles en el transporte público.

1.1 Antecedentes

COLON LNG MARKETING SRL. (CLM) es un “Joint Venture” entre AES Colón (AES) y TOTALENERGIES que fue creado con el objetivo de comercializar gas natural licuado (GNL) en Panamá, Centroamérica y el Caribe, utilizando la cartera diversificada de suministro de Gas Natural Licuado de TOTALENERGIES y la capacidad disponible en la Terminal de Gas Natural Licuado de Costa Norte ubicada en la provincia de Colón, Panamá.

AES llegó a Panamá en el año 1999, durante estos 21 años la empresa ha apostado por el país, expandiendo sus inversiones a 8 plantas de generación de energía en diversas tecnologías que suman más de 1.200 MW de capacidad instalada. Durante este periodo AES ha aportado más de 650 millones de dólares en dividendos e impuestos al estado panameño.

TOTALENERGIES a través de acuerdos de colaboración con AES se ha comprometido con el desarrollo del mercado de gas natural en la región, convirtiéndose en el principal suplidor de gas natural en Panamá y República Dominicana por un total de 0.9 millones de toneladas métricas de GNL por año.

Muchos países en el mundo han promovido el cambio a Gas Natural para el transporte, tanto vehículos privados como autobuses o camiones de carga pesada, obteniendo beneficios económicos (menor costo de combustible, mayor estabilidad de precios y reducción de los costos de mantenimiento, comparado con diésel o gasolina) y beneficios ambientales (menor emisiones de gases contaminantes y bajo nivel de ruido comparado con combustibles tradicionales). Según la asociación NGV Global, en la actualidad existen más de 26 millones de vehículos impulsados a Gas Natural en el mundo.

Por lo anterior, CLM ha hecho un análisis de las potencialidades de introducir el Gas Natural Comprimido en la operación de Transporte Masivo de Panamá, S.A. (TMPSA), identificando un potencial beneficio económico debido a la competitividad de los precios del gas natural e

importantes beneficios ambientales por la reducción de emisiones de dióxido de carbono mejorando la calidad del aire de las ciudades y la disminución del ruido.

Por esto, CLM le ha presentado a TMPSA una propuesta para implementar un plan piloto que pueda mostrar los beneficios de la adopción del gas natural en la operación del sistema MiBus, promoviendo el uso del gas natural en el transporte público en Panamá.

1.2 Objetivo de prueba piloto

Este Plan Piloto permitió a TMPSA evaluar la viabilidad de utilizar buses a gas natural comprimido como combustible para operar los servicios de transporte público en la ciudad de Panamá. También para que TMPSA pueda verificar la viabilidad de la instalación y funcionamiento de una estación de carga de gas natural en los Centros de Operación y Ejecución (COE).

1.3 Alcances de prueba piloto

A continuación, se presentan los alcances del Plan Piloto implementado:

- Formalización del piloto. Firma de un Acuerdo Maestro de Plan Piloto, Estación de Carga, Cesión Temporal de uso y Comodato entre CLM y TMPSA, que representó un acuerdo de tipo no oneroso para TMPSA ya que CLM asumió todos los costos y todos los cargos asociados al plan piloto.

- Instalación de estación de carga. CLM construyó a su propio costo y expensas, una estación de carga de gas natural para los Autobuses, que estará equipada con los equipos necesarios para su funcionamiento, ubicado en el COE Ojo de Agua, San Miguelito; al término del Plan Piloto será removida.

- Entrega en comodato de dos (2) autobuses. CLM suministró dos (2) buses Hyundai nuevos para que TMPSA los operará con su personal los autobuses que se entregarán en comodato.

- Duración. El tiempo del Plan Piloto fue de dieciocho (18) meses, entre el 28 de octubre de 2022 (fecha de refrendo del Acuerdo) y el 30 de abril de 2024, desglosado de la siguiente forma:
  - Tres (3) meses para la adecuación del área para construir la estación de carga.
  - Cuatro (4) meses para la construcción de la estación de carga.
  - Nueve (9) meses y catorce (14) días para la implementación del Plan Piloto.
  - Un (1) mes y dieciséis (16) días mes para el desmontaje y traslado de los Equipos.

- Suministro del gas natural. CLM asumió el costo del combustible de los autobuses durante el período de vigencia del Plan Piloto, y la operación de la Estación de Carga, subcontratando para eso a la empresa TROPIGAS NATURAL SA. empresa idónea en la distribución de Gas Natural.

- Documento técnico de evaluación. CLM contrató a la Universidad Tecnológica de Panamá como un participante independiente de evaluación del plan piloto, y que desarrolló un modelo para simular el consumo del gas natural vs diésel en buses de transporte público en situaciones reales de la operación de TMPSA.

1.4 Preparación de la prueba piloto

Para el inicio de la prueba piloto se desarrollaron en paralelo 3 etapas:

- Etapa 1: construcción de la estación de gas
- Etapa 2: adecuación de buses para servicio de transporte
- Etapa 3: diseño plan operativo

1.4.1 Etapa 1 - construcción de estación de gas natural comprimido (GNC)

En abril del 2023, se dio inicio oficialmente a la fase de construcción de la Estación de gas natural comprimido (GNC) en el Centro de Operaciones y Ejecución (COE o patio) de Ojo de Agua ubicado en el área norte de la ciudad. El COE de Ojo de Agua, es considerado uno de los COE más importantes de la operación siendo el lugar que alberga el centro de control. Este patio cuenta con una ubicación privilegiada ya que, se encuentra cerca de estaciones del metro de línea 1 como Los Andes y San Isidro, al igual que mantiene acceso a vías principales no pagas como la Av. Transístmica y de peaje como el Corredor Norte.

Imagen 1: Ubicación geográfica patio Ojo de Agua

Fuente: Google Earth

El proyecto se llevó a cabo con la participación conjunta de la empresa RECOMOSA, contratista de CLM para desarrollar la parte constructiva y personal de TMPSA de los departamentos de Infraestructura, Operaciones de patio, Seguridad, con el seguimiento del departamento de Estudios y Proyectos para coordinar las actividades a desarrollar dentro del patio.

Esta etapa demoró en ejecutarse unos 7 meses y contempló 3 actividades, las cuales describimos a continuación:

1. **Diseño estructural:** contempla el diseño del pavimento, la señalización y la ubicación de las estructuras de acuerdo al espacio disponible en el patio.
2. **Construcción de la estación:** inicio de la obra en campo bajo la supervisión y coordinación de los departamentos mencionados.
3. **Puesta en marcha de la estación:** prueba de venteo y descarga del sistema del gas natural licuado (GLN) al ISO tanque, para su conversión a gas natural comprimido (GNC).

En cada una de estas etapas participó personal de TMPSA asignado por departamento siendo este responsable de cada área de acuerdo a su experiencia. Era importante contar con personal capacitado en:

- **Infraestructura de patio:** personal con conocimiento en las conexiones eléctricas, agua potable y cargas del pavimento en patio, entre otros elementos. Este personal se reunía semanalmente con el contratista para revisar los avances de la obra y cualquier requerimiento que necesitará el contratista para el suministro de electricidad y agua durante la construcción. De igual manera previo al inicio de la obra se revisó en conjunto los planos de construcción para que los mismos no interfirieran con la operatividad del patio.
- **Seguridad:** este personal era el responsable de dar entrada y salida al personal, al igual que garantizar la seguridad dentro del patio en todo momento. Esto debido a la entrada de personal externo al patio de operaciones de MiBus.
- **Operaciones de patio:** la representación de patio es importante en estas intervenciones ya que, son los que conocen los horarios del patio y pueden indicar en qué momento se puede realizar una actividad sin que se afecten los flujos dentro de patio.
- **Estudios e ingeniería:** por parte del departamento de proyectos se brindó seguimiento a las actividades relacionadas al piloto, la coordinación y coordinación entre las partes involucradas.

A continuación, se detallan cada una de las actividades que contemplan las fases de construcción de la estación de GNC.

1.4.1.1 Diseño estructural

La estación de gas se ubicó en el área central del COE Ojo de Agua, donde se mantiene un terreno disponible libre de intervenciones. Para su construcción se debía contemplar la adecuación del área donde estaría la estación y el carril de circulación de los buses en donde se realizará la carga y los buses permanecerán mientras no estén en operación. A continuación, detallamos las dos adecuaciones:

1. **Área de estación:** la estación estaba conformada por 7 partes las cuales fueron trasladadas desde España y ensambladas en Panamá. Entre sus componentes podemos mencionar el surtidor de gas, donde se procede a realizar la carga de los buses, cuarto de control, entre otros.

Imagen 2: Distribución del equipamiento de la estación de gas

Fuente: AES

2. **Área de buses:** con el objetivo de no afectar las operaciones del patio Ojo de Agua y garantizar un espacio para la carga de los buses a gas, se tomó parte de los estacionamientos y el terreno disponible en el centro del patio para construir un carril de circulación con las especificaciones de peso y dimensiones de los buses. Este espacio se utilizó como estacionamiento para los buses durante las horas en las que no estuvieran operativos y para la carga en los periodos de abastecimiento de gas.

Un mes y medio después de finalizado el piloto se procederá a desmontar el área de la estación, mientras que el carril habilitado permanecerá en el patio para uso regular de las operaciones.

1.4.1.2 Construcción de la estación

La etapa de construcción de la estación y las adecuaciones correspondientes inició en febrero de 2023 con la emisión del permiso de construcción por parte de la Alcaldía de San Miguelito. La emisión de este documento no es expedita y puede tardar hasta un mes en tramitarse.

Posterior a la emisión del permiso de construcción se coordinaron con el patio las actividades para el inicio de la obra, entre las que se pueden mencionar:

- Ingreso de personal de la obra al patio
- instalación de campamento
- Obras civiles: preparación de terreno, fundaciones, excavación y pavimentación, etc.
- Instalaciones eléctricas
- Pintura y señalización
- Permiso de ocupación

Imagen 3: Obras civiles de construcción de la estación de carga

Fuente: AES

Una vez finalizada la etapa de construcción, la cual culminó a inicios de febrero 2022, se gestionó el permiso de ocupación. Como parte del proceso, el Benemérito Cuerpo de los Bomberos realizan inspecciones a la obra para garantizar que se hayan respetado los lineamientos de seguridad para instalaciones de este tipo.

1.4.1.3 Puesta en marcha de la estación

Una vez finalizada la etapa de construcción se realizaron las correspondientes pruebas que garanticen el funcionamiento seguro de la estación, iniciando con la prueba de funcionamiento y estanqueidad de la estación antes de cargar el gas natural licuado.

- **Prueba de funcionamiento:** se revisa que todos los sistemas estén funcionando correctamente, alarmas, luces, señalización de emergencia etc.
- **Pruebas de estanqueidad:** esta prueba se realiza para comprobar posibles fugas de gas en las tuberías de la estación. La prueba se realiza introduciendo un gas inerte en este caso nitrógeno en las tuberías de la instalación, luego del llenado se procede a medir la presión y al cabo de un tiempo se vuelve a comprobar si la presión se mantiene. De esta manera se puede confirmar la existencia de fugas.
- **Venteo:** posterior a las pruebas mencionadas se debe vaciar el nitrógeno antes de la carga de GNL. La liberación del nitrógeno a la atmósfera produce nubes blancas debido a la humedad del ambiente, la temperatura del nitrógeno, la cantidad y la velocidad de descarga. En este caso se realizó a una velocidad que produjera nubes más pequeñas.

Imagen 4: Ejemplo del proceso de venteo en instalación de GNL

Fuente: AES

- **Carga GNL:** una vez finalizado el proceso de vaciado del nitrógeno se procede a coordinar la carga de GNL al ISO tanque. Para ello debe ingresar al patio el sistema con lo cual se debe coordinar con el departamento de Operaciones de patio para que los horarios de carga no interfieran con los horarios de mayor volumen de salidas y entradas de la operación de los buses.

Imagen 5: Ingreso de cisterna al Patio Ojo de Agua

Fuente: TMPSA

- **Primera carga bus a gas:** con la carga al ISO tanque y su conversión a GNC, se realizó la primera carga del bus a gas. La primera carga registrada del bus a gas tomó un tiempo estimado de 1 hora y 15 minutos, necesario para preparar la estación al ser la primera carga. En operación, este tiempo toma unos 15 a 20 minutos.

Imagen 6: Carga de GNC al bus en la estación del COE Ojo de Agua

Fuente: TMPSA

1.4.2 Etapa 2 - adecuación de los buses

Los buses proporcionados por Hyundai corresponden a una tipología utilizada para recorridos entre ciudades, los cuales debido a la naturaleza de su servicio no están diseñados o adecuados para ser utilizados en servicios de transporte público urbano.

Para cumplir con los requisitos preestablecidos en el contrato de concesión No.21-10 que mantiene TMPSA para operar los servicios en los distritos de Panamá y San Miguelito, fue necesario realizar adecuaciones a los buses.

A continuación, detallamos los elementos que sufrieron modificaciones antes de la puesta en marcha del piloto.

Tabla 1. Listado de elementos requeridos para la implementación de los buses a gas natural

Elemento	Descripción	Componentes	Imagen
Accesibilidad universal	Este componente se refiere a adecuación de elementos o entornos para que puedan ser utilizados por personas con diferentes necesidades de movilidad.	• Espacio para silla de ruedas • Señalización/ identificación • Cinturón de seguridad para silla de ruedas • Tope para silla de ruedas • Rampa para silla de ruedas • Manual de uso de rampa • Tope para rampa • Llaves de activación de rampas	
Seguridad	Instalación de elementos de protección contra riesgos, accidentes o cualquier contra novedad que pueda atentar contra la seguridad de los usuarios y conductores	• Sistema contra incendios • Extintores (1) de 20 lb • Cierre de ventanas • Mampara de protección para pasajeros • Mampara de protección para operador • Martillos	
Información al usuario	Componentes que permiten orientar al usuario sobre el sistema, situaciones de riesgo dentro del bus o temas referentes al uso de las facilidades.	• Rutero • Señalización de sillas preferenciales • Señalización de escaleras de acceso	

Elemento	Descripción	Componentes	Imagen
Tecnología	Elementos tecnológicos que permiten el buen funcionamiento de las operaciones. Entre estos elementos podemos mencionar el GPS que nos permite enlazar el vehículo con el sistema de gestión de flota.	• GPS MiBus • Validadores • Alarma de retroceso • Alarma de apertura/cierre de puertas • Regulación de velocidad	
Regulación de tránsito	Esta parte se refiere a los elementos que debe tener un vehículo para cumplir con las regulaciones de tránsito de Panamá.	• Placas • Cintas reflectivas	
Seguros	Seguros contra accidentes, responsabilidad civil, accidentes que puedan ocurrirle a los usuarios deben estar aprobados por el departamento legal y de administración antes de iniciar las operaciones.	• Póliza de automóvil • Responsabilidad civil • Accidentes personales • Incendio	

Fuente: TMPSA

Los elementos descritos en la tabla 1 corresponden a una serie de requisitos que mantiene la flota de vehículos de TMPSA dentro del contrato de concesión.

El equipo técnico de TMPSA formado por profesionales de los departamentos de Capacitaciones, Control en vía, Operaciones, Tecnología y Mantenimiento se encargaron de realizar inspecciones al bus para determinar cuáles eran los elementos que se debían agregar para que cumpliera con los lineamientos establecidos en la flota de buses de MiBus.

Como puntos importantes aprendidos en este proceso de adecuación podemos mencionar lo siguiente:

1. Desarrollar en conjunto con todos los departamentos un “check-list” validado de los requerimientos.
2. Es importante llevar una silla de ruedas para comprobar la funcionalidad del espacio habilitado.
3. El sistema contra incendios instalado debe funcionar similar al sistema que mantienen los buses de TMPSA.
4. Se debe colocar un extintor de 20 lb. Siguiendo los lineamientos de la concesión.
5. Para la instalación de elementos propios de MiBus como el GPS y los validadores es necesaria la presencia de todos los actores involucrados, en este caso los técnicos de Hyundai y de SONDA para garantizar la correcta instalación de todos los componentes.
6. Los validadores deben instalarse utilizando una conexión separada del master switch del bus de esta manera se evita que se descargue la batería cuando el bus no está en uso.

Los seguros emitidos para la operación de transporte de pasajeros en el sistema MiBus deben incluir los siguientes elementos para que sean validados por el equipo técnico autorizado de los departamentos de legal y administración:

1. **Lucro cesante:** debe estar endosado a la póliza de automóvil. Aplica siempre y cuando el Tercero Afectado sea un “auto comercial” (solicitado que no sea exclusivo para taxis), máximo de dos (2) eventos al año y hasta un máximo en su agregado anual de B/. 1,000.00 por unidad, limitado a B/. 50.00 diarios.
2. **Grúa:** límite 650.00 por evento.
3. **Ambulancia:** incluirla en el endoso de los autos comerciales.
4. **Asistencia legal y vial:** incluirla en el endoso de los autos comerciales.
5. **Límite de la RC por exceso de automóvil:** tomar en cuenta que el límite de responsabilidad civil debe ser de B/. 1,000,000.00.

1.4.3 Etapa 3 - plan operativo

Para definir el plan operativo fue necesaria la participación de los departamentos de Control en vía, Capacitaciones, Programación, Planeación, proyectos, vialidad, Mantenimiento y Operaciones. A continuación, se detalla las funciones de cada uno:

- **Control en vía:** desde el punto de vista de la operación indicar si se tenía que realizar alguna modificación en cuanto a horario y recorridos que pudieran representar un riesgo para la operación.
- **Capacitaciones:** desarrollar y ejecutar la capacitación de los operadores seleccionados.
- **Programación:** definir cómo se debería programar el plan piloto: por operadores disponibles o con “sercones” (servicios conductores) especiales.
- **Planeación:** revisión de rutas propuestas y horarios que sean más factibles para la operación.
- **proyectos:** supervisión, selección de rutas, horarios y coordinación del proyecto con otros departamentos.
- **Vialidad:** realizar pruebas de aproximación a zonas pagas y revisión de vialidad para el paso de las rutas.
- **Mantenimiento:** directrices sobre mantenimiento de los buses y las responsabilidades de la flota.
- **Operaciones:** selección de operadores de buen comportamiento para realizar la prueba piloto, manejo de operaciones en patio y rutas de la zona.

Cronológicamente se desarrollaron actividades en las que cada departamento debía aportar su punto de vista a continuación, detallamos cada una de las actividades en orden:

1. **Selección de rutas:** el departamento de proyectos con su conocimiento en la implementación de planes piloto realizó una selección de rutas en función de las pruebas desarrolladas anteriormente. Posterior a esta selección se contactó al departamento de operaciones, control y planeación para que revisaran las rutas seleccionadas. De este filtro se eliminaron rutas con trayectos en corredor que podían representar un peligro por el alto vandalismo y se añadieron rutas en horarios que no estaban estipulados como sábados y domingos por ser los días de mayor demanda (ruta C850 Amador-Metro Albrook).

2. **Selección de operadores:** siendo esta prueba en un patio distinto a los patios utilizados para anteriores pruebas piloto se solicitó la participación de operaciones para la preselección de 25 operadores de buena conducta que supieran manejar bus de transmisión manual.

3. **Capacitación:** el departamento de capacitaciones elaboró el plan de capacitaciones para los 25 operadores preseleccionados. La capacitación estaba constituida en dos partes: teórica y práctica. En la parte teórica los instructores de Hyundai se encargaron de enseñar a los operadores sobre las partes del bus y lo referente a la tecnología a gas. De igual manera el equipo de capacitaciones realizaba la docencia en temas de seguridad dentro y fuera del bus. Luego se realizaba la práctica en campo con el bus donde los operadores eran evaluados en función de su rendimiento. De esta prueba final se seleccionaron 18 operadores que pasaron satisfactoriamente la capacitación.

4. **Programación**: para la prueba piloto se tenían 2 opciones de programación:
   - ***Operadores disponibles:*** esto consiste en programar todas las semanas operadores adicionales a la programación que estarán a disposición de patio y control en vía para realizar los servicios de acuerdo al cronograma entregado. En este caso los operadores no cuentan con el detalle del plan de trabajo que permite definir de manera anticipada horas de descanso, movimientos operativos y recorridos comerciales. Esta opción representa un trabajo mayor para el centro de control y operaciones y para los datos a recolectar no se garantiza una consistencia diaria de los recorridos a realizar.

   - ***Sercones especiales:*** en este caso se realiza una programación con los movimientos operativos, las rutas comerciales y los descansos reglamentarios de los operadores. Esta programación se hace aparte de la programación regular de servicios. La opción de sercones (servicios conductores) especiales permite tener a detalle el plan de trabajo del operador y los recorridos que realizará.

Tomando en cuenta estas dos opciones en conjunto con los departamentos de planeación, programación, control en vía y operaciones se escogió la opción de sercones especiales. Esto implicó el levantamiento de vacíos de inicio que no estaban contemplados en la red de transporte, ya que se tenían que hacer traslados de un patio del Norte a puntos del Centro o del Este.

Adicional a los vacíos para la programación se definieron los siguientes parámetros:

- **Horarios de trabajo:** 6 am a 2 pm y de 2 pm a 10 pm. El tiempo se tomó en base a los horarios que se manejaron con el bus eléctrico y no tiene que ver con las coberturas de las pólizas las mismas no tienen restricción de tiempo.

- **Programación de operadores:** operadores full time, es decir no se utilizaron operadores “part time”.
- **Cantidad de buses:** Utilizar los dos buses.
- **Tiempo de carga:** 20 minutos.
- **Horario de repostaje inicial:** 12 M.D. a 4 P.M.
- **Horario de repostaje final:** al final del piloto se determinó que este tiempo se cambiará a partir de las 05:30 A.M.
- **Autonomía:** 350 km
- **Capacidad todos sentados:** asientos 23.
- **Capacidad máxima:** 60 pasajeros.

5. **Red de vacíos:** por parte del departamento de proyectos se enviaron los vacíos (movimientos operativos para empezar punto de inicio y fin) de las rutas seleccionadas. Estos datos no estaban en el sistema ya que eran rutas del Este o Centro saliendo de patio Ojo de Agua en el Norte, estos son movimientos que comúnmente no se dan. De esta revisión de movimientos operativos se filtraron otras rutas con un alto kilometraje en vacío. A la hora de programar estas rutas el incremento en los kilometrajes en vacío impedía que se realizaran mayor cantidad de viajes en comercial lo que afectaba a la recolección de datos para la prueba piloto.

6. **Definición de responsabilidades:** durante la operación existen varias actividades que se deben realizar para brindar el servicio de manera segura. Siendo esta una prueba piloto en la cual intervienen varios actores era necesario para llevar a cabo el proyecto definir las responsabilidades de cada una de estas entidades. En el siguiente cuadro se realiza un resumen de las actividades y los responsables de cada una:

Tabla 2. Listado de responsabilidades

Actividad	Descripción	Responsable
Lavado interno	Lavado con proveedor externo TMPSA.	Patio
Lavado externo	Lavado con maquina (ISTOBAL) de lavado presente en patio.	Patio
Checklist de salida	Desarrollo de un listado de revisión del bus que el operador debe llenar.	Capacitaciones / Patio/ Hyundai
Avería en vía	Gestión de las incidencias en vía.	Control /Hyundai
Avería patio punto sensitivo (salidas de buses)	Gestión de incidencias en puntos sensibles para la operación como salidas de patio. El tiempo de respuesta de esta situación debe ser inmediato en la medida de lo posible.	Patio / Hyundai
Avería en Patio	Incidencias ocurridas en las instalaciones del COE.	Patio / Hyundai
Accidente de tránsito sin heridos	Accidentes que no involucran perjuicio a operadores, usuarios o externos.	Control / aseguradora/ Hyundai / AES

Actividad	Descripción	Responsable
Accidente de tránsito con heridos	Accidentes que involucran perjuicio a operadores, usuarios o externos.	Control / aseguradora/ Hyundai / 911/ Ambulancia de seguro / AES
Accidente simple sin daños	Durante el accidente no se presentaron daños considerables. Esto debe ser evaluado por los responsables.	Control/Aseguradora/AES
Accidente simple con daños	Durante el accidente se presentaron daños. Se debe seguir el procedimiento definido.	Control/aseguradora/Hyundai / AES
Caída de usuarios	Accidente de usuarios a la hora del traslado.	Control/aseguradora/Ambulancia aseguradora/ 911/ servicio al cliente/AES
Vandalismo	Ataques a los buses por externos.	Control/ Hyundai
Vandalismo con lesionados	Ataques a los buses por externos con la presencia de afectaciones a los operadores o usuarios.	Control/911/CLM/Hyundai
Cambio de llantas	Cambio de llantas por afectaciones.	Control/ Hyundai
Mantenimiento preventivo/correctivo	Mantenimiento de los vehículos.	Proyectos/ Hyundai/ Programación/ otros departamentos
Comunicación control	Instalación de sistemas de comunicación operador-centro de control.	Tecnología/ patio
Lavado de condensadores	Mantenimiento de los vehículos.	Proyectos/ patio/ AES/ Hyundai
Arranque auxiliar	Arranque de vehículos cuando presente baja carga u otro problema que afecte el encendido.	Hyundai
Llenado de llantas por baja presión	Llenado de llantas.	Hyundai / proyectos / mantenimiento
Capacitaciones	Capacitación de operadores sobre el uso de la tecnología.	Capacitaciones/ Hyundai/ AES

Fuente: TMPSA

2. Implementación de prueba piloto

En la presente sección, se detalla la implementación de la prueba piloto del sistema de buses a gas natural, abordando aspectos clave como la selección de rutas, características operativas del servicio, y la metodología de seguimiento adoptada para evaluar su desempeño.

2.1 Selección de rutas

En la selección de rutas para la prueba piloto se tomó como referencia las rutas que habían sido implementadas en las pruebas piloto realizadas para buses eléctricos (Tabla). Debido a la ubicación de la estación de gas en el patio Ojo de Agua ubicado en el sector Norte, la selección sufrió modificaciones producto de las reuniones sostenidas con los departamentos de operaciones y planeación.

Para la selección de rutas a implementar en el plan piloto de buses a gas se tomó en cuenta los siguientes criterios:

1. **Rutas representativas del sistema:** la selección de rutas debía representar los diferentes tipos de servicios que tenemos en el sistema y sus características. Entre las cuales podemos mencionar:
    - **Rutas troncales:** servicios que tocan dos sectores de la Ciudad.
    - **Rutas complementarias:** servicios alimentadores que se mantienen en un sector de la ciudad (Este, Centro o Norte)
    - **Rutas corredores:** rutas que transitan por los principales corredores pagos.
2. **Rutas próximas al patio:** este fue uno de los criterios decisivos para la selección principalmente porque debido a la autonomía de los buses (350 km) era importante que se tomara en cuenta dentro de este kilometraje los movimientos operativos a realizar para llegar al punto de inicio desde el patio de Ojo de Agua ubicado al Norte. Es por ello que rutas muy al Este se descartaron debido a la gran cantidad de kilómetros de vacío (movimiento operativo) que debía realizar para operar el servicio, dejando así solo un porcentaje bajo de movimientos en comercial que realizaría la ruta.
3. **Conocimiento de los operadores:** siendo estas rutas de varios sectores se priorizaron en el cronograma las rutas del sector Norte ya que, si bien es cierto los operadores conocen todas las rutas del sistema es una realidad que dominan más las que son próximas a su patio base o sector.

Tomando en cuenta esos criterios se definieron las siguientes rutas:

Tabla 3: Cronograma de rutas Plan Piloto Bus a Gas

Código	Descripción	Fecha inicio	Fecha fin	Observaciones
K181	Directo-Metro Los Andes-Transístmica-Metro Los Andes	22-may-23	02-jun-23	
M181	Directo-Av. Ricardo J Alfaro-Metro Los Andes-Albrook	26-may-23	16-jun-23	
N025	Metro Los Andes-Chilibre	19-jun-23	30-jun-23	
T060	Corredor Norte-Ciudad Bolívar-Albrook	03-jul-23	14-jul-23	
N045	Metro Los Andes-Alcalde Díaz	17-jul-23	28-jul-23	
E618	Brisas Del Golf-Metro Cerro Viento	31-jul-23	11-ago-23	

Código	Descripción	Fecha inicio	Fecha fin	Observaciones
S530	Metro Pedregal-Llano Bonito-Corredor Sur-ZP 5 de Mayo- Albrook	14-ago-23	25-ago-23	
I672	ZP 5 de Mayo-Vía Israel-Panamá Viejo-Metro Cincuentenario	28-ago-23	08-sep-23	
C898	Paitilla-Plaza Edison-Vía Brasil	11-sep-23	22-sep-23	
C968	Vía Brasil-Pta Pacífica-Via Brasil - Metro Vía Argentina	25-sep-23	06-oct-23	
C938	Vía España-Ernesto T Lefevre-Av Balboa-ZP 5 de Mayo	09-oct-23	20-oct-23	
T060	Corredor Norte-Ciudad Bolivar-Albrook	23-oct-23	27-oct-23	Se volvió a evaluar
C850	Amador-Metro Albrook	13-nov-23	26-nov-23	Operó sábados y domingos
S530	Metro Pedregal-Llano Bonito-Corredor Sur-ZP 5 de Mayo- Albrook	27-nov-23	01-dic-23	Se volvió a evaluar

Fuente: TMPSA

2.2 Características operativas del servicio

Era importante para definir el plan de servicios tener en cuenta los tiempos de carga y la dinámica entre esta y los operadores quienes son los responsables de mover los buses para que el operario de la estación pudiera realizar la carga de los buses.

En este sentido se definió en conjunto con AES dos horarios de acuerdo a la disponibilidad y necesidades tanto de la operación de MiBus como de los encargados de la carga de la empresa TROPIGAS. Al principio de la operación en mayo se estableció un horario de 12:00 m.d.- 4:00 p.m., lo que se traduce como cargas en mitad de jornada. Posterior a eso se definió en conjunto cambiar el horario a partir de las 5:30 a.m. antes de que saliera el primer turno.

2.3 Metodología de seguimiento

Esta sección se concentra en la metodología de seguimiento elaborada para llevar a cabo la supervisión y evaluación del plan piloto del bus a gas. El proceso de seguimiento va más allá de la recolección de datos; implica también la interpretación y análisis de los resultados obtenidos con el propósito de extraer lecciones valiosas que puedan orientar las siguientes fases de implementación. En los próximos capítulos, se desglosa detalladamente los hallazgos derivados del análisis efectuado. Este enfoque se orienta a una comprensión profunda de los resultados, buscando no solo medir el desempeño actual sino también identificar áreas de mejora y posibles ajustes para optimizar la eficacia del plan piloto del bus a gas en etapas posteriores.

2.3.1 Sistema de posicionamiento Global (GPS)

Se implementaron dos proveedores de GPS para la recopilación de información y datos operativos en el plan piloto de buses a gas natural:

- GPS Operativo MiBus: Este sistema de GPS cumple con todas las especificaciones requeridas para la operación estándar de Mi Bus. Proporciona información en tiempo real que es fundamental tanto para la toma de decisiones en la oficina como para el

análisis de datos. El GPS operativo permite rastrear la ubicación exacta de los buses, lo que facilita el seguimiento en tiempo real durante la operación diaria. Esta funcionalidad es esencial para la eficiencia operativa y la toma de decisiones informadas.

- GPS Disatel: Suministrado e instalado por AES Panamá en colaboración con Disatel, el GPS Disatel también ofrece información en tiempo real. Este sistema proporciona datos valiosos que contribuyen a la gestión efectiva de la operación de los buses a gas natural. Al igual que el GPS operativo de MiBus, el GPS Disatel es una herramienta integral para monitorear y analizar el rendimiento de la flota en tiempo real, mejorando así la eficiencia y la calidad del servicio. A través del sistema de GPS Disatel, se logró recopilar información directamente desde la oficina, confirmando datos como velocidades promedias y máximas, distancias recorridas, tiempo de inactividad considerando paradas y por detenciones en el tráfico, así como el tiempo en movimiento del vehículo. Además, cantidad de detenciones realizadas y se verificaron los recorridos de las rutas en las rutas estudiadas.

La combinación de ambos proveedores de GPS garantiza una cobertura completa y fiable de la información necesaria para optimizar la operación del plan piloto de buses a gas natural.

2.3.2 Datos de carga

La carga de gas de los buses fue realizada por el equipo especializado de Tropigas en colaboración con AES. Este procedimiento se realiza en el COE Ojo de Agua y comprende la medición de los kilogramos (kg) de gas natural cargados después de completar dos turnos de operación (turno AM y PM), equivalente a un día operativo.

El proceso implicó registrar la cantidad de kilogramos de gas suministrados a un bus específico. Dado que el plan piloto dispone de dos autobuses a gas natural, estos registros incluyen detalles como: el número de bus, el kilometraje del bus al momento de la carga, la fecha y hora de la operación, así como la cantidad de kilogramos de gas cargados. Estos registros proporcionan información esencial para calcular un rendimiento promedio general, derivado de la diferencia en kilómetros recorridos y la cantidad de gas consumido durante el periodo mencionado.

Es crucial considerar que la carga máxima permitida es de 145 kg de gas natural, lo cual alcanza una presión máxima de 3,000 psi en los tanques de gas. Estos datos ofrecen una visión integral del consumo y desempeño de los buses a gas natural en el marco del plan piloto.

2.3.3 Toma de datos con “checklist”

Al inicio y fin de cada turno, el operador, en colaboración con los auxiliares, registra todos los datos y el estado del bus que saldrá a operar. Estos datos se anotan en una hoja física denominada "Checklist", en la cual se recopila la información vital para el plan piloto, como el kilometraje del bus, el nivel de combustible (gas), la hora de salida y el código del operador.

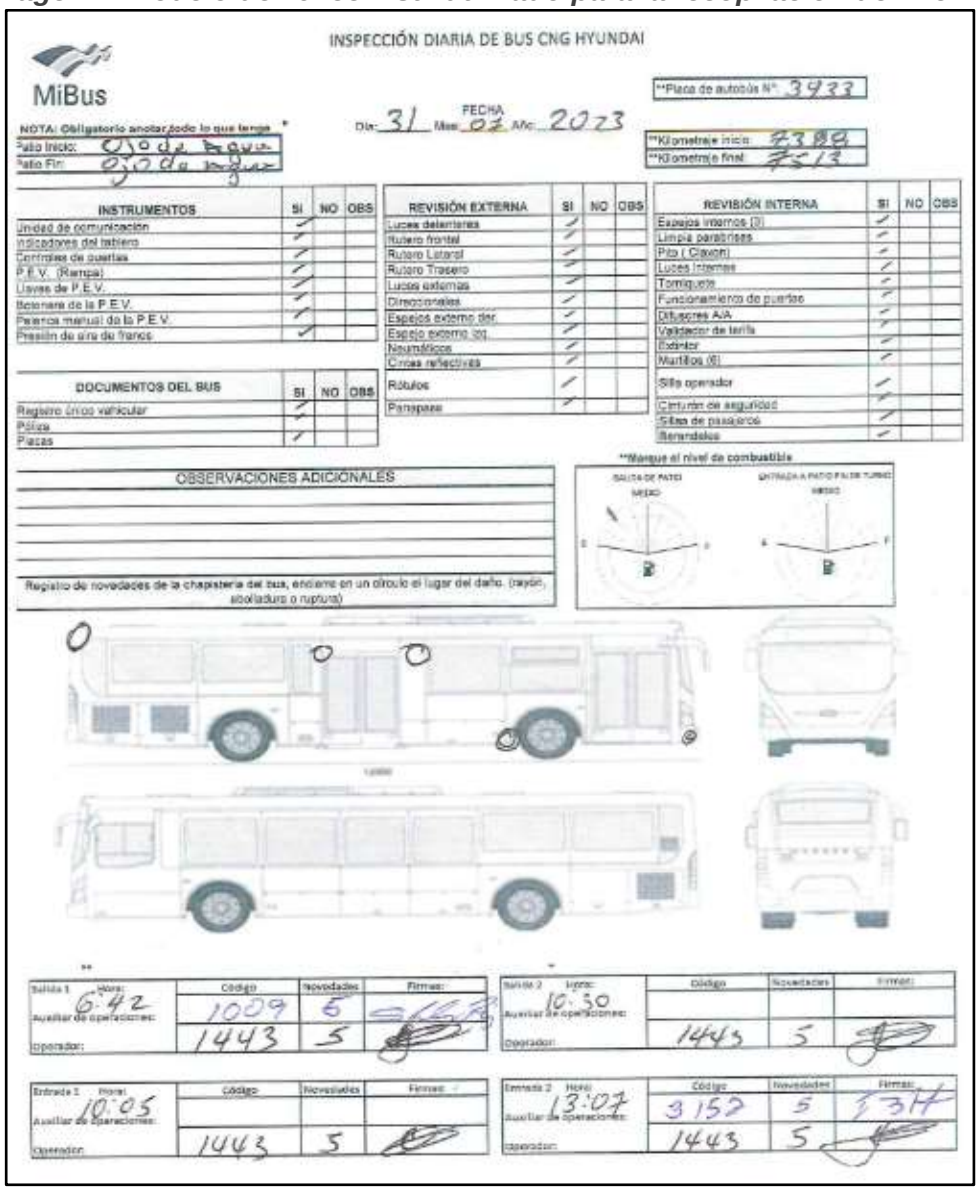
Entre los datos registrados se incluyen aspectos relacionados con el estado físico del autobús, como rayones o golpes, la condición de las llantas, el funcionamiento de las luces, los validadores y las puertas, entre otros.

El proceso de completar los “Checklists” comienza cuando un bus está a punto de iniciar sus recorridos operativos y se concluye al finalizar el turno, al regresar el bus al patio. De esta manera, se obtiene información sobre el kilometraje recorrido durante el turno y el nivel de combustible al inicio y al final del mismo.

Al finalizar la semana de operación, los “Checklists” se entregan al departamento de Estudios y Proyectos para extraer la información necesaria y posteriormente ingresarla a las bases de datos del plan piloto.

A continuación, se presenta una imagen del “Checklist” utilizado para la recopilación de información.

Imagen 7: Modelo de “checklist” utilizado para la recopilación de información



Fuente: TMPSA

3. Descripción de variables

La definición y comprensión de variables específicas desempeñan un papel central en este proceso, ya que permiten capturar, medir y evaluar diversos aspectos relacionados con el desempeño, eficacia y aceptación del bus a gas durante la fase piloto. En la siguiente tabla se definen los conceptos de dichas variables como preámbulo de los resultados expuestos en los próximos capítulos.

Tabla 4: Definición de variables del plan piloto de bus a gas

Variable	Definición	Unidad de Medida
Autonomía	La distancia máxima que el bus puede recorrer con una carga completa de gas antes de necesitar repostar.	Kilómetros (km)
Carga de gas	La cantidad de gas almacenada en el tanque del bus en un momento dado.	Kilogramos (kg)
Consumo	La cantidad de gas consumida por el bus en un determinado período de tiempo.	Kilogramos (kg) de gas
Demanda	La cantidad de usuarios o la demanda de transporte en el bus durante un periodo específico.	Número de usuarios
Detenciones	El número de paradas o detenciones realizadas por el bus durante un recorrido.	Número de detenciones
Kilómetros Recorridos	La distancia total cubierta por el bus durante un período específico.	Kilómetros (km)
Rendimiento	La capacidad del bus para convertir el gas en energía útil para la propulsión, expresada como la distancia recorrida por unidad de gas consumida.	Kilómetros por kilogramo (km/kg) de gas
Rendimiento de Operadores	La eficiencia y desempeño de los operadores del bus a gas en términos de manejo, planificación y eficiencia en la operación del vehículo.	Puede ser evaluado subjetivamente (por ejemplo, mediante puntuaciones) o cuantitativamente en términos de eficiencia operativa.
Tiempo Detenido	El tiempo total que el bus permanece detenido durante un recorrido.	Minutos (min) u horas (h)

Variable	Definición	Unidad de Medida
Tiempo en Movimiento	El tiempo total durante el cual el bus está en movimiento, excluyendo las detenciones.	Minutos (min) u horas (h)
Velocidad Máxima	La velocidad máxima alcanzada por el bus durante un trayecto determinado.	Kilómetros por hora (km/h)
Velocidad Promedio	La velocidad media a la que se desplaza el bus durante un intervalo de tiempo específico.	Kilómetros por hora (km/h)

Fuente: TMPSA

4. Fase I: rutas representativas del sistema

La Fase 1 del Plan Piloto de Bus a Gas representa un hito significativo en la implementación y evaluación de esta nueva tecnología. Durante esta etapa, se han seleccionado y analizado diversas rutas que sirven como representación clave de las diferentes rutas que tenemos actualmente en la red de transporte: troncales, complementarias y corredores.

Inicialmente el plan tenía una duración de 10 meses, con fecha de vencimiento el 28 de agosto de 2023. Sin embargo, retrasos con la obtención de documentación legal y autorizaciones de la estación de carga produjeron que la implementación del Plan Piloto iniciara el 22 de mayo de 2023, con el uso de los 2 buses a GNC en las 12 rutas del sistema MiBus seleccionadas.

Debido a que se habría programado que cada ruta fuese operada por 2 semanas (10 días) con los 2 buses a GNC, hasta el 25 de agosto de 2023 se había completado hasta la ruta No.7. Para poder completar las 5 rutas faltantes, se continuó la operación de los buses hasta el 26 de noviembre de 2023, considerando que los seguros solicitados se encontraban vigentes.

A través de un análisis detallado, se busca comprender el impacto de la transición a buses a gas en términos de consumo de combustible, demanda de usuarios, y rendimiento operativo. La recopilación de información sobre kilómetros recorridos, consumo de gas, y la demanda de usuarios en diferentes periodos del día permitirá obtener una visión integral de cómo estas rutas contribuyen al éxito y sostenibilidad del plan piloto.

4.1 Demanda

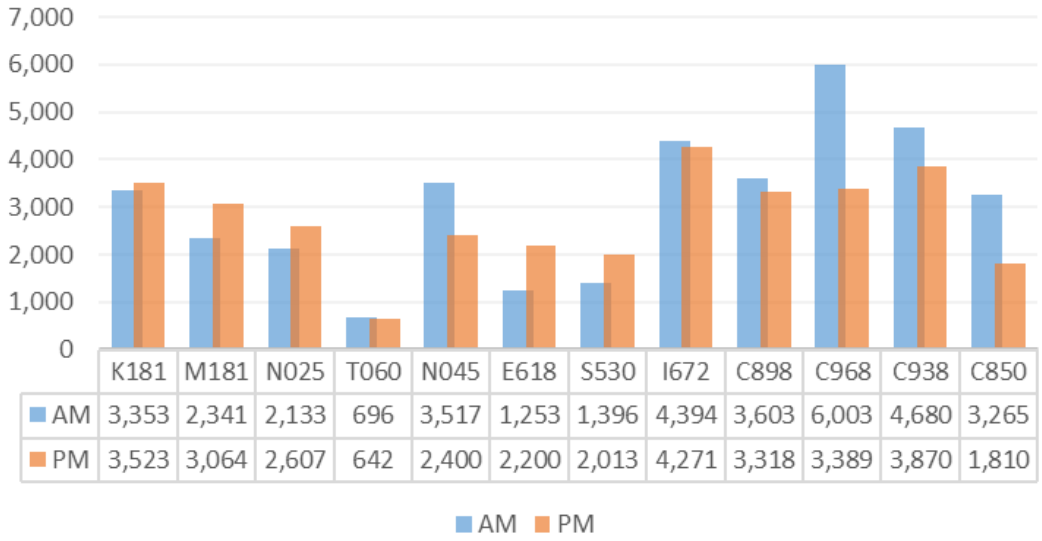
La evaluación de la demanda de los buses a gas proporciona un análisis detallado de la respuesta de los usuarios ante la implementación de esta nueva tecnología en las diversas rutas de operación. Se observa una variabilidad significativa en la demanda entre las rutas, algunas mostrando una preferencia más pronunciada y, a su vez, sorprendiendo con la notable cantidad de usuarios movilizados. Además, se llevó a cabo un análisis detallado según los turnos (AM y PM), siendo esta una variable la que desempeñó un papel fundamental en la evaluación del consumo y rendimiento de los buses. En este contexto, presentamos los resultados obtenidos durante la Fase I del plan piloto:

Tabla 5: Demanda de usuarios por turno

Ruta	AM	PM
K181	3,353	3,523
M181	2,341	3,064
N025	2,133	2,607
T060	696	642
N045	3,517	2,400
E618	1,253	2,200
S530	1,396	2,013
I672	4,394	4,271
C898	3,603	3,318
C968	6,003	3,389
C938	4,680	3,870
C850	3,265	1,810

Fuente: TMPSA

Gráfica 1: Demanda de usuarios por turno y ruta (Fase 1)



Fuente: TMPSA

Se movilizaron casi 70,000 usuarios durante la Fase I. Es evidente que las rutas complementarias tuvieron muy buena acogida, en comparación con las rutas de corredor. Destacando la ruta C968 con 6,000 usuarios en el turno AM. Por otro lado, algunas rutas, como la K181 y M181, presentaron una demanda más baja de lo esperado al ser rutas tipo troncal, atribuible a la operación con un solo bus en ciertas ocasiones debido a las fallas técnicas y que algunos turnos no se completaron.

La demanda en este plan piloto se pudo ver influenciada por varios factores:

1. *La incorporación de nuevos buses:* al tratarse de una nueva tecnología, puede ofrecer comodidades distintas, lo cual podría hacer que el servicio resulte más atractivo para los usuarios. Este factor podría despertar la curiosidad de aquellos pasajeros que buscan experiencias de viaje positivas, especialmente con asientos más cómodos y un sistema de aire acondicionado eficiente, características que podrían aumentar su interés.

2. *Eficiencia energética y la sostenibilidad:* el uso de tecnologías más limpias y eficientes puede que haya captado la atención de usuarios preocupados por el medio ambiente y la sostenibilidad. La contribución a la reducción de emisiones contaminantes y el uso de fuentes de energía más amigables con el entorno podrían ser puntos destacados para atraer a este segmento de usuarios.
3. *Mejoras en la frecuencia y rendimiento:* la asociación de los buses nuevos con un mejor rendimiento y menor probabilidad de averías puede generar confianza en la fiabilidad del servicio comparado con los buses de uso regular.
4. *Marketing y promoción:* La introducción de los buses a gas ha sido respaldada por campañas de promoción en diversos medios de comunicación. La creación de conciencia pública sobre la disponibilidad de estos servicios mejorados puede desencadenar un aumento en la demanda, ya que los usuarios se vuelven conscientes de las mejoras y comodidades ofrecidas por los nuevos buses.

4.2 Troncales

Como hemos señalado anteriormente, las rutas troncales son aquellas que atraviesan dos zonas de la red de transporte. A continuación, se presenta el análisis de cada una de las rutas troncales que formaron parte de la Fase I del plan piloto.

- **Ruta K181**: Esta ruta realiza principalmente su recorrido a lo largo de la vía Transístmica, iniciando y finalizando sus operaciones en el patio Ojo de Agua. Su operación comercial comienza en la Zona Paga Los Andes y termina en Albrook en ambas direcciones. Esta ruta se caracteriza por la disminución de velocidades en el periodo PM.

Tabla 6: Resultados de ruta K181

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	106	86
Demanda promedio de usuarios	237	246
Consumo promedio diario de gas (kg)	41	47
Rendimiento promedio (km/kg)	**2.63**	**1.96**
Rendimiento general (km/kg)	2.30	

Fuente: TMPSA

Considerando estos datos, se puede concluir que, dado que las demandas en los periodos PM son mayores que las del periodo AM y teniendo en cuenta la disminución de velocidades, los consumos en el periodo PM son ligeramente superiores.

- **Ruta M181:** Esta ruta realiza principalmente su recorrido por la vía Ricardo J. Alfaro, iniciando y finalizando sus operaciones en el patio Ojo de Agua. Su operación comercial comienza en la Zona Paga Los Andes y concluye en Albrook en ambos sentidos.

Tabla 7: Resultados de ruta M181

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	96	96
Demanda promedio de usuarios	182	284
Consumo promedio diario de gas (kg)	30	55
Rendimiento promedio (km/kg)	**3.19**	**1.73**
Rendimiento general (km/kg)	2.46	

Fuente: TMPSA

Considerando estos datos, se puede concluir que debido a que las demandas en los periodos PM son mayores que las del periodo AM, y sumando la disminución de velocidades, los consumos en el periodo PM resultan ser mayores.

- **Ruta I672:** Esta ruta inicia su operación en la estación del metro Cincuentenario y finaliza en la estación 5 de Mayo.

Tabla 8: Resultados de ruta I672

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	104	80
Demanda promedio de usuarios	244	225
Consumo promedio diario de gas (kg)	65	40
Rendimiento promedio (km/kg)	**1.54**	**2.33**
Rendimiento general (km/kg)	1.94	

Fuente: TMPSA

Se puede inferir que la demanda en el periodo AM, al ser mayor que en el periodo PM, y considerando que los kilómetros recorridos en el periodo AM son también mayores, resulta en consumos más elevados.

4.3 Complementarias

Las rutas complementarias son aquellas que realizan su recorrido en una sola zona de la red de transporte (Norte, Centro y Este). A continuación, se presenta el análisis de cada una de las rutas complementarias que formaron parte de la Fase I del plan piloto.

- **Ruta N025:** Perteneciente a la zona Norte. Esta ruta realiza su recorrido principal por la vía Transístmica, iniciando y concluyendo sus operaciones en el patio Ojo de Agua. Su servicio comercial comienza en la Zona Paga Los Andes y finaliza en la parada Chagres, ubicada en Chilibre, en ambos sentidos.

Tabla 9: Resultados de ruta N025

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	86	115
Demanda promedio de usuarios	133	154
Consumo promedio diario de gas (kg)	37	57
Rendimiento promedio (km/kg)	**2.58**	**2.43**
Rendimiento general (km/kg)	2.50	

Fuente: TMPSA

Considerando estos datos, se puede concluir que las demandas en los periodos PM son mayores que las demandas en el periodo AM, y a esto se suma que los recorridos en el periodo PM son mayores, lo que resulta en consumos más altos.

- **Ruta C898:** Esta ruta, complementaria, opera en el centro de la ciudad, realizando un recorrido circular que inicia y termina en la parada Patilla-I.

Tabla 10: Resultados de ruta C898

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	99	91
Demanda promedio de usuarios	180	166

Variable	Turno AM	Turno PM
Consumo promedio diario de gas (kg)	69	37
Rendimiento promedio (km/kg)	**1.45**	**2.72**
Rendimiento general (km/kg)	2.09	

Fuente: TMPSA

Se puede concluir que los consumos en el periodo de la mañana (AM) son mayores debido al mayor recorrido realizado y a la mayor demanda de usuarios.

- **Ruta C968:** Opera en el centro de la ciudad, realizando un recorrido circular que inicia y termina en la parada Vía Argentina.

Tabla 11: Resultados de ruta C968

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	84	62
Demanda promedio de usuarios	300	196
Consumo promedio diario de gas (kg)	51	34
Rendimiento promedio (km/kg)	**1.80**	**2.17**
Rendimiento general (km/kg)	1.99	

Fuente: TMPSA

Se puede concluir que los consumos en el periodo de la mañana (AM) son mayores debido al mayor recorrido realizado y a la mayor demanda de usuarios.

- **Ruta C938:** Opera en el centro de la ciudad, realizando un recorrido circular que inicia y termina en la Zona Paga 5 de mayo

Tabla 12: Resultados de ruta C938

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	89	89
Demanda promedio de usuarios	234	215
Consumo promedio diario de gas (kg)	63	51
Rendimiento promedio (km/kg)	**1.44**	**1.81**
Rendimiento general (km/kg)	1.62	

Fuente: TMPSA

En el periodo de la mañana, esta ruta experimenta un mayor consumo debido a las velocidades de viaje más lentas en comparación con el turno de la tarde. Además, se suma a esto que la demanda de usuarios es mayor en el periodo de la mañana que en el periodo de la tarde. Por ende, los consumos en la mañana son más altos y el rendimiento más bajo.

- **Ruta C850:** La ruta C850 es una ruta que opera en la zona de Amador, su recorrido comercial inicia y finaliza en la parada de Metro Albrook.

Tabla 13: Resultados de ruta C850

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	158	119
Demanda promedio de usuarios	159	84
Consumo promedio diario de gas (kg)	67	43
Rendimiento promedio (km/kg)	**2.18**	**2.65**

Variable	Turno AM	Turno PM
Rendimiento general (km/kg)	2.42	

Fuente: TMPSA

Se observa un incremento en el consumo durante el Turno AM, posiblemente atribuible a una mayor distancia recorrida y al transporte de un mayor número de usuarios en ese período.

- **Ruta E618:** ruta circular que opera en el Este de la ciudad en el sector de Brisas del Golf con inicio y fin en la Zona Paga Cerro Viento. .

Tabla 14: Resultados de ruta E618

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	117	108
Demanda promedio de usuarios	63	122
Consumo promedio diario de gas (kg)	58	40
Rendimiento promedio (km/kg)	**2.10**	**2.56**
Rendimiento general (km/kg)	2.33	

Fuente: TMPSA

Al hacer la comparación de variables, no se encontró ninguna correlación entre ellas.

4.4 Corredores

Las rutas de corredor utilizan los corredores de pago para hacer una conexión más rápida entre 2 zonas. A continuación, se presenta el análisis de cada una de las rutas corredor que formaron parte de la Fase I del plan piloto.

- **Ruta S530:** ruta que utiliza el corredor Sur para conectar la Zona Paga Metro Pedregal con la Zona Paga 5 de mayo en ambos sentidos. Esta ruta se evaluó una segunda vez a finales del mes de noviembre para verificar si el comportamiento era el mismo.

Tabla 15: Resultados de ruta S530

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	128 km	109 km
Demanda promedio de usuarios	58 usuarios	84 usuarios
Consumo promedio diario de gas (kg)	60 kg	48 kg
Rendimiento promedio (km/kg)	2.26 km/kg	2.54 km/kg
Rendimiento general (km/kg)	2.40 km/kg	

Fuente: TMPSA

Luego de la segunda evaluación, se observó que la demanda en el Turno PM es mayor que en el Turno AM en ambas ocasiones, así como la Distancia promedio diaria. Sin embargo, se observan variaciones en el consumo y el rendimiento. En la segunda evaluación, parece que a medida que aumenta la demanda de usuarios, el rendimiento tiende a disminuir, pero este patrón no se replicó en la primera evaluación. Por tanto, los resultados son muy variables y no existe una correlación marcada entre ellas.

5. Fase II: extensión del plan piloto

Como los resultados de las 12 rutas en Fase 1 no mostraron valores de rendimiento que fuesen consistentes, y que existían limitaciones en la cantidad de buses diésel disponibles para atender la demanda de usuarios.

Para respaldar la extensión del plan piloto, resulta imperativo destacar que ha representado un fortalecimiento sustancial para la operación vigente, en vista de la reducción de la oferta disponible para atender ciertas rutas.

Se realizaron conversaciones con los departamentos de Planeación, Programación, Operaciones y AES Panamá, y no se identificó ningún obstáculo para seguir adelante con las pruebas de los buses en rutas troncales y complementarias, y así poder obtener información adicional y datos para complementar las mediciones que hemos estado llevando a cabo.

Esta fase operó del 4 de diciembre de 2023 al 12 de abril del 2024, es decir, durante 4 meses. Se contemplaron 6 rutas: 4 rutas que ya se habían operado en la Fase 1 (M181, K181, C850, N025) y 2 nuevas rutas complementarias, C944 Metro San Miguelito-Monte Oscuro-Vía Porras y N105 Metro Los Andes-Directo-Santa Librada.

Para esta etapa, se asignaron rutas específicas a cada bus. Algunas de estas rutas operaban en ambos turnos (mañana y tarde), mientras que otras lo hacían solo en un turno. La ruta C850 fue programada exclusivamente para operar los fines de semana, ya que es en esos días cuando la mayoría de los usuarios se trasladan a Amador.

Otro aspecto importante a considerar es que estas rutas están operando en una época no escolar. Por lo tanto, es probable que la demanda y los rendimientos sean distintos a los de una época regular, lo que puede tener un impacto significativo en los resultados analizados.

5.1 Demanda

En la Fase 2, hubo una demanda total de 59,495 pasajeros distribuidos en las 6 rutas operadas. Destaca la ruta M181, que registró la mayor demanda con 34,097 usuarios movilizados.

Sin embargo, al analizar la gráfica, se observa que la ruta K181, siendo una ruta troncal con alta demanda en condiciones normales, no alcanzó los resultados esperados. Esto se debió a que esta ruta estuvo asignada al bus EH3934 según la programación, el cual no logró cumplir con el 50% de los turnos asignados, afectando su desempeño. Lo mismo sucedió con la ruta N025, que operó un número reducido de turnos.

En cuanto a la operación de los buses, durante la Fase 2 el bus EH3933 cumplió con el 90% de los turnos asignados, mientras que el bus EH3934 solo alcanzó el 50%, debido a diversas incidencias que se presentaron durante ese período.

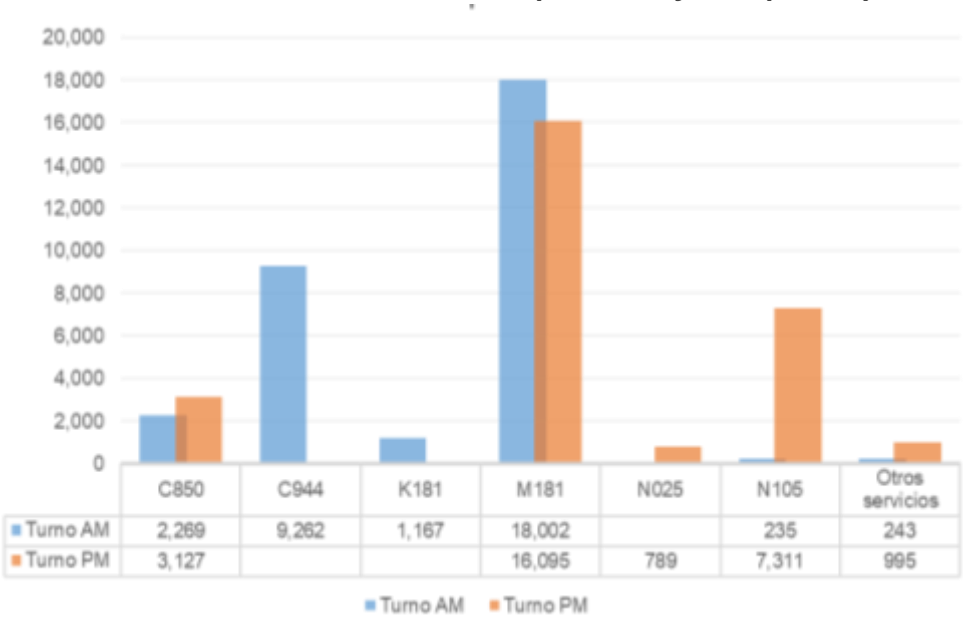
Tabla 16: Demanda de usuarios por turno

Ruta	Turno AM	Turno PM
C850	2,269	3,127
C944	9,262	
K181	1,167	
M181	18,002	16,095

N025		789
N105	235	7,311
Otros servicios	243	995

Fuente: TMPSA

Gráfica 2: Demanda de usuarios por turno y ruta (Fase 2)



Fuente: TMPSA

5.2 Troncales

En esta Fase, se operaron las rutas troncales M181 y K181 que ya habían sido evaluadas previamente. Por tanto, se encuentra disponible la oportunidad de realizar una comparación directa entre su desempeño en la Fase I y la Fase II.

- **Ruta M181:** Se pudo comparar los resultados de esta ruta con los de la Fase 1 ya que operó en ambos turnos y en una mayor cantidad de turnos en la Fase 2 (134 frente a los 40 de la Fase 1). Esto proporciona una mayor cantidad de datos para el análisis.

Tabla 17: Resultados de ruta M181

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	98	90
Demanda promedio de usuarios	237	278
Consumo promedio diario de gas (kg)	64.58	47.57
Rendimiento promedio (km/kg)	1.57	1.61
Rendimiento general (km/kg)	1.59	

Fuente: TMPSA

En el turno PM, el rendimiento promedio es consistente con el de la Fase 1. Sin embargo, en el turno AM se revela un nuevo valor, ya que el rendimiento promedio de la Fase 1 (3.19 km/kg) fue un resultado bastante atípico.

- **Ruta K181**: Esta ruta no pudo ser comparada con los resultados de la Fase 1 debido a las numerosas incidencias que afectaron al bus EH3934, al cual esta ruta había sido asignada. Como resultado, el bus no tuvo la cantidad suficiente de turnos operativos para realizar un análisis comparativo, ya que solo operó 6 turnos entre la mañana y la tarde. Como se mencionó anteriormente, la demanda también fue menor de lo esperado, lo que limitó aún más la capacidad de evaluar su desempeño en comparación con la Fase 1.

5.3 Complementarias

- **Ruta C850:** Al igual que la ruta M181, esta ruta operó más turnos en la Fase 2 que en la Fase 1. En la segunda fase, realizó 36 turnos, mientras que en la fase anterior solo completó 26 turnos, es decir, 10 turnos más que en la fase anterior. A pesar de esto, se mantuvo un comportamiento similar en cuanto al rendimiento, especialmente en el turno PM, donde los resultados fueron bastante consistentes.

Tabla 18: Resultados de ruta C850

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	129	116
Demanda promedio de usuarios	119	184
Consumo promedio diario de gas (kg)	57.40	45.31
Rendimiento promedio (km/kg)	1.76	2.82
Rendimiento general (km/kg)	2.02	

Fuente: TMPSA

- **Ruta N025:** Al igual que la ruta K181, esta ruta estaba asignada al bus EH3934 y solo operó 7 turnos, por lo que la cantidad de datos no es significativa para realizar una evaluación y comparación de rendimientos con los obtenidos en la Fase 1.

- **Ruta C944:** El rendimiento promedio de la ruta C944, que solo operó en el turno AM, es consistente con el rendimiento promedio de las rutas complementarias del centro realizadas en la Fase 1 (C898=1.45 km/kg y la C968=1.68 km/kg).

Tabla 19: Resultados de ruta C944

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	91	
Demanda promedio de usuarios	165	
Consumo promedio diario de gas (kg)	64.21	
Rendimiento promedio (km/kg)	1.56	
Rendimiento general (km/kg)	1.56	

Fuente: TMPSA

- **Ruta N105:** El rendimiento promedio de la ruta N105 no es directamente comparable con la ruta complementaria de la Fase 1 (N025), ya que pertenecen a segmentos diferentes del Norte Corto y Norte Largo, respectivamente. Sin embargo, los resultados de la ruta N105 se encuentran dentro de los rangos de rendimientos observados en la Fase 1 para las rutas en general.

Tabla 20: Resultados de ruta N105

Variable	Turno AM	Turno PM
Distancia promedio diaria (km)	101	82
Demanda promedio de usuarios	235	106
Consumo promedio diario de gas (kg)	54.38	49.64
Rendimiento promedio (km/kg)	1.86	1.65
Rendimiento general (km/kg)	1.66	

Fuente: TMPSA

6. Registro de novedades

Durante la prueba piloto se realizó un registro de las novedades presentadas en cada uno de los buses. En algunos casos estas novedades representaron una afectación parcial o totalmente de los recorridos programados para los buses a gas.

Entre las incidencias más comunes podemos mencionar:

- **Fallo en el sistema de rampas y los sensores de puertas:** recordando que ambos sistemas fueron adaptados especialmente para estos buses.

- **Problemas en los sistemas eléctricos:** esto provocaba luces quemadas y descarga en la batería del bus. Esto debido a que los validadores estaban conectados directamente con la batería del bus.

A continuación, se detallan las afectaciones presentadas por tipo en cada una de las fases del piloto:

6.1 Novedades en fase 1

Durante la fase 1 el bus con placa **EH3933** operó el **81%** de los recorridos, mientras que el bus **EH3934** operó el **91%** de los recorridos programados.

Para esta fase se registraron un total de **74** novedades que afectaron de manera **parcial o total** los recorridos programados.

6.2 Novedades en fase 2

Durante la Fase 2 el bus **EH3933** operar el **90%** de los recorridos y el bus **EH3934** operó el **50%.**

La principal causa de inoperatividad fue la falla en el rutero en el **bus EH3934.** En menor escala que en la **Fase 1,** se presentaron fallas en los sistemas eléctricos. Para este punto se solicitó a **SONDA** cambiar los validadores a una conexión **separada** de la batería del bus.

7. Estudios complementarios

La prueba de emisión de gases y ruido en los buses a gas es un procedimiento fundamental para evaluar el impacto ambiental y acústico del vehículo. Aquí se describen los pasos y requisitos básicos para llevar a cabo dichas pruebas:

7.1 Prueba de emisión de gases

Los requisitos para llevar a cabo la prueba de emisión de gases de los buses a gas y realizar la comparación con el autobús diésel son los siguientes:

Locación: Taller Hyundai Cincuentenario, San Miguelito, Panamá.

Las mediciones se realizarán de acuerdo con el procedimiento que sigue:

- **Preparación del vehículo: Tiempo estimado: 1hora x vehículo.**
  1. Obtener y registrar los datos del vehículo. – Marca, Modelo, Año fabricación, n° motor, n° chasis, odómetro, diámetro caño escape gases, capacidad pasajeros, potencia del motor.
  2. Poner en marcha el motor y mantenerlo en condición de ralentí y verificar cuando la temperatura alcanza las condiciones de operación continua (medición con sonda sobre el aceite del motor del equipo medidor de gases o cámara termográfica).
  3. Verificar que el control manual de choque, las luces y accesorios, así como el sistema de acondicionamiento de aire estén inactivos.
  4. En el caso de transmisión manual, colocar en neutral y en el caso de transmisión automática colocarlo en modo Parking o Neutral.
  5. Realizar una inspección para asegurar que no existan fugas en el tubo de escape, silenciador, tapa de llenado del tanque, tapa del aceite del motor y en las uniones del múltiple de escape o en alguna junta producto de una condición de rediseño del escape.

- **Medición de las Emisiones del Vehículo: Tiempo estimado: 2hora x vehículo.**
  La medición de gases contempla los siguientes parámetros: CO2, CO, NO, NO2, SO2, O2, porcentaje de Hidrocarburos no quemados (HC), opacidad y Material Particulado (Partículas Totales, MP2.5 y MP10) medidas en escala hartridge convertidas a mg/m3.

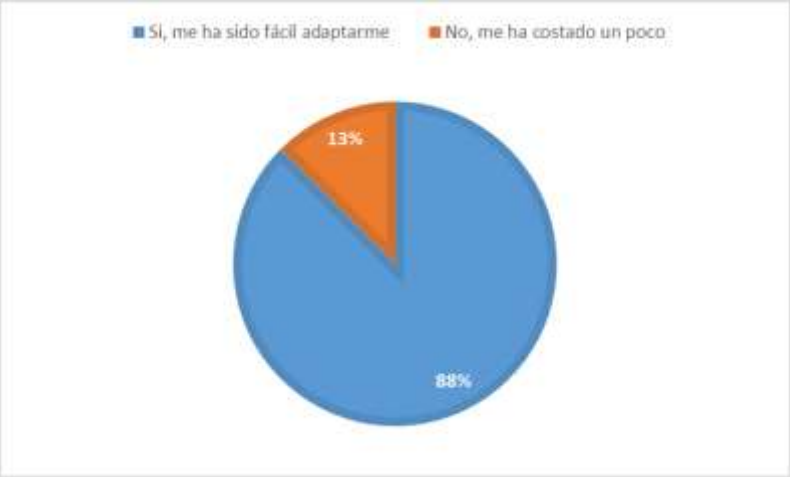
  Adicionalmente se evaluará la velocidad de los gases en el escape del motor.
  1. Se instalan los medidores: Detector infrarrojo no dispersivo y opacidad con su sonda sobre el caño de escape del vehículo.
  2. Las mediciones se realizan con la palanca en condición neutral y con la temperatura del motor estabilizada y operando en ralentí.
  3. Se presionará el acelerador hasta máxima potencia, manteniendo la velocidad de giro del motor en 3500 RPM no más de diez segundos.
  4. Se libera el acelerador y se permite al motor volver a la condición de ralentí.
  5. Se repite el procedimiento hasta garantizar la repetibilidad del ensayo.
  6. Se establece el valor promedio obtenido y se compara con la normativa. Decreto Ejecutivo Nº 38, 3 de junio de 2009.
  7. Se procede a construir la curva de correlación RPM vs Concentración Gases. Las mediciones se realizarán a diferentes revoluciones por minuto (RPM) – registradas por medio Scanner de Diagnostico o el mismo equipo analizador de Gases - y modo ralentí (1 medición) y en aceleración libre (6 mediciones válidas a repetibilidad) no más de diez segundos.
  8. Se repite el procedimiento hasta garantizar la repetibilidad del ensayo.

- **Tiempo Máximo por vehículo (ralentí y aceleración) durante todo el protocolo: 30min.**

7.2 Encuesta a operadores de MiBus

Para comparar la experiencia de conducir un bus diésel y uno a gas, se realizó una encuesta a los operadores de estos 2 buses, que abordan diferentes aspectos relacionados con su trabajo diario y su percepción del rendimiento de ambos tipos de vehículos. Se encuestaron a 16 operadores y estas fueron las preguntas y respuestas obtenidas:

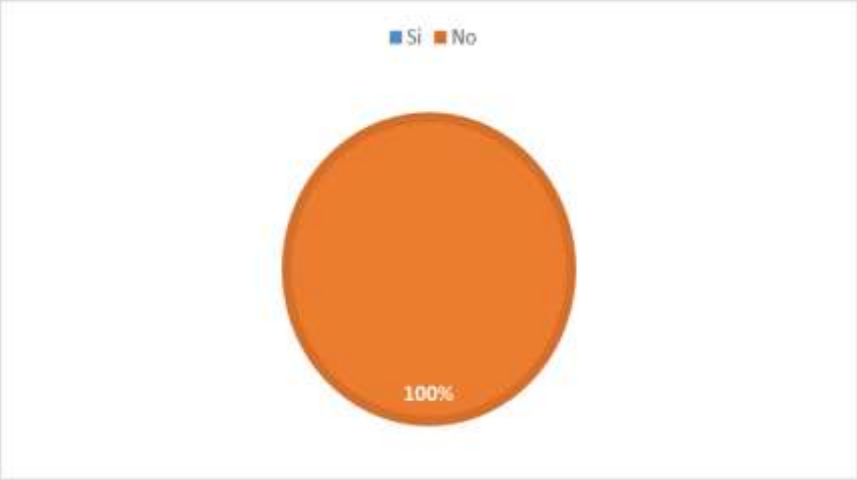
1. ¿Te ha resultado fácil adaptarte a la conducción del bus a gas en comparación con lo que estabas acostumbrado con el Gran Viale?
    - Si, me ha sido fácil adaptarme
    - No, me ha costado un poco



Fuente: TMPSA

Luego de las diversas capacitaciones, a la gran mayoría le ha sido sencillo adaptarse a esta tipología de buses.

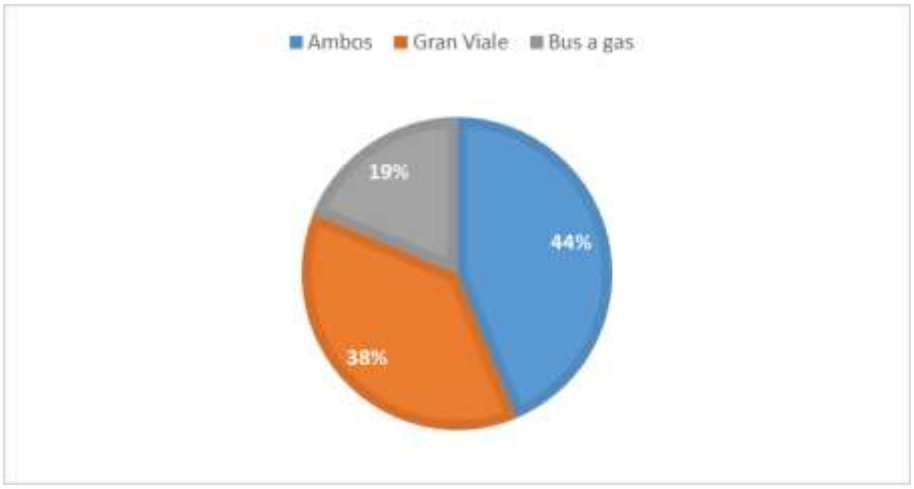
2. ¿Consideras que la conducción de buses con transmisión manual es más cómoda en comparación con buses de transmisión automática?
    - Si
    - No



Fuente: TMPSA

Claramente, se prefiere utilizar buses de transmisión automática.

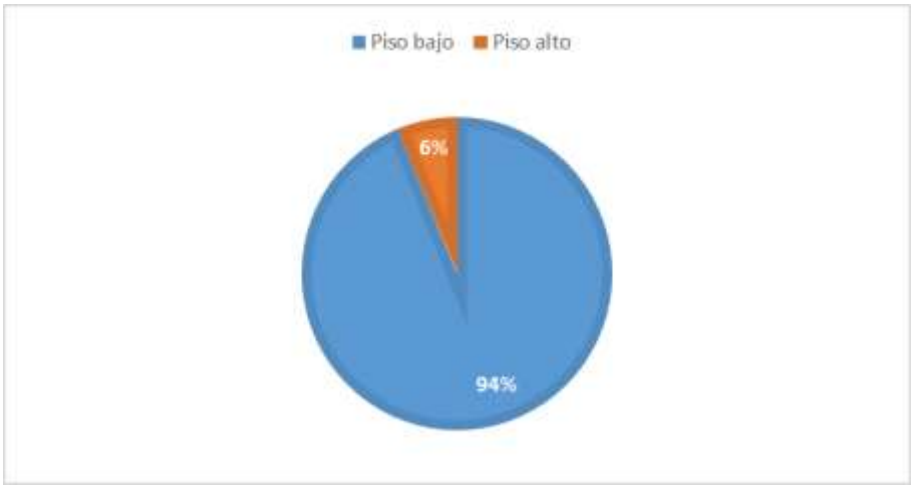
3. Al conducir, ¿con qué, bus consideras que tiene mayor comodidad en el habitáculo del operador?
    - Bus a gas
    - Gran Viale
    - Ambos



Fuente: TMPSA

En general, se puede decir que ambos buses tienen buen habitáculo para la comodidad del operador.

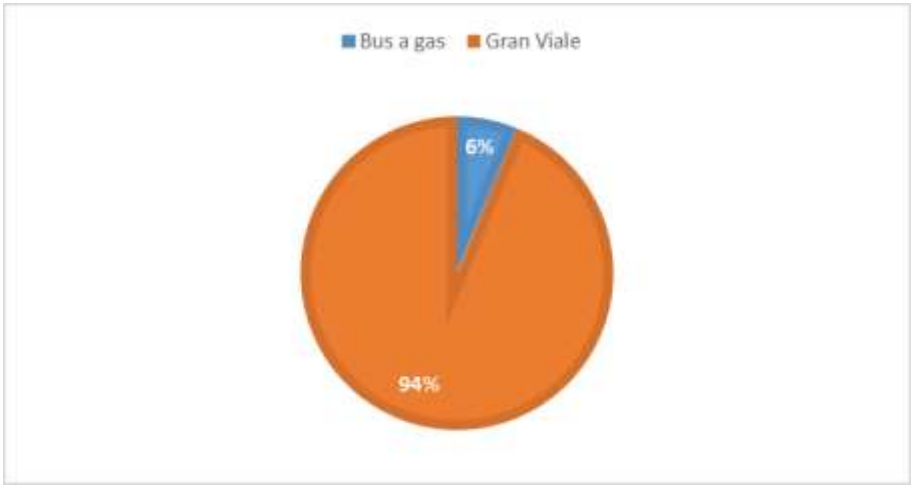
4. ¿Prefiere usted los buses con diseño de piso alto o bajo en términos de comodidad para usted y los usuarios?
    - Piso bajo
    - Piso alto



Fuente: TMPSA

Para los usuarios es mejor subir y descender del bus con una tipología de piso bajo disminuyendo así el riesgo de caída.

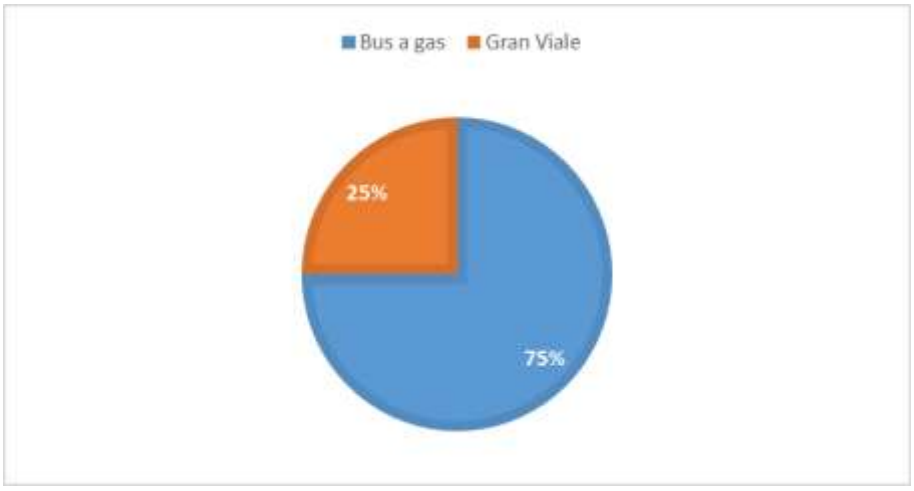
5. De acuerdo a su experiencia o conocimiento, ¿qué bus usted considera que presenta más eficiencia en el sistema de frenado.
   - Bus a gas
   - Gran Viale



Fuente: TMPSA

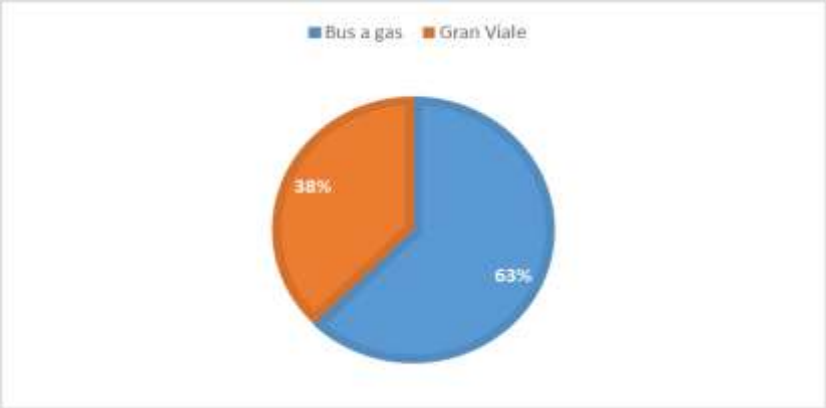
A pesar del tiempo de vida de los buses gran Viale, los operadores consideran que tienen mejor sistema de frenado que el bus a gas.

6. ¿Cuál de los dos sistemas de puertas considera que tiene un mejor rendimiento?
   - Bus a gas
   - Gran Viale



Fuente: TMPSA

7. ¿Cuáles espejos crees que son más adecuados para una conducción óptima?
   - Bus a gas
   - Gran Viale



Fuente: TMPSA

8. ¿Opina que una rampa eléctrica es más conveniente tanto para el usuario como para el operador en comparación con otros sistemas? Por favor, explique su respuesta.
    - Respuesta abierta

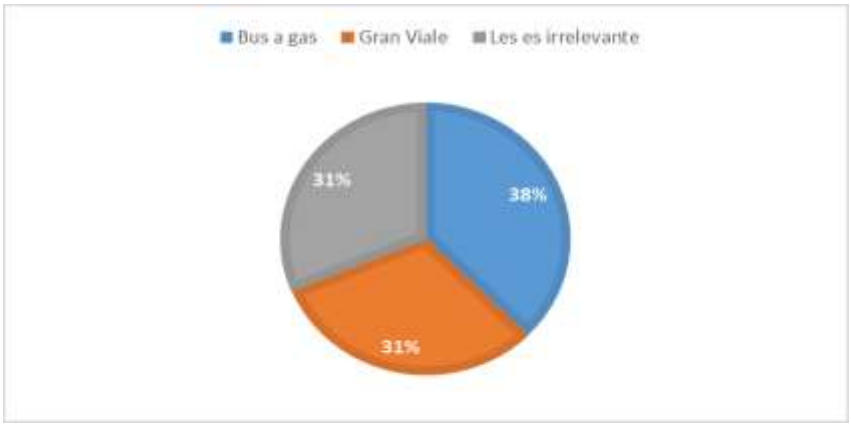
Destacamos las siguientes opiniones:
A favor:

- Si, es más conveniente porque no tengo que hacer fuerzas.
- La rampa eléctrica es más cómoda y brinda más seguridad a la hora de la operación.
- Porque no hay que tocar al discapacitado con la rampa eléctrica. Es mejor para el usuario siempre y cuando se le de mantenimiento.

En contra:

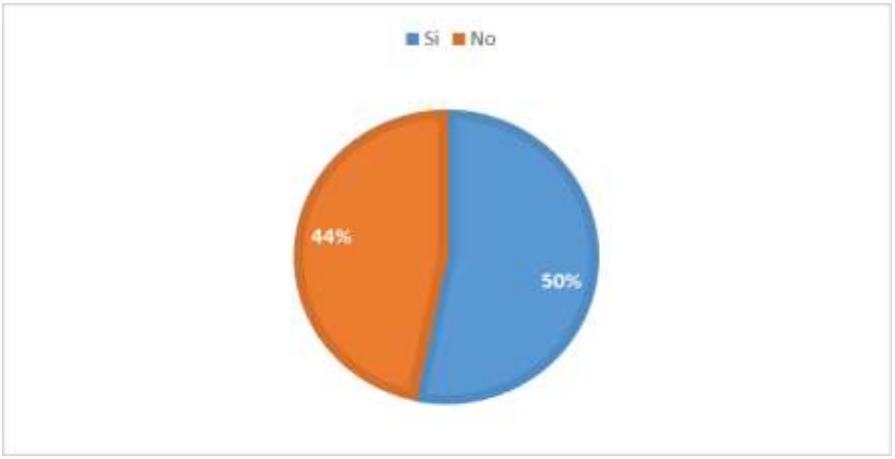
- Nunca, los manuales son mejores. La electrónica es muy incómoda y peligrosa…
- La manual tiene menos posibilidad de que falle al momento de prestar el servicio a las personas con discapacidad. La eléctrica puede fallar por problema eléctrico
- Las eléctricas a veces se traban y las manuales no se traban.

9. ¿Cuál de los buses, usted cree que tienen mayor preferencia nuestros usuarios?
    - Les es irrelevante
    - Bus a gas
    - Gran Viale



Fuente: TMPSA

10. En algunos de los trayectos realizados con el bus a gas, ¿tuviste la experiencia con algún tipo de usuario con discapacidad visual?
    - Si
    - No



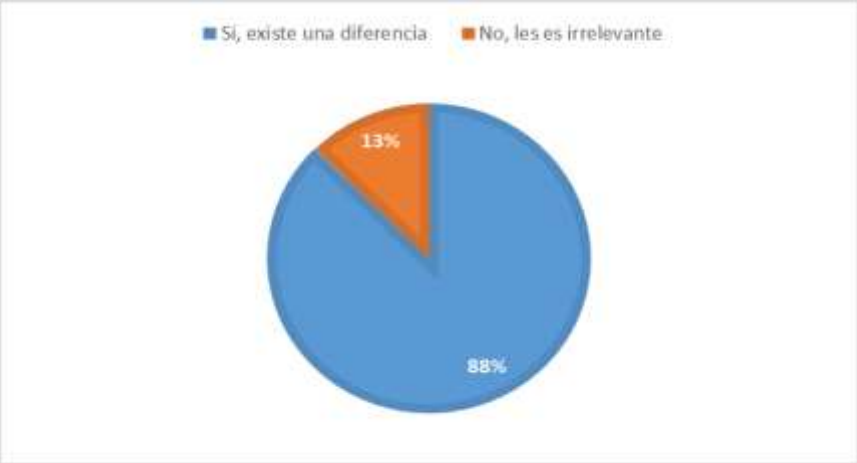
Fuente: TMPSA

11. Si tu respuesta es Sí, cuéntanos la experiencia y la accesibilidad del bus a gas con estos tipos de usuarios
    - Respuesta abierta

Destacamos las siguientes opiniones:

- Para los discapacitados visuales es más difícil porque tienen que subir las escaleras y el gran viale es un solo escalón.
- Hay que indicarle los puestos porque este bus no tiene asientos marcados para los discapacitados.
- Tienes que ayudarlo en todo momento tanto para subir como para bajar.
- Se le explicó antes de subir qué el bus tiene escalón y se adaptan rápido.
- Es más incómodo para lo q es la escalera y lo estrecho para ayudarlos

12. ¿Crees que la elección del tipo de bus impacta la satisfacción de los pasajeros?
    - Si, existe una diferencia.
    - No, les es irrelevante.



Fuente: TMPSA

13. ¿Posees alguna anécdota de viaje que desees compartir en relación con tu experiencia en un autobús a gas?
    - Respuesta abierta

Destacamos las siguientes opiniones:

- "Todo lo nuevo es bueno, lo malo sería que no se le diera mantenimiento, pero ha sido una buena experiencia".
- "Estos buses de gas no son rentables porque consumen demasiado gas y no es rentable para la empresa".
- "Quejas por pocos asientos y buen aire acondicionado".
- "Los usuarios van más cómodos y en cuanto al sistema de aire acondicionado disfrutan más de su servicio".
- "Experiencia igual que el Gran Viale".

7.3 Estimación de emisiones GNC y diésel

Estudio realizado por la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) denominado "Construcción de un Modelo de Estimación de Emisiones aplicable a Vehículos de Transporte Urbano en Ciudad de Panamá" con el objetivo de evaluar las emisiones de vehículos que operan a gas Natural para compararlas con las emitidas por los vehículos que operan con combustible diésel utilizados actualmente en el transporte público colectivo de rutas del sistema MiBus.

La evaluación se realizó por medio de la construcción de modelos matemáticos que correlacionen las emisiones/régimen del motor/consumo específico basados en el análisis de data de campo y las especificaciones de los motores.

La UTP construyó un modelo matemático que permitiera estimar las emisiones de vehículos GNC y diésel, basado en las especificaciones técnicas del motor, las condiciones operativas, características químicas de ambos combustibles y las condiciones ambientales (humedad, temperatura, superficie de rodadura, etc.)

Como insumos se usaron los datos en campo de GPS, medición de emisiones realizadas a ambos buses y pruebas de recorrido en la Calzada de Amador; con esto se crearon los perfiles de la ruta y el perfil de conducción.

Consideraciones del modelo: bus siempre va a su máxima capacidad, analizando el recorrido del bus en ruta comercial y vacíos. Se debe considerar que todos los vacíos se realizaron desde el COE Ojo de Agua y en el día a día operan desde otros COE.

En función del consumo de combustible se estimaron las emisiones, obteniéndose los siguientes resultados:

- Al operar con combustible GNC las emisiones en toneladas de CO2 son inferiores a las del vehículo que opera con diésel en un rango de 21.18% hasta 26.71% con un promedio de las rutas de 23.62%.

- En el caso de CO2 equivalente (equivalencia de otros gases de efecto invernadero metano, óxido nitroso, etc.) son inferiores que las correspondientes al vehículo que opera con combustible Diesel en un porcentaje en un rango que va de 15.76% hasta 21.05% y con un promedio de 18.08%.

De estas pruebas, TMPSA solicitó aclaración por parte de la UTP de los siguientes puntos:

- Aclarar que los datos de los recorridos de las rutas incluyen: el recorrido comercial y el movimiento operativo. Es importante debido a que en algunos casos se hacían vacíos desde el patio Ojo de Agua para ciertas rutas, que no corresponden a vacíos que realizaría de manera regular en la programación.
- Indicar de donde se obtuvo el dato de altura.
- Indicar cuál fue el rendimiento que se utilizó para los buses diésel.

8. Conclusiones

Como resultado del plan piloto realizado por TMPSA con el apoyo de CLM, se pueden emitir las siguientes conclusiones.

1. La implementación de la operación de dos (2) buses a gas natural vehicular comprendió dos (2) fases que movilizaron unos 129,245 pasajeros:

    - Fase 1 del 22 de mayo al 1 de diciembre del 2023 (6 meses): los buses fueron utilizados en 12 rutas (durante 2 semanas) en las cuales se logró movilizar un total de 69,750 pasajeros.
    - Fase 2 del 04 de diciembre 2023 al 12 de abril del 2024 (4 meses): en esta segunda fase se brindó refuerzo a 6 rutas del sistema en las cuales se logró movilizar un total de 59,495 pasajeros.

2. En específico, el monitoreo del plan piloto permitió recopilar las siguientes variables operativas:
    - Autonomía
    - Carga de gas

- Consumo
- Demanda de usuarios
- Detenciones
- Kilómetros recorridos
- Rendimiento del bus
- Rendimiento de operadores
- Tiempo detenido y tiempo en movimiento
- Velocidad máxima y velocidad p0romedio

3. Debido a la variabilidad de los resultados obtenidos, se recomienda establecer los rendimientos específicos (km por kilogramo de gas) por tipo de ruta (troncales, complementarias por sector y corredores por trayecto), y tomando en cuenta la zona y el trayecto. Debido a la variabilidad de los datos es recomendable asignar rendimientos específicos por tipo de ruta (troncales, complementarias por sector y corredores por trayecto), tomando en cuenta la zona y el trayecto.

Tabla 21: Rendimientos obtenidos en Fase I y Fase II por turno y tipo de ruta

Fase 1	Tipo de ruta	Rendimiento (km/kg)	
		AM	PM
K181	Troncal	**2.63**	1.96
M181	Troncal	3.19	**1.73**
I672	Troncal	**1.54**	**2.33**
C898	Complementaria Centro	1.45	2.72
C968	Complementaria Centro	1.8	2.17
C938	Complementaria Centro	**1.44**	**1.81**
C850	Complementaria Centro	**2.18**	2.65
E618	Complementaria Este	2.1	2.56
N025	Complementaria Norte (Largo)	2.58	2.43
S530	Corredor	2.26	2.54

Fase 2	Tipo de ruta	Rendimiento (km/kg)	
		AM	PM
M181	Troncal	1.57	1.61
C850	Complementaria Centro	1.76	**2.82**
C944	Complementaria Centro	1.56	
N105	Complementaria Norte (Corto)	1.86	1.65

Fuente: TMPSA

4. Es importante contar con una estrategia de carga que se ajuste a la operación por temas de rendimiento.

5. Por las incidencias presentadas durante las pruebas se recomienda contar con 2 unidades a la hora de realizar un plan piloto.

6. Actualmente el precio del gas es mayor al del diésel (por ser un producto no comercializado en Panamá). Sin embargo, de acuerdo a lo indicado por AES no fluctúa como el precio del combustible.

7. Los resultados del plan piloto muestran es viable usar el gas natural como combustible en el transporte público en Panamá, aunque se encontró menores rendimientos en km del bus a gas que el bus diésel (entre un 13% a 38% menor). También se encontró que el valor del gas natural tiene que ser menor al del diésel, en una proporción que permita cubrir los costos operativos de la adopción de los buses a gas natural en la operación del sistema MiBus.

8. Para introducir el gas natural como combustible en la flota de TMPSA, hay que considerar que además de la inversión en buses que utilicen este combustible, se requiere la infraestructura para las estaciones de recarga de gas natural.