

# PRUEBAS DE DESEMPEÑO MECÁNICO, ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DEL KIT 5<sup>ta</sup> GENERACIÓN ALIMENTADOR DE GAS NATURAL VEHICULAR (GNV) PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA, CIUDAD DE LA PAZ – BOLIVIA

MECHANICAL, ENERGETIC AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE TESTS OF THE 5TH GENERATION KIT NATURAL VEHICULAR GAS FEEDER (NVG) FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES, CIUDAD DE LA PAZ - BOLIVIA

Edgar Quiroga Villca\*

RESUMEN	ABSTRACT	RESUMO
<p>El panorama actual sobre la utilización de combustibles fósiles alternativos, ha promovido incluir en este grupo al gas natural en condiciones de alta compresión, que en su trayectoria tecnológica está en la quinta generación, donde la unidad de mando GNV trabaja con los sensores originales que proporcionan la alimentación de gasolina, por lo tanto indican los volúmenes de GNV necesarios para lograr la misma potencia y torque que los obtenidos por el consumo de gasolina. Optimizando así, la combustión y mejorando el tiempo de vida útil del motor.</p> <p>Esta última aseveración, ha promovido efectuar una serie de pruebas mecánicas, energéticas y ambientales en motores de combustión (banco de prueba y en movimiento) alimentados por un sistema GNV de 5<sup>ta</sup> generación. Estableciendo que para las condiciones de altura de la ciudad de La Paz, el uso de este sistema, responde, eficientemente tanto en motores antiguos como en nuevos, presentando consumos aceptables y económicos, pero no ocurre lo mismo en la parte ambiental con los motores antiguos, subiendo de esta manera los niveles de de hidrocarburos y monóxido de carbono, no cumpliendo con la norma IBNORCA NB 62002, pero si con los otros parámetros de calidad del aire. A diferencia del vehículo de prueba, que reportó buen desempeño mecánico (potencia y torque), energético y ambiental.</p> <p><b>PALABRAS CLAVE:</b> Generación tecnológica, Gas Natural Vehicular GNV, control en lazo cerrado y retroalimentación secuencial, Norma IBNORCA NB 62002, Potencia y torque en motores de combustión interna.</p>	<p>The current scenario on the use of alternative fossil fuels has promoted the inclusion in this group of natural gas under conditions of high compression, which in its technological trajectory is in the fifth generation, where the NGV control unit works with the original sensors that provide the gasoline supply, therefore indicate the volumes of NGV necessary to achieve the same power and torque as those obtained by the consumption of gasoline. Thus optimizing combustion and improving engine life time.</p> <p>This last assertion has promoted a series of mechanical, energy and environmental tests in combustion engines (test and moving bench) powered by a 5th generation CNG system. Establishing that for the conditions of height of the city of La Paz, the use of this system, responds, efficiently both in old and new engines, with acceptable and economic consumption, but the same does not happen in the environmental part with the old engines, thus increasing the levels of hydrocarbons and carbon monoxide, not complying with the standard IBNORCA NB 62002, but with other parameters of air quality. In deference to the test vehicle, that reported good mechanical performance (power and torque), energy and environmental.</p> <p><b>KEYWORDS:</b> Technological generation, VNG Vehicular Natural Gas, closed loop control and sequential feedback, IBNORCA Standard NB 62002, Power and torque in internal combustion engines.</p>	<p>A situação atual em relação ao uso de combustíveis fósseis alternativos, promovido incluem neste grupo o gás natural sob alta compressão, que em sua trajetória tecnológica está na quinta geração, onde a unidade de controle CNG trabalha com os sensores originais que fornecem o fornecimento de gasolina, portanto, indicar os volumes de GNV necessários para atingir a mesma potência e torque que os obtidos pelo consumo de gasolina. Otimizando assim a combustão e melhorando o tempo de vida útil do motor.</p> <p>Esta última afirmação promoveu uma série de testes mecânicos, energéticos e ambientais em motores a combustão (bancada de teste e móvel) alimentados por um sistema de GNV de 5<sup>a</sup> geração. Estabelecer que as condições altura da cidade de La Paz, o uso deste sistema responde de forma eficiente ambos os motores mais antigos e de consumo novos, aceitável e acessível, mas não tão na parte ambiental com os motores antigos, aumentando assim os níveis de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, não cumprindo com a norma IBNORCA NB 62002, mas com outros parâmetros de qualidade do ar. Em deferência ao veículo de teste que relatou bons resultados em seu desempenho mecânico (potência e torque), energético e ambiental.</p> <p><b>PALAVRAS-CHAVE:</b> Geração tecnológica, GNV Gás Natural Vehicular, controle de malha fechada e feedback sequencial, padrão IBNORCA NB 62002, Potência e torque em motores de combustão interna.</p>
<p><b>History of the article:</b> Received 28/11/2018. Style review 05/12/ 2018. Accepted 17/01/2019</p>		

## INTRODUCCIÓN

En los veinte años últimos a parte de los principales combustibles para motores de combustión interna y a explosión, que son la gasolina y el diésel, se está utilizando como combustible el Gas Natural Vehicular GNV<sup>1</sup> Al respecto, el GNV ha sido declarado como el combustible alternativo con mejores opciones de desarrollo<sup>2</sup>, debido a su abundancia, comodidad, bajo costo, seguridad, y principalmente por la contaminación ambiental mínima que produce. Debido a estas características, en el país se están efectuando conversiones para sustituir gradualmente el uso de combustibles tradicionales (principalmente gasolina) por el GNV<sup>3</sup>.

Casi a la par con este importante incremento en la conversión de automotores a GNV, también en los últimos veinte años se han ido desarrollando y perfeccionando a nivel mundial, sistemas de alimentación combustible gasolina-GNV. Por lo que la trayectoria tecnológica evolutiva de este sistema, se encuentra actualmente con importantes avances e innovaciones incluidas en una quinta generación tecnológica<sup>4</sup> del dispositivo.

En consecuencia, y para probar las prestaciones que ofrece un sistema de alimentación GNV de 5<sup>ta</sup> generación, se presentan resultados obtenidos, a través de pruebas comparativas<sup>5</sup> mecánicas, energéticas y ambientales; efectuadas en motores de combustión interna que operan en las condiciones de altura de la ciudad de La Paz.

<sup>1</sup> Que se expende generalmente comprimido a alta presión (190 a 250 atm), y en bombonas de diferente capacidad.

<sup>2</sup> Según la Conferencia Mundial de Energía, celebrada en 1995 Tokio-Japón.

<sup>3</sup> Para el periodo 1998 a 2018, el registro acumulado de vehículos con sistemas de alimentación GNV, es de 351398 en todo el territorio boliviano. Equivalen al 19,5% del parque automotor nacional que es de 1800354 unidades, (Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH-2018).

<sup>4</sup> Desde sus orígenes la técnica y la tecnología han contribuido en la formación de las sociedades. De esta manera, una generación tecnológica se establece como una relación entre el avance tecnológico y el desarrollo de la sociedad.

<sup>5</sup> Pruebas comparativas entre el sistema alimentador GNV de quinta generación, con un sistema alimentador GNV de tercera generación y un sistema de alimentación tradicional de gasolina.

## DESARROLLO

### Sistema alimentador GNV, de quinta generación

A diferencia de los equipos convencionales que aspiran el gas por el múltiple de admisión a través de un mezclador, este sistema inyecta el volumen justo de gas a presión a cada cilindro en forma secuencial.

En su conformación se tiene: un conjunto de inyectores independientes que alimentan el motor con el GNV a presión (3 atm), una unidad de mando que gestiona la inyección, conmutador de gasolina-gas, un reductor de presión de alta tecnología, sensores y accesorios de instalación. Presentándose el sistema tanto para motores carburados como para motores con inyección electrónica.

Esto se debe a que la unidad de mando GNV trabaja con los sensores originales que gestionan la alimentación de gasolina, por lo tanto indican los volúmenes de gas necesarios para lograr la misma potencia y torque que los obtenidos por el consumo de gasolina. Por lo tanto el control de la alimentación del combustible se efectúa, mediante el lazo cerrado original del motor, manteniendo la retroalimentación de información secuencial, que permite administrar, ordenar, dirimir o regular el consumo de volúmenes de gas en equivalencia con los volúmenes de gasolina calculados por la unidad de mando original en lazo cerrado<sup>6</sup>, optimizando así, la combustión y mejorando el tiempo de vida útil de motor.

### Aplicación de las pruebas

1) Motor 5A-FE, vehículo Toyota Corolla 1996, instalado sobre el banco dinámico (laboratorio de motores), carrera Mecánica Automotriz, Facultad de Tecnología.

2) Motor G16A, vehículo de prueba de Suzuki Carry conectado con un dinámometro portátil TM900 para uso en carretera.

### Instrumentos de medida

- Dinámometro hidráulico de la línea NHS 305 de banco con capacidad de medir entre 30 a 1000 HP, con un torque máximo de 1961,4 Nm a régimen de giro de 10000 rpm. (Manual Accudyno instalación y calibración).
- Dinámometro TM 900 portátil, que efectúa mediciones exactas, cálculos de torque, potencia y otras variables.
- Analizador de gases de escape, serie AUTO Plus 5.2 Kane Internacional, diagnostica y calibra el motor de combustión interna en sus emisiones, midiendo CO<sub>2</sub>, CO, HC, O<sub>2</sub>, NOx y lambda<sup>7</sup>.
- Scanner Kit 5<sup>ta</sup> generación Romano, registra la actuación electrónica del motor de combustión interna, valorando los parámetros de los sensores pasando la información mediante la toma de datos del OBD II de la línea G-scan2.

### Sistema alimentador utilizado Romano Gas y scanner

La configuración electrónica instalada es de la línea Romano Gas con la cual se realizaron pruebas tanto en el dinámometro de banco como con el dinámometro de portátil del vehículo de prueba, se vincula a través de la conexión

<sup>6</sup> Control automático que compara la señal de salida con la señal de referencia.

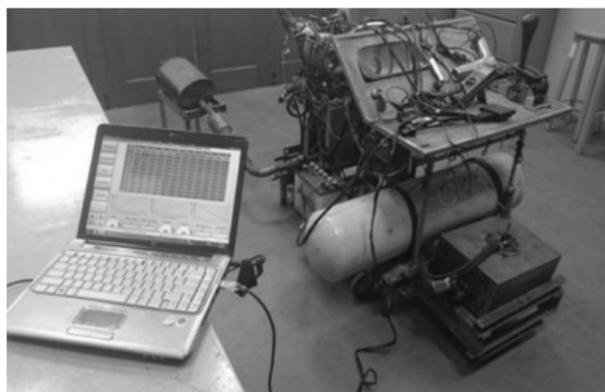
<sup>7</sup> \* Mide la cantidad de combustible y aire para lograr una combustión adecuada.

del OBD II del motor, es posible obtener información útil para calibrar parámetros de carburación de mezcla, con el software de ajuste tiempos de inyección del GNV, mediante la interfaz de la computadora con conexión ISO 9141-2 y calibrar el kit de 5<sup>ta</sup> generación, siguiendo un mapeo de corrección de inyección, asemejándose a la gasolina tanto en ralentí y aceleración en régimen de funcionamiento. Fotografía 1.

La instalación en el banco de pruebas, se la une mediante una junta homocinética al dinámometro hidráulico Accudyno, con el cual se evalúa la potencia y torque, como parámetros de ensayos por barrido en (aceleración y desaceleración). Ver fotografías 2 y 3.

### Desempeño mecánico

Siguiendo un protocolo y las normativas DIN 70020<sup>8</sup> y SAE J1349 para ensayos de motores, se evalúa al motor Toyota Corolla 5A-FE con tres tipos de sistemas de alimentación en forma Dual gasolina GNV, determinando así su desempeño mecánico en potencia y torque, según el manual de especificaciones dinámometro Accudyno, registrando pruebas para el funcionamiento con gasolina y a través de sistemas alimentadores de GNV tercera y quinta generación. Fotografía 4.



Crédito: E. Quiroga V. 2017

Fotografía 1: Software scanner Romano gas



Crédito: E. Quiroga V. 2017

Fotografía 2 y 3: Montaje dinámometro Accudyno y motor combustión interna, ensayos por barrido en aceleración y desaceleración.

<sup>8</sup> La norma DIN (Deutsche Industrie Normen – Alemania), donde el motor se dispone en el dinámometro de banco o portátil, es decir de la misma forma que será utilizado en un vehículo en serie, con todo el equipo auxiliar que exige su funcionamiento normal. Los reglajes también son los que se utilizan para el montaje en serie del motor, menor a 20°C. Esta potencia es por tanto, la que mejor expresa el funcionamiento del motor, y es denominada potencia neta.



Crédito: E. Quiroga V. 2017

**Fotografía 4:** Montaje motor 5A-FE en el dinamómetro de banco, pruebas con gasolina y alimentadores GNV de 3<sup>ra</sup> y 5<sup>ta</sup> generación

**Resultados en el dinamómetro (potencia<sup>9</sup> y torque<sup>10</sup>)**

Las pruebas para la potencia y el torque, se efectuaron a 19,5 °C de temperatura y a una presión de 668,2 mm Hg, con humedad de 24 % y un factor de corrección de 1,843 (DIN 70010), momento de inercia 0,105 con rango de funcionamiento entre 750 a 5300 rpm. Obteniéndose así la potencia y torque corregidos promedios, máximos y mínimos de las pruebas. Ver tabla 1.

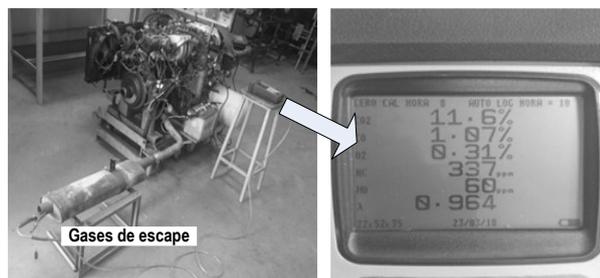
**Tabla 1**  
Pruebas dinamómetro de potencia y torque, motor 5A-FE, altura ciudad de La Paz 3650 msnm

Parámetro	Valor nominal nivel del mar	Gasolina	GNV kit de 5 <sup>a</sup> gen.	GNV kit de 3 <sup>a</sup> gen.
Potencia (kW)	76	55,4	56,3	44,5
Rotación (rpm)	5600	4200	4200	4000
Torque (Nm)	136	135,9	131,5	111,5
Rotación (rpm)	4400	3600	3500	3700
Eficiencia (%)	100	72,89	74,07	58,55
		(*)	1,18	14,34

(\*): Diferencia por pérdida de altura con referencia a la gasolina en porcentaje (%)

Fuente: Elaboración propia

**Desempeño ambiental motor 5A-FE**



Crédito: E. Quiroga V. 2017

**Fotografía 5:** Instalación del analizador de gases Auto plus 5.2 Kane y conexión con el motor de prueba

<sup>9</sup> Un banco dinamométrico es el encargado de medir la potencia de un motor de combustión interna a determinadas revoluciones por minuto. Para lo cual el banco dispone de un freno dinamométrico, el cual genera un par resistente proporcionando carga al motor, es necesario indicar que como característica primordial, esta carga debe ser variable, el cual permite ensayar las distintas condiciones operativas del motor.

<sup>10</sup> El par motor o torque, es el producto de una fuerza aplicada a cierta distancia de un punto, cuyo resultado, es un giro de ese punto. En el motor la fuerza tangencial y la distancia, es longitud del radio de la manivela de cigüeñal.

Estableciendo como las calibraciones más óptimas Antes del Punto Muerto Superior, 14,5°APMS<sup>11</sup> de adelanto para la gasolina, 19,7°APMS alimentador 3<sup>ra</sup> generación y 15,5°APMS en el variador de avance electrónico (del alimentador de 5<sup>ta</sup> generación).

La emisión de gases de escape registrada en diferentes pruebas y con diferentes sistemas de conversión GNV de tercera y quinta generación, siguió la norma boliviana IBNORCA-NB 62002<sup>12</sup>. Efectuando pruebas con una duración de 30 segundos en ralentí y acelerando. Ver fotografía 5.

Los datos obtenidos, se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2**  
Emisión de gases de escape motor 5A-FE, tres sistemas de alimentación

1. Gasolina (R) ralentí 750 rpm, (A) acelerando 2500 rpm

	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC ppm	NO <sub>x</sub> ppm	λ
R	11,4	2,00	0,33	460	62	0,931
	11,5	1,85	0,31	403	60	0,937
	11,6	1,07	0,31	337	60	0,964
	11,6	1,67	0,36	375	60	0,947
	11,5	1,72	0,47	396	60	0,950
A	9,4	5,21	0,39	461	89	0,836
	9,3	5,28	0,37	464	90	0,833
	9,4	5,05	0,40	471	93	0,840
	9,6	4,75	0,36	439	82	0,849
	9,6	4,93	0,40	441	80	0,846

2. GNV 3<sup>ra</sup> generación (R) ralentí, (A) acelerando

	rpm	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC ppm	NO <sub>x</sub> ppm	λ
R	564	8,8	0,16	0,65	618	153	1,002
	572	8,8	0,33	0,87	643	167	1,008
	558	8,9	0,40	1,08	643	174	1,020
	500	9,0	0,55	2,62	765	225	1,114
	571	8,5	0,17	1,12	780	389	1,027
A	2451	7,7	2,61	0,86	5376	22	-
	2465	7,8	2,60	0,83	5550	25	-
	2498	7,8	1,58	6,14	4433	31	-
	2460	7,7	1,06	6,31	4177	26	-
	2510	7,1	0,79	6,86	3982	24	-

3. GNV 5<sup>ta</sup> generación (R) ralentí, (A) acelerando

	rpm	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC ppm	O <sub>x</sub> ppm	λ
R	741	9,1	0,07	1,20	1430	11	0,995
	734	9,2	0,14	1,17	1429	10	0,991
	740	9,3	0,14	1,17	1384	9	0,993
	745	9,3	0,15	1,19	1407	9	0,993
	737	9,3	0,15	1,22	1374	10	0,996
A	2493	7,0	3,55	0,64	5024	4	-
	2503	7,1	3,55	0,59	5010	3	-
	2495	7,2	3,49	0,48	5191	2	-
	2508	7,2	3,49	0,43	5224	2	-
	2449	6,9	3,55	0,61	5168	4	-

Fuente: Elaboración propia

<sup>11</sup> Define el adelanto para el tiempo de ignición de un motor a combustión interna y mide en grados el giro del cigüeñal.

<sup>12</sup> Norma sobre calidad del aire y emisiones de fuentes móviles.

## Desempeño mecánico, energético y ambiental, motor G16A, camioneta de prueba Suzuki Carry



Crédito: E. Quiroga V. 2017

**Fotografía 6:** Dinamómetro portátil TM900, y analizador de gases vehículo de prueba Suzuki Carry

Como no se puede realizar pruebas de consumo por recorrido en el motor estacionario, se recurrió a un motor de un vehículo de Suzuki Carry con motor G16A, realizando recorridos de conducción para determinar el consumo total del cilindro almacenador de GNV para el sistema GNV de 5<sup>a</sup> generación en inyección secuencial.

Sobre un recorrido promedio de 145 km, se consumieron 12,18 m<sup>3</sup> de GNV, que por la dualidad de alimentación del motor G16A va cambiando automáticamente a gasolina quedando en el cilindro 2,82 m<sup>3</sup> de GNV (15 m<sup>3</sup> de capacidad). En el trayecto desde el centro de La Paz hasta la ciudad de El Alto, la alimentación GNV - de 5<sup>a</sup> generación motor G16A respondió, adecuadamente a diferentes velocidades. Estableciendo el desempeño mecánico energético y ambiental mostrado en la tabla 3.

**Tabla 3**  
**Prueba con dinamómetro portátil TM900,**  
**Pickup Suzuki Carry con recorrido y emisión de gases de**  
**escape centro de La Paz ciudad de El Alto**  
**Altura de 3650 a 4080 msnm**

Referencias:			
	(N) Nominal a nivel del mar	(G) Alimentación gasolina	(5 <sup>a</sup> ) Alimentación GNV – kit quinta generación
Parámetros	(N)	(G)	(5 <sup>a</sup> )
Potencia nominal (kW)	68		
Rotación (rpm)	5750		
Torque nominal (Nm)	127		
Rotación nominal (rpm)	4500		
Carga total y parcial (%)	100	36	36
Potencia efectiva en volante La Paz (kW)		21,61	21,36
Potencia en la rueda (kW)		8,56	8,69
<b>Rotación (rpm)</b>		2323	2196
Velocidad (km/h)		55,28	52,33
Torque máximo (Nm)	127	120,58	102,33
<b>Rotación (rpm)</b>		1134	1377
Velocidad máxima (km/h)		26,69	32,71
Rendimiento absoluto al torque (%)	100	94,94	80,57
Rendimiento mecánico total y parcial (%)	88	31	31
Consumo para 100 (km) de recorrido		8,2 L	8,4 m <sup>3</sup>
Costo por recorrido para 100 (km) en Bs.		30,6	13,4
Ralentí HC (ppm)		1,00	2,00
Ralentí CO (%)		0,00	0,02
Ralentí CO <sub>2</sub> (%)		14,29	11,55
Ralentí O <sub>2</sub> (%)		0,00	0,00
Acelerado HC (ppm)		0,00	20,00
Acelerado CO (%)		0,00	0,05
Acelerado CO <sub>2</sub> (%)		14,36	11,55
Acelerado O <sub>2</sub> (%)		0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados en las pruebas realizadas en el banco dinamométrico hidráulico al motor Toyota 5A-FE con el sistema alimentador GNV - 5<sup>a</sup> generación, responde adecuadamente en potencia y torque, pero aun calibrando para su mejor funcionamiento, a largo de las pruebas los niveles de emisión suben, principalmente los hidrocarburos (HC) por el desgaste que presentan el motor, donde el aceite se introduce en la cámara de combustión y no combustiona por completo, aumentando los niveles de hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO), motivo por el cual no cumple con los límites establecidos por la norma IBNORCA NB 62002, pero si con los otros parámetros ambientales de esta norma reguladora de la calidad del aire, frente a emisiones gaseosas en movimiento.

A deferencia de la instalación<sup>13</sup> en el vehículo de prueba que, reportó buenos resultados (ver tabla 3) en su desempeño mecánico (potencia y torque), energético y ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

Quiroga, V. E., 2013, Tesis de maestría, Diagnóstico del motor de combustión interna a través del desempeño mecánico y ambiental en sistemas de inyección secuencial, gasolina – GNC Ciudad de La Paz, Facultad de Tecnología, Repositorio UMSA, <https://repositorio.umsa.bo>,

IBNORCA ETD 722002, 2007, Especificaciones técnicas disponibles sistema de conversión para motores de combustión interna a gas natural vehicular, Especificaciones para sistemas de conversión biocombustible y dual combustible, La Paz – Bolivia,

ACCUDYNO, 2016, Manual del usuario sistemas de adquisición de datos para bancos de pruebas dinamométricos,

IBNORCA, 2004, Norma Boliviana NB 62002: Calidad de aire Emisiones de fuentes móviles Generalidades clasificación y límites máximos permisibles, La Paz – Bolivia,

Payri, F., Desantes, J. M., 2011, Motores de Combustión Interna Alternativos, Editorial Reverte, UPV, México,

[http://carerac.com/ahorrar\\_combustible/toyota/corolla.html](http://carerac.com/ahorrar_combustible/toyota/corolla.html)

[http://romanoautogas.com.pe/files/Manual\\_Antonio.pdf](http://romanoautogas.com.pe/files/Manual_Antonio.pdf),

<https://www.ine.gob.bo/index.php/prensa/boletines/resumenes-estadisticos/category/48-resumenes-estadisticos-2017>.

[https://www.swisscontact.org/fileadmin/user\\_upload/COUNTRIES/Bolivia/Documents/Content/BOLETIN\\_AIRE\\_LIMPIO\\_4.pdf](https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Bolivia/Documents/Content/BOLETIN_AIRE_LIMPIO_4.pdf)

[http://www.la-razon.com/ciudades/Parque-vehicular-La\\_Paz-reduce-velocidad\\_0\\_2911508831.html](http://www.la-razon.com/ciudades/Parque-vehicular-La_Paz-reduce-velocidad_0_2911508831.html)

<https://www.ine.gob.bo/index.php/prensa/boletines/actualidad-estadistica/category/204-parque-automotor-2018>

<https://www.paginasiete.bo/sociedad/2018/3/22/red-monica-carros-producen-el-80-de-la-contaminacion-urbana-173910.html>

(\*), Licenciado en Mecánica Industrial, MSc. Mantenimiento Industrial, Docente investigador carrera de Mecánica Automotriz, Facultad de Tecnología – UMSA.

<sup>13</sup> Dinamómetro portátil, analizador de gases de escape y el sistema dual gasolina-GNV quinta generación.