

# **UN SISTEMA NOVEDOSO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA MÓVIL ASISTIDO POR FRENADO REGENERATIVO NEUMÁTICO.**

Edilber Guerrero, Ernesto Falquéz, Javier Sanjuan y Lesmes Corredor

Universidad del norte. Dept de ingeniería mecánica. Km 5 via puerto colombia-barranquilla

Tel 011575-3526195, [jdecaro@uninorte.edu.co](mailto:jdecaro@uninorte.edu.co).

## **ABSTRACT**

This article introduces a novel concept linked to mobile generation of small powers, without direct drive internal combustion engine. It begins with a modeling of the amount of potential energy stored in the form of compressed air along the trend driven by city bus, obtained from an internationally accepted driving cycle. Complementing this simulation with a review of commercial technologies for compressing air through regenerative braking, it was concluded that the available offers did not meet the requirements of flow, pressure and rotation speed of the vehicle itself driven by internal combustion engines, motive why it was performed the first stage compressor design based on the principles of operation of the Wankel engine. Resolved the technological restrictions, the whole mobile compressor-tire-engine AC generator was evaluated energetically and environmentally. The differential equations resulting from the modeling were resolved with the help of MATLAB<sup>TM</sup> obtaining the best points for the system performance and energy recovery through the air brakes.

## **Palabras Claves**

Modelado, energía, almacenamiento, aire comprimido, frenado regenerativo, motor Wankel.

## **1. Introducción**

El uso de sistemas de acondicionamiento de aire en vehículos de transporte público masivo dentro del casco urbano ha ido creciendo, especialmente en aquellos países cuyos climas implican alta temperatura y humedad en el ambiente, como es el caso de los países de clima tropical como Colombia. Es muy común entonces encontrar que el compresor del sistema de acondicionamiento este impulsado por un motor de combustión interna auxiliar para poder asegurar operación a velocidad constante, aunque también hay muchos casos en que el compresor está conectado directamente al motor principal (también de combustión interna) y la capacidad de enfriamiento esta entonces limitada a la velocidad del motor. En cualquiera de los dos escenarios, el sistema de acondicionamiento implica un aumento importante en el consumo de combustible, lo cual aumenta considerablemente las emisiones de gases de invernadero generadas por el vehículo.

El sector del transporte ha contribuido al 25% de las emisiones de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera. Y una gran parte de estas emisiones se genera por el transporte urbano [1], generalmente debido a la baja eficiencia energética que se alcanza en los vehículos debido al ciclo de conducción, el cual tiene una gran frecuencia de frenado y arranque [2]. Ha habido varios estudios de tecnologías para ahorrar combustible en los vehículos de gasolina desde 1980 [3], para disminuir el impacto ambiental, lo cual consigue en última instancia con el cambio del uso de combustibles fósiles a combustibles alternativos, pero como una medida provisional sistemas como el de frenado regenerativo puede reducir significativamente las emisiones de los vehículos y aumentar la eficiencia energética de estos.[4].

## **2. Revisión bibliográfica**

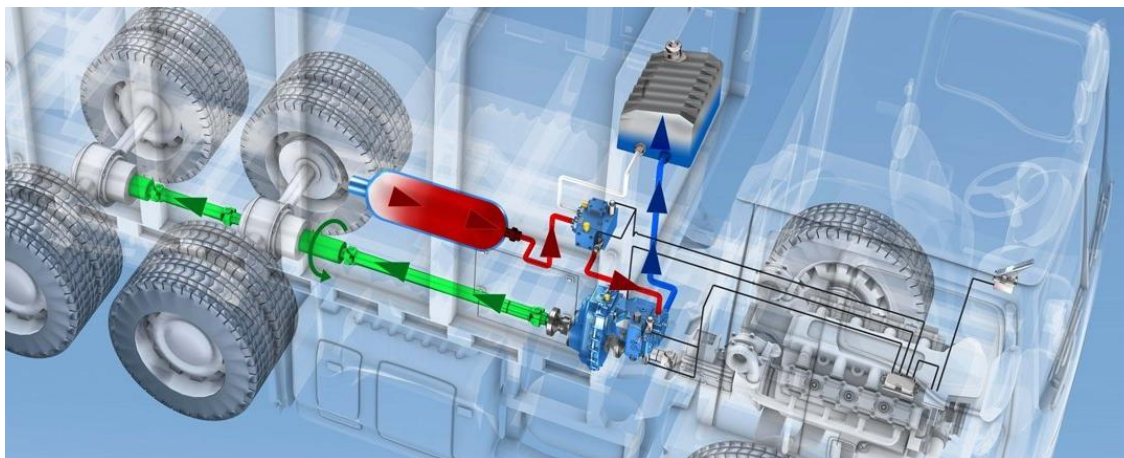
Estos sistemas de frenado regenerativo están actualmente concebidos para permitir que la energía cinética del vehículo, que convencionalmente se pierde en los frenos, se recupere y almacene para su utilización posterior, en la aceleración del vehículo [4].

Existen dos tipos de frenado regenerativo disponibles en el mercado en la actualidad, el eléctrico y el hidroneumático, este último es el usado actualmente en vehículos de gran masa como los buses y camiones de basura.

### **2.1. Frenado regenerativo hidroneumático.**

El frenado regenerativo puede disminuir el consumo de combustible del vehículo o del generador adicional, dependiendo de cómo se utilice.

Estos sistemas comercialmente constan esencialmente de una bomba-motor hidráulica de desplazamiento variable acoplado a la transmisión y un acumulador hidráulico [4].

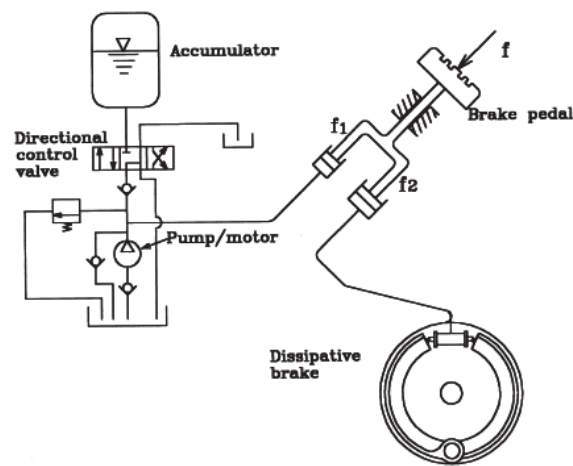


*Fig 1 sistema de frenado regenerativo utilizado por el grupo Bosch en camiones de basura [4] (sin autorización del autor)*

Al frenar la bomba motor actuando como bomba, envía aceite al acumulador, desplazando a un embolo que comprime un gas, almacenando así energía. Cuando se desea aprovechar dicha energía se permite que el gas se expanda provocando la expulsión del aceite del acumulador y la operación de la bomba-motor en la modalidad de motor.[6]. Se han encontrado que el ahorro en el consumo de combustible resultado de la implementación del sistema de frenado hidroneumático en un bus “leyland Panther” puede llegar a exceder el 20% [5]. [7] describe una instalación experimental en el que la energía era transferida de una lado a otro entre un acumulador hidráulico a través de una bomba / motor y un volante de ida y vuelta con una eficiencia de 61 a 89%

A pesar del aumento en la eficiencia que se obtiene con este vehículo, su costo no le ha permitido entrar al mercado, pero han surgido propuestas mas económicas en las que se utiliza un sistema de bomba-motor hidráulica de desplazamiento constante, en conjunto con el sistema de frenado convencional. La bomba solo se activara cuando la fuerza de frenado necesaria sea mayor o igual a la fuerza de frenada producida por la bomba [8]

En estos sistemas siempre es necesaria la utilización del sistema de frenado convencional en caso de que la fuerza de frenado producido por el sistema regenerativo no sea suficiente para detener el vehículo [8]



*Fig 2. Sistema de frenado con bomba de desplazamiento constante [8]*

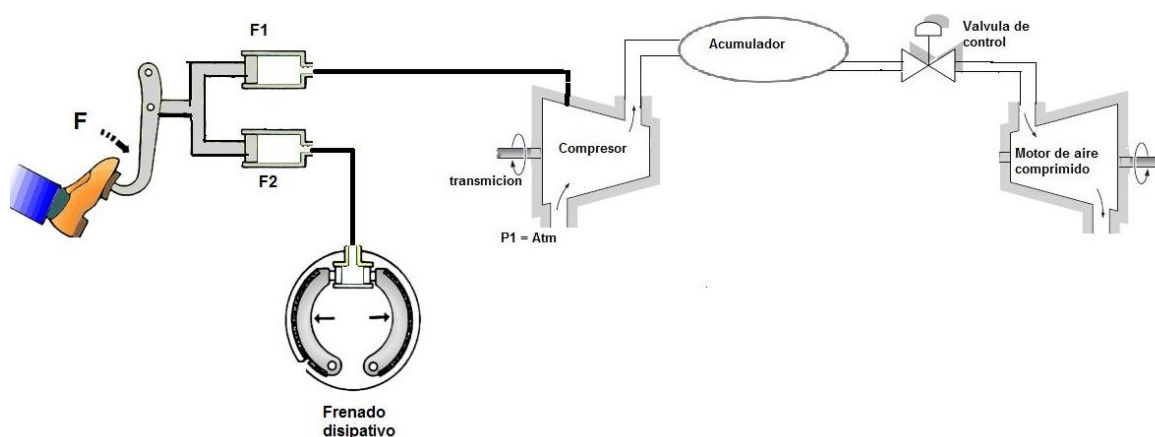
## **2.2. Sistema de frenado regenerativo propuesto**

De la revisión bibliográfica se obtiene que estos sistemas regenerativos actualmente solo están concebidos para recuperar la energía del frenado y reutilizarla inmediatamente en la aceleración del vehículo, además de que al ser en parte sistemas hidráulicos, implican siempre fugas en el aceite que utilizan, que además de ser costosos, pueden ser contaminantes y repercutir en el deterioro de otros componentes del vehículo.

Por estas razones se propone el siguiente sistema de frenado regenerativo enteramente neumático, lo cual implica ciertas ventajas ante los actuales hidroneumáticos como abundancia del fluido de operación, fácil almacenaje, mayor limpieza, y fácil regulación.

Que este configurado para reutilizar la energía potencialmente disponible en el frenado y generar una salida de potencia constante, que puede ser utilizada para producir electricidad de corriente alterna a frecuencia constante que se pueda utilizar en cualquier componente extra dentro del vehículo, o como se analizara en este artículo, para impulsar el sistema de acondicionamiento de aire de un auto bus.

El sistema propuesto es de frenado mixto regenerativo-convencional. Este consta de un compresor, tanque de almacenamiento y un motor de aire comprimido que integran el sistema regenerativo, y un freno convencional como se muestra a continuación:



*Fig 3 esquema del sistema regenerativo propuesto por los autores*

Como el sistema de frenado regenerativo aplica una fuerza de frenado constante al vehículo es necesario incluir el frenado convencional para poder regular el valor de la desaceleración y así el tiempo de frenado dependiendo de las necesidades del conductor, cuando la desaceleración obtenida por el frenado regenerativo no es suficiente para detener el carro en un momento dado, el frenado convencional entra en funcionamiento.

Como el tiempo que dura el frenado es muy pequeño se necesita que el compresor sea capaz de comprimir la mayor cantidad de aire posible, a la mayor presión posible para ser usado posteriormente por el motor de aire comprimido para la producción de potencia. Los compresores de tipo rotativo no pueden ser utilizados en este caso porque en estos la

presión final está limitada por la velocidad de rotación del eje, y durante el proceso de frenado la velocidad del eje de entrada disminuirá continuamente por lo que la presión en los últimos momentos del frenado no sería suficiente para almacenarse dentro del acumulador que tendrá aire almacenado a una presión mayor. Por esta razón es necesario el uso de un compresor de desplazamiento positivo, pero los compresores de embolo a pesar de ser capaces de almacenar a una gran presión no cumplen con el requerimiento de caudal necesario.

Teniendo como base lo explicado anteriormente de los compresores comercialmente disponibles hoy en día, se ha formulado la posibilidad de adaptar un motor tipo Wankel como compresor ya que como es sabido este ya cumple esta función a la hora de hacer la compresión del aire para la posterior combustión del combustible, se piensa en este en especial ya que es capaz de manejar los requerimientos de caudal, presión de salida y régimen de giro, tal como se utiliza en las aplicaciones cuando funciona como motor.

En este caso de estudio se utiliza un motor Wankel comercial usado por Mazda con 1600 cc de cilindrada y relación de compresión de 1:9.

### **3. Potencial ideal**

Los sistemas de frenado regenerativo suelen implementarse en vehículos de transporte urbano como buses debido a que la frecuencia con la que frenan y la gran masa de este implican un gran potencial de energía que se puede recuperar y reutilizar.

En este artículo se plantea el diseño del frenado regenerativo de un bus articulado con capacidad máxima de 160 personas, operando a una velocidad máxima de 60Km/h, en una vía exclusiva haciendo paradas solo en las estaciones de carga y descarga de personas e intersecciones con semáforos (Datos tomados de el sistema de Transmetro en Barranquilla Colombia).

La carga térmica del sistema de refrigeración se estima entonces en base al calor promedio producido por persona en reposo (sentado) 108W por persona [9]

$$Q = 108 \frac{W}{persona} * 160 personas = 17.28 Kw$$

Y suponiendo la utilización de un sistema de refrigeración convencional con un COP de 2.5 se determina que la potencia requerida por el sistema de refrigeración es:

$$Pot = \frac{17.28 Kw}{2.5} = 6.9Kw \approx 7Kw$$

Entonces la cantidad ideal de energía potencialmente recuperable en cada frenado se puede determinar con un balance de energía sobre el vehículo, suponiendo que toda la energía cinética se pudiera recuperar.:

$$\frac{1}{2} m_{bus} v^2 = E$$

De aquí se tiene que la cantidad de energía recuperable en cada frenado es de:

$$E = 3,07Mj$$

Al comparar esta cantidad de energía con la potencia necesaria para hacer funcionar un sistema de refrigeración convencional para el autobús, la cual es de 7000w, se obtiene el tiempo de autonomía que proporciona el frenado regenerativo al sistema de refrigeración:

$$t = \frac{3070000J}{7000J/sec} = 438.5 sec = 7.3 min$$

Este tiempo de autonomía en el sistema de refrigeración del vehículo influiría considerablemente en el consumo de combustible. Al ofrecer 7.3 minutos de operación cada vez que el bus frena y dado que el ciclo de conducción de un bus de transito urbano requiere que este frene con una frecuencia elevada, por lo general mayor a 7 minutos, se podría idealmente sostener el sistema de refrigeración sin aumentar el consumo de combustible del vehículo a que si funcionara sin este, además de eliminarse el problema de que la potencia del sistema de refrigeración este ligada a la velocidad de operación del motor, manteniendo una temperatura de confort en todo momento inclusive cuando el

vehículo se encuentre detenido. Pero hay que tener en cuenta las limitaciones técnicas y económicas que se tiene en la actualidad no permiten recuperar toda la energía potencial presente en el vehículo antes cuando se encuentra en movimiento.

#### 4. Potencial Técnico

Para analizar el potencial técnico de energía que se puede recuperar en cada frenado, se estima cuanto es la cantidad máxima de aire que se puede comprimir, suponiendo que el frenado del bus se debe en su totalidad a la acción del frenado regenerativo, es decir, despreciando la energía que se pierde por fricción en el frenado convencional, la resistencia del viento y rodadura. Y luego estimando la energía que el motor de aire comprimido produce con esta cantidad de aire.

La ecuación de euler[10], relaciona la cantidad de aire que es comprimido por un compresor con la potencia de entrada y la diferencia de entalpia entre los estados 1 y 2 del compresor

$$E = m_{\text{aire}} \Delta h; \text{ donde } m_{\text{aire}} \text{ es la masa del aire comprimido}$$

Y suponiendo que toda la energía cinética que trae el vehículo es utilizada por el compresor se obtiene:

$$\frac{1}{2} m_{\text{bus}} v^2 = m_{\text{aire}} \Delta h$$

$\Delta h$  Es el cambio de la entalpia entre el estado 1 (a presión atmosférica,) y un estado 2 (a una presión de almacenamiento de 9 bares. La siguiente tabla se obtuvo de la referencia [9], y muestra las propiedades para los dos estados de interés. :

*Tabla 1 presiones reducidas y entalpías de los estados antes y después de la compresión*

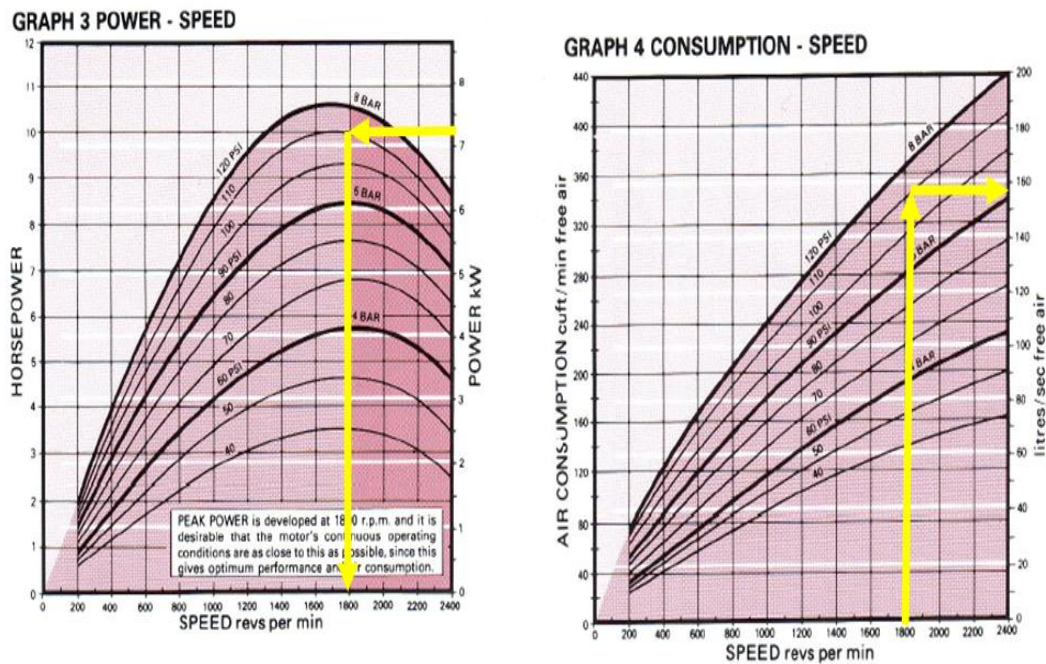
|          | $P_r$  | $h$         |
|----------|--------|-------------|
| Estado 1 | 1.386  | 300,19Kj/kg |
| Estado 2 | 12.474 | 525.55Kj/kg |

Al despejar de esta ecuación la masa se tiene la cantidad de aire, teórica, almacenada por el frenado regenerativo, la cual es de:



$m = 12\text{kg de aire}$

Si se utiliza un motor de aire comprimido, de desplazamiento positivo RM310 de Aglobe [11] y potencia máxima 7.5 Kw.



*Figura 4 Curvas de desempeño del motor de aire comprimido.  
Tomado de ficha técnica de motor, sin autorización del autor.*

Para producir 7Kw de energía, se estima que el consumo de aire almacenado a una presión de 110 psi es de aproximadamente 160 L/s de aire libre, por lo que la masa de aire necesaria es 0.192 kg/s

Entonces el tiempo de autonomía que el frenado regenerativo le brinda al sistema de refrigeración será de aproximadamente 1 minuto

## 5. Potencial Técnico Real.

Para poder calcular el potencial técnico real, deben incluirse el efecto de las pérdidas por fricción por la resistencia del aire y la rodadura, esto implica la utilización de un modelo dinámico que se explica a continuación:

## 6. Modelo dinámico

Para modelar el proceso de frenado regenerativo se necesitara considerar la dinámica de 3 subsistemas; El frenado del automóvil, el compresor y los tanques de almacenamiento. A continuación se presenta el análisis para el frenado del automóvil.

### 6.1. Frenado del automóvil

La segunda ley de Newton, en la dirección x representa la ecuación básica del frenado del automóvil. Como es presentada a continuación;

$$M \frac{dv}{dt} = -F_f - F_a - Fr \quad (1)$$

En donde  $F_f$  representa la fuerza del frenado,  $F_a$  es la fuerza de arrastre aerodinámico,  $Fr$  la resistencia a la rodadura,  $M$  es la masa del vehículo y  $dv/dt$  es la aceleración en la dirección x.

Gracias a la ecuación (1) se conoce el valor de la velocidad lineal del automóvil en el tiempo. Viendo al vehículo como un cuerpo rígido, cuyos componentes tienen la misma velocidad lineal, a excepción de las ruedas, las cuales convierten su movimiento rotacional a velocidad lineal, de acuerdo, a la siguiente relación:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (3)$$

Siendo  $\omega$  la velocidad angular del eje de transmision del vehiculo

La fuerza de frenado se calcula en función del radio de las llantas y el torque transmitido al eje del automóvil por acción del compresor.

$$F_f = \frac{T}{r}$$

El valor del torque “T” dependerá de la relación de velocidades entre el eje del compresor de aire y el eje de transmisión del bus.

Nota: el diseño de la transmisión no se realiza en este artículo y se tomara en cuenta para estudios posteriores

La relación entre la velocidad angular y par transmitido entre el eje del compresor, y de la transmisión del vehículo está dada por las siguientes ecuaciones:

$$T = T_c * i$$

$$\omega_c = i * \omega$$

En donde  $\omega_c$  es la velocidad angular del eje del compresor y  $T_c$  es el par de arranque del compresor. Cabe resaltar que la inercia interna del compresor se está despreciando considerándola pequeña enfrente a la inercia del bus.

$$T_c = V * \rho * \Delta h / n$$

Se estima una eficiencia isoentrópica “n” de 0.9.

La fuerza de arrastre esta determinada por la siguiente ecuación:

$$F_a = \frac{C v^2 \rho_{aire} A}{2}$$

En donde C es el coeficiente de arrastre,  $\rho$  es la densidad del aire, A es el área de sección transversal de la figura y v es la velocidad lineal del automóvil. El coeficiente de arrastre se calcula teniendo en cuenta la fricción de la superficie y la variación de las corrientes del viento alrededor del vehículo. Para esta aplicación [1] recomienda un coeficiente de arrastre de 0.8.

La resistencia de la rodadura  $F_r$  se determina en función del coeficiente de rodadura y el peso.

$$F_r = C_r * m * g$$

Donde  $C_r$  es la constante de rodadura

La dinámica del compresor esta gobernada por la siguiente ecuación:

$$\frac{d\omega_c}{dt} = \frac{1}{J} (\tau_f - \tau_c)$$

En donde  $\omega_c$  es la velocidad angular del eje del compresor,  $\tau_f$  representa el par entregado al compresor, y  $\tau_c$  es el par necesario para comprimir la cantidad de aire necesario.  $J$  es el momento de inercia del eje del compresor. Esta inercia es muy pequeña en comparación a la de las ruedas por lo cual no se considera la dinámica del compresor. Luego la ecuación anterior se vuelve a escribir de la siguiente forma:

$$\tau_f = \tau_c \quad (4)$$

La cantidad de aire comprimido se determina en función del es función de la ecuación de Euler para bombas y compresores:

$$\omega_c * \tau_c = \dot{m} * \Delta h \quad (5)$$

Este grupo de ecuaciones definen la tasa de producción de aire comprimido en función de la velocidad angular de las ruedas del automóvil.

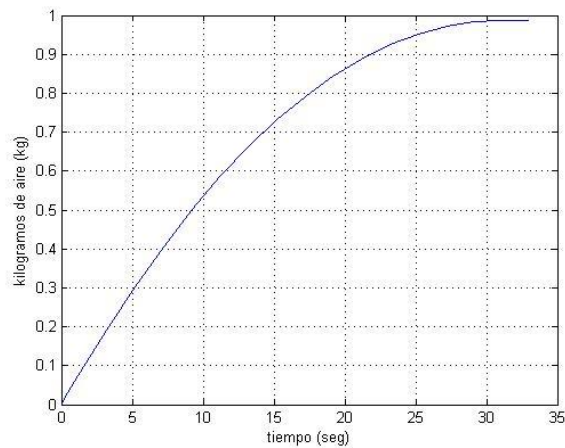
## 6.2. Almacenamiento de aire

Teniendo definida la cantidad de aire producida en función del tiempo. Se plantea la siguiente relación que determina cuanto aire se comprime en un ciclo normal de frenado regenerativo.

$$m = \dot{m} * t \quad (7)$$

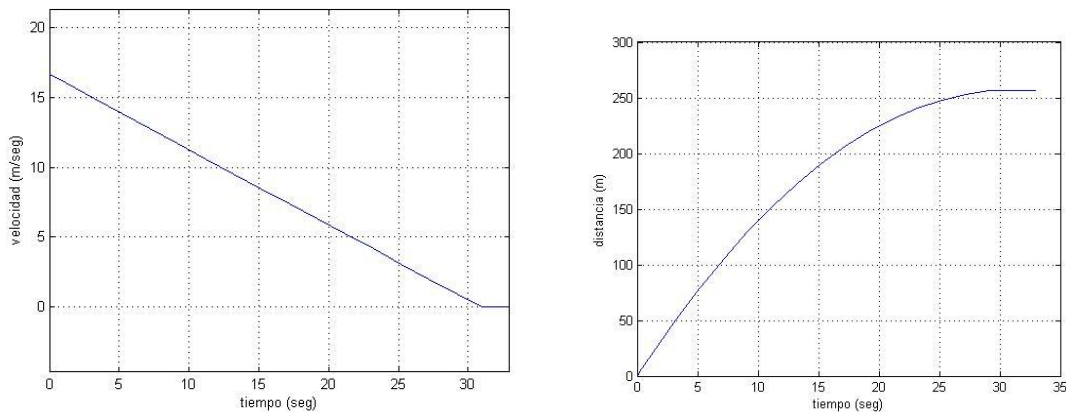
Luego la energía producida por el motor se estima de igual manera que se hizo cuando se calculó el Potencial Teórico en la sección anterior.

Del modelo anterior se obtiene la cantidad máxima de aire que se puede comprimir teniendo en cuenta la resistencia del aire y a la rodadura, con una relación de transmisión de 1 entre el compresor y el eje del bus. Además se supuso que todo el frenado se hace con sistema regenerativo, es decir que no se usa el frenado convencional



*Figura 5 almacenamiento de aire en el tiempo*

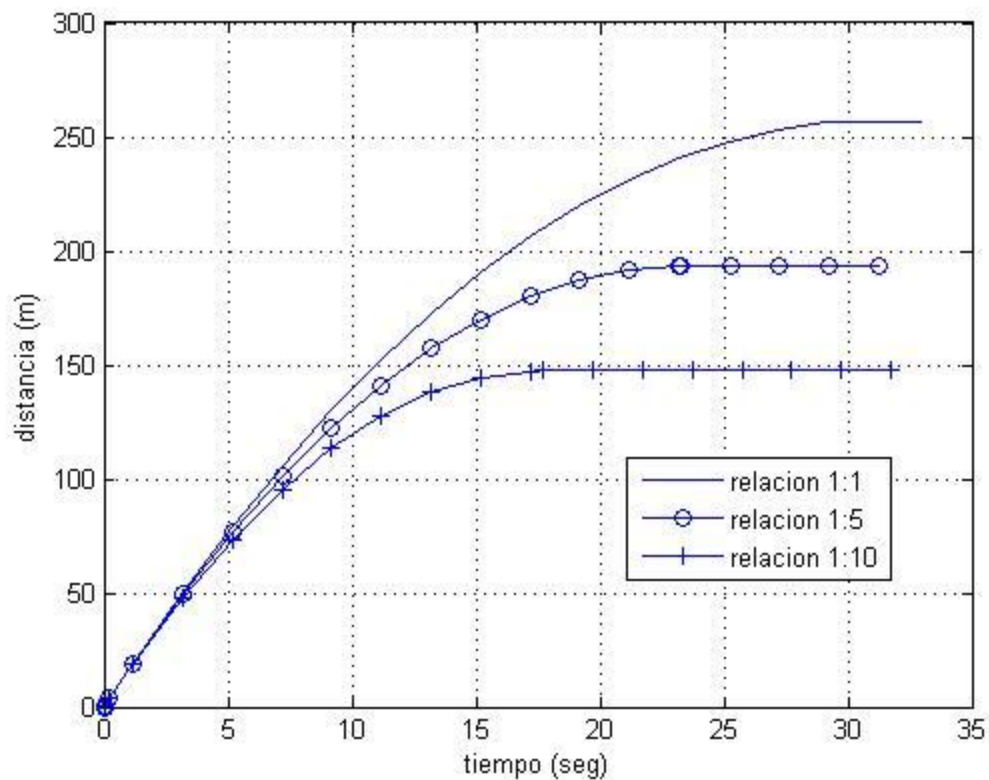
Se obtiene que se almacena 1 kg de aire durante todo el tiempo de frenado, pero se hace evidente que el tiempo de frenado (35 segundos) es demasiado grande, ya que el tiempo normal en que se frena un automóvil está en el orden de los 5 segundos; las gráficas de velocidad y desplazamiento contra el tiempo se muestran a continuación:



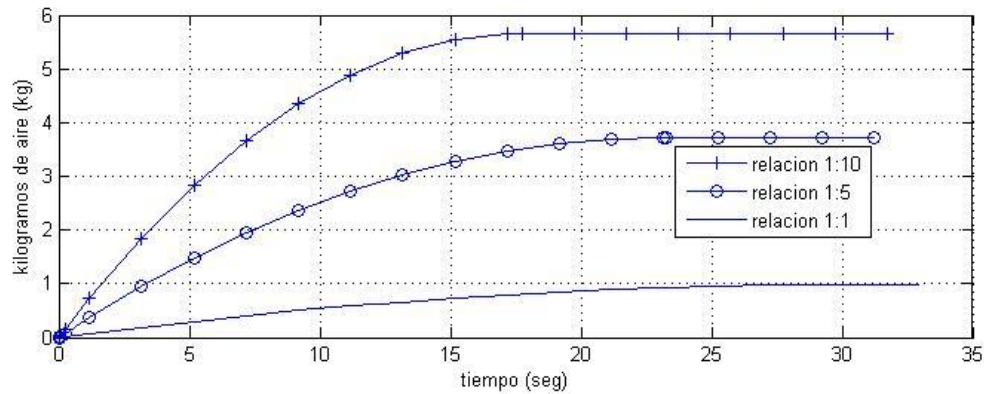
*Figura 6 velocidad en el tiempo y desplazamiento en el tiempo*

El vehículo se alcanza a desplazar 250 m desde el momento en que se enciende el sistema de frenado, lo cual es una distancia muy grande para este tipo de vehículo que en casos de emergencias, debe frenar en el menor tiempo posible. Esto hace evidente la necesidad de complementar el frenado con un sistema de frenado convencional

El desempeño del sistema regenerativo puede aumentarse al aumentar la relación de transmisión que incrementen la velocidad de rotación del compresor y el par de frenado transmitido a las llantas del vehículo, también aumentando el número de compresores utilizados, o aumentando el tamaño de un único compresor.



*Figura 7 comparación de la distancia recorrida con diferentes relaciones de transmisión.*



*Figura 8 capacidad de almacenamiento de aire con diferentes relaciones de transmisión.*

De las simulaciones anteriores se obtiene que el desempeño del sistema puede ser mejorado de manera considerable al aumentar la relación de transmisión, pero el tiempo de frenado, y la distancia recorrida por el bus durante este tiempo es aún muy grande cuando se utiliza solo el de frenado regenerativo, por lo que para poder obtener toda la energía potencialmente utilizable del frenado se debe cambiar la forma de conducción, si el conductor empieza a frenar a una distancia muy corta de donde debe detenerse, gran parte de la energía potencial será consumida por el frenos convencionales y no es reutilizada.

## 7. Simulación de un ciclo de manejo.

Se realizó un análisis del comportamiento del sistema, aplicado al esquema de manejo que puede tener el bus de transporte urbano especial, analizado anteriormente. Dentro de sus parámetros de operación cuenta con un carril privado de movilización en el cual su recorrido no es interrumpido por vehículos particulares, y un sistema de semafORIZACIÓN regulado, por lo que el bus solo se detiene en las estaciones determinadas, las distancias entre paradas y total de la ruta, así como la velocidad de operación y masa de los autobuses fue tomado del Transmetro, que actualmente opera en la ciudad de Barranquilla Colombia. La distancia total entre ambas paradas del bus tiene un valor promedio de 680m. Para el análisis se tuvieron en cuenta cuatro operaciones básicas que realiza el vehículo normalmente de forma cíclica. Estas fueron arranque, desplazamiento a velocidad constante, frenado y espera en la estación para el embarque y desembarque de personal. Cada operación y las correspondientes suposiciones son expuestas a continuación.

## 7.1 Arranque

Para esta etapa se supuso que el vehículo aceleraba a velocidad constante, dicha aceleración se calculó basándose en el ciclo de conducción de la referencia [2] (sin permiso del autor).

De esto se obtuvo que la aceleración, con la que arranca el vehículo es  $1.12 \frac{m}{s^2}$ .

## 7.2 Velocidad constante

Para los diagramas de velocidad de cruce se tiene un tramo a velocidad constante, dicha velocidad es de 60 km/h.

## 7.3 Frenado

El objetivo de la simulación fue el uso del frenado regenerativo por lo cual se asume que el vehículo frena completamente haciendo uso de este sistema.

## 7.4 Espera

El tiempo de espera dependerá del tipo de parada que el auto bus realice, el primer tipo son las paradas con el objetivo de carga y descarga de personal y el segundo son las paradas en semáforos, el primer tipo puede tener un tiempo promedio de 1 minuto y el segundo de 30 segundos.

En la siguiente tabla se presentan los tiempos obtenidos por cada una de las etapas explicadas:

| Operación     | Tiempo (seg) | Distancia (m) |
|---------------|--------------|---------------|
| Arranque      | 14.88        | 124           |
| Vel constante | 24.9         | 408.5         |
| Frenado       | 16           | 147.4533      |
| Espera        | 30           | 0             |

Según la simulación se puede obtener una cantidad máxima de 5.66kg de aire durante cada frenado, lo cual de acuerdo a las características del motor de aire comprimido, deja un tiempo de operación del motor de 29 seg lo cual es alrededor del tiempo que el bus demora en tiempos de espera cortos como semáforos y la mitad de lo necesario en para las paradas de carga y descarga de pasajeros.



## **8. Impacto ambiental**

De la simulación anterior se obtuvo que cada vez que el bus el sistema regenerativo podría entregar un tiempo de autonomía de 30 segundos que para ser usado en el sistema de acondicionamiento de aire que consume aproximadamente 7Kw.

Se estima que el bus analizado anteriormente puede hacer 20 recorridos completos de su ruta designada, en donde tiene aproximadamente 15 paradas en estaciones para embarcar y desembarcar pasajeros, y 6 paradas en semáforos. Por lo que finalmente un bus puede frenar 21 veces durante cada recorrido, es decir 420 veces al día, y dado que el sistema de frenado regenerativo produce 7 Kw durante 30 segundos, en total se estarían produciendo 7Kw durante un tiempo de 12600 segundos, es decir 3.5 horas diarias sin liberar gases dañinos al medio ambiente como el CO<sub>2</sub>.

Si esta misma potencia fuera extraída del motor de principal del vehículo se estaría produciendo de 16 a 18 Kg de Co<sub>2</sub> diarios por bus, es decir alrededor de 6000 Kg de Co<sub>2</sub> anuales, eso es suponiendo que se ha superado el inconveniente de que la potencia del sistema de refrigeración este limitada a la velocidad de rotación del motor o poniendo un motor de combustión auxiliar.

## **9. Conclusión.**

El sistema de frenado regenerativo neumático planteado es una excelente opción para la generación de energía a bordo de medianas y pequeñas potencias, de una forma limpia dentro del vehículo, y no contaminante al ambiente, que al ser utilizada en una flota de buses de una ciudad tendrá un gran impacto benéfico en los niveles de contaminación dentro de esta. En el caso específico estudiado, la energía producida por el sistema de frenado regenerativo mostro ser suficiente para energizar a la unidad de aire acondicionado durante el tiempo que el bus se encuentra estático esperando embarque y desembarque de pasajeros o durante los semáforos, por lo que podría ser una solución al problema de disminución de potencia de los sistemas de acondicionamiento abordo que están acoplados directamente a el motor del vehículo durante los momentos en que el bus se encuentra detenido, brindando así mayor confort a los pasajeros dentro de este, sin la necesidad de utilizar un motor de combustión adicional.

El motor wankel usado como compresor es una buena opción para integrar las necesidades de velocidad de compresion y presión de acumulación requeridas y su diseño de detalle se deja pendiente para posteriores estudios.

## **10. Referencias**

[1] Carla Silva, Marc Ross, Tiago Farias .Analysis and simulation of “low-cost” strategies to reduce fuel consumption and emissions in conventional gasoline light-duty vehicles Energy Conversion and Management, Volume 50, Issue 2, February 2009, Pages 215-222 .

[2] <http://www.dieselnet.com>

[3] Baat G. The adaptation of an engine management strategy for European Use. SAE world congress. SAE paper 840564; 1984.

[4]<http://www.bosch-presse.de/TBWebDB/en-US/PressText.cfm?id=3862>

[5]int MK. Design and construction of a fuel efficient braking system. Warrendale, PA: Soc Automotive Engineers paper No. 871233, 1987

[6]Chicurel R, Nieto J. Hydro-pneumatic system for regenerative braking in motor vehicles. Proc Energy-Sources Technology Conference, Houston, Texas, paper No. 89-ICE-1, 1989

[7] . Pourmovahed A, Beachley NH, Fronczak FJ, Analytical and experimental modeling of a hydraulic energy regeneration system. Proc. 1990 Am Soc Mech Eng Winter Annual Meeting, Dallas, Texas, paper No. 90-WA/FPST-13, 1990.

[8]Ricardo Chicurel . A compromise solution for energy recovery in vehicle braking. Energy, Volume 24, Issue 12, January 1999, Pages 1029-1034

[9] ÇENGEL, YUNUS A, CIMBALA JHON. Transferencia de calor y masa: un enfoque practico. Mexico D.F: McGraw-Hill , 2006

[10] ÇENGEL, YUNUS A, CIMBALA JHON. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones Mexico D.F: McGraw-Hill , 2006

[11] <http://www.globe-benelux.nl>