

Propuesta para una flotilla de Vehículos híbridos (Biogas-Eléctricos) para el transporte Urbano de la Ciudad de Santo Domingo.

William Ernesto Camilo Reynoso, PhD.

Unapec, Santo Domingo, Dominican Republic, wcamilo@adm.unapec.edu.do

Cesar Adonis Félix, PhD.

Unapec, Santo Domingo, Dominican Republic, cfeliz@adm.unapec.edu.do

ABSTRACT

Our proposal is the implementation of a fleet of hybrid vehicles (Biogas-electric) to transport urban of the city of Santo Domingo, with cells of fuel of Biomethane - for electric traction, and with - biomethane as a fuel for internal-combustion engine traction, and supplied with a network of stations from the manure of the municipal slaughterhouses.

The Dominican Republic is a born importer of petroleum, our attentive that hydrocarbon dependence against our sovereignty and nationality, on the other hand our municipal slaughterhouses shed large amounts of polluting organic material to the underground and rivers, constituting a great environmental problems.

In addition to wasting the potential of manure, wasted an inexhaustible source of fuel to change our fleet, and our energy matrix.

Keywords: hybrid vehicles, Biomethane, electric traction, internal-combustion engine, municipal slaughterhouses

RESUMEN

Nuestra propuesta trata de la implementación de una flotilla de vehículos híbridos (Biogas-Eléctricos) para el transporte Urbano de la Ciudad de Santo Domingo, con Celdas de Combustible de Biometano- para la tracción eléctrica-, y con -biometano como combustible para la tracción del motor de combustión interna-, y abastecidos con una red de estaciones a partir del estiércol de los mataderos municipales.

La república dominicana es un importador nato de petróleos, nuestra dependencia a ese hidrocarburo atenta contra nuestra soberanía y nacionalidad, por otro lado nuestros mataderos municipales arrojan grandes cantidades de material orgánico contaminante al subsuelo y a los ríos, constituyendo una gran problemática medioambiental.

Además de desperdiciarse el potencial del estiércol, desaprovechamos una fuente inagotable de combustible para modificar nuestra flota vehicular, y nuestra matriz energética.

Palabras claves: vehículos híbridos, Biometano, tracción eléctrica, máquina de combustión interna, mataderos municipales.

1. INTRODUCCION

Está demostrado que el biogás reúne grandes cualidades para, una vez convertido en biometano, utilizarlo como combustible en vehículos o introducirlo en las redes de gas, demostrando que puede hacerse un aprovechamiento del calor de forma muy eficiente.

En nuestro país, contamos con unos 454 mataderos municipales, los que de manera eficiente pudieran suplir la necesidad del combustible de nuestros autobuses del transporte urbano, entre otros, de manera que estamos en una posición ventajosa para que conjuntamente el biogás y el biometano lideren este nicho energético.

“Las plantas construidas con biogas producen cuatro veces más electricidad que la generada por la energía solar fotovoltaica”, por lo que, con el apoyo adecuado del Gobierno dominicano, podríamos aumentar en ocho veces hasta 2020 la energía renovable procedente del biogás”.

2. DESARROLLO DE NUESTRA PROPUESTA

2.1. La Situación problemática

Las reservas de petróleo se están agotando, y los desperdicios orgánicos de los mataderos municipales no se están aprovechando, produciéndose contaminación y degradación medioambiental.

2.1.1. Entorno de la investigación en la República Dominicana

2.1.1.1. Evolución del Parque Vehicular

El parque vehicular al finalizar el año 2011 ascendió a 2,917,573 unidades, registrando un incremento de 121,977 unidades nuevas.

Tabla 1: Evolución del parque vehicular 2004-2011 en República Dominicana.



Nota: Cifras generadas el 24 de enero de 2012.
Fuente: Departamento de Estudios Económicos y Tributarios, DGII.

2.1.1.2. Parque Vehicular por tipo de vehículo

De los diferentes tipos de vehículos, las motocicletas presentan un mayor crecimiento absoluto con 71,280 motocicletas, para un incremento de 5.1%; seguido por los jeeps con un aumento de 20,766, representando un crecimiento de 8.2%; luego, les siguen los automóviles con un aumento de 16,099 nuevas unidades para un incremento de 2.4%. (Ver tabla 2.)

Tabla 2: Composición del parque vehicular 2010 vs 2011

Tipo	2010	2011 ^{a/}	Variación	
			Absoluta	Relativa
Automóviles ^{1/}	662,633	678,732	16,099	2.4%
Autobuses	73,862	76,300	2,438	3.3%
Jeeps	254,044	274,810	20,766	8.2%
Carga ^{2/}	345,302	355,337	10,035	2.9%
Motocicletas	1,409,975	1,481,255	71,280	5.1%
Volteos	18,343	18,650	307	1.7%
Máquinas Pesadas	18,300	18,913	613	3.3%
Otros ^{3/}	13,137	13,576	439	3.3%
Totales	2,795,596	2,917,573	121,977	4.4%

Nota: Cifras generadas el 24 de enero de 2012.
a/ Incluye únicamente vehículos con placa definitiva (Primera placa).
1/ Incluye Privados, Públicos Urbanos e Interurbanos.
2/ Incluye Camiones y Camionetas.
3/ Incluye Remolques, Ambulancias, Montacargas y Fúnebres.
Fuente: Departamento de Estudios Económicos y Tributarios, DGII.

De la cantidad total de vehículos de motor registrados a diciembre de 2011, el 50.8% corresponde a motocicletas, seguido por los automóviles con 23.3%, los vehículos de carga con 12.2% y el restante 13.7% se distribuye entre jeeps, autobuses, máquinas pesadas, volteos y otros. (Ver tabla 2.)

2.1.1.3. Biogas en motores estacionarios de combustión interna

El alto costo de los combustibles derivados del petróleo hace de esta aplicación una de las mas atractivas que pueden dársele al biogas o biometano en las fincas ganaderas y productoras de cerdos, con el fin del uso en bombas de agua, picadoras de pasto o plantas generadoras de energía eléctrica, todas ellas accionadas por motores de gasolina o diesel; es posible hacer adaptaciones a esos motores para que usen biogas en lugar de combustible tradicional y en los mataderos municipales, para producción de biometano comprimido para el parque vehicular de autobuses del transporte urbano, entre otros. Ellos como Elementos determinantes en nuestra planta de biometano a partir de los desechos orgánicos y estiércol de los mataderos municipales de Santo Domingo.

Tabla 3: Densidad de las mezclas de combustible y poder calorífico

Combustible	Densidad a 15,6 °C (kg/m ³)	PCI (kJ/kg)
Gasolina	739	46522,5
90% metano 10% CO ₂	0,8	38258,81
70% metano 30% CO ₂	1,037	22927,41
50% Metano 50% CO ₂	1,275	13319,73

(Giacosa, 1988; Obert, 2000, Ecopetrol, 2004)

3. ESTADO DEL ARTE PARA UNA CELDA DE COMBUSTIBLE PARA VEHICULOS



Figura 1: Evolución actual en Celdas de Combustibles

3.1. La Celda Combustible (CC)

Una Celda Combustible (CC) es un reactor electroquímico muy parecido a una batería. La diferencia primordial es que una CC se le alimenta los reactivos continuamente versus las baterías en donde los reactivos se encuentran dentro del envase. Los reactivos de nuestra celda de combustible son biometano y aire.

3.2. Elementos a considerar para la producción del biogas para la alimentación de las Celdas de combustible.

3.2.1. Expectativas

- 1.- El Biogás es un combustible renovables disponible, con un gran potencial en el sector energético
- 2.- El Biogás **une los sectores** de la energía con el sector de los residuos:
SINERGIAS
- 3.- El Biogás tiene muchas aplicaciones diferentes
- 4.- Las Pilas de combustible serán el núcleo del futuro energético
- 5.- Estas pilas requieren combustibles renovables
- 6.- El Biogás puede ser usado en pilas, alcanzando altos niveles de eficiencia

Aunque la principal aplicación a día de hoy del biogás es la generación de electricidad, existen nuevas aplicaciones que permiten aprovechar de maneras más eficiente este combustible: tras hacer pasar al biogás por distintos procesos de depuración, se obtiene un gas prácticamente equiparable al gas natural que se conoce como biometano, y que puede inyectarse en la red de gas natural o usarse como combustible de automoción.

4. HIPÓTESIS DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA

4.1. El biogás como combustible de los automóviles

El biogás refinado es llamado biometano, el mismo tiene características muy parecidas al gas natural.

Podemos adecuar nuestros vehículos de gasolina o de Diesel para trabajar con biometano en la parte de tracción por motor de explosión o combustión interna, o en la parte eléctrica usando celdas de combustible adaptadas para trabajar con biometano.

Debemos comprimir el biometano a presiones de 2,000 a 3,000 psi, en tanques adecuados y con el instrumental que es usado para el gas natural.

4.2. Procesos en celdas de combustible que trabajen con biogás-bimetano



Figura 2: Proceso de conversión energética de una Celda de Combustible-Camino largo

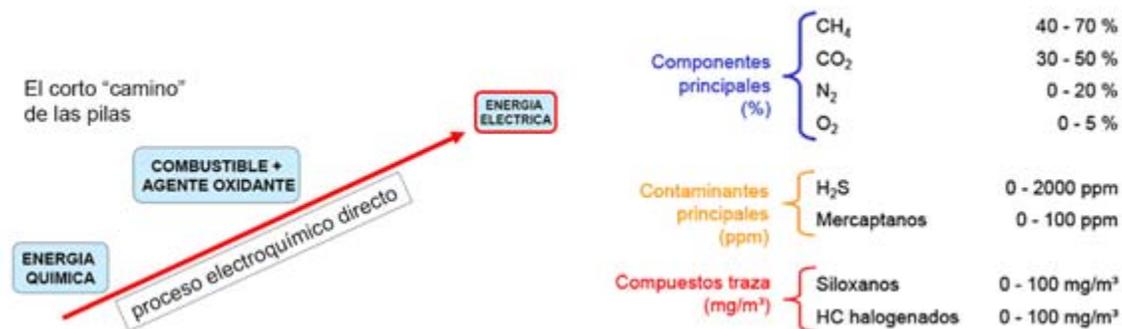


Figura 3: Proceso de conversión energética de una Celda de Combustible-Camino Corto

4.2.1. Motivación

- * Producción de energía limpia a partir del agua y de los desechos orgánicos
- * Sostenibilidad del ecosistema por uso de metodología no intrusiva al medio ambiente
- * Optimización de conversión uso
- * Sistema de diagnóstico para el mantenimiento preventivo y correctivo de las Celdas de combustible.

4.3. Pilas vs. Biogas

4.3.1. Aptitud de las pilas hacia los componentes del biogas:

FC-Typ Gas comp.	Temp. °C	Low Temperature FC			High temperature FC		
		PEFC 80	AFC 100	PAFC 200	MCFC 650	ITSOFC 800	SOFC 1000
H ₂	F	F	F	F	F	F	
CH ₄ , C ₂ H ₆	IG	poison	IG	IG/F	F	F	
CO ₂	IG	poison	IG	React.	IG	IG	
CO	poison (<50ppm)	poison (<500ppm)	poison (<50ppm)	F	F	F	
H ₂ S, COS	nd	poison (<50ppm)	poison (<50ppm)	poison (<0.5ppm)	poison (<1.0ppm)	poison (<1.0ppm)	
NH ₃	poison	F	poison	F	F	F	

AFC	90 - 100°C	Pilas de baja temperatura
PEM	60 - 100°C	
DMFC	60 - 100°C	
PAFC	175 - 200°C	Pilas de alta temperatura
MCFC	600 - 700°C	Pilas de alta temperatura
SOFC	800 - 1000°C	

Figura 4: Comparación entre las Celdas de baja, media y alta temperatura

4.3.2. Pilas de Combustible - descripción general

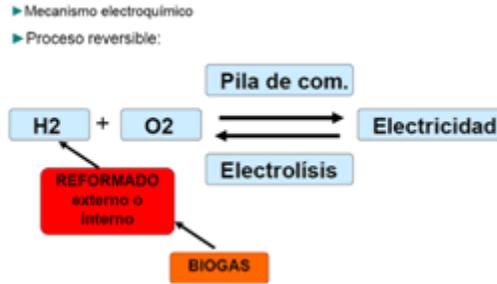


Figura 5: Mecanismo Electroquímico

5. OBJETO, OBJETIVO Y CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Objeto de estudio

Como objeto de estudio identificamos al parque vehicular de Autobuses de transporte urbano.



Figura 6: Alimentación al Biodigestor y sus vistas

5.2. Objetivo y campo de la investigación

5.2.1. El Objetivo: es la construcción de una Planta de biogás modelo para mataderos industriales República Dominicana.

Dado el marco económico actual en el cual estamos condicionados por el uso de una energía cada día más escasa y cara procedente de los países productores de petróleo, es necesario que todos comencemos a utilizar energías renovables como la energía solar, energía eólica, energía hidráulica, la energía de la Biomasa utilizando biodigestores para la producción de gas metano y biológico, en el cual podemos ocupar todo tipo de residuos orgánicos para el aprovechamiento de esta energía.

5.2.2. Mientras que el campo de la investigación: es el desarrollo y construcción del Biodigestor adecuado para los fines de obtener mayor cantidad de biogás con una mejor calidad química en su composición.

5.2.3. Biodigestor de nuestro diseño propio

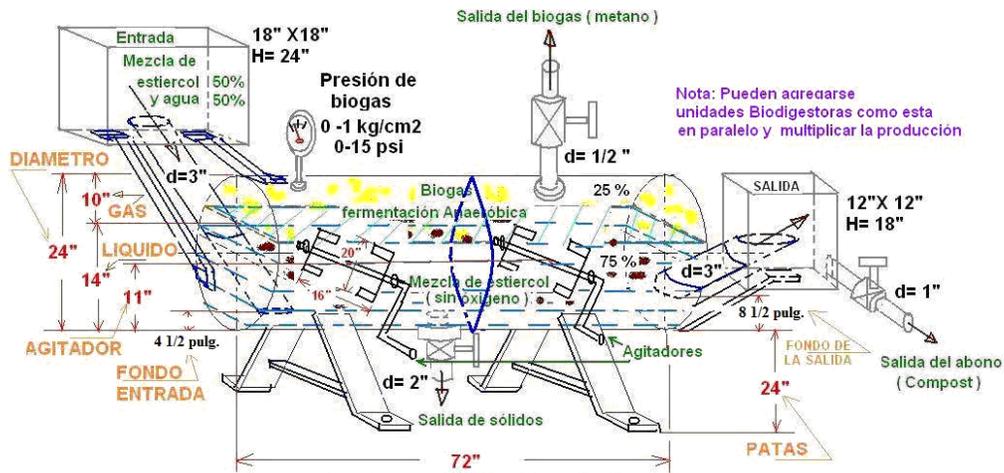


Figura 7: Biodigestor propio y sus vistas



Planta -TANQUE METALICO-para Biogas 1



Planta -TANQUE PLASTICO-para Biogas 2

Figura 8: Biodigestor propio y sus imágenes

Detalles para el diseño mecánico del híbrido:
potencia, torque, peso, velocidad, etc.

Cálculos para determinación de los requerimientos energéticos del Vehículo Híbrido

Datos a considerar:

1. Potencia máxima para el motor eléctrico (20Hp) para una velocidad de crucero de hasta 120 Km/Hr.
2. Potencia del motor de gasolina-Biogás= 100 hp a sólo 6,450 RPM, para una velocidad
Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Suzuki_Swift
3. Velocidad máxima esperada con el motor eléctrico (3,600 RPM)
4. Velocidad máxima esperada con el motor de Biogás(6,450 rpm)
5. Aceleración máxima durante el arranque: $1.11 \frac{\text{metros}}{\text{Seg}^2}$

$$a = 1.11 \frac{\text{Metros}}{\text{seg}^2} = \frac{\left[\frac{1\text{km}}{1000} \right]}{\left[\frac{1\text{Hr}}{3,600} \right]^2} = \frac{1 \times (3,600)^2 \text{ km}}{1 \times 1000 \text{ Hr}^2} = 14,385.6 \text{ km} / \text{Hr}^2$$

Estimación de la aceleración del vehículo para cada segundo a partir del reposo:

$$1erSeg. = 1.11m / seg. = \frac{(1.11)x \frac{1km}{1000}}{\frac{1Hr}{3,600}} = \frac{(1.11)x3,600km}{(1Hr)x1000} = 3.996km / Hr$$

$$2doSeg. = 7.992km / Hr$$

$$3erSeg. = 11.988km / Hr$$

$$4toSeg. = 15.984km / Hr$$

$$5toSeg. = 19.98km / Hr$$

$$V=a*t= (1.11 m/seg^2) *5 seg.= 5.55 m/seg.= 19.98 km/Hr.$$

$$5toSeg. = 19.98km / Hr \sim\sim 20km / Hr(velocidad.en.la.ciudad)$$

$$(20,000mts / 3,600Segs) = (65,620pies / 3,600Segs) = 18.22pies / Segs., \text{ en los primeros 5Segs.}$$

Ahora luego , para una aceleración constante de 1.11m/sg² durante unos 7.5 segs. Se adquiere la velocidad de 30 km/Hr., como podemos observar:

$$V= 1.11 m/se^2 * 7.5 seg. = 8.325 m/seg.=8.325 * 3.6 = 29.97 \sim\sim 30 km/Hr.$$

*(Velocidad establecida por ley para zonas urbanas metropolitanas).

Luego podemos seguir observando, el que si seguimos acelerando a una tasa de 1.11 m/Seg², en los tiempos de 20, y 30 segundos respectivamente obtendríamos las velocidades siguientes:

$$20avoSeg. = 79.92km / Hr \sim\sim 80km / Hr$$

$$30avoSeg. = 119.88km / Hr \sim\sim 120km / Hr..Velocidad.Máxima..eléctricaSeg. = 79.92km / Hr \sim\sim 80km / Hr$$

Podemos observar que la Potencia requerida para llevar 1,500 Libras de peso del vehículo tripulado desde 0 a 20 km / Hr , 5 segs. de aceleración constante de $a = 1.11 \frac{Metros}{seg^2}$, sería de:

$$P = \frac{T}{t} = \frac{F * D}{t} = F * \frac{D}{t} = [F * v = (Lbs - Pies) / Seg.] = [(1,500Lbs) * 18.22pies / Segs.] = 49.71Hp \sim\sim 50 Hp.$$

Nota: en adelante se requerirían de sólo unos **12.22 Hp(PM2)** del motor eléctrico, para mantener la velocidad constante en unos **20 km/Hr**, al aprovecharse la energía cinética y la energía potencial desarrollada hasta el momento.

Pues: $E_{cl} = \frac{1}{2} m * v^2$, $E_{pl} = F * D$; para t1=5Segs., siendo Ec1=(23,101.87 Lbs*mts), y Ep1= (8,325 Lbs*mts); Así:

$ET1 = E_{c1} + E_{p1}$; $P_{t1} = ET1 / t_1 = (1/5 \text{ Segs}) * (23,101.87 + 8,325) = 1/5 * (31,426.87 \text{ Lbs mts}) = (103,111.57 \text{ Lbs*fts}) / 5 \text{ Segs} = 20,622.31 \text{ Lb*ft/Seg} = 37.49 \text{ Hp}$.

Así pues: $PM2 = P_{m1} - P_{t1} = 49.71 - 37.49 = 12.22 \text{ Hp}$.

Motor eléctrico recomendado de 50 Hp por 1 minuto durante el arranque y de 20 Hp nominales.

3,600 RPM, 72 voltios DC. Con un torque de 911(Hp*pies/Segs)=277HpMts/Seg.= 206Kw*Mts/Seg.

Datos adicionales del Suzuki Forsa de 3 pistones 2da generación utilizado en esta reconversión a Híbrido:

La segunda generación del Swift se vendió con motores gasolina, un 1.0 litros de 53 CV, un 1.3 litros de 70 ó 100 CV, y un 1.6 litros. A las versiones con tracción delantera se les agregó otras con tracción a las cuatro ruedas. El coeficiente aerodinámico del Swift es sorprendente con 0.32, una gran faena en un coche de apenas 750kg, piezas de aluminio y un motor muy elástico y sorprendentemente potente.

Además los frenos, de disco en las cuatro ruedas, se muestran más que sobrados para detener los poco más de 850kg que pesa este coche en orden de marcha con conductor incluido. Fuente:

https://es.wikipedia.org/wiki/Suzuki_Swift

Sistema eléctrico del Híbrido:

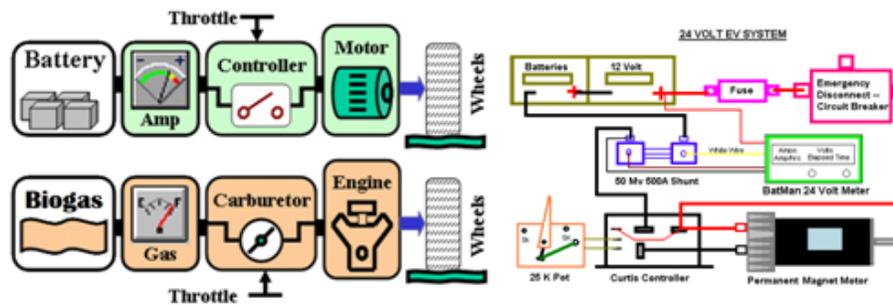


Figura 9: Sistema de control y potencia para la tracción eléctrica del vehículo híbrido para el transporte



Figura 10: Sistema de Motor Motenergy ME1003 Permanent Magnet DC Pancake Brushed Double Magnet

**12-72V VDC, 200 amps Continuous, 400 amps Peak 1 Minute
19.3 hp Cont, 38.6 hp Peak @ 72 Volts**



Figura 11: Controller Alltrax SPM48300 Series/PM 48 volt 300 amp Peak
Controlador de velocidad para el motor Motor Motenergy ME1003 Permanent Magnet DC Pancake Brushed Double Magnet



**Figura 12: Throttle "Cloud Electric" Light Weight Shielded 3 Wire 0-5K
Acelerador para el motor Motor Motenergy ME1003 Permanent Magnet DC Pancake Brushed
Double Magnet con control Controller Alltrax SPM48300 Series/PM 48 volt 300 amp Peak**

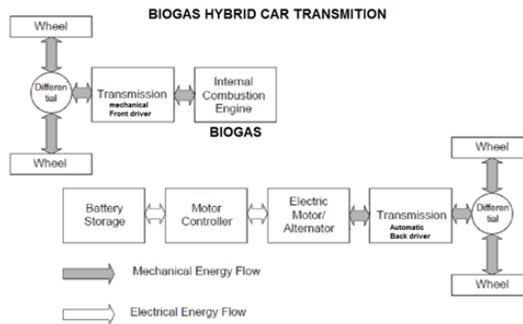


Figura 13: Diagrama de la distribución de los mecanismos de tracción (biogás-electricidad)



Figura 14: Imagen alusiva al carácter ecológico del vehículo híbrido desarrollado en la Escuela de ingeniería de Unapec.

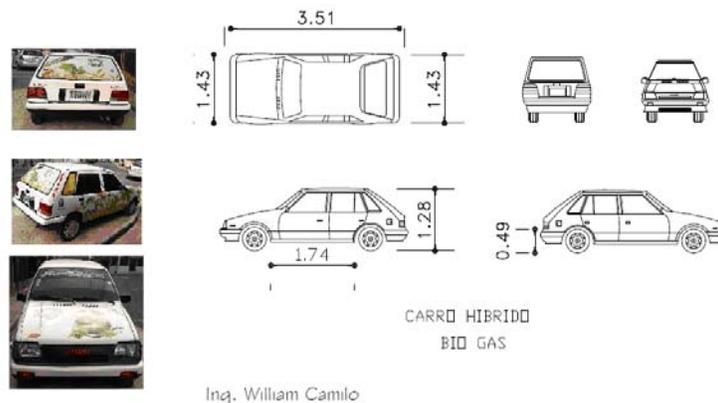
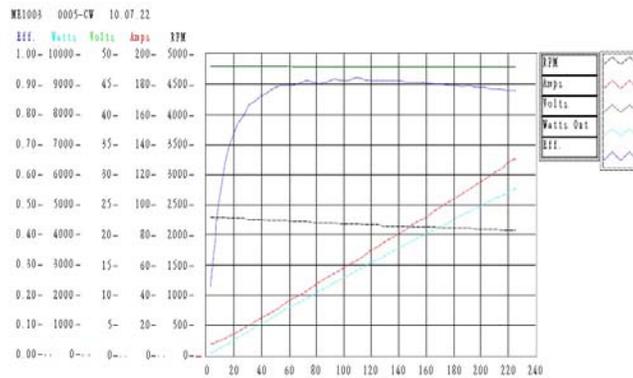


Figura 15: Planos y dimensiones del vehículo adaptado para trabajar como híbrido

Tabla 4: Curvas de comportamiento del Motor eléctrico del Vehículo Híbrido



CONCLUSIONES

El proyecto presentado se proyecta como viable para resolver el problema de la contaminación producida por los mataderos municipales, y el de la importación de derivados del petróleo para la flota de vehículos del transporte urbano donde se aplique.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Boris Fernando Márquez Salazar. 2004. Elaboración de Procedimientos Operacionales Estandarizados (POE) en PROTEINA S.A. Carrera de Agroindustria. Zamorano. Honduras. 83 pp. Ilus.
- 2.- Buenrostro, O., S. Cram, G. Bernache, G. Bocco. 2000. La Digestión Anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales.
- 3.- Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Universidad Autónoma de México, Distrito Federal de México, México. Vol 16 No. 001. 19-26. Ilus.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.