

“Vehículo Ecológico de Transporte Urbano”

Alvarado Ramírez Roberto; Rivas Marret Beatriz; Urquizo Calderón Javier M.Sc.
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral
Apartado 09-01-5863 Guayaquil-Ecuador
rcalvara@espol.edu.ec; brivas@espol.edu.ec; jurquizo@espol.edu.ec

Resumen

En el presente proyecto de tesis se plantea el análisis técnico-económico para el cambio de la flota completa de buses del consorcio Metroquil por buses completamente eléctricos para reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera que ocasionan los buses a Diesel y para implementar un sistema de transporte público donde exista energías renovables, en este caso el uso de energía hidroeléctrica para la alimentación de la nueva flota que reemplazaría a la anterior. Se estudia el funcionamiento completo de los buses eléctricos desde el punto de vista técnico en base a su funcionamiento de locomoción y regeneración de energía incluyendo el estado de la tecnología presente en el Ecuador hasta la actualidad. También se consideran todos los parámetros que involucraría la inversión, ingresos y ahorro que se tiene en un período de 20 años plazo para saber si el proyecto es económicamente viable por medio del análisis del VAN y el TIR.

Palabras claves: Fuentes renovables, Vehículo Ecológico.

Abstract

In this thesis project technical and economic analysis for the change of the whole fleet of buses by consortium Metroquil-electric buses to reduce CO₂ emissions into the atmosphere that cause the diesel buses and to implement a system where there is public transport renewable energy, in this case the use of hydroelectric power for the new fleet to replace the old one. We study the full operation of electric buses from the technical point of view based on their performance of locomotion and energy regeneration including the present state of technology in Ecuador until today. Also considered all parameters that involve investment, income and savings you have a 20-year period to see if the project is economically feasible through analysis of NPV and IRR.

Keywords: Renewable Sources, Ecological Vehicle.

1. Introducción

Este proyecto tiene como fin analizar el estudio del Sistema de transporte masivo Metrovía de la ciudad de Guayaquil que actualmente consume diesel como combustible y que genera grandes cantidades de CO₂ que son emitidas a la atmósfera y por lo tanto se acelera el proceso de calentamiento global en el planeta. Es por eso que hemos llevado a cabo en este documento de tesis el estudio de la posibilidad de cambiar la flota completa de buses del Sistema de Transportación Masiva de la ciudad de Guayaquil (Consorcio Metroquil) por buses totalmente eléctricos. Para lograr tal propósito se hizo un estudio completo a la posibilidad de cambiar toda la flota de buses.

2. Estado de la Tecnología

En este capítulo se analizó las diversas fuentes de energías primarias que la humanidad utiliza entre ellas los combustibles fósiles y el carbono. En este repaso histórico nos hemos podido dar cuenta que durante las primeras 8 décadas del siglo 20 la humanidad utilizó grandes cantidades de este tipo de energía que son no

renovables y al procesarla para poder aprovecharla al máximo generaban grandes cantidades de desechos que eran lanzados al medio ambiente(atmósfera, mar y tierra). Es por eso que las grandes potencias mundiales en las últimas tres décadas han empezado a invertir en investigación de tecnología limpias y aprovechamiento de las energías renovables que el hombre tiene a

disposición en la naturaleza. Al nivel mundial todos los sistemas de transportes mecanizados que el hombre utiliza han usados combustibles fósiles, pero de ladécadas de los 60 se inventaron en el caso de la transportación terrestre urbana se inventaron transportes que utilizan solo energía eléctrica para su movilidad y con el paso de los años las tecnología de motores eléctricos que mueven dichos buses han mejorado hasta el punto de duplicar su eficiencia. Estas características son las que se analizan en el siguiente capítulo.

3. Valoración Económica del VAN y TIR

Para realizar este análisis se tomará un período de tiempo de 15 años para saber si el proyecto es rentable y se considerará el valor de compra de los buses eléctricos junto con el valor que se obtiene de la venta de los buses cuando culmine su vida útil y el ahorro que nos representa el sacarlos de funcionamiento en cuanto al combustible que utilizan.

3.1 Consumo de combustible por cada bus al año

En el país se comercializan 4 tipos de diesel, el cuál el contaminante es el diesel tipo 2 por su gran contenido de azufre y este es el que consumen los buses de la Metrovía

Las características del Diesel tipo 2 son las siguientes:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DIESEL 2

Requisitos	Unidad	Min*	Máx.	Método Ensayo
Punto de Inflamación	°C	51	--	INEN 1493
Corrosión Lámina de Cobre	--	--	Nº 3	INEN 927
Temperatura de destilación 90%	°C	--	370	INEN 926
Agua y Sedimentos	% en V	--	0.05	INEN 1434
Índice de Cetano Calculado	--	45	--	INEN 1495
Residuo Carbonoso sobre el 10% del residuo	% peso	--	0.15	INEN 1491
Cenizas	% peso	--	0.01	INEN 1492
Viscosidad Cinemática 38°C	cSt	2.5	6.00	INEN 810
Contenido de Azufre	% peso	--	0.70	INEN 1490
Calor de Combustión	--	--	--	--

Figura 3.2: Depósito de Diesel tipo 2 y características físico-químicas.

Petrocomercial distribuye a Metroquil 170,000 galones de Diesel tipo 2 al mes. Lo cual se distribuye de la siguiente manera: 170,000[gl/mes] para 217 buses (110 alimentadores y 107 articulados) entre las troncales 1 (Guasmo Sur-Terminal Rio Daule) y 3 (Troncal Bastión-Centro). Cuantos galones serían para 97 buses (52 buses articulados y 45 alimentadores) del consorcio Metroquil. Se aplica una regla de tres:

$$X = \frac{170000 \left[\frac{\text{gl}}{\text{mes}} \right] \cdot 97 \text{ buses}}{217 \text{ buses}} = 75990.78 \left[\frac{\text{gl}}{\text{mes}} \right] \quad (3.1)$$

Que consumen los buses que prestan servicio al consorcio Metroquil.

El número total de galones consumidos al año sería: 911,889.40 [gl].

Como se muestra en la cifra anterior es una gran cantidad de este combustible que es consumido por la flota de buses del consorcio Metroquil.

3.2 Toneladas de CO2 que se evitarían emitir al año por el beneficio de cambiar los buses de diesel por los buses eléctricos

Según el consorcio Metroquil los buses articulados tienen una frecuencia de salida de 2 minutos y los buses alimentadores en promedio una frecuencia de salida de 14 minutos, esto para optimizar tiempo y unidades según la demanda de usuarios. Para los buses alimentadores se tiene la siguiente tabla que resume las frecuencias y kilometraje recorrido.

Rutas Alimentadoras			
Troncal	Ruta	Km /vuelta	Viajes Prog.
Guasmo - Rio Daule	Playita	10,6	198
	Pradera	7,8	111
	Guasmo Central	11,9	105
	Ruta 1 Daule / Guayaanes	7,55	132
	Ruta 2 Daule / Samanes	8,6	157
	Ruta 3 Daule / Alborada	11,9	86

Tabla 3.2: Rutas alimentadoras del consorcio Metroquil y sus recorridos semanales.

Los buses articulados recorren en promedio un total de 297[Km] durante el día, según datos Metroquil. Al hacer los cálculos respectivos para determinar el kilometraje total de articulados y alimentadores, se utiliza una aplicación informática desarrollada por GREENPEACE como una calculadora que proporciona la cantidad de kilogramos de CO2 que se genera por cada kilómetro recorrido por la flota de buses. Concretamente nos podemos dar cuenta que al utilizar los 97 buses a Diesel genera

$$110.565 \left[\text{Kg CO}_2 / \text{Km} \right] \quad (3.5)$$



Figura 3.5: Buses de Metrovía emitiendo grandes cantidades de CO2.

Para saber la cantidad de CO2 que se genera en toda la flota durante todo un año de funcionamiento realizamos el siguiente procedimiento:

$$110.565[\text{Kg CO}_2] * 365 \text{ días} = 40,356.225[\text{Kg CO}_2]$$

Durante un año.

$$40,356.225[\text{Kg CO}_2] * \frac{1 \text{ Ton CO}_2}{1000 \text{ Kg CO}_2} =$$

$$40.356225[\text{Ton CO}_2] \text{ Al año.}$$

En el mercado internacional los precios de la tonelada de CO2 son variados y cubren un rango desde \$5 hasta \$30 dependiendo del país emisor, pero se escogió el precio referencial de €7, a un precio de \$10.9886 cada euro. Tomando en cuenta también que vamos a utilizar energía eléctrica generada en centrales hidroeléctricas, se debe tener en cuenta el porcentaje de generación hidroeléctrica en el país; según la CENACE (Centro Nacional de Control de Energía) el porcentaje de generación hidroeléctrica en el país es de %68.24 hasta julio del 2012.

Lo cual representa un factor multiplicativo para las cantidades de CO2 emitidos a la atmosfera por los buses de la Metrovía:

$$40.356225[\text{Ton CO}_2] * 68.24\% = 27.5391[\text{Ton CO}_2]$$

(3.6)

Lo que representaría un ingreso para el Ecuador de:

$$27.5391[\text{Ton CO}_2] * 10.9886 \left[\frac{\$}{\text{Ton CO}_2} \right] = \$ 302.62$$

Al año. (3.7)

Esta cantidad se considera como un beneficio adicional al análisis económico general que se va a hacer al proyecto.

3.7 Costo de venta de los buses antiguos (alimentadores y articulados) al término de su vida útil

Según estudios realizados por estudiantes de la facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Ejército (ESPE) la vida útil de buses y demás transportes públicos urbanos es de aproximadamente 684,438[Km] cantidad que representa unos 10 años, estos buses se los pueden vender a un porcentaje del valor inicial de la compra, este porcentaje se lo obtiene de la siguiente relación:

$$\text{Valor Residual} \equiv \frac{100\%}{\text{Vida útil de 10 años}} * 2 = 20\% \text{ anual}$$

(3.10)

Por lo tanto el precio que resulta de las ventas de las unidades antiguas de los buses articulados es:

$$20\% * \$260,000 = \$52,000 \quad \text{Por cada unidad.}$$

(3.11)

Y para 52 articulados da un total de \$2, 704,000.

Y el valor que resulta de la venta de los buses alimentadores es:

$$20\% * \$80,000 = \$16,000 \quad \text{Por cada unidad.}$$

(3.12)

Y para 45 alimentadores da un total de \$720,000.

La suma total entre los buses articulados y los alimentadores es: \$3,424, 000.

3.8 Análisis de la Potencia que necesita la flota de buses en cada Troncal

Una vez que se haya adquirido la flota de buses eléctricos para cambiar a los que actualmente están laborando, se necesita saber la capacidad de la subestación eléctrica que va a alimentar a toda la flota, para este efecto se van a utilizar transformadores de distribución de 250[KVA] conectados de tal manera que proporcionen un voltaje de 440[Vac] (conectados en serie en su secundario).

Haciendo el análisis con las potencias de los transformadores, tenemos:

$$12 \text{ Transformadores} * 250[\text{KVA}] = 3000[\text{KW}] =$$

$$3[\text{MW}] \quad (3.17)$$

Esa es la potencia instalada de cada subestación. Ahora como son 6 tomas de alimentación en esta subestación se puede tener diversas combinaciones al momento de conectar las unidades (p.e: 4 buses alimentadores y 2 articulados, 3 buses articulados y 3 alimentadores, etc.); el peor de los escenarios sería tener las 6 tomas ocupadas al mismo tiempo por 6 buses articulados (que demandan 450[KW] cada uno) lo que sería:

$$6 \text{ buses} * 450[\text{KW}] = 2700[\text{KW}] = 2.7[\text{MW}]$$

(3.18)

Esta sería la potencia máxima de demanda para la subestación, lo que quiere decir que estaría funcionando como máximo al 90% de su capacidad nominal. Por lo tanto queda demostrado que abastece totalmente la demanda de los buses en su totalidad.

3.11 Análisis de frecuencias de trabajo y número de unidades de los buses eléctricos articulados y alimentadores

Primero analizamos las frecuencias para los buses articulados los cuales se han dividido en dos grupos de 30 unidades para efecto del análisis. Cada grupo tiene su respectivo horario de trabajo y horario de recarga y mantenimiento, y ambos se rotan de manera tal que completan un ciclo completo de rotación horaria en 48 horas (2 días laborales). Esto se puede observar en la siguiente figura:

Tabla 3.3: Análisis del número de unidades de articulados (18[mt]) que deben recargas baterías en cada subestación según su grupo y horario de trabajo.

Día	Grupo de Buses	Horas Turno	Horas de Recarga	Número de buses por grupo	Número de Unidades que Recargan en Subestación Guasmo Sur	Número de Unidades que Recargan en Subestación Terminal-Río Daule
1	1	5am-12pm	12pm-5pm	30	15	15
	2	12pm-7pm	7pm-12am	30	15	15
	1	7pm-12am	12am-5am	30	15	15
2	2	5am-12pm	12pm-5pm	30	15	15
	1	12pm-7pm	7pm-12am	30	15	15
	2	7pm-12am	12am-5am	30	15	15

Para los buses alimentadores se analiza ahora 6 rutas diferentes que existen, 3 para el norte de la ciudad y 3 para el sur, en esta primera tabla se muestra el número de vueltas que realizan durante el día y la longitud del recorrido en cada vuelta, con la frecuencia propuesta para cada unidad:

Tabla 3.4: Tabla de frecuencias y recorridos de las rutas alimentadoras (12[mt]).

Ruta	Viajes Programados al Día	[Km/vuelta]	[Vueltas/hora]	Recorrido [Km/hora]	Frecuencia [min]
Playita	29	10.6	2	21.2	10
Samanes	23	8.6	2	17.2	10
Pradera	16	7.8	1	7.8	10
Guasmo Central	15	11.9	1	11.9	10
Guayacanes	19	7.5	1	7.5	10
Alborada	13	11.9	1	11.9	10

Al igual que con los buses articulados ahora se muestra los grupos de buses por cada ruta, el número total de unidades, las horas de trabajo (recorrido) y las horas de recarga y mantenimiento para cada grupo y como se reparten en cada troncal según sus rutas. Esto se resume en la siguiente tabla:

Tabla 3.5: Número de unidades de buses alimentadores para cada ruta.

Ruta	Número de grupos	Buses por grupo	Total de Buses	Horas		Recargan Subestación Guasmo Sur	Recargan Subestación Terminal-Río Daule
				Turno	Recarga		
Playita	2	3	6	5am-3pm	3pm-8pm	3	3
				3pm-12am	12am-5am	3	3
Samanes	2	3	6	5am-3pm	3pm-8pm	3	3
				3pm-12am	12am-5am	3	3
Pradera	1	6	6	5am-12am	12am-5am	12	12
G. Central	1	6	6	5am-12am	12am-5am	12	12
Guayacanes	1	6	6	5am-12am	12am-5am	12	12
Alborada	1	6	6	5am-12am	12am-5am	12	12

3.12 Dimensionamiento de las líneas de media tensión que alimentarán a las subestaciones de 3[MW]

Partimos conociendo la potencia demandada en cada subestación, por lo tanto se determina la corriente trifásica en las líneas de media tensión:

$$P = V * I * f_p \rightarrow I_{3\phi} = \frac{P}{f_p * V} = \frac{2700[KW]}{0.92 * 7.621[V]} = 385.09[A] \quad (3.21)$$

El factor de potencia de 0.92 en atraso es escogido por seguir las normas ecuatorianas para cargas industriales. La corriente en cada línea de alimentación es:

$$I_{1\phi} = \frac{I_{3\phi}}{3} = \frac{385.09}{3} = 128.36[A] \quad (3.22)$$

Según normas técnicas del libro NEC un conductor debe sólo estar trabajando al 80% de su capacidad nominal, por tanto:

$$128.36[A] \cdot 80\% \rightarrow X = \frac{128.36[A] * 100\%}{80\%} = 160.45[A] \quad (3.23)$$

Lo que quiere decir que el conductor de cada línea debe soportar 161[A]. Nuestro caso contempla dos posibilidades:

1. Conectarse a líneas de 13.8 [KV] ya existentes, o;
2. Instalar líneas exclusivas de alimentación para la carga demandada.

Si se considera la posibilidad #1 se tiene que conocer aproximadamente la carga que está conectada actualmente a las líneas de 13.8 [KV], se estima de la siguiente manera.

En forma general cada subestación de 69[KV]-13.2[KV] tiene una potencia instalada de 24[MW], y en hora pico (aproximadamente a las 20h00 en la mayoría de las S/E's) se registra una demanda de 20[MW] en promedio, por tanto se tiene una corriente de demanda de:

$$I_{3\phi} = \frac{P}{f_p * V} = \frac{20000[KVA]}{0.92 * 13.2[KV]} = 1646.90[A] \quad (3.24)$$

Y la corriente monofásica es:

$$I_{1\phi} = \frac{I_{3\phi}}{3} = \frac{1646.90[A]}{3} = 548.97[A] \quad (3.25)$$

Según normas técnicas del NEC el factor de utilización del conductor es 80%:

$$548.97[A] \cdot 80\% \rightarrow X = \frac{(548.97[A]) * (100\%)}{80\%} = 686.21[A] \quad (3.26)$$

Ahora este es el valor de la corriente en cada línea del secundario del transformador de potencia, pero en cada subestación existen 5 derivaciones para cada línea lo que quiere decir:

$$I_{\text{línea aérea}} = \frac{I_{1\phi}}{5} = \frac{686.21[A]}{5} = 137.24[A] \quad (3.27)$$

Las líneas aéreas de 13.8 [KV] que utiliza la empresa eléctrica de Guayaquil son de calibre 3/0 según datos técnicos, y estas líneas según la tabla del NEC soportan una corriente de 285 [A].

Tabla 3.6: Tabla de ampacidad para conductores aéreos a 90°C y 105°C.

Table 310.71 Ampacities of an Insulated Three-Conductor Copper Cable Isolated in Air Based on Conductor Temperatures of 90°C (194°F) and 105°C (221°F) and Ambient Air Temperature of 40°C (104°F)

Conductor Size (AWG or kcmil)	Temperature Rating of Conductor [See Table 310.13(C)]			
	2001–5000 Volts Ampacity		5001–35,000 Volts Ampacity	
	90°C (194°F) Type MV-90	105°C (221°F) Type MV-105	90°C (194°F) Type MV-90	105°C (221°F) Type MV-105
8	59	66	—	—
6	79	88	93	105
4	105	115	120	135
2	140	154	165	185
1	160	180	185	210
1/0	185	205	215	240
2/0	215	240	245	275
3/0	250	280	285	315
4/0	285	320	325	360
250	320	355	360	400
350	395	440	435	490
500	485	545	535	600
750	615	685	670	745
1000	705	790	770	860

Si utilizamos las líneas que ya están levantadas para alimentar a las manzanas de residencias, entonces al tener un conductor de calibre 3/0 y nuestra subestación que demanda 161 [A], nos damos cuenta que:

$$\text{Ampacidad del conductor} - \text{Carga que va a alimentar} = 285[A] - 161[A] = 124[A] \quad (3.28)$$

Que quedan libres para ser consumidos por las residencias a las que da servicio actualmente, pero según el análisis previo se tiene que la carga demandada es de (por las residencias):

$$I_{\text{carga}} = 137.24[A] \quad (3.29)$$

Con lo que podemos concluir que no se puede conectar a las líneas actuales que dan servicio. Tendríamos que solicitar a la empresa eléctrica de Guayaquil, instale líneas de 13.8 [KV] exclusivas para las dos subestaciones ubicadas en los terminales Guasmo_Sur y Terminal-Río Daule.

Al llevar a cabo la posible implementación de esta subestación de 3[MW], se tiene dos problemas con los reglamentos que aplica la Empresa Eléctrica de Guayaquil para abastecer a usuarios de media tensión. A saber, son dos inconvenientes principales:

Cada usuario (residencial, comercial o industrial) no puede tener más de una acometida de alimentación o medidor y dicha Troncales cuentan con una acometida de media tensión.

Un usuario conectado a media tensión (13.2 [KV]) no puede sobrepasar 1[MW] de carga y en nuestro caso la subestación es de 3 [MW], por lo que no se podría conectar a estas líneas.

Por las razones antes expuestas en nuestro caso necesitamos, aparte de los transformadores de distribución, adquirir dos transformadores (uno para cada troncal) de poder de 5[MVA] para abastecer la demanda de los buses eléctricos y la carga ya existente de la Troncal. Es por esto que se utilizarán líneas de 69[KV] de alta tensión para la alimentación, pero esta parte queda para un posterior análisis que no está incluido en este proyecto.

3.13 Cotización de los transformadores de distribución para subestaciones de 3[MW]

Según algunos proveedores en el Ecuador, los precios de los transformadores de distribución varían de acuerdo a las capacidades de los mismos y de los accesorios que puedan traer, por ejemplo, la marca ABB ofrece sus transformadores monofásicos de distribución a los siguientes precios (en Colombia):

Monofásicos serie 15 kV					
Voltaje en el lado AT. Voltios	Voltaje en el lado de BT. Voltios	KVA	Descripción del producto BA PG	Código	Precios en COP sin IVA
13.800 – 13.200	120-240	5	Single phase	UAA 00XX	\$ 3.690.000
		10	Single phase	UAB 00XX	\$ 3.767.000
		15	Single phase	UAC 00XX	\$ 4.351.000
		25	Single phase	UAD 00XX	\$ 5.526.000
11.400 – 7.620	120-240	37.5	Single phase	UAE 00XX	\$ 7.135.000
		50	Single phase	UAF 00XX	\$ 8.581.000
		75	Single phase	UAG 00XX	\$ 11.252.000
		100	Single phase	UAG 00XX	\$ 16.635.000

Tabla 3.7: Precios de transformadores monofásicos de distribución ABB.

Como no se muestra el precio de los transformadores de 250[KVA], hacemos lo siguiente:

$$\begin{matrix} 100[KVA] & \$16,635 \\ 250[KVA] & X \end{matrix} \rightarrow X = \frac{250[KVA]*\$16,635}{100[KVA]} = \$41,587.5 \quad (3.30)$$

Tomando en cuenta los precios de traslado y los aranceles que deben pagar los transformadores para llegar a Guayaquil, se toma como precio referencial: \$43,000 para cada uno.

En la estación del Guasmo Sur se planea implementar la subestación para los buses (articulados y alimentadores) implementándola con 6 tomas de alimentación para toda la flota. En la estación del Terminal Río Daule se planea implementar una subestación de igual capacidad con 6 tomas de alimentación para los buses alimentadores y de forma emergente para los articulados. Por tanto en total sería 24 transformadores de 250[KVA] a un precio de mercado de \$43,000 cada uno, dando un total de \$1,032,000.

3.14 Costo de la energía eléctrica consumida por la flota de buses (articulados y alimentadores)

Cada bus alimentador y articulado tarda 1[h] en recargarse y en total se recargan 2 veces al día:

$$\frac{250[Km] \text{ de autonomía}}{33[Km] \text{ de recorrido en cada vuelta}} = 7.57 \text{ vueltas} \rightarrow 7 \text{ vueltas en un día} \quad (3.31)$$

Como cada jornada de trabajo consta de 8 horas, entonces estos buses trabajan dos jornadas al día, lo que quiere decir que se tiene que recargar 2 veces durante un día.

3.14.1 Buses alimentadores (12[mt])

$$170[Kw] * 2[h] = 340[Kwh] \text{ Al día, un solo bus.} \quad (3.32)$$

$$340[Kwh] * 45 \text{ buses} = 15,300[Kwh] \text{ Al día, 45 buses.} \quad (3.33)$$

$$15,300[Kwh] * 30 \text{ días} = 459,000[Kwh] \text{ Al mes, 45 buses.} \quad (3.34)$$

$$459,000[Kwh] * 12 \text{ meses} = 5,508,000[Kwh] \text{ Al año, 45 buses.} \quad (3.35)$$

Utilizando la tarifa promedio de \$0.052 para el trolebús de Quito, el costo de operación sería:

$$[\text{Kwh}] * \text{tarifa} = 5,508,000[\text{Kwh}] * 0.052 \left[\frac{\$}{\text{Kwh}} \right] = \$ 286,416.00 \text{ Ec. 3.36 Al año.}$$

3.14.2 Buses articulados (18[mt])

450[Kw] * 2[h] = 900[Kwh] Al día, un solo bus. (3.37)

900[Kwh] * 60buses = 54,000[Kwh] Al día, 60 buses. (3.38)

54,000[Kwh] * 30 días = 1,620,000[Kwh] Al mes, 60 buses. (3.39)

1,620,000[Kwh] * 12 meses = 19,440,000[Kwh] Al año, 60 buses. (3.40)

Utilizando la tarifa promedio de \$0.052 para el trolebús de Quito, el costo de operación sería:

$$[\text{Kwh}] \text{tarifa} = 19,440,000[\text{Kwh}] * 0.052 \left[\frac{\$}{\text{Kwh}} \right] = \$ 1,010,880.00 \text{ Ec. 3.41 Al año.}$$

La suma total del consumo eléctrico de la flota de buses para el consorcio Metroquil es:

Total = \$ Buses Articulados + \$ Buses Alimentadores (3.43_A)

Total = \$ 1,010,880 + \$ 286,416 = \$ 1,297,296.00 Al año (3.43_B)

Conclusiones.

- Debido al alto consumo de combustibles fósiles en los sistemas de transportación masiva a nivel mundial se está tomando la iniciativa de reemplazar las unidades que actualmente consumen diesel por buses completamente eléctricos, para aprovechar el recurso renovable que significa utilizar la energía producida por centrales hidroeléctricas.

- Actualmente en el Ecuador el único sistema de transporte masivo eléctrico que existe es el trolebús de la ciudad de Quito. En la ciudad de Guayaquil, capital económica del Ecuador, también existe un sistema de transporte masivo denominado Metrovía, pero este sistema funciona con unidades que consumen combustible fósiles; por lo que se estudia cambiar toda la flota de buses por unidades completamente eléctricas.

- Mediante un software de simulación muy avanzado denominado MATLAB se desarrolló un modelo muy aproximado al funcionamiento real de un bus eléctrico en donde se considera parámetros físicos reales como el torque de carga debido al rozamiento de la llanta con el suelo, el acople mecánico entre los motores eléctricos y los alternadores para mantener una retroalimentación de voltaje constante a las baterías y que permita el funcionamiento óptimo de todas las cargas eléctricas dentro del autobús como ventiladores, radio, cámara de vigilancia, limpiaparabrisas, luces para el camino e iluminación interna. También en este modelo desarrollado por los mismos creadores del

software se considera el “frenado regenerativo” que poseen actualmente la mayoría de buses eléctricos, representado por un resistor variable y una fuente controlada de corriente suministrando un a realimentación a los alternadores.

- El análisis financiero con las hipótesis asumidas muestra que el proyecto sin considerar emisiones de CO2 es rentable presentado con una tasa de interés del 5% con una VAN de \$2,423,000 y una TIR de 6.97%. Cuando se considera el beneficio económico de no emitir CO2 llegamos a la conclusión de que los valores de VAN y TIR no varían significativamente.

- Se requiere 60 buses articulados eléctricos para cumplir los recorridos que hacen los 52 buses de diesel de la actual flota. Y se mantiene el mismo número de los buses alimentadores cuando se los reemplaza por las unidades eléctricas.

- El país tendría un ahorro de \$1,931,000 al dejar de consumir diesel por la energía hidroeléctrica que alimentara las flota de buses, está cantidad se la considera sin el beneficio de no emitir CO2 al ambiente.

- Con el cambio total de buses a diesel por buses completamente eléctricos se tiene un beneficio adicional de no emitir 40.36 [Ton CO2] a la atmosfera, eso representa un valor de \$302.62 al año. Este valor puede variar dependiendo el precio internacional del CO2.

Referencias.

[1] J. Glynn Henry, Gary W. Heinke, Ingeniería Ambiental, Editorial Pearson, 2da edición, 1996.

[2] Vida útil de los buses en Ecuador, <http://www.eluniverso.com/2011/07/04/1/1447/estudio-fija-10-anos-20-vida-util-buses.html>, Mayo 2011.

[3] Fórmula para hallar la vida útil de los buses, <http://www.monografias.com/trabajos15/depreciacion-fiscal/depreciacion-fiscal.shtml>, Mayo del 2011.

[4] Precio de Buses Eléctricos, <http://spanish.alibaba.com/product-gs/2012-new-style-electric-car-electric-bus-e-v-cyev-0158hb-e-v-526293671.html#>, Julio 2011.

[5] Calculadora de cantidades de CO2 emitido, <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090612144441AA86z9s>

<http://webs.greenpeace.es/calculaCO2/calculador.php>, Junio 2012.

[6] Precio de diesel internacional, <http://www.monografias.com/trabajos93/precio-energias-subsidiadas-venezuela/precio-energias-subsidiadas-venezuela.shtml>, Julio 2012.

[7] Tarifa promedio para el trolebús de Quito, <http://www.eeq.com.ec/upload/pliegos/20120529075020.pdf>, Mayo del 2012.

[8] Datos de la Metrovía, <http://www.eluniverso.com/2012/07/29/1/1445/buses-crecen-segun-demanda-metrovia.html>, Julio del 2012.

[9] Costo de los buses de la Metrovía, http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CEQQFjAG&url=http%3A%2F%2Fwww.metrovia-gye.com%2Fpdf%2Fproyecto.php&ei=r5s7ULibFZTU9QStlYGoCg&usg=AFQjCNGz_Fl-G721t_CBkm0nlLA39h10hg&sig2=nfyAsEC0rpFPoun_oBHmnA, Abril del 2012.

[10] Precio de la tonelada del CO2 en el Mercado Internacional, <http://www.20minutos.es/noticia/1406283/0/espana/pago-emisiones-co2/contaminacion/>, Agosto del 2012.

[11] Precio de los transformadores ABB, <http://www.transformadores.com.co/pdf/ABB-Lista%20de%20Precios.pdf>, Agosto del 2012.

[12] Combustible distribuido por PETROCOMERCIAL a la METROVÍA, [http://www.bittium-](http://www.bittium-energy.com/cms/content/view/29387/272/)

[energy.com/cms/content/view/29387/272/](http://www.bittium-energy.com/cms/content/view/29387/272/), Julio del 2012.

[13] Características técnicas de los diferentes tipos de Diesel en el Ecuador, http://www.petrocomercial.com/wps/portal/!ut/p/c1/hY3LDoIwEEW_yMxM24x1iQ_aEkVcFJEN6cKYJgIujN9viYk78d7lycmBFtKH8Iq38IzjEO7QQMudrw4nyq1AbWiJTq8qZm-FYZn4hbvyKHuHJHmHaFgq9b72qHZyj_2eerN-xPHH8vww78FNDoVsCikVIZMzbNcbwhKO_ZXePQNRrfI3gSI-aA!/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfvVBNUTFGSDIwoEcXNzBJODIQNjZVSDJHUTI!, Agosto del 2012.

[14] Precios de comercialización de combustibles en el Ecuador por parte de PETROCOMERCIAL, <http://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/24000/94/1/CD-IAEN-0116.pdf>, Agosto del 2012.