



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
“VEHÍCULO ECOLÓGICO DE TRANSPORTE URBANO”

TESINA DE SEMINARIO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIZACIÓN ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Presentada por:

BEATRIZ KATHERINE RIVAS MARRET
ROBERTO CARLO ALVARADO RAMIREZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ayudarme a culminar esta etapa y acompañarme siempre.

A mis Padres, que con orgullo y sacrificio me apoyaron siempre.

A mis Hermana, que me alentaron día a día.

A mi Abuelita, por su paciencia y apoyo.

Al Ing. Javier Urquizo, Director del presente trabajo.

Al Ing. Douglas Aguirre por el apoyo y asesoramiento para la culminación del mismo.

Roberto Alvarado Ramírez.

AGRADECIMIENTO

A Dios, y a la Santísima Virgen María por darme la sabiduría y la fuerza para culminar mis estudios.

A mis Padres y Hermanos por su apoyo constante y palabras de aliento a lo largo de mi carrera que me dieron fortaleza para seguir adelante.

A mi abuelita Paula que me tuvo presente en sus oraciones, en su corazón y que desde el cielo continúa rogando por mí.

Al Ing. Douglas Aguirre por su apoyo en la realización de este trabajo.

A mi amigo Roberto por su apoyo brindado durante mi carrera y en el desarrollo de esta investigación.

Beatriz Rivas Marret.

DEDICATORIA

A Dios, por ser el guía a lo largo de mi vida.

A mis Padres, por ser los artífices con su ejemplo dedicación y apoyo de los logros alcanzados.

A mis Hermana por brindarme su apoyo permanente.

A mi abuelita por su permanente aliento.

A la Institución en su conjunto, por las enseñanzas recibidas y potenciar en mi los valores que la rigen.

Roberto Alvarado Ramírez.

DEDICATORIA

A Dios y a la Santísima Virgen por haberme dado sus manos y alcanzar esta meta.


A mis Padres y Hermanos por el apoyo que me han brindado siempre y especialmente en mis estudios.

A mis amigos y a todos los que han hecho posible la realización de este trabajo.

Beatriz Rivas Marret.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

ING. JAVIER URQUIZO C.
PROFESOR DEL SEMINARIO
DE GRADUACIÓN.



ING. DOUGLAS AGUIRRE.
PROFESOR DELEGADO POR
LA UNIDAD ACADÉMICA.



DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Seminario, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Beatriz Rivas M.

BEATRIZ KATHERINE RIVAS MARRET

Roberto Alvarado Ramírez

ROBERTO CARLO ALVARADO RAMIREZ



RESUMEN

Se hizo el estudio técnico-económico de la posibilidad de cambiar la flota de buses del sistema de transportación masiva Metrovía que actualmente trabajan en el recorrido Guasmo Sur-Terminal Terrestre con diesel. Mediante investigaciones realizadas por ecologistas del grupo GREENPEACE se ha comprobado que este combustible tiene un alto contenido de azufre que es perjudicial para los seres vivientes. Es por eso que se ha pensado en la opción de reemplazarlos por buses totalmente eléctricos y para eso se analizaron las características técnicas y financieras de un proveedor chino en particular demostrando que el proyecto es rentable en el período de tiempo de vida útil de dicho buses. Se realizó el estudio de factibilidad económica para la implementación de la red eléctrica necesaria para la alimentación de toda la flota completa de los buses eléctricos.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1.....	1
ESTADO DE LA TECNOLOGIA.....	1
CAPITULO 2.....	9
PROCESOS EN LA PRODUCCION Y ALMACENAMIENTO DE LAS ENERGIAS RENOVABLES.....	9
2.1 Operación del sistema.....	12
CAPITULO 3.....	21
VALORACION ECONOMICA DEL VAN y TIR.....	21
3.1 Consumo de combustible por cada bus al año.....	22
3.2 Toneladas de CO2 que se evitarían emitir al año por el beneficio de cambiar los buses de diesel por los buses eléctricos.....	26
3.3 Especificaciones técnicas del Bus Articulado Eléctrico Escogido.....	34
3.4 Costo de cada bus articulado eléctrico (60 unidades).....	35
3.5 Especificaciones técnicas del Bus Alimentador Eléctrico Escogido.....	35
3.6 Costo de cada Bus Alimentador Eléctrico al año (45 unidades).....	36
3.7 Costo de venta de los buses antiguos (alimentadores y articulados) al término de su vida útil.....	36
3.8 Análisis de la Potencia que necesita la flota de buses en cada Troncal.....	38
3.9 Demanda de los buses eléctricos alimentadores de 12[mt].....	39
3.10 Demanda de los buses eléctricos alimentadores de 18[mt].....	40

3.11 Análisis de frecuencias de trabajo y número de unidades de los buses articulados y alimentadores.....	41
3.12 Dimensionamiento de las líneas de media tensión que alimentarán a las subestaciones 3[MW].....	49
3.13 Cotización de los transformadores de distribución para subestaciones de 3[MW].....	54
3.14 Costo de la energía eléctrica consumida por la flota de buses (articulados y alimentadores).....	55
3.14.1 Buses alimentadores (12[mt]).....	56
3.14.2 Buses articulados (18[mt]).....	56

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Consumo Mundial de Energía primaria durante el siglo XX.....	5
Figura 1.2 Crecimiento de la energía de máquina en EE.UU desde 1850.....	6
Figura 1.3 Fuente de energía en el mundo 1860-2030.....	7
Figura 2.1 Simulación en MATLAB de la parte del motor y alimentación del Bus eléctrico.....	10
Figura 2.2 Bloques de control que parametrizan la velocidad angular del Alternador en función del Torque Mecánico y Electromagnético.....	15
Figura 2.3 Listado de entradas que posee el modelo del Alternador en Simulink, sus unidades de medición y su simbología.....	18
Figura 3.1 Depósito de Diesel Premium.....	23
Figura 3.2 Depósito de Diesel tipo 2 y características físico-químicas.....	24
Figura 3.3 Esquema de los recorridos de los buses Articulados y Alimentadores.....	28
Figura 3.4 Aplicación WEB que permite calcular la cantidad de CO ₂ emitidos por diversos medios de transporte urbano.....	29
Figura 3.5 Buses de Metrovía emitiendo grandes cantidades de CO ₂	30
Figura 3.6 Porcentajes de Generación Eléctrica en el Ecuador.....	32
Figura 3.7 Modelo de Bus Eléctrico de 12[mt].....	34
Figura 3.8 Modelo de Bus Eléctrico de 18[mt].....	35
Figura 3.9A Horas de trabajo y recargas de buses Articulados.....	43
Figura 3.9B Horas de trabajo y recargas de buses Articulados.....	44
Figura 3.10A Horas de trabajo y recargas de buses Alimentadores.....	46

Figura 3.10B Horas de trabajo y recargas de buses Alimentadores.....47

Figura 3.11 Hoja de cálculo en Excel que muestra los resultados del análisis económico con VAN y TIR sin emisión CO₂.....56

Figura3.12 Hoja de cálculo en Excel que muestra los resultados del análisis económico con VAN y TIR con emisión de CO₂.....57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Consumo Mundial de Energía primaria durante el siglo XX.....	4
Tabla 3.1 Tabla de frecuencias de la ruta alimentadoras.....	26
Tabla 3.2 Rutas alimentadores del consorcio Metroquil y sus recorridos semanales.....	27
Tabla 3.3 Análisis del número de unidades de articulados 18[mt] que deben recargar baterías en cada subestación según su grupo y horario de trabajo.....	45
Tabla 3.4 Tabla de frecuencias y recorridos de las rutas alimentadoras 12[mt]..	48
Tabla 3.5 Números de unidades de buses alimentadores para cada ruta.....	49
Tabla 3.6 Tabla de ampacidades para conductores aéreos a 90°C y 105°C.....	51
Tabla 3.7 Precios de Transformadores monofásicos de distribución ABB.....	54

INTRODUCCION

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 15 años plazo para saber si el proyecto es económicamente viable por medio del análisis del VAN y el TIR.

CAPITULO 1

ESTADO DE LA TECNOLOGIA

Actualmente en el Ecuador la tecnología de automóviles híbridos está en auge en lo que respecta a la comercialización y publicidad de uso de vehículos personales, y en el caso de vehículos híbridos de transporte público como buses y trolebuses, existe en Quito la capital de Ecuador ya desde hace varios lustros el sistema de transporte masivo denominado TROLEBUS el cual funciona con energía eléctrica.

Ahora se necesita que este tipo de transporte sea usado en las principales ciudades del país para que a nivel nacional se cumpla con las metas de

disminución de gases de invernadero. El gobierno central ha puesto en marcha programas de incentivos para que el ciudadano común pueda adquirir con cierta facilidad automóviles híbridos, pero se requiere que los municipios tengan programas similares para más ciudadanos puedan beneficiarse de tener un mejor aire que respirar en sus ciudades.

El panorama en lo que respecta al crecimiento poblacional en el mundo es el siguiente: La población del planeta y su producción económica continuarán acrecentándose varias décadas más. Se proyecta que el crecimiento, tanto de población como de producto nacional bruto, será mayor para países menos desarrollados en comparación con los más desarrollados; Ecuador está en el grupo de países menos desarrollados. En la actualidad, tres de cada cuatro habitantes de la Tierra viven en los países menos desarrollados, y dos terceras partes de ellos (más de 2000 millones de personas) dependen de la recolección de madera y desechos agrícolas y animales para proveerse de combustible para cocinar y calentarse.

Es evidente que el mundo encara aumentos considerables en el consumo de energía, en particular en las áreas menos favorecidas donde el crecimiento aún es alto. La producción de energía trae consigo la consecuencia inevitable de una perturbación ambiental. Ya sea que consideremos la destrucción de bosques para suministrar madera a las personas del mundo en desarrollo, o la contaminación atmosférica que acompaña la generación de electricidad en plantas termoeléctricas que usan diesel o carbón como combustible, los problemas ambientales crecen a medida que las necesidades de energía aumentan.

La clasificación de las fuentes de energía actual se muestra en la tabla 1.1.

TABLA 1.1 FUENTES DE ENERGÍA DISPONIBLES

Renovables (ingreso energético)	No renovables (capital energético)
Energía hidroeléctrica	Petróleo crudo
Mareas	Gas natural
Calor geotérmico	Carbón
Biomasa (madera, desechos animales, materia vegetal, etc.)	Fisión nuclear
Viento	Petróleo sintético (de arenas y esquistos petrolíferos)
Aportación solar	
Calor de los océanos	

Durante el siglo XX el consumo anual de energía primaria suministrada de forma comercial en el mundo ha aumentado más de diez veces, como se muestra en la figura 1.1:

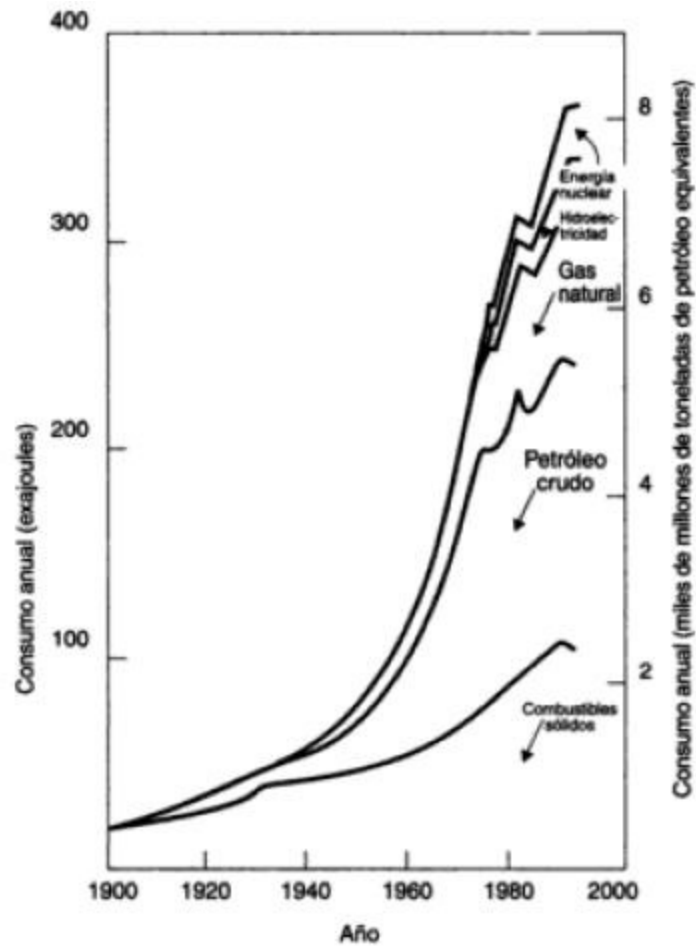


Figura 1.1 Consumo mundial de energía primaria durante el siglo XX. Fuente: World Energy Conference (1986); British Petroleum (1992).

Parte del incremento fue demandado por un crecimiento de aproximadamente 2.5 veces de la población mundial durante ese período. Otra parte importante del aumento en el consumo de energía fue consecuencia de una mayor mecanización, en particular en el mundo industrializado. Esto se ilustra en la

figura 1.2, donde es fácil apreciar la creciente importancia de la energía de la máquina en el siglo XX en uno de los países industrializados como por ejemplo Estados Unidos.

Como se muestra en la figura 1.3, la madera sirvió como combustible predominante en el mundo hasta casi el año 1875, cuando comenzó a ser reemplazada por el carbón. La contribución porcentual del carbón a la provisión mundial de energía

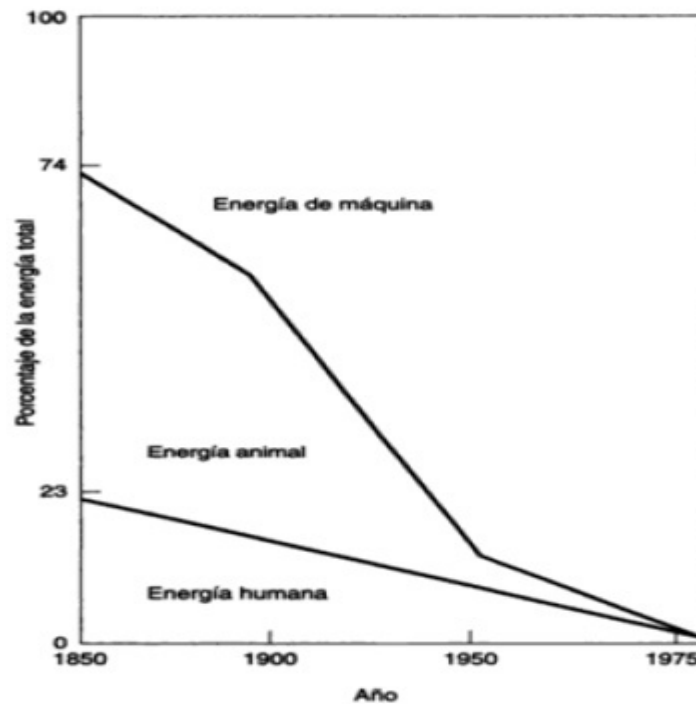


Figura 1.2 Crecimiento de la energía de máquina en Estados Unidos desde 1850. Fuente: Wyatt (1978).

Primaria alcanzó su máximo unos 40 años más tarde, cuando su uso comenzó a declinar a medida que el petróleo y el gas natural adquirieron mayor importancia. Actualmente hay personas que piensan que el petróleo ya ha pasado su máximo como contribuyente a la provisión mundial de energía.

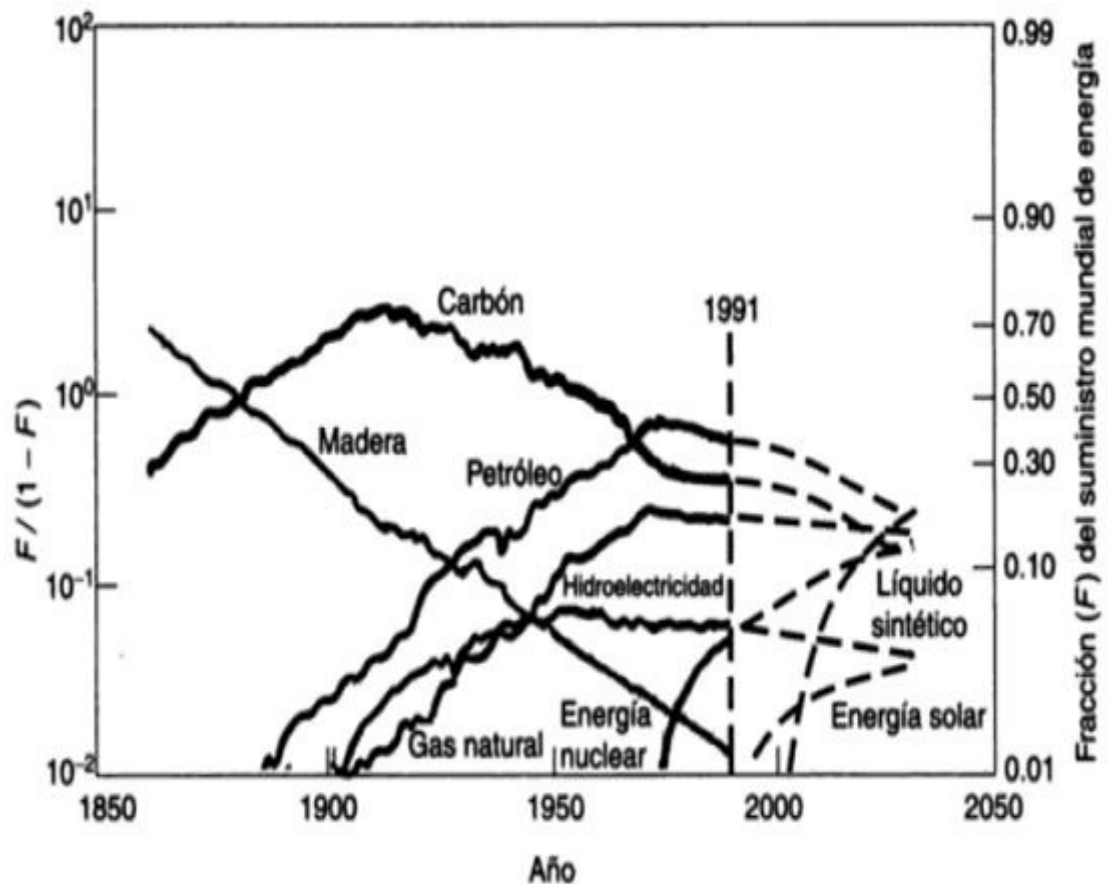


Figura 1.3 Fuentes de energía en el mundo, 1860-2030. *Fuente:* Hafele, (1981) (derechos reservados en 1981 por el International Institute for Applied Systems Analysis; reproducido con autorización de Ballinger Publishing Company); British Petroleum (1992).

Ahora sólo se va a analizar el transporte masivo en la ciudad de Quito, que es el único lugar actualmente en el Ecuador donde se utiliza tecnología de Energías Renovables.

Las unidades del Trolebús en Quito son de tercera generación, eso quiere decir que utilizan en su estructura motriz en vez de motores DC, motores AC de inducción tipo jaula de ardilla con alimentación trifásica. Por este motivo necesitan inversores electrónicos para transformar la alimentación de voltaje directo (DC) en voltaje trifásico AC. Con esto se gana tiempo y costo de personal en el mantenimiento de los motores de tracción del bus eléctrico.

CAPITULO 2

PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

El siguiente diseño de este circuito es para la parte de automoción del autobús ecológico:

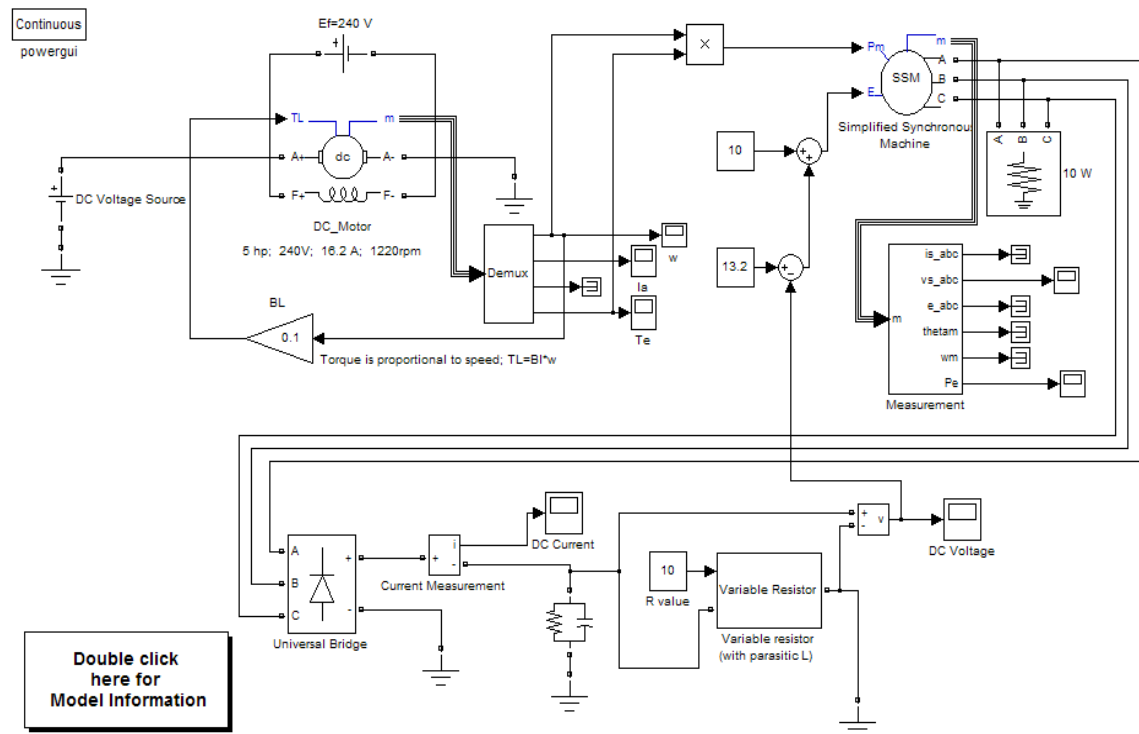


Figura 2.1. Simulación en MATLAB de la parte del motor y alimentación del Bus eléctrico.

A continuación se describe el funcionamiento del circuito eléctrico:

Un motor DC de excitación separada de campo constante. La armadura es alimentada de una fuente de voltaje DC (Batería con 240 [V] nominal, en la

realidad el autobús va a ser alimentado por baterías de 650[V]), esto mantiene constante el campo de excitación de la armadura. La velocidad desarrollada por el motor es directamente proporcional al voltaje de la armadura aplicado. Este arreglo (Motor DC y baterías) simula el encendido y el movimiento del autobús (Generador Síncrono) conectado mecánicamente con un mecanismo de cinturón y polea. Cuando el conductor acelera los cambios de velocidad del autobús cambia de forma inmediata como cambia la velocidad de rotación de los motores eléctricos del alternador. Por consiguiente al simular un cambio en la velocidad del autobús, se produce un cambio en el voltaje aplicado en la armadura de los motores.

La potencia de salida del motor DC (el producto de torque del motor y la velocidad angular, w) alimenta al bloque de la maquina síncrono como una entrada.

El alternador es un generador sincrónico trifásico con un campo manejado por corriente que controla el voltaje de salida.

Esto se simula usando el modelo de Máquina Síncrona Simplificada.

La salida AC trifásica del generador alimenta a un rectificador de seis pulsos que entrega el voltaje DC requerido para cargar las baterías del autobús y proporcionar una alimentación balanceada al sistema eléctrico y electrónico del mismo.

2.1. Operación del sistema.

El voltaje de DC debe mantenerse constante para que las luces no atenúen cuando otras cargas se encienden, por ejemplo, al encender los limpiaparabrisas. Igualmente, si el acondicionador de aire está encendido y se encienden las luces, éstas deben prender intensamente.

Se debe asegurar que el voltaje de alimentación DC permanezca constante, incluso cuando los cambios de velocidad del autobús o cuando las cargas eléctricas adicionales se enciendan, es necesario que el voltaje de alimentación del autobús y el voltaje rectificado se mantengan similares. La siguiente descripción ayudará a ilustrar esta operación:

- Variación de Velocidad: Mientras la simulación está corriendo reduzca el voltaje DC de la batería de 240 á 150[V]. Cuando la simulación ha finalizado, muestra en un gráfico el voltaje de alimentación y la velocidad W que ha desarrollado. Todo esto ocurre mientras se ha producido cambios en la velocidad del autobús, pero no se produjeron cambios en el voltaje DC de alimentación.
- Variación de cargas: Mientras la simulación está corriendo se debe cambiar el valor de resistor de carga conectado directamente a la alimentación DC. En un gráfico se muestra el voltaje de alimentación DC y la corriente. La corriente cambia con la carga, pero el voltaje permanece constante (como esto debe ser).
- Para mostrar que el voltaje regulador permanece constante, cambie el valor constante en el segundo sumador (el uno con las dos señales de +Ve) mientras la simulación está corriendo. El gráfico muestra las variaciones de voltaje en AC y DC.

El bloque de la Máquina Síncrono Simplificado planea ambos el eléctrico y características mecánicas de una máquina síncrona simple.

El sistema eléctrico para cada fase consiste en una fuente de voltaje en las series con una impedancia de RL de que lleva a cabo la impedancia interior la máquina. El valor de R puede ser que el cero pero el valor de L deben ser positivos.

Los instrumentos de bloque de Máquina Síncronos Simplificados el sistema mecánico descrito por:

$$\text{—} \quad (2.1)$$

$$(2.2)$$

Donde:

: Variación de velocidad con respecto a la Velocidad de operación.

H: Constante de Inercia.

: Torque mecánico.

- : Torque Electromagnético.
- : Factor de amortiguación que representa el efecto de devanados amortiguadores.
- : Velocidad mecánica del rotor.
- : Velocidad de operación (1 p.u).

Aunque en los parámetros pueden entrarse en las unidades de SI o por la unidad en el cuadro de diálogo, los cálculos interiores se hacen en por la unidad. Lo siguiente el esquema funcional ilustra cómo la parte mecánica del modelo se lleva a cabo. El aviso que el modelo computa una desviación con respecto a la velocidad de funcionamiento, y no la propia velocidad absoluta.

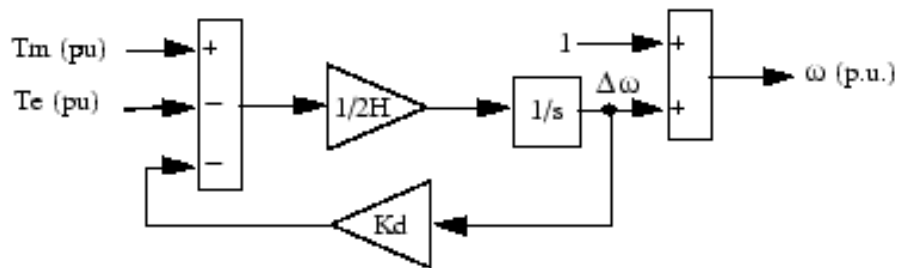


Figura 2.2. Bloques de control que parametrizan la velocidad angular del Alternador en función del Torque Mecánico y Electromagnético.

El K_d que humedece el coeficiente normalmente simula el efecto de bobinados más húmedos usado en las máquinas síncronas. Cuando la máquina se conecta a un infinito la red (cero impedancia), la variación de poder de la máquina el delta angular (δ) siendo el resultado de un cambio de poder mecánico (P_m) puede aproximarse por lo siguiente función de traslado de segundo-orden:

(2.3)

Donde

: Potencia ángulo delta: ángulo de E interna de voltaje con respecto al voltaje de terminal, en radianes.

: Potencia mecánica en p.u.

: Frecuencias de las Oscilaciones Electromecánicas= $\frac{1}{2H} \sqrt{\frac{P_m}{P_{max}}}$ in rad/s. (2.4)

: Frecuencia eléctrica en rad/s.

: Potencia máxima en p.u transmitida a través de la reactancia X en el voltaje terminal V_t y en el voltaje interno V_i = $\frac{V_t V_i}{X}$ (p.u) donde: V_t son en pu. (2.5)

H: Constante de Inercia.

: Factor de amortiguamiento (p.u de torque/p.u de velocidad)

Esta función del traslado aproximada que se ha derivado asumiendo el $\sin(\delta) = \delta$, es válido para los ángulos de poder pequeños ($\delta < 30$ grados). Sigue del anterior ζ expresión a que el valor de K_d requirió ζ de caída, la proporción es:

(2.6)

Las entradas y salidas del generador trifásico son:

P_m : La fuente de alimentación mecánica a la máquina. La entrada puede ser una constante signo o pueden conectarse al rendimiento de la Turbina Hidráulica y Gobernador bloque. La frecuencia de las fuentes de voltaje interiores depende del mecánico la velocidad de la máquina.

E : La amplitud de los voltajes interiores del bloque. Puede ser un constante signo o pueden conectarse al rendimiento de un regulador de voltaje. Si usted use las unidades de SI mecanizan, estas dos entradas deben estar en los vatios y voltios la fase-a-fase RMS. Si usted usa que las unidades del PU mecanizan, ambas entradas deben estar en el PU.

m: El rendimiento de Simulink del bloque es un vector que contiene 12 signos. Se puede adjuntar el de_multiplexor estos signos usando el bloque de Seleccionador de bus proporcionado en la biblioteca de Simulink.

Signal	Definition	Units	Symbol
1	Stator current is_a	A or pu	i_{sa}
2	Stator current is_b	A or pu	i_{sb}
3	Stator current is_c	A or pu	i_{sc}
4	Terminal voltage Va	V or pu	v_a
5	Terminal voltage Vb	V or pu	v_b
6	Terminal voltage Vc	V or pu	v_c
7	Internal voltage Ea	V or pu	E_a
8	Internal voltage Eb	V or pu	E_b
9	Internal voltage Ec	V or pu	E_c
10	Rotor angle theta	rad	θ
11	Rotor speed wm	rad/s	ω
12	Electrical power Pe	W	P_e

Figura 2.3. Listado de entradas que posee el modelo del Alternador en Simulink, sus unidades de medición y su simbología.

El sistema eléctrico del bloque de la Máquina Síncrono Simplificado consiste solamente de una fuente de voltaje detrás de una reactancia síncrona y resistencia. Todo el otro ego - y magnetizando inductancias de la armadura, presente, y los bobinados humedeciendo son abandonados. El efecto de bobinados más húmedos se aproxima por el factor humedeciendo K_d . Las tres fuentes de voltaje y RL impedancia ramas se Y-conecta (tres alambres o cuatro alambres). El poderío de carga o no podría ser equilibrado.

Cuando usted el uso Simplificó los bloques de la Máquina Síncronos en los sistemas discretos, usted podría tener que usar un resistor parasitario pequeño de carga, conectó a la máquina los términos para evitar las oscilaciones numéricas. Los tiempos de la muestra grandes requieren las cargas más grandes. La carga resistiva mínima es proporcional al tiempo de la muestra.

Como una regla de dedo pulgar, recuerde eso con un 25 [μ s] tiempo paso en un 60 Hz el sistema, la carga mínima es aproximadamente 2.5% de la máquina el poder nominal. Por ejemplo, una máquina síncrona simplificada de 200 MVA en un sistema de poder discreto con un tiempo de muestreo de 50 μ s requiere

aproximadamente de un 5% de carga resistiva o 10 MW (5% de 200[MVA]). Si el tiempo de la muestra se reduce a 20 μ s, una carga resistiva de 4 MW debe ser suficiente.

CAPITULO 3

VALORACIÓN ECONÓMICA VAN Y TIR

En este capítulo vamos a hacer el análisis económico para determinar la rentabilidad del proyecto de cambiar los buses de Diesel del sistema de transportación masiva Metrovía por buses totalmente eléctricos con el fin de evitar la emisión de toneladas de CO₂ al año que perjudican al medio ambiente.

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.

A continuación presentamos los datos más relevantes para iniciar el análisis económico:

3.1 Consumo de combustible por cada bus al año.

En el Ecuador existen cuatro tipos de Diesel que la empresa estatal de comercialización de combustibles PETROCOMERCIAL distribuye a nivel nacional, a destacar son: Diesel tipo 1, Diesel tipo 2, Diesel Premium y el Jet A1. De los cuales el mejor de los 4 por ser el más ecológico, por tener el menor contenido de azufre y por ende ser el menor contaminante de los 4 es el Diesel Premium. El menor porcentaje en peso de contenido de azufre en el diesel Premium hace posible: reducir las emisiones gaseosas tóxicas como el dióxido de azufre (SO_2) y trióxido de azufre, (SO_3); gases que cuando entran en contacto con el agua (H_2O), forman la llamada lluvia ácida", cuyo efecto es tóxico y nocivo para los ecosistemas. Disminuir el efecto corrosivo en los motores y accesorios

metálicos de los vehículos, aumentando la vida útil de los mismos y mejora la calidad del aire ^[1].



Figura 3.1: Depósito de Diesel Premium.

Y el más contaminante de los 4 es el Diesel tipo 2 que es el que mayor cantidad de azufre contiene, y es justo este tipo de combustible el que utilizan los buses de la Metrovía, de ahí la necesidad de cambiarlos por buses eléctricos porque representan un agente considerable de contaminación para la ciudad de Guayaquil.

Las características del Diesel tipo 2 son las siguientes:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DIESEL 2



Requisitos	Unidad	Mín*	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.

Según PETROCOMERCIAL se le distribuye a Metroquil 170,000 galones de Diesel tipo 2 al mes, cantidad que resulta del siguiente cálculo:

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:

$$\frac{170,000 \text{ [gl/mes]}}{217 \text{ buses}} = \frac{x \text{ [gl/mes]}}{97 \text{ buses}} \quad (3.1)$$

Que consumen los buses que prestan servicio al consorcio Metroquil.

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

El precio internacional actual del barril de diesel es: 126[\$/barril], 1 barril tiene 42 galones y haciendo la conversión:

(3.2)

El Decreto Ejecutivo No. 1610 del 21 de junio de 2001, marcó el margen máximo para gasolina extra, diesel y pesca artesanal en un 18% dejando a la gasolina Súper con margen abierto ^[2]. Por tanto hay que aumentar un 18% al precio internacional de combustible del Diesel tipo 2, con lo que se obtiene un precio de:

(3.3)

Ahora ese precio multiplicado con la cantidad total de galones de diesel consumidos al año:

(3.4)

En consumo de diesel tipo 2 al año por parte de la flota 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 presidente de Metroquil, Augusto Aguirre, se logra abastecer la demanda optimizando tiempo y carros. Cada articulado hace, por turno de ocho horas, unas nueve vueltas a lo largo de los 33 km de la ruta, es decir que recorre unos 297 km saliendo en intervalos de tiempo de dos minutos ^[4], y los buses alimentadores salen en un intervalo de 14 minutos en promedio durante toda la jornada de labores. Más específicamente las frecuencias son las que se muestran en la tabla:

Horario.	Minutos.
5h00-5h40.	18.
5h40-20h00.	11.
20h00-23h45.	12.

Tabla 3.1: Tabla de frecuencias de las rutas alimentadoras.

Según la información que nos proporcionó el consorcio Metroquil las rutas alimentadoras de los buses recorren los kilometrajes por cada vuelta durante la semana regular (7 días), tal como se muestra en la siguiente figura.

Rutas Alimentadoras			
Troncal	Ruta	Km /vuelta	Viajes Prog.
Guasmo - Río Daule	Playita	10,6	198
	Pradera	7,8	111
	Guasmo Central	11,9	105
	Ruta 1 Daule / Guaya canes	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.

En la figura 3.3 se muestra el recorrido de los buses articulados y alimentadores. Los buses articulados parten del Terminal Guasmo Sur y se dirigen hacia el Terminal Río Daule y regresan. Los buses alimentadores parten de sus respectivos Terminales, realizan sus recorridos de rutina.

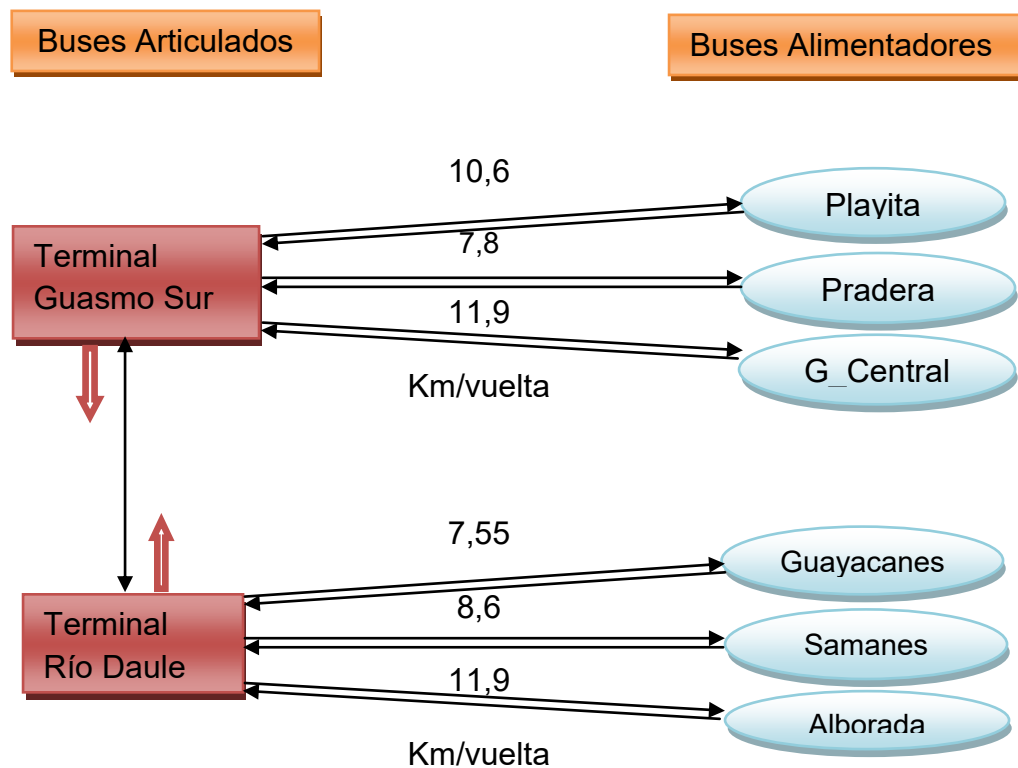


Figura 3.3 Esquema de los recorridos de los buses Articulados y Alimentadores

Conociendo el kilometraje que recorren estos buses articulados por día podemos utilizar la siguiente aplicación implementada como una calculadora que ha creado el grupo de ecologistas GREENPEACE. De esta manera tenemos el total de la cantidad de gramos de CO₂ que genera este medio de transporte (buses articulados y alimentadores a diesel).










El motor del cambio climático

¿Hacemos la prueba de dejar el coche en casa?
ÚNETE a la [R]evolución energética

Greenpeace te propone descubrir todas las posibilidades de movilidad que tienes a tu alcance en el día a día. Para ello, realiza tu trayecto diario al trabajo, al colegio, a la universidad, etc. en un medio de transporte diferente cada semana. Usa la siguiente tabla para detallar el tiempo que tardas y cuántas emisiones de CO2 generas.

El cálculo es muy sencillo: apunta los kilómetros que recorres y multiplícalo por las emisiones de CO2 específicas de cada medio de transporte que uses. Descubrirás que viajar en transporte público o con medios no motorizados es mucho más respetuoso con el medio ambiente y que, además, tu bolsillo te lo agradecerá.

CALCULA CUANTO CO2 EMITE TU COCHE, MOTO....

Método de Viaje	Introduce los km recorridos	Tiempo	Resultado	Gramos de dióxido de carbono por pasajero y km recorridos (gCO2/pkm)
 Avión corto recorrido (< 450km)	<input type="text"/> Km	<input type="text"/>	0	405
 En coche compartido (Recorrido Urbano)	<input type="text"/> Km <input type="text" value="1"/> pasaj	<input type="text"/>	0	320/número de pasajeros
 En coche solo (Recorrido mixto)	<input type="text"/> Km	<input type="text"/>	0	180
 En coche compartido (Recorrido mixto)	<input type="text"/> Km <input type="text" value="1"/> pasaj	<input type="text"/>	0	180/número de pasajeros
 Autobús	<input type="text" value="1701"/> Km	<input type="text" value="19"/>	110565	65
 Metro / Ferrocarril Urbano	<input type="text"/> Km	<input type="text"/>	0	26
 Cercanías / Tren	<input type="text"/> Km	<input type="text"/>	0	60
 Motocicleta	<input type="text"/> Km	<input type="text"/>	0	93,4
 A pie o en bicicleta	<input type="text"/> Km	<input type="text"/>	0	0

CALCULAR **REINICIAR**

Figura 3.4: Aplicación WEB que permite calcular la cantidad de CO₂ emitidos por diversos medios de transporte urbano.

Con este resultado nos podemos dar cuenta que al utilizar los 97 buses a Diesel genera

(3.5)

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

Durante un año.

Al año.



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

Los precios de mercado para no emitir CO₂ a la atmósfera son muy variados, en algunos casos van desde \$5 hasta los \$30 dependiendo del tipo de economía que haya en el país, para naciones desarrolladas se está pensando aumentar el costo a \$100 para el año 2030^[6]. Actualmente, el precio de la tonelada de CO₂ está a 7 euros y en dólares serían \$10.9886^[5].

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, tal como se muestra en la figura:

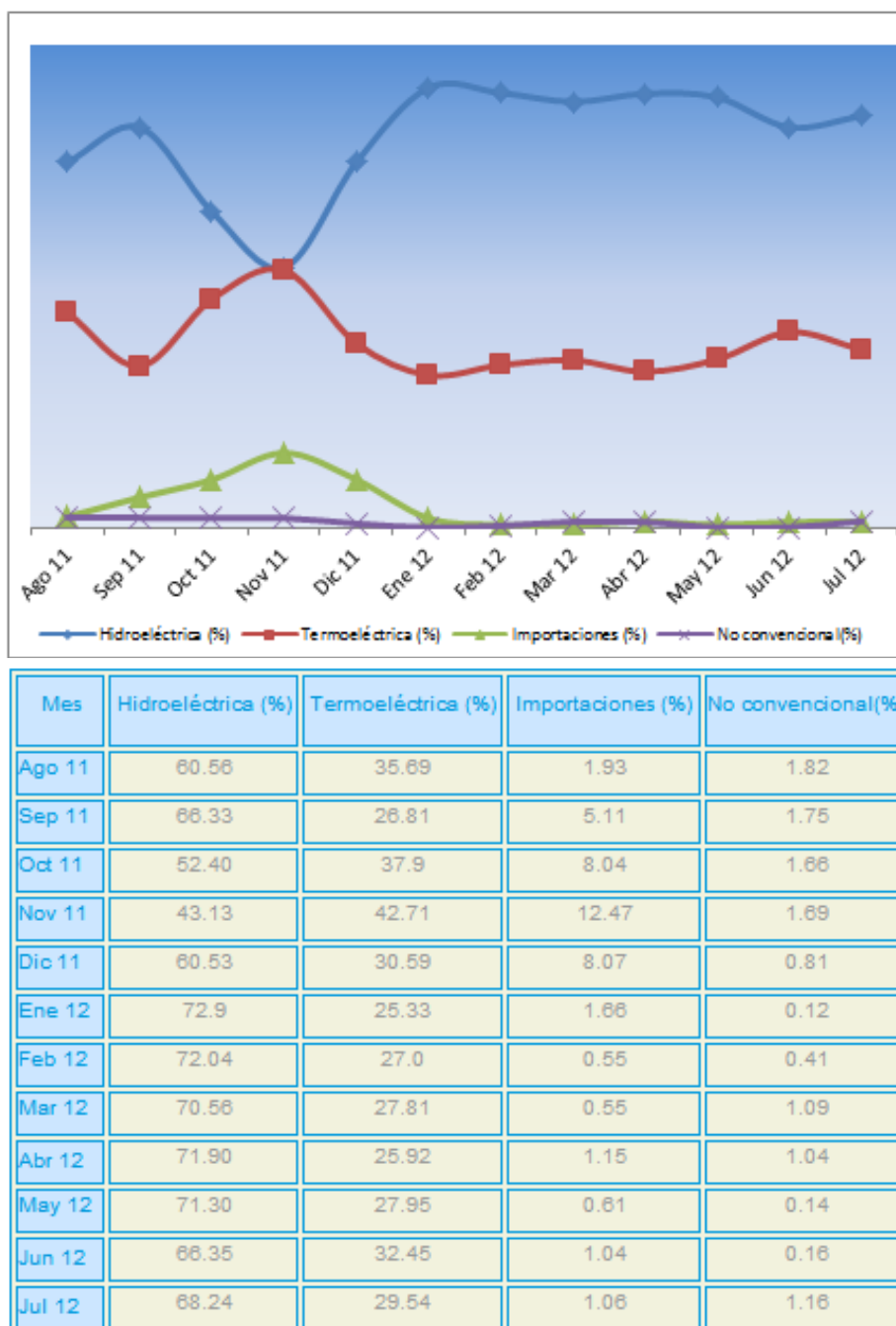


Figura 3.6: Porcentajes de generación Eléctrica en el Ecuador.

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

(3.6)

Lo que representaría un ingreso para el Ecuador de:

Al año. (3.7)

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

3.3 Especificaciones técnicas del Bus Articulado Eléctrico Escogido:



Figura 3.7: Modelo del Bus Eléctrico de 18[mt].

Fabricante: Xingtai Chiyu Co., Ltd.

Modelo: CYEV-0156HB.

Dimensiones: (Largo; ancho; alto) 18,000*2,550*3,150;2,970 [mm].

Distancia entre ejes: 6000 [mm].

Longitud de ejes Delantera/Trasera: 2,096/1,836[mm].

Potencia del Motor: 150[KW].

Voltajes de la batería: 650[V] Litio_Manganeso.

Autonomía del motor: 300[km].

Cargador de Baterías incluido en el precio del bus.

3.4 Costo de cada Bus Articulado Eléctrico (60 unidades).

El costo unitario de cada unidad de bus eléctrico es de \$215,000^[3]. Entonces el costo total por la flota de 60 articulados es:

$$\$215,000 * 60 \text{ unidades} = \$12,900,000. \quad (3.8)$$

3.5 Especificaciones técnicas del Bus Alimentador Eléctrico Escogido:



Figura 3.8: Modelo del Bus Eléctrico de 12[m].

Fabricante: Xingtai Chiyu Co., Ltd.

Modelo: CYEV-0156HB.

Dimensiones: (Largo; ancho; alto) 12,000*2,550*3,150;2,970 [mm].

Distancia entre ejes: 6000[mm]

Longitud de ejes Delantera/Trasera: 2,096/1,836[mm].

Potencia del Motor: 85[KW].

Voltajes de la batería: 650[V] Litio_Manganeso.

Autonomía del motor: 250[km].

el deterioro de un bus según la distancia a la que viaja diariamente. En gráficos de sus investigaciones, ellos demostraron que la vida útil de un bus de servicio urbano es de 684,438 kilómetros, cantidad que al dividir por el promedio de 67,200 kilómetros de recorrido al año un vehículo arroja el periodo de vida de 10 años ^[3], estos buses se los pueden vender a un porcentaje del valor inicial de la compra, este porcentaje se lo obtiene de la siguiente relación:

$$\text{Valor Residual} \equiv \frac{100\%}{\text{Vida útil de 10 años}} * 2 = 20\% \text{ anual} \quad (3.10)$$

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

$$20\% * \$260,000 = \$52,000 \text{ Por cada unidad.} \quad (3.11)$$

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

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

$$20\% * \$80,000 = \$16,000 \text{ Por cada unidad.} \quad (3.12)$$

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).

A continuación hacemos el análisis para demostrar que estos transformadores abastecen la demanda de los buses eléctricos:

Potencia aparente de cada transformador.

$$S = 250[\text{KVA}] \quad (3.13)$$

Voltaje en el primario de cada transformador.

$$V_P = \frac{13200[\text{V}]}{3} = 7621[\text{V}] \quad (3.14)$$

Corriente en el primario de cada transformador.

$$I_P = \frac{S}{V_P} = \frac{250 \cdot 10^3}{7621} = 32.80[\text{A}] \quad (3.15)$$

Corriente en el secundario de cada transformador.

$$I_S = I_P * \frac{V_P}{V_S} = 32.80 * \frac{7621}{240} = 1041.67[\text{A}] \quad (3.16)$$

$$I_S = \frac{P_{Total}}{V_S} = \frac{170 \cdot 10^3}{440} = 386.36[A] \quad (3.19)$$

3.10 Demanda de los buses eléctricos articulado de 18[mt]:

$P = 150[Kw]$ Por cada motor.

$P_{Total} = 450[Kw]$ Potencia de 3 motores que tiene el bus.

$V_S = 440[V]$ Voltaje de alimentación en AC, valor eficaz.

Corriente de demanda para la carga.

$$I_S = \frac{P_{Total}}{V_S} = \frac{450 \cdot 10^3}{440} = 1022.73[A] \quad (3.20)$$

Entonces comparando las corrientes que consume cada tipo de bus, alimentadores (12[mt]), y articulados (18[mt]). La máxima corriente que se va a demandar es 1023[A]. Luego los transformadores pueden entregar una corriente de plena carga de 1041[A], $1041[A] > 1023[A]$, con esto queda demostrado que los transformadores de distribución de 250[KVA] sí pueden satisfacer la demanda de carga de los buses, tanto de los alimentadores como de los articulados.

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (3.19)$$

3.10 Demanda de los buses eléctricos articulados de 18[mt]:

Por cada motor.

Potencia de 3 motores que tiene el bus.

Voltaje de alimentación en AC, valor eficaz.

Corriente de demanda para la carga.

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (3.20)$$

Entonces comparando las corrientes que consume cada tipo de bus, alimentadores (12[mt]), y articulados (18[mt]). La máxima corriente que se va a demandar es 1023[A]. Luego los transformadores pueden entregar una corriente de plena carga de 1041[A], $1041[A] > 1023[A]$, con esto queda demostrado que los transformadores de distribución de 250[KVA] sí pueden satisfacer la demanda de carga de los buses, tanto de los alimentadores como de los articulados.

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

Para los buses articulados se tienen dos grupos de 30 buses cada uno, en el cual a la hora cero (5am) que empieza el día de labores comienza trabajando el GRUPO 1 y saliendo con una frecuencia de 2 minutos cada bus, en una hora que se viaja una vuelta completa se da un ciclo para todo el grupo y así durante 7 vueltas que pueden dar por su autonomía; terminan su turno a la hora 7 (12am) y en ese mismo momento entra a laborar en el segundo turno el GRUPO 2 de 30 buses más. El GRUPO 1 tardaría en terminar de recargarse unas 3 horas (15 buses en cada Troncal) debido a que existen 6 tomas de alimentación en cada subestación, terminando la recarga a la hora 10 (3pm). El GRUPO 2 de buses terminaría su turno a la hora 14 (7pm) y serían reemplazados por los buses del GRUPO 1, los del GRUPO 2 de igual manera entrarían a los talleres a recargarse y tardarían 3 horas en hacerlo repartiendo en cantidades iguales para cada Troncal, su recarga terminaría a la hora 17 (10pm) y quedarían listos para el día siguiente. Los buses del GRUPO 1 terminarían la jornada de trabajo a la hora 19 (12am) teniendo aún dos horas de carga para trabajar, pero igual entrando a los talleres a recargar hasta las 3am. Para cada turno de recarga se toman 5 horas (3 para recargar los buses y dos para mantenimientos u otros) Para el segundo día de labores se alternan los turnos, ahora empieza la jornada

trabajando el GRUPO 2 de buses y luego el GRUPO 1; de esta manera los días impares trabajan doble turno el GRUPO 1 y los días pares trabajarán doble turno el GRUPO 2. Toda esta información queda resumida en la en la figura 3.9A, figura 3.9B y en la tabla 3.3, que se muestran a continuación.

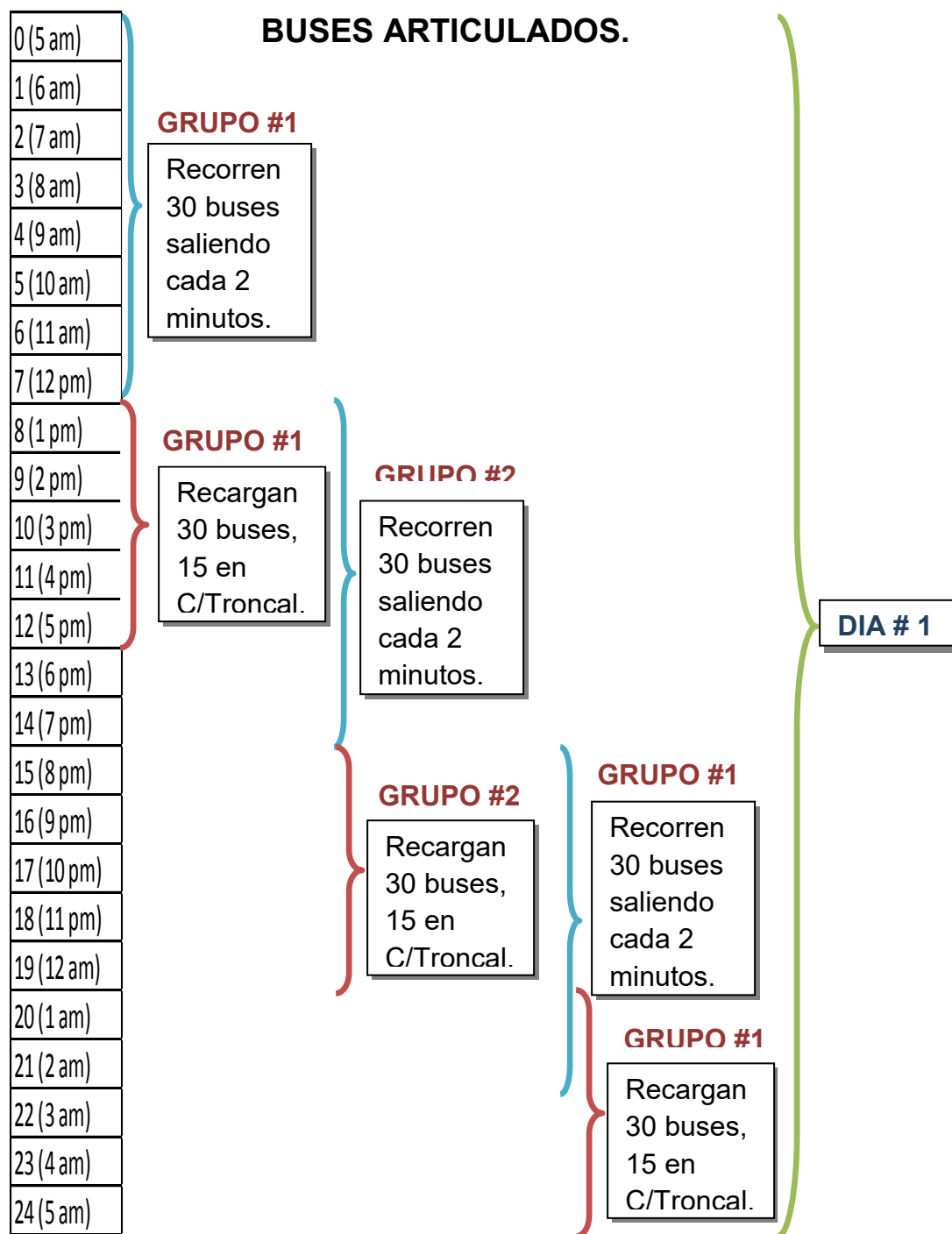


Figura 3.9A: Horas de trabajo y recargas de buses Articulados.

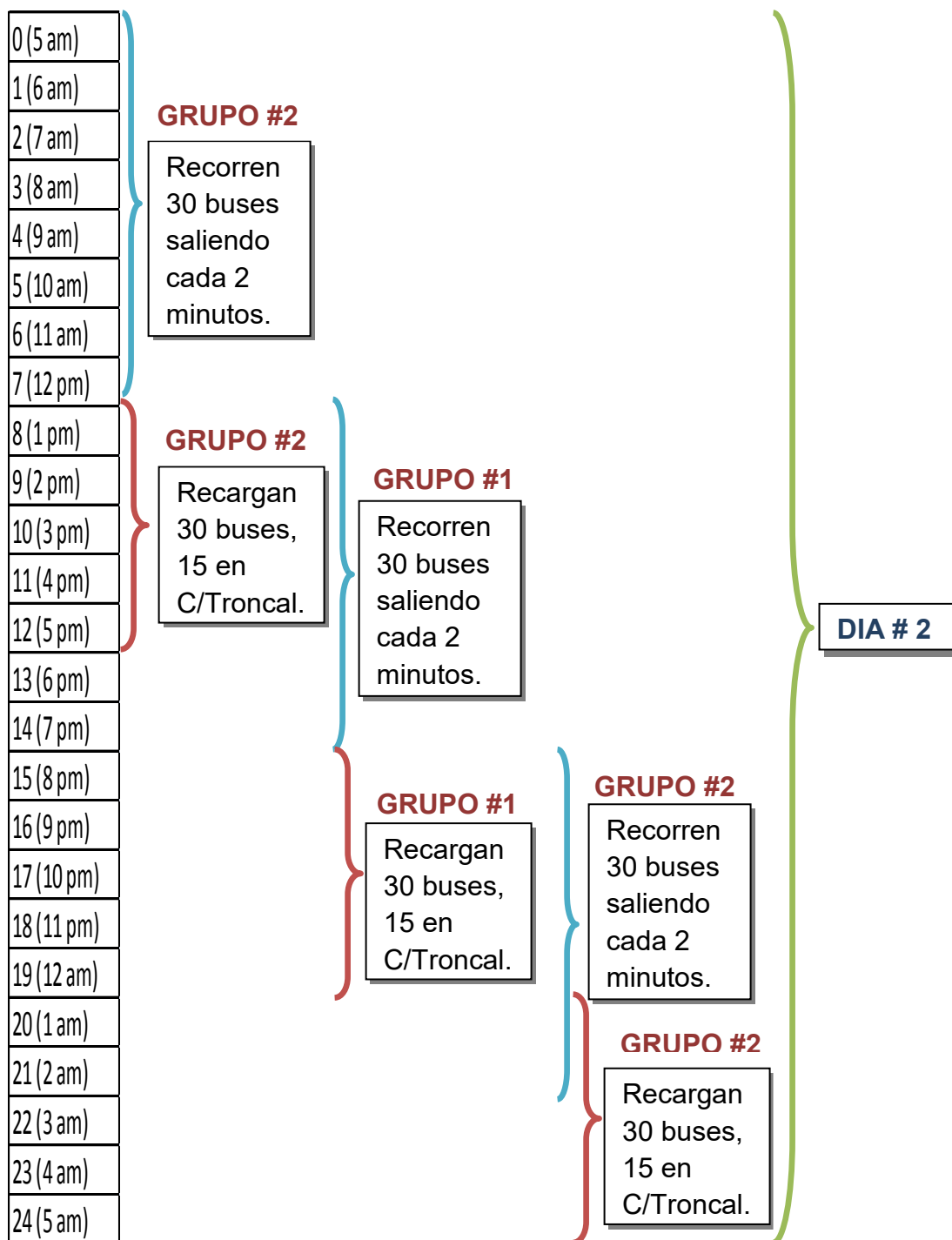


Figura 3.9B: Horas de trabajo y recargas de buses Articulado.

BUSES ALIMENTADORES.

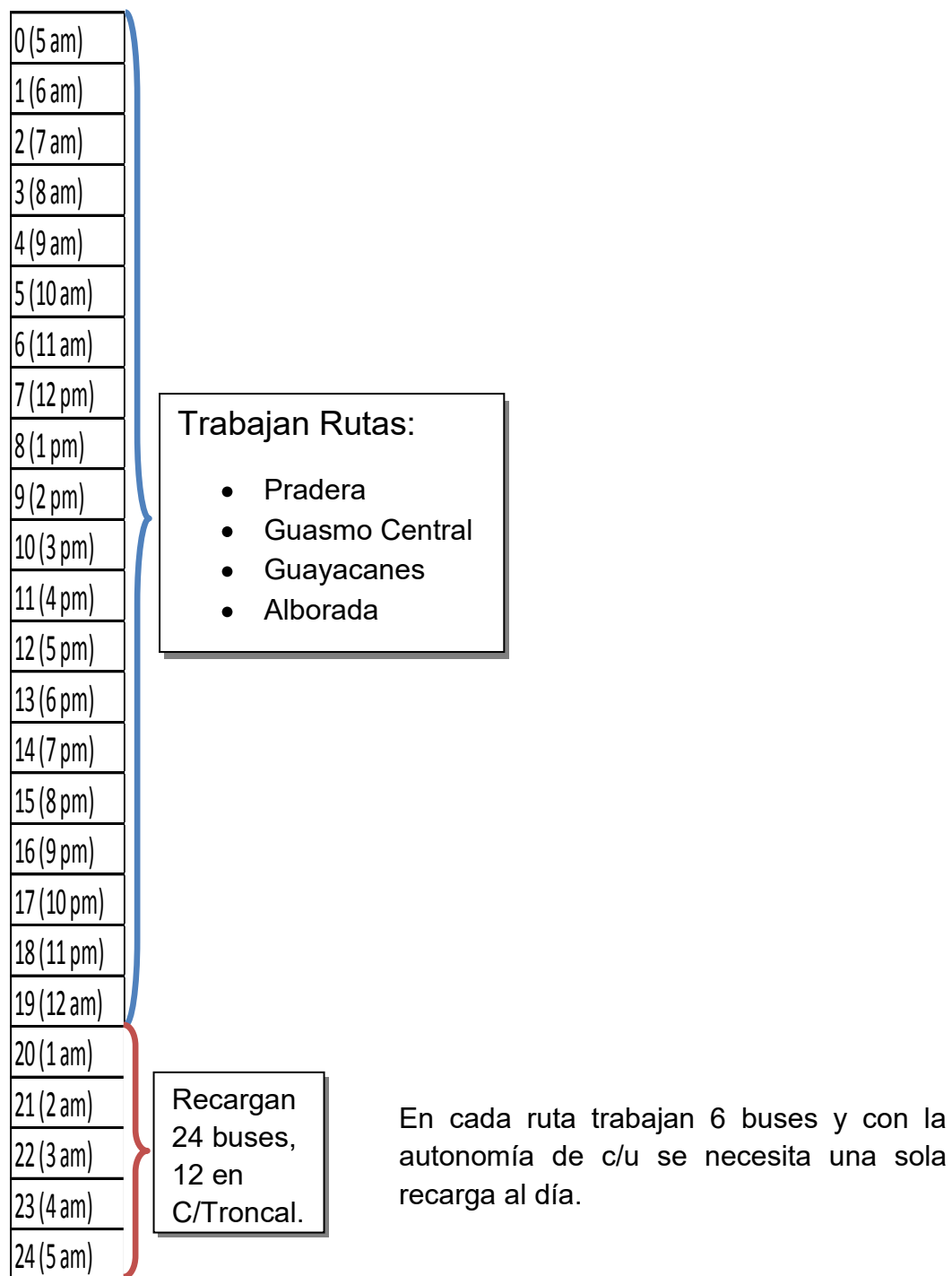


Figura 3.10A: Horas de trabajo y recargas de buses Alimentadores.

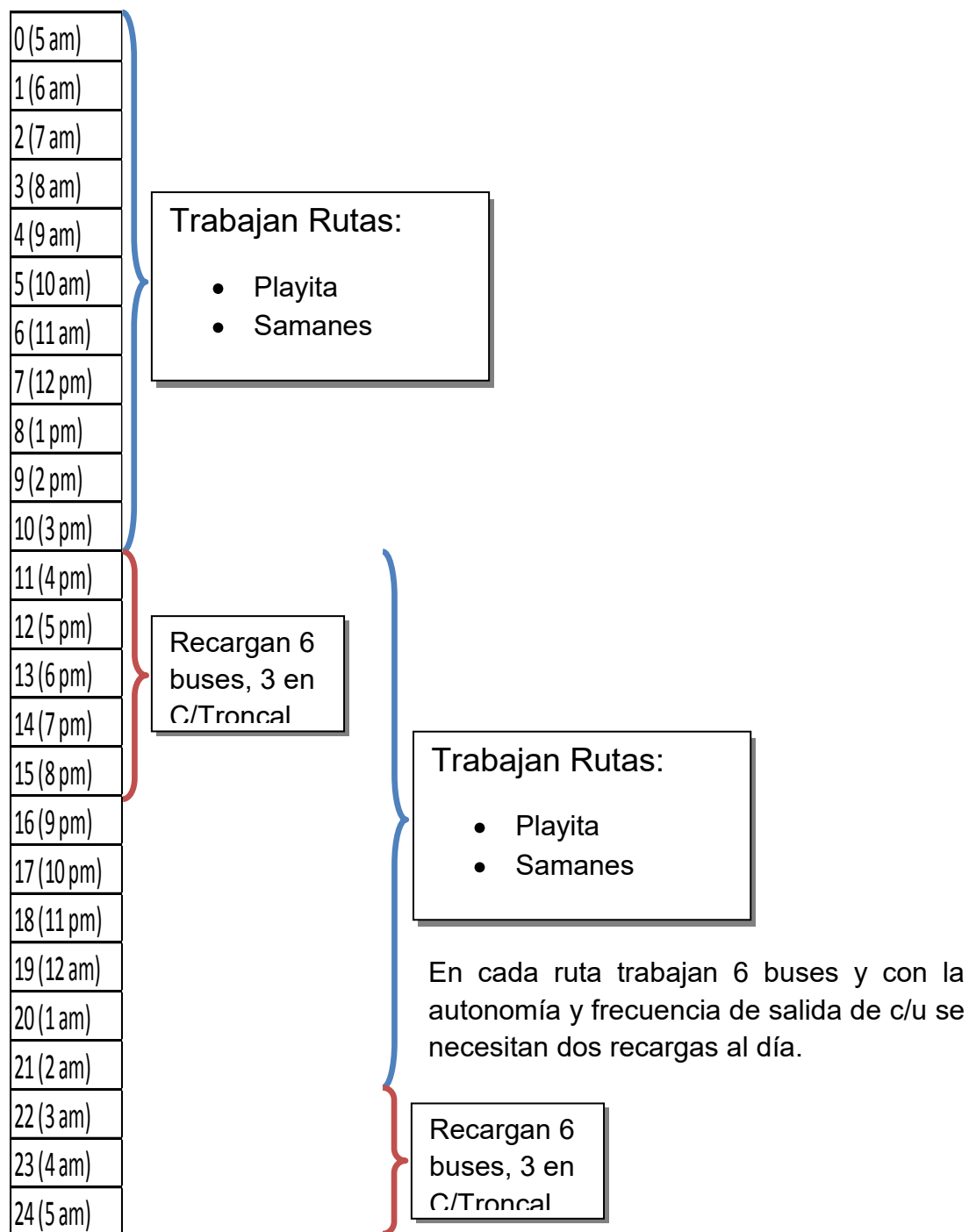


Figura 3.10B: Horas de trabajo y recargas de buses Alimentadores.

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

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

En la tabla 3.5, se muestra el número de grupos de buses que necesita cada ruta y el número total de buses para cada una, esto basado en el número total de kilómetros que deben recorrer los buses y en la autonomía de 300[Km] para los buses de 12[mt], sus horas de funcionamiento y las horas de recargas. Sólo las rutas “Playita” y “Samanes” por ser de mayor recorrido y tener la mayor cantidad de viajes programados al día necesitan dos grupos de 3 buses cada uno y por ende dos turnos de trabajo al día, el resto de rutas con una sola recarga se abastece para todo el día y en todas el número total de unidades es de 6 dando una flota de 36 alimentadores, pero en el análisis se proyecta comprar 45 unidades en total, las que sobran(9 buses) quedan para reemplazos fortuitos en caso de mantenimientos correctivos.

Ruta	Número de grupos	Buses por grupo	Total de Buses	Horas Turno	Horas Recarga	Recargan Subestación Guasmo Sur	Recargan Subestación Terminal-Río Daule
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

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

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:

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

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:

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

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:

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

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%:

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

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].

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

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

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:

(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):

(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 11.400 –7.620	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
		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:

_____ (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:

(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]):

Al día, un solo bus. (3.32)

Al día, 45 buses. (3.33)

Al mes, 45 buses. (3.34)

Al año, 45 buses. (3.35)

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

(3.36)

Al año.

3.14.2 Buses articulados (18[mt]):

Al día, un solo bus. (3.37)

Al día, 60 buses. (3.38)

Al mes, 60 buses. (3.39)

Al año, 60 buses. (3.40)

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

(3.41)

Al año.

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

(3.43_A)

Al año (3.43_B)

En China los buses alcanzan su vida útil en un periodo de 15 años ^[7]. Por lo tanto el análisis económico del VAN y TIR se lo realizará en dicho período de tiempo y utilizaremos una tasa de interés de 5%. Ya que el valor del diesel y la energía eléctrica es constante, al menos que existan cambios en los precios del mercado el ahorro será constante.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	
Costo de buses articulados eléctricos	-\$ 12,900,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Costos de buses alimentadores eléctricos	-\$ 7,110,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Costo de transformadores de distribución	-\$ 1,032,000.00						
Venta de buses antiguos a Diesel	\$ 3,424,000.00						
Costo de Diesel.		\$ 3,228,088.48	\$3,228,088.48	\$3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	
Costo de energía eléctrica al año.	\$ -	\$ 1,297,296.00	\$1,297,296.00	\$1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	
Ahorro = Costo Diesel- Costo energía		\$ 1,930,792.48	\$1,930,792.48	\$1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	
Inversión	-\$ 17,618,000.00	\$ 1,930,792.48	\$1,930,792.48	\$1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	
	VAN	\$2,422,965.69					
	TIR	6.97%					
Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48
\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00
\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48
\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48

Figura 3.11 Hoja de cálculo en Excel que muestra los resultados del análisis económico con VAN y TIR sin emisión de CO₂.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	
Costo de buses articulados eléctricos	-\$ 12,900,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Costos de buses alimentadores eléctricos	-\$ 7,110,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Costo de transformadores de distribución	-\$ 1,032,000.00						
Venta de buses antiguos a Diesel	\$ 3,424,000.00						
Costo de Diesel.		\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	
Costo de energía eléctrica al año.	\$ -	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	
Ahorro = Costo Diesel- Costo energía		\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	
Beneficio CO ₂ no emitido.		\$ 302.62	\$ 302.62	\$ 302.62	\$ 302.62	\$ 302.62	
Ahorro + Beneficio CO ₂ no emitido		\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	
Inversión	-\$17,618,000.00	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	
	VAN	\$2,426,106.78					
	TIR	6.97%					
Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48	\$ 3,228,088.48
\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00	\$ 1,297,296.00
\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48	\$ 1,930,792.48
\$ 302.62	\$ 302.62	\$ 302.62	\$ 302.62	\$ 302.62	\$ 302.62	\$ 302.62	\$ 302.62
\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10
\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10	\$ 1,931,095.10

Figura 3.12. Hoja de cálculo en Excel que muestra los resultados del análisis económico con VAN y TIR con emisión de CO₂.

El análisis del proyecto con CO₂ nos dio una VAN>0 por lo tanto nos podemos dar cuenta que el proyecto es rentable. Aparte la tasa interna de retorno (TIR) nos dió 6.97%, lo que apoya la rentabilidad del proyecto a 15 años plazo.

CONCLUSIONES

1. 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 eléctrico, para aprovechar el recurso renovable que significa utilizar la energía producida por centrales hidroeléctricas.
2. 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.
3. Mediante un software de simulación muy avanzada 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 una realimentación a los alternadores.

4. 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.
5. 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.

6. El país tendría un ahorro de \$1,931,000 al dejar de consumir diesel por la energía hidroeléctrica que alimentara las flota de buses, esta cantidad se la considera sin el beneficio de no emitir CO₂ al ambiente.
7. 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.

RECOMENDACIONES

1. Al construir la S/E se debe tener en cuenta el siguiente reglamento de la Empresa Eléctrica: Después de concedido el servicio, podrá realizar inspecciones a las acometidas, tableros o armarios para medidores, cámaras de transformación e instalaciones interiores, y en caso de existir anomalías o disconformidades con el proyecto previamente aprobado, procederá a negar o a suspender el servicio hasta que se realicen las correcciones necesarias. Sin embargo no será responsabilidad de la Empresa los daños y perjuicios que pudiera ocasionar una mala instalación interior, ni será su obligación verificar las condiciones de dicha instalación interior.
2. En caso de elegir algún otro proveedor de los buses eléctricos se debe considerar la autonomía de los buses para determinar la frecuencia de trabajo y el costo de la energía eléctrica que estos van a demandar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Glynn Henry, Gary W. Heinke, Ingeniería Ambiental, Editorial Pearson, 2da edición, 1996.
- [2] El Universo, 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>, 4 de julio del 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] El Universo, Datos de la Metrovía, <http://www.eluniverso.com/2012/07/29/1/1445/buses-crecen-segun-demanda-metrovia.html>, 29 de 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&usq=AFQjCN Gz FI-G721t CBkm0nLA39h10hg&sig2=nfyAsEC0rpFPoun oBHmnA>, Abril del 2012.

[10] 20 minutos, 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-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/hY3LDolwEEW_yMxM24x1iQ_aEkVcFJEN6cKYJglujN9viYk78d7lycmBFtKH8lq38lzejEO7QQMudrw4nyq1AbWi

JTq8qZm-FYZn4hbvyKHuHJHmHaFgg9b72qHZyj_2eerN-
xPHH8vww78FNDoVsCikVIZMzbNcbwhKO_ZXePQNRrfI3gSI-
aA!/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfVBNUTFGSDIwOEcxNzBJODIQNjZ
VSDJHUTI!/, 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](http://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/24000/94/1/CD-IAEN-0116.pdf), Agosto del 2012.

ANEXOS

[1] PETROECUADOR, Tipo de Diesel,

http://www.petrocomercial.com/wps/portal/!ut/p/c1/hY3LDolwEEW_yMxMS8a6rA_aEkVcFJEN6cKYJglujN9viYk78d7lycmBFtKH8lq38l3zjEO7QQMudrw4nyq1AZWiJTq0qZm-

F0Zz4hbvyKHyeOSLFO0LBNlvva4dmK__Y56k3708cf0zjh38LaFQqYFFImRkyNc9ytSEo7dhf4dE3GN1CvwH3EL86/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfVVBNU TFGSDlwOEcxNzBJODIQnjZVSDJHNjQ!/, Agosto del 2012.

[2] Ing. Marcelo F. Martinez P, Propuesta de Control para la comercialización de combustibles del sector automotriz,

<http://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/24000/94/1/CD-IAEN-0116.pdf> PÁG. 66.,

Agosto 2012

[3] El Universo, Vida útil de los vehículos ecuatorianos,

<http://www.eluniverso.com/2011/07/04/1/1447/estudio-fija-10-anos-20-vida-util-buses.html>, 4 de julio del 2011.

[4] El Universo, Dato de la Metrovía,

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

[5] Precio del Euro,

<http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080524104910AAvVKul>,

Agosto del 2012.

[6] Richard Arguello, Francisco Salazar, Impuesto al carbono,

http://web.ing.puc.cl/~power/alumno10/carbono/index_archivos/Impuestos%20al

[%20Carbono%20Alumnos%20Richard_Francisco.pdf](http://web.ing.puc.cl/~power/alumno10/carbono/index_archivos/Impuestos%20al%20Carbono%20Alumnos%20Richard_Francisco.pdf), Octubre del 2010.

[7] Información proporcionada por el fabricante de los buses eléctricos.