

DISEÑO ELÉCTRICO DE LA EXTENSIÓN NORTE DEL SISTEMA TROLEBÚS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Avilés Merino Fausto Guillermo, Ing.
Espinel Jaramillo Sandra Elizabeth, Ing.
Morales Mariño Enrique Alfonso, Ing.
Escuela Politécnica Nacional

RESUMEN

Sobre la base de los estudios de transporte realizados por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, que determinan la necesidad de ampliar el Sistema Trolebús, tanto al norte como al sur de la ciudad; y considerando que está pendiente la ejecución de la Extensión Norte del Sistema, se realiza el diseño de las instalaciones eléctricas requeridas para el proyecto, a saber:

- Dimensionamiento y ubicación de las subestaciones de tracción requeridas,
- Determinación de las especificaciones técnicas de las subestaciones de tracción;
- Diseño de las Líneas de Media Tensión;
- Diseño de la Línea Aérea de Contacto; y,
- Determinación de las especificaciones técnicas de los vehículos trolebuses requeridos para esta etapa del proyecto.

ABSTRACT

Based on the research carried out by the Quito Metropolitan District Municipality about transportation, which determined the need for extending the trolleybus system to the south and north of the city, and considering that the realization of the north extension is still to be done, the design of the electrical required installations for this project are made, these being:

- The dimensioning and location of the required traction substations
- The determination of the technical specification of the traction substations
- The designing of the Media Voltage Lines
- The designing of the Contact Airline.

- The determination of the Technical specification of the trolleybus car.

DESARROLLO

Se considera como premisas del trabajo los resultados de los estudios de transporte desarrollados en 1996 por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, que establecen la necesidad de ampliar el sistema trolebús, y determinan que los requerimientos operacionales de esta ampliación, en términos de demanda de transporte, ruta, flota y plan operacional. La velocidad operacional promedio prevista es de 16[km/h], mientras que para el año 2013 se prevé una flota de trolebuses de 28 unidades con un período de despacho de 2.4 min. En la Figura 1 se esquematiza la ruta de la ampliación del sistema

ESQUEMA OPERACIONAL DE LA EXTENSIÓN NORTE

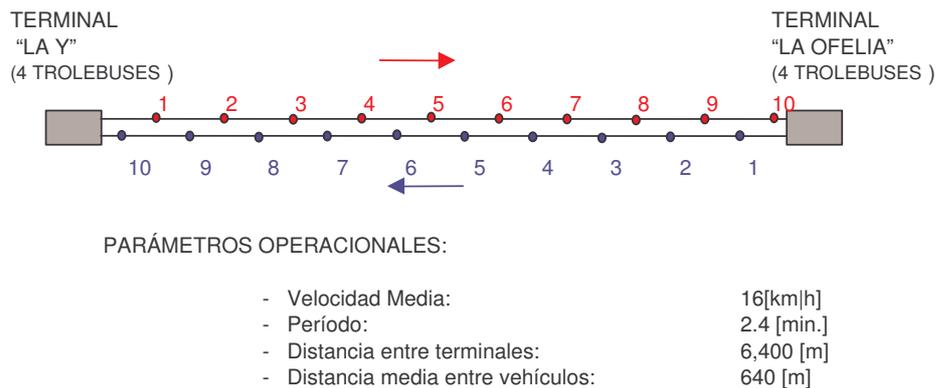


Figura 3. Distribución de trolebuses en la Extensión Norte del Sistema

Se toma como referencia la experiencia del sistema que se encuentra en operación, y mediante mediciones realizadas en el tramo entre San Blas y El Ejido, se determina que la potencia media requerida es el 42% de la potencia instalada, por lo que, con un margen de seguridad, para el dimensionamiento de las subestaciones de tracción, se considera que la potencia media requerida sea el 50% de la potencia instalada; es decir, 3,220[kW].

Para establecer la ubicación y potencia de cada subestación de tracción, se modela eléctricamente el sistema. Se considera las características físicas del hilo de contacto, específicamente su resistencia, y se modela a los vehículos como una resistencia que disipa una potencia constante. El circuito equivalente simplificado de un tramo específico del recorrido, se presenta en la Figura 4.

La ecuación matricial que da solución al circuito es la siguiente:

$$[R]_{(n+1) \times (n+1)} [I]_{(n+1) \times 1} = [V]_{(n+1) \times 1}$$

Aplicando los datos del circuito tenemos:

$$\begin{bmatrix} (RC_1+RT_1) & -RT_1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -RT_1 & (RT_1+RT_2+RC) & -RT_2 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -RT_2 & (RT_2+RT_3+RC) & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & -RT_3 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & -RT_{n-1} & (RT_{n-1}+RT_n+RC) & -RT_n & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & -RT_n & (RT_n+RC_2) & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \dots \\ I_n \\ I_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ -V \end{bmatrix}$$

La condición de diseño implica que el voltaje mínimo que alimente a los trolebuses sea de 525[V], y la corriente máxima en el hilo de contacto sea 705[A]. Desde el punto de vista de confiabilidad del sistema, se establece que éste funcione aún cuando una subestación de

tracción salga de servicio y la carga de ésta sea tomada por la subestación adyacente.

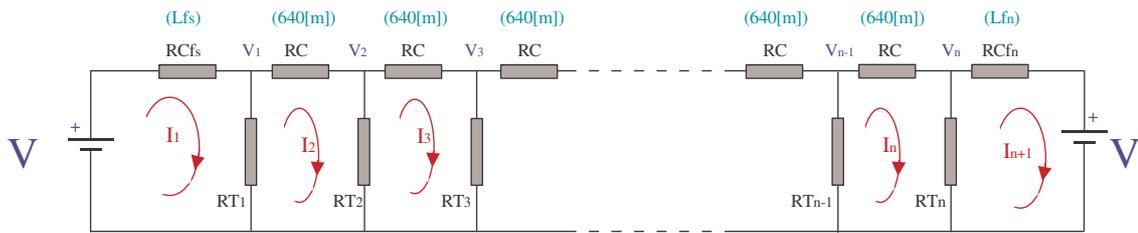
Bajo las condiciones expuestas se analiza las alternativas de 1, 2, 3; y, 4 subestaciones de tracción, y se establece que con 4 subestaciones de tracción el sistema funciona acorde a las condiciones de diseño. La ubicación de las subestaciones de tracción se esquematiza en la Figura 5.

Luego de analizar cada una de las condiciones de falla de las subestaciones, se determina que el sistema requiere de tres subestaciones de tracción de 1450[kW], y una de 840[kW] ha ubicarse en el terminal Ofelia. La distancia entre subestaciones se ha determinado en 1600[m].

Definidas los requerimientos de potencia de las subestaciones de tracción, se establecen las características y especificaciones técnicas de las mismas, para lo cual, se analiza el rectificador requerido para las subestaciones de tracción y se establece que debe ser un rectificador no controlado de 12 pulsos, pues no se requiere de regulación del voltaje de salida y se trata de minimizar la distorsión armónica de la corriente de entrada del rectificador (un rectificador de 12 pulsos presenta menor distorsión armónica que uno de 6 pulsos).

Para el rectificador de 12 pulsos se analiza las configuraciones tanto en serie como en paralelo de dos rectificadores de seis pulsos, cada uno de ellos con un desfase de 30°. El desfase se consigue mediante la adecuada conexión de un transformador con dos secundarios, uno en estrella y el otro en delta. El grupo de conexión recomendado es Yy0d11.

Donde:



- V : Voltaje de la subestaciones 1 y 2; $V = VSE_1 = VS_2$
- RT_i: Carga que representa el i-ésimo trolebús
- RC = RC_i: Resistencia i-ésima del hilo de contacto (+) y (-) para una distancia de 640[m],
 $RC_i = RC(+)_i + RC(-)_i = 0.15616[\Omega]$
- Lf_s: Longitud entre la subestación ubicada al sur y el primer trolebús hacia el norte
- Lf_n: Longitud entre la subestación ubicada al norte y el primer trolebús hacia el sur
- RCf_s: Resistencia del hilo de contacto debida a Lf_s
- RCf_n: Resistencia del hilo de contacto debida a Lf_n
- I_i: Corriente de la i-ésima malla del circuito
- n: Número de trolebuses en el tramo
- V_i: Voltaje de alimentación al i-ésimo trolebús

Figura 4. Circuito eléctrico simplificado

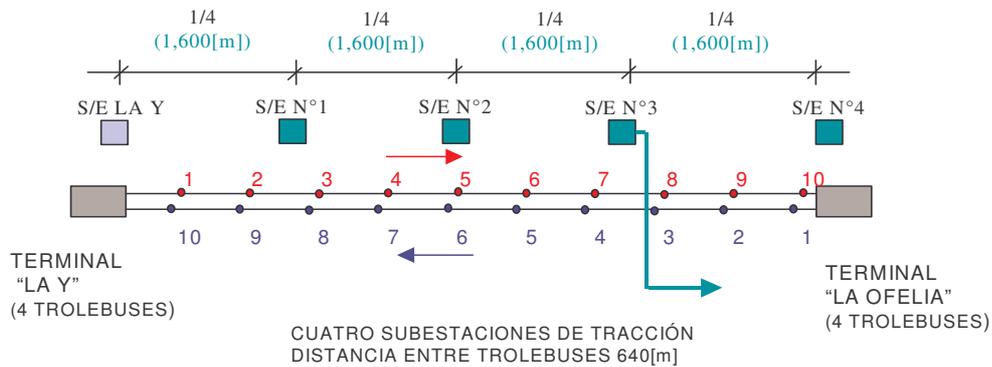


Figura 5. Ubicación de trolebuses y 4 subestaciones de tracción

La conexión que se recomienda para el rectificador es la conexión en paralelo de dos rectificadores no controlados de 6 pulsos, cuyo circuito se indica en la Figura 6.

Para las corrientes que circulan por el secundario en delta:

Las corrientes en cada rama del circuito están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 Ia1 &= I1 - I4 \\
 Ib1 &= I2 - I5 \\
 Ic1 &= I3 - I6 \\
 Ia2 &= I1' - I4' \\
 Ib2 &= I2' - I5' \\
 Ic2 &= I3' - I6'
 \end{aligned}$$

$$IS1 = \left(\frac{1}{3}\right) * (Ib2 + 2 * Ic2)$$

$$IS2 = \left(\frac{1}{3}\right) * (Ic2 + 2 * Ia2)$$

$$IS3 = \left(\frac{1}{3}\right) * (Ib2 - Ic2)$$

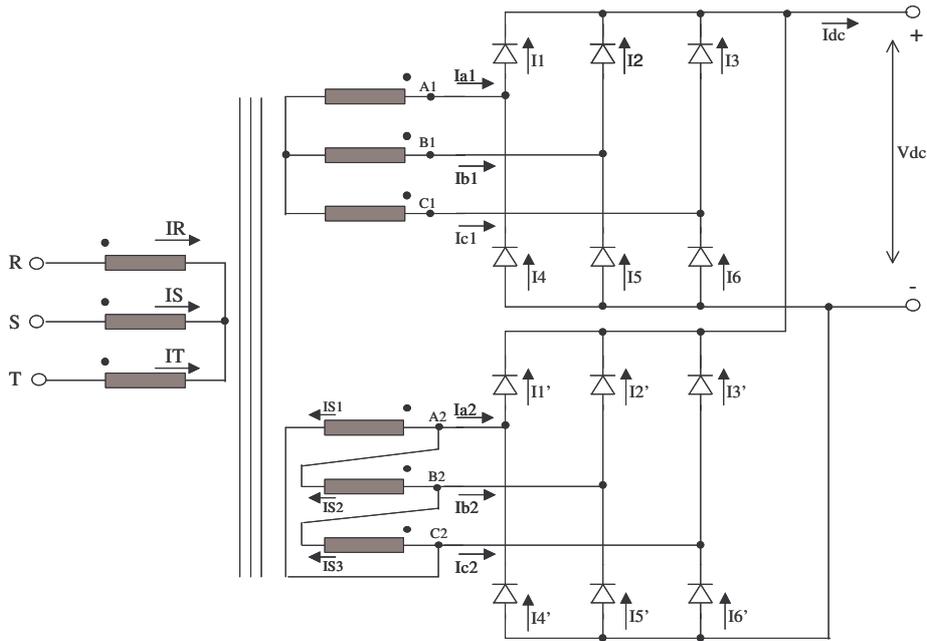


Figura 6. Rectificador de 12 pulsos formado por conexión en paralelo de dos rectificadores de 6 pulsos

Para las corrientes que se inducen en los bobinados del primario del transformador, debido a las corrientes que circulan en el secundario en delta:

$$IS1_{primario} = \left(\frac{\sqrt{3}}{n_{estrella}}\right) * \left[\left(\frac{1}{3}\right) * (Ib2 + 2 * Ic2)\right]$$

$$IS2_{primario} = \left(\frac{\sqrt{3}}{n_{estrella}}\right) * \left[\left(\frac{1}{3}\right) * (Ic2 + 2 * Ia2)\right]$$

$$IS3_{primario} = \left(\frac{\sqrt{3}}{n_{estrella}}\right) * \left[\left(\frac{1}{3}\right) * (Ib2 - Ic2)\right]$$

Para las corrientes que se inducen en los bobinados del primario del transformador, debido a las corrientes que circulan en el secundario en estrella:

$$Ia1_{primario} = \left(\frac{1}{n_{estrella}}\right) * Ia1$$

$$Ib1_{primario} = \left(\frac{1}{n_{estrella}}\right) * Ib1$$

$$Ic1_{primario} = \left(\frac{1}{n_{estrella}}\right) * Ic1$$

Finalmente, para las corrientes que circulan por el primario del transformador:

$$IR = IS1_{primario} - Ia1_{primario}$$

$$IR = \left(\frac{1}{n_{estrella}}\right) * \left\{ \left[\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right) * (Ib2 + 2 * Ic2)\right] - Ia1 \right\}$$

$$IS = IS2_{primario} - Ib1_{primario}$$

$$IS = \left(\frac{1}{n_{estrella}}\right) * \left\{ \left[\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right) * (Ic2 + 2 * Ia2)\right] - Ib1 \right\}$$

$$IT = (-1) * (IR + IS)$$

Las corrientes que circulan por cada diodo ($I1, I2, \dots, I6$; y, $I1', I2', \dots, I6'$) corresponden al ángulo de conducción de cada uno de ellos, mismo que está dado para los intervalos de tiempo en que los voltajes de entrada a cada rectificador de 6 pulsos, es mayor que el de entrada del otro rectificador de 6 pulsos, es decir, 30° , como se observa en la Figura 7 que grafica las formas de onda de la corriente en cada rama del circuito de la Figura 6.

Las formas de onda del voltaje de entrada y salida del rectificador se grafican en la Figura 8.

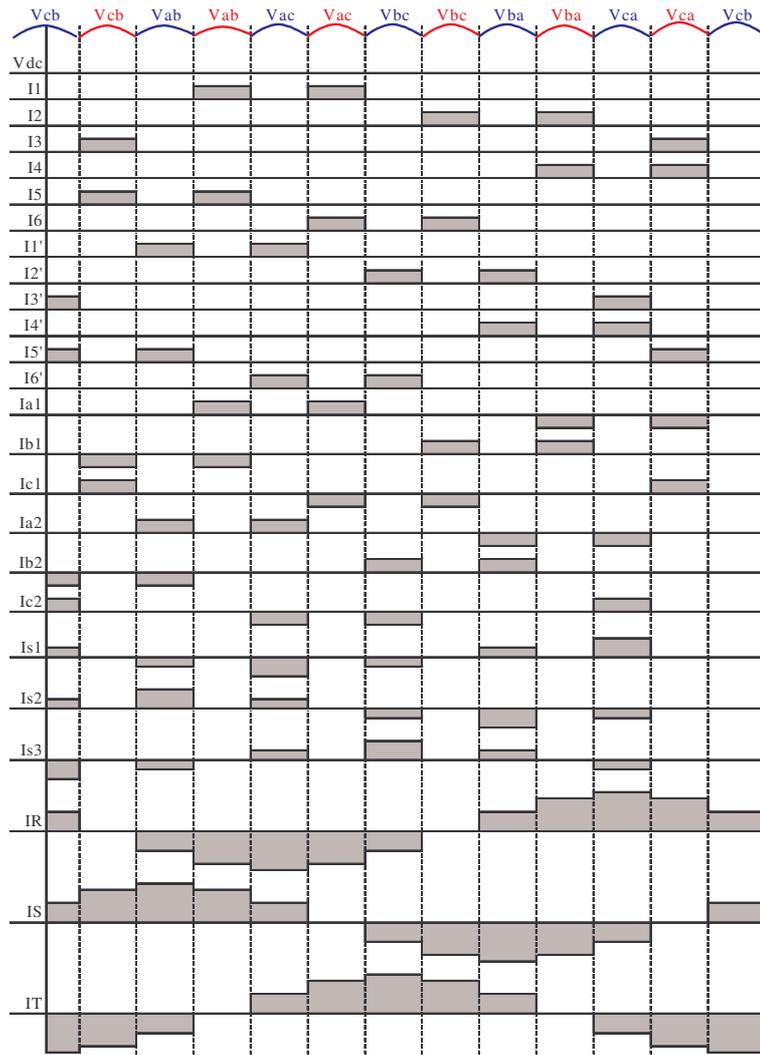


Figura 7. Corrientes en las ramas del circuito de la Figura 6

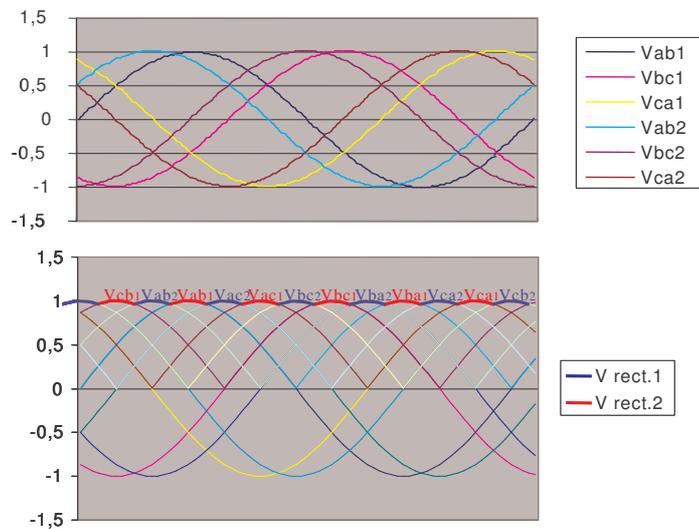
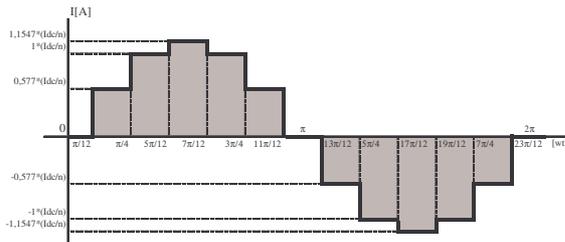


Figura 8. Formas de onda de voltaje del circuito de la Figura 6

La forma de onda de la corriente de entrada del rectificador seleccionado, se



gráfica en la Figura 9.

Figura 9. Forma de onda de la corriente de entrada del circuito de la Figura 6

El valor RMS de la corriente a la entrada del convertidor I_s , en el primario del transformador, será:

$$I_s = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i(t))^2 dt}$$

$$I_s = \left(\frac{1}{n}\right) * 0.8165 * Idc$$

La descomposición en series de Fourier de la señal de corriente, al ser una función impar con valor medio igual a cero, será de la forma:

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} b_k * \text{sen}(k * \omega t)$$

Los coeficientes b_k se obtienen, utilizando la siguiente ecuación:

$$b_k = \left(\frac{1}{\pi}\right) \int_0^{2\pi} f(t) * \text{sen}(k * \omega t) d(\omega t)$$

y son los siguientes:

$b_1=1.141$	$b_{25}=0.046$	$b_{49}=0.023$
$b_{11}=-0.104$	$b_{35}=-0.033$	$b_{59}=-0.019$
$b_{13}=-0.088$	$b_{37}=-0.031$	$b_{61}=-0.019$
$b_{23}=0.050$	$b_{47}=0.024$	

Se tiene entonces que:

$$I_{s1} = \left(\frac{1}{n}\right) * 0.807 * Idc$$

$$I_{dis} = \left(\frac{1}{n}\right) * 0.1236 * Idc$$

Si se contrasta los valores de distorsiones armónicas previstos, con lo establecido en la norma IEEE Std 519-1992, se establece que las subestaciones de tracción funcionarían, sin necesidad de filtros de

armónicos a la entrada, pues presenta un THD=15.31%; y, un TDD=15.14%, valor que supera en apenas 0.14% el límite establecido en la Norma.

El enlace entre las subestaciones de tracción y las subestaciones de distribución de la Empresa Eléctrica Quito S. A. (EEQ), denominadas Líneas de Media Tensión, se han diseñado considerando las condiciones de distribución determinadas por la EEQ y los requerimientos de confiabilidad y de urbanismo impuestos por el Municipio.

Se ha determinado la necesidad de cuatro líneas de media tensión constituidos por primarios expresos subterráneos; dos de ellas a 6.3[kV] alimentadas desde la subestación de distribución N° 17 de la EEQ; y, las otras dos alimentadas a 23[kV] desde la subestación de distribución N° 19 de la EEQ.

Para la distribución de la corriente continua desde las subestaciones de tracción hasta los vehículos trolebuses, se ha considerado la instalación de una red de distribución a lo largo del recorrido de la Extensión Norte del Sistema Trolebús, denominada Línea Aérea de Contacto (L.A.C.).

En función de las características físicas de los elementos disponibles para este tipo de instalación y de mantener homogeneidad con el resto de instalaciones del Sistema Trolebús, se ha definido una serie de estructuras tipo, las mismas que en función del recorrido del diseño vial han sido utilizadas en el diseño de la L.A.C.

Considerando los requerimientos de potencia de los vehículos trolebuses y las características de los trolebuses que el Municipio adquirió en la Primera Fase de la Segunda Etapa del Proyecto Trolebús de la ciudad de Quito, se describe las características técnicas de los 28 vehículos requeridos para la Extensión Norte del sistema, en términos de las especificaciones mecánicas del chasis, del sistema de tracción diesel, de la carrocería; y, del equipo de tracción eléctrico.

Finalmente se realiza un presupuesto referencial del proyecto, estableciéndose que al valor para el equipamiento eléctrico descrito y los vehículos trolebuses requeridos para la Extensión Norte, asciende a la suma de US \$24'800,000.00, según el desglose que se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Presupuesto para la ejecución del proyecto

RUBRO	VALORES ESTIMADOS [US\$]		
	SUMINISTRO DE EQUIPOS	INSTALACIÓN	TOTAL
Vehículos trolebuses	21'840,000.00	0.00	21'840,000.00
Subestaciones de tracción	1'470,400.00	66,960.00	1'537,360.00
Línea de media tensión	250,796.00	338,412.80	589,208.80
Línea aérea de contacto	619,254.00	213,750.00	833,004.00
TOTAL	24'180,450.00	619,122.80	24'799,572.80

CONCLUSIONES

- Los estudios de transporte que sirvieron de base para el desarrollo del presente trabajo no están actualizados, pues corresponden al año 1996. En todo caso, cualquier ajuste desde el punto de vista de transporte, a los requerimientos del proyecto no cambia la metodología y forma del trabajo realizado, por lo que, de ser necesario, se puede ajustar el diseño eléctrico de forma fácil siguiendo el procedimiento desarrollado en el presente trabajo.
 - Para la determinación de la potencia requerida por el sistema, es importante conocer, con un buen nivel de certeza, las condiciones operacionales del sistema de transporte, pues los requerimientos de potencia eléctrica están directamente relacionados con la frecuencia de despacho de los trolebuses, la flota operacional requerida y la topografía de la ruta.
 - De acuerdo a la potencia requerida por el sistema, una sola subestación de tracción de 3,220[kW] de potencia, podría satisfacer la operación del sistema; no obstante, esta situación no es factible, pues la resistencia del hilo de contacto hace que las caídas de tensión superen los límites máximos permisibles; por otra parte, por confiabilidad tampoco esta es una buena alternativa.
 - La condición de confiabilidad del diseño considera que cualquiera de las subestaciones de tracción pueda tomar la carga de una de las subestaciones aledañas en caso de falla de ésta. Esta condición hace que las subestaciones de tracción N°1, 2, 3 y 4 deban ser de 1256, 914, 1221; y, 725[kW] respectivamente. No obstante, por dar un margen de seguridad del 15% y tener homogeneidad de las instalaciones se ha decidido utilizar 3 subestaciones de tracción de 1450[kW], y una de 840[kW] en el terminal Ofelia, lo cual hace que la Subestación de tracción N° 3 pueda tomar la carga de las subestaciones de tracción N° 2 y 4 simultáneamente.
 - Se considera que el sistema no será ampliado a futuro hacia el norte, por lo que la subestación de tracción N° 4 a instalarse en el Terminal Ofelia es de potencia menor que los tres restantes (840[kW]) y dispone de un solo feeder de salida.
 - Para el rectificador ha utilizarse en las subestaciones de tracción, rectificador no controlado de 12 pulsos, se podría utilizar conexión en serie o en paralelo de 2 rectificadores no controlados de 6 pulsos.
 - La conexión en serie de dos rectificadores de 6 pulsos hace que cada uno de ellos funcione de forma independiente sin importar el valor del voltaje de los secundarios del transformador, pues el voltaje de salida es la suma de los voltajes de cada rectificador de 6 pulsos. En cambio en la conexión en paralelo se requiere que los voltajes del secundario del transformador sean exactamente iguales entre sí, pues cada uno de los rectificadores aporta al voltaje de salida cuando su voltaje de entrada es mayor que el del otro rectificador, lo cual se da en un 50%, si y solo si, los voltajes de entrada de cada rectificador son exactamente iguales en magnitud y desfasados 30° entre ellos.
- Lo expuesta haría pensar que es mejor la configuración serie de rectificadores de 6 pulsos, pero debido a que en las subestaciones de tracción, desde el punto de vista de los elementos semiconductores (diodos), es más

exigente el requerimiento de corriente que de voltaje (1933[A] vs. 750[V]), para las subestaciones de tracción se seleccionó la conexión en paralelo

- Desde el punto de vista estrictamente teórico, la distorsión armónica de la corriente de entrada de las subestaciones de tracción superaría en un 0.14% lo establecido en la norma IEEE Std 519-1992 (15%). No obstante, se estima que en la realidad considerando todas las reactancias de la instalación, como la de los transformadores de las subestaciones de distribución y de tracción; y, la reactancia de las líneas de media tensión, no se llegue a superar el valor máximo establecido en la citada norma (15%), razón por la cual en el diseño planteado no se ha requerido de filtros para la distorsión armónica de la corriente de entrada a las subestaciones.
- Para las líneas de media tensión requeridas, se podría utilizar instalaciones aéreas, lo cual abarataría los costos considerablemente; no obstante, por requerimientos de confiabilidad del sistema y del entorno urbanístico, se ha seleccionado para las líneas de media tensión, instalaciones subterráneas.
- El diseño de las Línea Aérea de Contacto, es un tema más bien mecánico, pues se trata de cálculos de momentos y esfuerzos en estructuras. Desde el punto de vista eléctrico, los cálculos realizados para determinar la ubicación y potencia de las subestaciones de tracción justifican plenamente la determinación del hilo de contacto seleccionado para la instalación de la L.A.C.
- En la determinación de las especificaciones técnicas de los vehículos trolebuses requeridos, se consideraron características similares a los adquiridos por el Municipio en la Primera Fase de la Segunda Etapa del Proyecto, incluyendo las modificaciones que por experiencia en su operación se ha creído conveniente incluirlas; tales como: Bomba de dirección para la tracción eléctrica; sistema de finales de carrera en el mecanismo de engranajes del diferencial; sistema de inyección del motor diesel; entre otras.

- De acuerdo al presupuesto referencia desarrollado, el costo de la inversión es alto comparado con otras tecnologías que darían solución a los requerimientos de transporte.

Comparando el valor requerido para el proyecto desarrollado US \$24'800,000.00, con el valor que representará al Municipio la adquisición de 42 autobuses articulados convencionales para la troncal 6 de Diciembre US \$7'500.000,00, se puede decir que desde el punto de vista de costos de inversión y de capacidad de transporte, es mucho más económico implantar el proyecto con autobuses convencionales que con trolebuses; sin embargo, en término de protección del medio ambiente, el trolebús es totalmente limpio, pues no presenta gases de escape con tracción eléctrica; además disminuye las vibraciones y el ruido.

- Con la finalización del presente trabajo, se concluye que es factible realizar localmente los diseños eléctricos de un proyecto moderno, de índole social, tan importante, como es el transporte público a través de trolebuses. Esto a más de dar reconocimiento técnico local, permitiría al Municipio un importante ahorro en cuanto a los costos de implantación, que según se ha estimado, sería de alrededor del 20%.

RECOMENDACIONES

- Toda vez que los estudios de transporte que han servido de base para el desarrollo del presente trabajo han sido realizados en 1996, es recomendable y necesario actualizar el estudio, más aun cuando se ha puesto en marcha la troncal Seis de Diciembre "Ecovía" que haría que la oferta y demanda de transporte varíe respecto del año 1996.
- Se recomienda a la unidad de planificación del Municipio determinar las alternativas de transporte a un horizonte mayor a 10 años, pues esto permitiría conocer que tecnología de transporte sería la adecuada en 20 años. Si se trata de una tecnología eléctrica de mayor alcance, como el tren ligero por ejemplo, se justificaría instalar una subestación de tracción de

similares características de las otras tres en el terminal Ofelia.

- Considerando que el Municipio dispone de una subestación de tracción móvil de emergencia, de 2000[kVA] de potencia, que hasta el momento no ha sido utilizada; así como también un transformador para rectificador de subestación de 2000[kVA] a 6.3[kV] en el lado de alta tensión, se sugiere que el Municipio utilice estos equipos en la Extensión Norte del Proyecto, lo cual permitiría disminuir los costos de inversión.
- Por la razón expuesta en el punto anterior, y considerando que la diferencia de costos entre subestaciones de 2000[kVA] y 1700[kVA] no sería considerable, se recomienda al Municipio requerir en la licitación del proyecto subestaciones de 2000[kVA] permitiendo de esta manera mantener homogeneidad entre las instalaciones nuevas y las existentes.
- Una vez implantado el sistema, es recomendable realizar un análisis del funcionamiento del mismo, y verificar que efectivamente las instalaciones cumplan lo establecido en las normas que rigen la contaminación armónica de corriente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Do Sousa, Duarte. **“Análisis Crítico del Desempeño Técnico, Operacional y Gerencial del Sistema Trolebús – Informe Preliminar”**. Consejo Nacional de Modernización del Estado – Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Enero 2001.
- [2] U.P.G.T. **“PLAN MAESTRO DE RACIONALIZACIÓN DEL TRANSPORTE PARA LA CIUDAD DE QUITO, PROYECTO TROLEBÚS ETAPA II”**. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Julio 1996.
- [3] U.E.P.T. **“Características del Proyecto Trolebús Segunda Etapa-Extensión Sur”**. Informe DIR-02-97 Unidad Ejecutora del Proyecto Trolebús. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Septiembre 1997.
- [4] Dirección General de Planificación. **“Quito 2020 Plan de Ordenamiento Territorial”**. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Julio 2000.
- [5] Valencia, Marco. **“Estudio Técnico de las subestaciones de tracción del Sistema Trolebús del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito”**. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Octubre 1998.
- [6] AEG – Cobra. **“Sistema de Transporte Mediante Trolebuses-Quito. Proyecto de Instalaciones Fijas. Memoria Técnica”**. Febrero 1996.
- [7] Adtranz. **“PROYECTO DE SUBESTACIONES RECTIFICADORAS DE TRACCIÓN PARA ALIMENTACIÓN DE TROLEBUSES EN LA CIUDAD DE QUITO (ECUADOR) (1ª FASE DE LA 2ª ETAPA)”**. Octubre 1998.
- [8] Adtranz – Mercedes Benz – Cobra. **“PROYECTO TROLEBÚS, SEGUNDA ETAPA, FASE I. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN”**. Febrero 1999.
- [9] Adtranz – Mercedes Benz. **“EL TROLEBÚS COMO SOLUCIÓN AL TRANSPORTE MASIVO URBANO”**. Abril 1998.
- [10] Mercedes-Benz AG. **“Manual de tablas Autobuses”**. Mercedes Benz N° de ref. 6460 1700 04. 1990.
- [11] **“Manual del Ingeniero Mecánico”**. Editorial McGraw-Hill. Novena Edición. 1995.
- [12] Winand, Helmut; **“Descripción. Regulador electrónico de marcha y freno EFB 142 Quito”**. Kiepe Elektrik Technische Dokumentation n°. 4.050647.015. Julio 1996.
- [13] Winand, Helmut; **“Descripción. Convertidor de impulsos directos DPU 305 Quito”**. Kiepe Elektrik Technische Dokumentation n°. 4.050647.011. Agosto 1997.

- [14] Mohan, Ned; Underland, Tore; Robbins, William. **“POWER ELECTRONICS: Converters, Applications and Design”**. John Wiley & Sons, Inc. 1989.
- [15] Rashid, M. **“Power Electronics: Circuits, devices and Applications”**. Prentice – Hall International, Inc. 1988.
- [16] Fisher, Marvin. **“POWER ELECTRONICS”**. Pws-Kent Publishing Company. 1991.
- [17] Kimbark, Edward. **“DIRECT CURRENT TRANSMISSION”** Volumen I. Wiley-Interscience. 1971.
- [18] Edminister, Joseph. **“TEORÍA Y PROBLEMAS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS”**. McGraw – Hill. Agosto 1965.
- [19] Ramírez, José. **“INSTALACIONES ELÉCTRICAS GENERALES”** ENCICLOPEDIA CEAC DE ELECTRICIDAD. Ediciones CEAC, S.A. 5ta. edición. Agosto 1982.
- [20] PIRELLI. **“CATÁLOGO DE CABLES Y ACCESORIOS DE MEDIA TENSIÓN”**. Primera edición. Abril 1998.
- [21] Empresa Eléctrica Quito. **“NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN”**. Partes A y B. Edición 1994.
- [22] **“Contrato para la ejecución y puesta en marcha de la Primera Etapa del Proyecto Trolebús”**. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito - Consorcio AEG – Cobra. Notaría Vigésimo Octava del cantón Quito. 19 de septiembre de 1994.
- [23] **“Contrato para la ejecución y puesta en marcha de la Primera Fase de la Segunda Etapa del Proyecto Trolebús de la ciudad de Quito”**. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito - Consorcio Adtranz – Cobra – Mercedes Benz. Notaría Décimo Novena del cantón Quito. 25 de septiembre de 1997.

SOBRE LOS AUTORES

Avilés Merino Fausto Guillermo

Nació en Guano en 1953, es Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional (1968); actualmente cursando estudios de Maestría en Ingeniería Industrial en la Escuela Politécnica Nacional; Profesor Principal 9 de la Escuela Politécnica Nacional; Título de PROFESOR EPN, agosto 2005; Representante Técnico del Consorcio Adtranz-Cobra-Mercedes Benz, para la construcción del Proyecto Trolebús de Quito.

Espinel Jaramillo Sandra Elizabeth



Nació en Quito el 22 de febrero de 1971, sus estudios secundarios los realiza en el colegio Femenino Espejo, recibió el título de ingeniera en Electrónica y Control en diciembre del 2001. En sus inicios trabajó en U.O.S.T. en el departamento de Electrónica y Control. Luego formando parte en el equipo para el diseño y construcción de cinco plantas de recuperación de agua de formación en los campos de Shushufindi Petro-producción, actualmente se encuentra colaborando en la re-activación de una planta de Recuperación de Crudo en Sacha-Central. Su campo de interés es la aplicación de la ingeniería en control para proyectos de remediación ambiental.

Morales Mariño Enrique Alfonso



Nació en Latacunga, el 09 de junio de 1971, obtuvo su título de Ingeniero en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional en el 2001; Egresado de la Maestría en Gerencia Empresarial, mención Gestión de Proyecto de la Escuela Politécnica Nacional (2003); Cursando estudios de Maestría en Ingeniería de Transportes en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (50% de avance); Especialista en Formulación, Evaluación y Gestión de Proyectos del BID. Principales cargos ocupados: Director de la Unidad Ejecutora del Proyecto Trolebús II Etapa (1998 – 2001); Director de la Unidad de Planificación y Gestión del Transporte del Municipio de Quito (2001); Director de Distribución de la Empresa Eléctrica Regional del Norte S.A. (2004 – 2005); Consultor Individual especialista en: Transporte, Gestión de Proyectos, Electrónica de Potencia; y Sistemas de Distribución.