

## ANÁLISIS DE RIESGO Y ASEGURABILIDAD DEL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO TROLEBÚS

**Alejandro Hincapié\***, **Andrés E. Díez\*\*†**, **Armando Bohórquez Cortázar**

*\*Universidad Pontificia Bolivariana, Cir. 1 #70-01, B11, Medellín, Colombia.*

Recibido 27 Junio 2014; aceptado 27 Junio 2015  
Disponible en línea: 27 Octubre 2015

**Resumen:** Es realizado un análisis descriptivo general de riesgos involucrados en la operación del sistema de transporte Trolebús de la Universidad Pontificia Bolivariana en Medellín, aportando elementos aplicables a cualquier sistema de características similares. Es incluido un análisis comparativo frente a las tecnologías alternativas gas natural y diésel. Se presenta un programa de control para los riesgos más representativos en pro de la prevención de pérdidas y minimización de riesgos junto con la compilación de criterios de asegurabilidad comunes en el medio asegurador nacional.

**Palabras Clave:** Análisis de Riesgos, Electrónica de Potencia, Gestión de ingeniería, Trolebús.

## RISK AND INSURANCE ASSESSMENT FOR A TROLLEYBUS SYSTEM

**Abstract:** It is performed a general descriptive analysis of the main risks involved in the operation of the trolleybus system of the university “Universidad Pontificia Bolivariana” in Medellín, Colombia. The paper contributes with elements and concepts which could be applied to other system of similar features. It is included a comparative analysis against alternative technologies such as natural gas and diesel. A general risk control program is also presented, including representative risks towards prevention and risk minimization. Compilation of common insurability criteria of the national insurance market is presented.

**Keywords:** Risk Analysis, Power Electronics, Engineering management, Trolleybus.

---

† Autor al que se le dirige la correspondencia:  
Tel. (+574) 4488388 Ext. 14130  
E-mail: [andres.diez@upb.edu.co](mailto:andres.diez@upb.edu.co) (Andrés E. Díez).

## 1. INTRODUCCIÓN

Las últimas décadas fueron marcadas por un creciente desarrollo tecnológico, donde a su vez la electrónica de potencia ha tenido un considerable avance. Tal evolución es fruto de investigaciones que posibilitaron la construcción de dispositivos electrónicos y eléctricos con mayor eficiencia, flexibilidad y compactación.

Al mismo tiempo en que la electrónica de potencia evoluciona, incrementa también la cantidad de cargas no lineales en los sistemas eléctricos mundiales trayendo diferentes retos en su alimentación. Para el caso específico de este proyecto, la aplicación de la electrónica de potencia en vehículos de transporte masivo es cada vez más importante, trayendo beneficios ambientales y eventualmente económicos en su implementación respecto a otras tecnologías basadas en motores de combustión, ya sea gas natural, diésel, entre otros ([De azevedo, 2010](#)).

De igual forma estos avances tecnológicos conllevan a riesgos relacionados con la operación de estos nuevos sistemas de transporte, riesgos que a su vez traen, desde diferentes líneas de investigación, nuevas protecciones, sistemas de mitigación, prevención y control. Todo esto con el fin de minimizar probabilidades de falla y de las pérdidas en caso de que éstas ocurran (ya sean pérdidas económicas, de infraestructura, humanas, entre otras).

Existen además una serie de riesgos ajenos a la operación del sistema de transporte, tales como riesgo de pérdidas por terremotos, inundaciones, lluvias y vientos fuertes, entre otros. Riesgos que igualmente deben ser considerados y para los cuales también se establecen programas de prevención y control.

Así, el objetivo de este artículo es ofrecer un análisis de riesgo descriptivo del sistema de transporte Trolebús, incluyendo criterios de asegurabilidad y bases para el control de los riesgos identificados.

## 2. ANTECEDENTES

A nivel internacional se continúa operando e implementando nuevos sistemas de transporte Trolebús de tercera generación gracias en parte a

últimos avances tecnológicos en electrónica de potencia. A su vez estos avances impulsan investigaciones y desarrollos que son llevados a cabo por universidades y diferentes entidades públicas y privadas ([Ingo Hahn, 2005](#)).

Igualmente la integración Universidad – Industria es evidente en los países con gran acogida e implementación de sistemas trolebús, Universidades de Estados Unidos y Europa en su gran mayoría ([Rail Transportation Standards Committee, 2015](#)).

A nivel nacional es importante describir los avances llevados a cabo por la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en asociación con la empresa colombo-alemana SYTECSA y el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico (CIDET). Investigaciones tanto desde el punto de vista de la viabilidad de implementación de estos sistemas en el país, como pruebas pilotos y laboratorio sobre su operación en un campus universitario, la [Fig. 1](#) muestra el trolebús en el campus universitario. Otras universidades nacionales con diferentes trabajos de investigación en esta área son la Universidad de los Andes, Universidad De La Salle y la Escuela de Ingenieros de Antioquia principalmente.



Fig. 1. Trolebús en el campus universitario UPB

Estas investigaciones constituyen un proyecto macro al cual se circunscribe este trabajo.

Respecto a los avances realizados en el tema de seguros para este tipo de vehículos en Colombia, diferentes compañías aseguradoras tienen productos especiales para autobuses que pueden ser adaptados a las particularidades del Trolebús. Diferentes compañías además han tenido experiencia en el análisis de riesgo y asegurabilidad de sistemas similares como el

Transmilenio en Bogotá, MetroPlus en Medellín y el Metro de Medellín, cuyas experiencias pueden extrapolarse hacia el marco de un Trolebús eléctrico según es la competencia de este proyecto.

### 3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS

El análisis de riesgos es parte integral de la ingeniería de riesgos, y corresponde al proceso general de identificación, descripción y estimación de riesgos. Instrumento técnico del que se vale la actividad aseguradora para lograr el adecuado equilibrio en sus resultados. Fundamentalmente se concreta en los siguientes aspectos:

Selección de riesgos. Ponderación o clasificación de riesgos. Previsión de riesgos. Control de resultados.

### 4. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Dentro del sistema de transporte se identifican condiciones de riesgo presentes en todos sus subsistemas constituyentes, es decir, en la subestación o unidad rectificadora de alimentación eléctrica y acometida, en la red de distribución, en sus postes, línea aérea de contacto y finalmente en el trolebús en sí.

Los daños o pérdidas a partir de la ocurrencia de un siniestro pueden clasificarse sobre el tipo de objeto afectado, en primer lugar si los daños son sufridos por el sistema y sus partes, o si por el contrario el sistema los causa al ambiente, a terceros o a la comunidad habiendo responsabilidad sobre ellos.

Dentro de los daños o pérdidas materiales que sufra directamente el sistema, sus causales pueden clasificarse a partir de la naturaleza del riesgo, que pueden ser en primer lugar condiciones de la naturaleza o ambientales, en segundo lugar condiciones internas o propias de la operación, y finalmente otras condiciones externas que directa o indirectamente afecten al sistema.

Dentro de los riesgos inherentes a hechos de la naturaleza o ambientales pueden clasificarse algunos como terremotos, vientos fuertes, granizadas, caída de árboles, incendios, caídas de rayos, inundaciones, entre otros ([Ayala & Olcina, 2002](#)). Todos los riesgos identificados en esta

sección son amparados en el medio de los seguros bajo la cobertura básica comúnmente conocida como “Todo Riesgo Incendio”.

Dentro de los riesgos a partir de condiciones internas pueden clasificarse en primer lugar pérdidas originarias de riesgos eléctricos, como sobretensiones internas, corto circuitos, sobre corrientes, pérdidas de aislamientos, incendios internos, entre otros riesgos eléctricos, tanto en la acometida, subestación rectificadora, sistema de distribución y trolebús. En segundo lugar pérdidas relacionadas con rotura de maquinaria en el trolebús, como rotura de piezas, ejes, sistemas de refrigeración, sistemas neumáticos, piezas móviles, entre otros. Finalmente pérdidas o daños materiales provocados por colisiones del trolebús contra cualquier cuerpo externo que implique su propia afectación.

Finalmente dentro de las demás condiciones externas que pueden implicar pérdidas para el sistema pueden considerarse eventos como hurto y hurto simple de cualquier pieza o parte del sistema, daños parciales o totales por impacto de vehículos externos, actos mal intencionados de terceros, huelgas, asonadas, motines, conmoción civil y demás movimientos sociales que puedan afectar.

Riesgos de pérdidas o daños a terceros son amparados bajo un seguro conocido como “Responsabilidad Civil Extracontractual” el cual comprende básicamente los daños o afectaciones a bienes o personas terceras por el sistema en sí y que tenga responsabilidad sobre tales eventos y represente una pérdida de patrimonio o dinero para resarcir tales terceros.

Es claro entonces que cualquier condición externa, interna o de la naturaleza puede llevar a situaciones de riesgo hacia terceros donde el sistema trolebús sea responsable.

### 5. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS ELÉCTRICOS

Desde el punto de vista eléctrico existe un gran número de condiciones que pueden generar pérdidas o daños en diferentes partes del sistema o al menos generar una interrupción en su funcionamiento. La [Fig. 2](#) muestra los principales riesgos eléctricos a los que está sometido el sistema y sus partes.

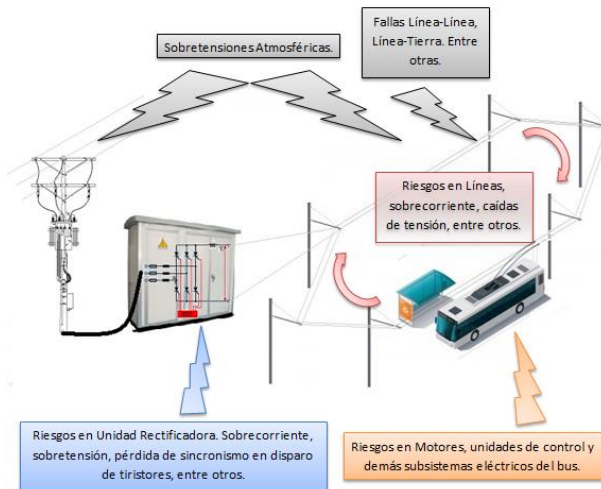


Fig. 2. Principales Riesgos Eléctricos

### 5.1. Riesgos Eléctricos en líneas y conductores

Uno de los principales riesgos eléctricos presentes en cualquier tipo de instalación eléctrica, y más aún en instalaciones eléctricas aéreas, ya sean de CA (Corriente Alternada) o CC (Corriente Continua) es el riesgo de daños o fallas por sobretensiones atmosféricas y sobretensiones en general en cualquier punto de su tendido, la [Fig. 2](#) ilustra tales riesgos principales inherentes al tendido eléctrico de alimentación.

**Sobretensiones atmosféricas:** Por impacto de rayos sobre conductores o en proximidades.

Una sobretensión atmosférica no controlada puede causar severos daños en todos los equipos del sistema, a personas y propiedades vecinas. La forma de minimizar el riesgo de daños por sobretensiones atmosféricas es con un buen diseño físico y eléctrico de las partes, y también con la utilización de principalmente dos tipos de protecciones:

En primer lugar la utilización de cables de guarda aterrizados cuya función principal es hacer las veces de punta captadora de sobretensiones atmosféricas en lugar de los mismos cables de línea, de esta forma la sobretensión es evacuada a tierra sin que afecte directamente al sistema.

En segundo lugar, cuando es inevitable la presencia de una sobretensión en la línea, ya sea inducida o directa, es importante la conexión de un

limitador derivado a tierra, el cual funciona al perforarse un aislante de grosor determinado según la sobretensión.

Otro riesgo importante es la sobrecarga de las líneas a partir de cambios bruscos en la demanda del sistema, cortocircuitos, fallas por caída de árboles u objetos sobre la misma línea CA, sobre la línea CC o cualquier parte del sistema y la sobrecorriente asociada a esto. Riesgo que en caso de materializarse puede llevar a la destrucción de los equipos interconectados, generación de puntos calientes, posibles incendios, entre otros.

Otro riesgo es la caída de objetos que puede ocasionar fallas línea-línea o línea-tierra, de cualquier forma pueden generar daños físicos en las líneas o interrupciones en el suministro así como fallas de corto circuito a tierra o entre líneas generando sobrecorriente o subtensiones. Situaciones que sin el debido diseño y sin los equipos de protección adecuados pueden llevar a peores daños o circunstancias, por ejemplo, una situación de corto circuito línea-línea CC no liberada puede llevar a la destrucción de las unidades rectificadoras por una sobrecorriente excesiva.

Otro efecto no deseado y que siempre existe el riesgo de su presencia es el arco eléctrico.

Las baterías en sí, dependiendo de la tecnología, incluyen un riesgo de incendio que no es despreciable.

### 5.2. Riesgos Eléctricos en transformador

El transformador de línea es de vital importancia para la alimentación y correcto suministro del sistema. Las causas que durante el funcionamiento del transformador pueden dar lugar a daños o pérdidas, son principalmente:

- De origen Interno: Contactos o cortocircuitos entre arrollamientos en bobinados, o entre arrollamientos y masa por pérdidas de aislamientos, daño de sistema de refrigeración o temperatura elevada, entre otros.

- De origen externo: Principalmente son sobretensión por el primario, sobrecarga, regulación de tensión deficiente, carga asimétrica,

sobrecorriente, mínima impedancia, sobretensión, arco eléctrico entre conductores, cortocircuitos, entre otros.

### 5.3. Riesgos Eléctricos en Unidad Rectificadora

En esta unidad, adicional a todos los riesgos mencionados anteriormente para los demás subsistemas, existen riesgos asociados a la buena calidad y regulación de la tensión CC obtenida, como contra los picos de tensión y corriente, y balance en las unidades semiconductoras, para la minimización de estos riesgos es indispensable la utilización de dispositivos accesorios presentes en el proyecto actual y descritos a continuación:

- Protección filtro inductivo de entrada de línea: Contra variaciones fuertes de la corriente de entrada, evitando sobreesfuerzos en los semiconductores.
- Reactor inductivo de salida CC: Para mejorar la regulación de la corriente y potencia suministrada.
- Filtros de salida CC: Mejorar la forma de onda y elevar la tensión CC de salida.

### 5.4. Riesgos Eléctricos en motores

En el motor eléctrico principal existen diferentes tipos de riesgos eléctricos al igual que en cualquier máquina o motor eléctrico, entre ellos se encuentran sobretensión, subtensión, sobrecorriente, fallas a masa del estator y rotor, cortocircuitos en bobinados, sobrevelocidad, fatiga en el eje, disparo de protecciones, fallo de cojinetes, entre otras.

Estas causales de daños pueden clasificarse o producirse por causas internas o externas. Dentro de las externas se encuentran causas relativas a la tensión de alimentación, subtensión, sobrecargas, entre otras, y en las causas internas puede considerarse el fallo de cojinetes y faltas eléctricas internas generalmente a tierra o masa.

### 5.5. Utilización de motores de corriente alterna

En la actualidad con la creciente eficiencia y economía de nuevos sistemas basados en electrónica de potencia, nuevos sistemas trolebús

están siendo adaptados para la operación con motores CA. El principio es simple, utilizar inversores para generar tensiones alternadas de diferente amplitud y frecuencia partiendo de su alimentación en CC.

Un inversor es un convertidor electrónico que puede generar tensiones alternadas a partir de tensiones continuas ajustando el ángulo de conducción de semiconductores controlables como tiristores, tiristores con compuerta de interrupción (GTO), transistor bipolar con compuerta aislada (IGBT), transistores de semiconductor metal-óxido y efecto de campo (MOSFET), entre otros semiconductores controlables (Maloney, 2006). Mediante un proceso similar al inverso de una rectificación de onda completa monofásica o trifásica, son conocidos también como convertidores CC/CA.

La utilización de este tipo de inversores a bordo del trolebús tiene grandes ventajas tanto para la simplicidad en la operación y control del sistema, versatilidad para utilizar una línea de alimentación externa en CA o en CC, y menores riesgos de fallas en los sistemas de control del motor y en el propio motor.

Una opción con grandes ventajas es mostrada en la Fig. 3, consistente en alimentar el bus a partir de una red en CC y emplear un inversor independiente para cada rueda, de esta forma la aceleración y frenado del bus puede hacerse con controles independientes para cada rueda incrementando la eficiencia del sistema, también eliminando transmisiones mecánicas a partir de un único motor principal reduciendo el riesgo de daños mecánicos, por otra parte permite mayor simplificación mecánica, mayor flexibilidad y pisos bajos al interior del bus.

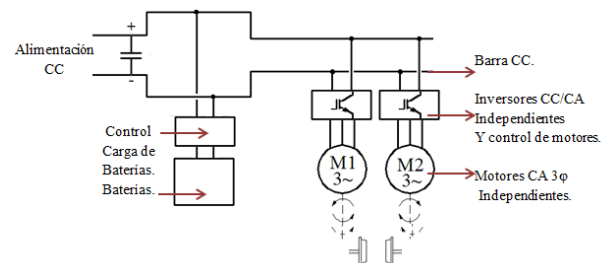


Fig. 3. Opción motores CA con inversor propio, alimentación CC.

En términos generales la utilización de motores de CA tiene diversas ventajas respecto a la utilización tradicional de motores y sistemas CC, entre ellas una mayor confiabilidad, menor mantenimiento de las partes y subsistemas, mayor eficiencia, posibilidad de implementar sofisticados controles sobre tasas de aceleración y jalones. Todas estas ventajas repercuten en menores riesgos de daños eléctricos en motores y sistemas involucrados.

Con la utilización de motores CA son sustanciales las ventajas respecto a la eficiencia eléctrica, siendo casi un tercio de menor consumo en relación a los sistemas CC de los trolebuses de primera generación. Respecto a confiabilidad y mantenimiento, los sistemas modernos en AC son al menos diez veces más confiables, que sistemas tradicionales en CC.

En relación a otras tecnologías como los motores diésel, la vida útil y la mínima necesidad de mantenimiento constituyen otra gran ventaja de los sistemas trolebús con motores CA. La posibilidad de incluir sistemas de frenado regenerativos constituye otra ventaja respecto a la reducción de riesgos mecánicos en relación a sistemas mecánicos y tradicionales de frenado.

## 6. VALORACIÓN DE RIESGOS

Es importante aclarar que “Riesgo” es la probabilidad o posibilidad de que pueda ocurrir un daño a partir de un peligro. Y “Peligro” es cualquier fuente que tenga el potencial de causar lesiones o daños, como peligros físicos, químicos, mecánicos, entre otros. El “Riesgo” se representa como la combinación de la frecuencia y la consecuencia de un incidente identificado ([Molak, 1997](#)).

La valoración de riesgos puede hacerse considerando la frecuencia o probabilidad y severidad de la materialización de una condición de riesgo. De esta forma se determina la importancia o significación del riesgo para tomar medidas de control.

Para hacer más entendible el proceso de análisis y control de riesgos se muestra a continuación el diagrama de la [Fig. 4](#).

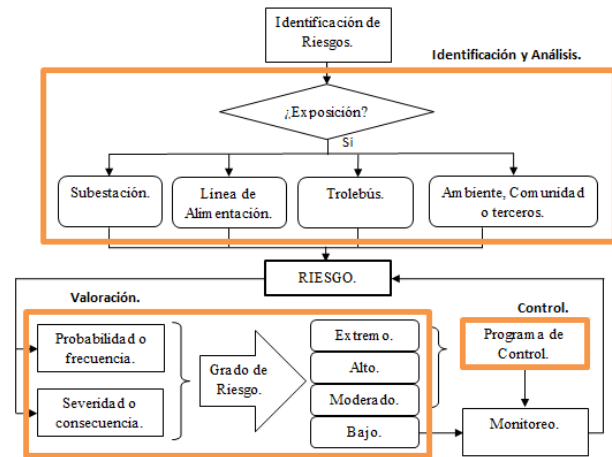


Fig. 4. Proceso de identificación, análisis y gestión de riesgos

## 7. PROGRAMA DE CONTROL DE RIESGOS

El control de riesgos es un proceso integral de la ingeniería de riesgos (identificación, análisis, valoración y control), justo después del proceso de valoración de la severidad y frecuencia de los riesgos identificados y analizados. El control de riesgos es también un proceso continuo, de valoración, monitoreo y acciones activas constantes.

Por lo general los criterios de asegurabilidad de las empresas de seguros están sujetos a la existencia de un adecuado programa de control de riesgos y de un concienzudo análisis de estos.

Un programa de control general debe componerse de normas, planes, programas y proyectos para mitigar y gestionar los riesgos inherentes al objeto de análisis, en este caso del sistema de transporte tipo trolebús. Programa que debe integrar a los usuarios, la comunidad estudiantil, la comunidad civil, los funcionarios junto con planes de emergencia y capacitación constante.

Las medidas para minimizar los riesgos pueden ser de carácter activo o de carácter pasivo en su mayoría. Por ejemplo el material, diseño, dimensiones y altura de las torres de alimentación eléctrica del sistema están concebidos para minimizar, entre muchos riesgos, el riesgo de una caída fácil sobre transeúntes u otros bienes. Otro ejemplo puede ser el material, aislamiento y señalización de la cabina donde se encuentra el convertor CA/CC, que son concebidos para proteger tanto al convertor como a personas de

sufrir alguna electrocución. Todos estos asuntos son controlados en su mayoría por normativas internacionales y algunas nacionales, que deben satisfacer los fabricantes de los equipos usados en el sistema y diseñadores del sistema como una unidad.

Dentro de las normas de calidad y seguridad de importancia son las normas de Organización Internacional para la Estandarización (ISO 'International Organization for Standardization' por sus siglas en inglés) ISO 9001:2000, ISO 14000 y de la Serie de normas de Evaluación en Seguridad Industrial y Salud Ocupacional (OSHAS 'Occupational Health and Safety Assessment Series' por sus siglas en inglés) OSHAS 18001 (Marín, 2006). Es así entonces que una medida básica de control de riesgos es la utilización de equipos que cumplan con normas técnicas, instalaciones eléctricas según RETIE y procesos de calidad según estándares internacionales, en términos generales el objetivo de las normas y estándares es el incremento de la calidad que a su vez conlleva a la minimización de riesgos.

Adicional a esto existe otro nivel de medidas pasivas y activas para minimizar aún más riesgos específicamente identificados en cada caso de análisis, que son a continuación mencionados tanto para la limitación de riesgos de pérdidas contra el propio sistema como riesgos de afectar a vehículos terceros, transeúntes o propiedades vecinas.

### *7.1. Riesgo de incendio*

En el caso de falla de estas medidas pasivas y un incendio sea generado se recomienda la instalación de extintores portátiles multipropósito dentro del trolebús (básicamente uno tipo ABC junto al conductor y dos en compartimento de pasajeros) y cerca del convertidor CA/CC (Un extintor portátil multipropósito de polvo químico seco y de bióxido de carbono), que son las partes críticas del sistema para este riesgo, extintores que en conjunto con los existentes en las edificaciones de la universidad deben satisfacer la norma número 10 de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA 'National Fire Protection Association' por sus siglas en inglés).

También es recomendable la ubicación de hidrantes de piso cerca del convertidor CC y cerca

del lugar de parqueo y pernocte del trolebús, complementado con gabinetes, rociadores automáticos y sistemas de detección de humo según la norma NFPA 14.

Las baterías en sí, dependiendo de la tecnología, incluyen un riesgo de incendio que no es despreciable.

### *7.2. Riesgo de terremoto*

Todas las partes o construcciones civiles del sistema deben cumplir la normativa sísmo resistente (NSR) del 98 (eventualmente la norma NSR 2010 para construcciones mayores objeto de nuevos proyectos de extensión del sistema trolebús actual), incluso el taller o parqueadero donde pernocte el propio bus.

### *7.3. Riesgo de colisión*

Este riesgo se divide en dos partes, en primer lugar los daños que pueda ocasionar el trolebús al colisionar a otros vehículos, personas o construcciones y en segundo lugar el riesgo que las partes como torres, estaciones, convertidor y hasta el mismo trolebús sean colisionadas y dañadas por el impacto de cualquier vehículo externo al sistema.

Adicional a las medidas anteriores es importante considerar la inclusión de una mejor protección física para el convertidor CA/CC, actualmente ubicado en el bloque de educación primaria, como protección contra impacto causado por vehículos terrestres, puede considerarse la inclusión de barreras laterales de concreto.

### *7.4. Riesgo de daños en el trolebús y a la infraestructura*

La infraestructura física fija está compuesta inicialmente por la acometida del sistema, seguido por el convertidor CA/CC, además de todas las estaciones de paradas autorizadas, conductores eléctricos y líneas de alimentación dispuestas por toda la ruta, ruta que inicialmente está limitada al campus central de la UPB, pero que se extenderán por los futuros corredores de trolebús de la ciudad, como ya es una realidad en muchas ciudades del mundo.

Para todos los casos es recomendable tener una política de disponibilidad de repuestos críticos y

clasificar repuestos existentes según criticidad, construir un programa de mantenimiento preventivo según recomendaciones de fabricantes y constructores. Para eventuales ampliaciones del sistema tener presente la implementación de mejoramientos a las rutinas de mantenimiento según las tendencias internacionales, como lo es la filosofía de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Dada la presencia del laboratorio de TyD en la dirección del proyecto, se propone incentivar la cultura de investigación y desarrollo a partir de los miembros del laboratorio y la universidad para analizar e investigar posibles mejoramientos para los equipos que componen el sistema.

### 7.5. Riesgo de hurto e intrusión

Los bienes del sistema son en general de reducido apetito de hurto, a excepción de los conductores eléctricos, pero dadas las condiciones actuales de seguridad de la Universidad se considera el riesgo de intrusión y hurto como bajo o moderado. Sin embargo es recomendable la inclusión de alarmas de intrusión, detectores infrarrojos pasivos, pulsadores de pánico y sirenas en partes críticas como el mismo trolebús y el convertidor CA/CC, y también la inclusión de cámaras de video en un circuito cerrado de televisión, tanto para supervisión contra hurto e intrusión como otro sinnúmero de situaciones que pueda ser monitoreada o revisado a partir de grabaciones de video como cuestiones de tráfico, maniobras realizadas por el conductor, entre otras.

En vía pública, los habitantes de la ciudad de Medellín han convivido satisfactoriamente con las líneas de distribución aérea, por lo que puede considerarse que no se espera un impacto cultural adverso a la instalación de las mismas, y el riesgo de robo puede considerarse mínimo, máxime considerando que estas líneas permanecen energizadas.

### 7.6. Otros riesgos de la naturaleza

Dentro de los riesgos de la naturaleza identificados con mayor exposición se encuentran los vientos y lluvias fuertes, situaciones que directa o indirectamente poder llevar a caídas de árboles y ramas sobre el mismo trolebús y sobre todo el sistema de alimentación eléctrica causando fallas eléctricas o pérdidas materiales, por esta razón es

de vital importancia la poda preventiva de ramas y árboles potencialmente peligrosos alrededor del sistema. Se recomienda entonces hacer un estudio detallado bajo la asesoría de un ingeniero agrónomo para la identificación y corrección detallada de las posibles condiciones de riesgo.

En el caso de una eventual ampliación del sistema sobre la avenida 70, son mostrados en la [Fig. 5](#), algunos árboles que deben ser intervenidos. Siendo los más importantes un Urupán sobre la izquierda de la imagen, un Falso Pimiento sobre el lado derecho y un Algarrobo en el fondo.



Fig. 5. Ramas de Árboles con riesgo de caída, avenida 70

Sin embargo la tecnología trolebús es compatible con los árboles, gracias a que la tensión manejada (usualmente de 700 V) hace que la susceptibilidad a fallas por caída de ramas, sea menor que en los sistemas de distribución primarios (13.2 kV). Los árboles pueden ser utilizados para mitigar el impacto visual del hilo de contacto, un caso ejemplo en Vancouver puede apreciarse en la [Fig. 6](#).



Fig. 6. Trolebús operando entre árboles en Vancouver, foto de Steve Morgan



### 7.7. Riesgo de daños por Actos mal intencionados de Terceros (AMIT)

El factor más importante para prevenir pérdidas por actos malintencionados de terceros es mantener unas excelentes relaciones con la comunidad, mantener una imagen amigable con toda la comunidad, tarea muchas veces difícil para cualquier tipo de universidad pero en la cual la UPB debe continuar trabajando y mucho más con este nuevo proyecto de llevar el sistema a la vía pública.

### 7.8. Riesgos de pérdidas o daños a terceros

El riesgo de afectar a un tercero, ya sea pasajero, transeúnte o cualquier bien tercero, es de gran importancia para sistemas que involucren la conducción de vehículos terrestres y también para sistemas que involucren electricidad.

Para ambos casos, pero principalmente para la responsabilidad que se pueda generar a partir de la conducción del bus se recomienda tomar todas las medidas preventivas detalladas en el numeral

8.3 Riesgo de colisión, que son la implementación de un Sistema de Control y Gestión de Tráfico, Semaforización inteligente integrada y Señales de tránsito con señales fijas de circulación, marcas viales y señalización circunstancial de carriles, entre otros. Todas estas señalizaciones son de vital importancia para la reducción del riesgo de daños a transeúntes y pasajeros, medidas que deben estar acompañadas de una conducción defensiva por parte del personal capacitado para la conducción del bus.

Respecto al sistema eléctrico se recomienda la implementación de sistemas de detección de fallas para la desenergización inmediata de las líneas evitando lesiones personales y materiales en caso de una eventual caída de conductores.

### 7.9. Riesgos eléctricos

Como medidas de minimización de riesgos eléctricos son identificados dos grandes grupos de posibles afectados, en primer lugar el sistema en sí, y en segundo lugar posibles terceros.

En relación a posibles pérdidas contra el sistema en sí fueron identificadas las siguientes situaciones:

- Incendio a partir de corto circuito y sobrecorriente (puntos calientes).
- Falla entre conductores por caída de árboles o sus ramas.
- Sobretensiones atmosféricas incidentes por la acometida trifásica.
- Sobretensiones atmosféricas incidentes en el anillo de alimentación.
- Caída directa de rayos.
- Sobretensiones inducidas en transformador y convertidor CA/CC.
- Sobretensiones y sobrecorrientes por maniobras de arranque y frenado.
- Combustión interna del motor eléctrico por sobrecarga.
- Pérdida de aislamientos.

Todas las situaciones de riesgo mencionadas pueden ser minimizadas con la correcta implementación y coordinación de protecciones eléctricas contra sobretensiones atmosféricas, sobretensiones y sobrecorrientes, reguladores de tensión ([Montané, 1999](#)). Protecciones que en su mayoría ya se encuentran instaladas en el sistema actual lo cual lleva estas condiciones a niveles de riesgo aceptable según son mostradas en la sección 6. Identificación De Riesgos Eléctricos.

## 8. CRITERIOS DE ASEGURABILIDAD

Los criterios de asegurabilidad son lineamientos que utilizan las compañías de seguros para determinar si una empresa o sistema puede ser asegurado o no a partir del grado de los riesgos presentes en la actividad del cliente.

En términos generales, la base de los criterios de asegurabilidad es que los riesgos asegurables tienen que ser aleatorios, accidentales e imprevistos, es decir, no son asegurables los daños ocasionados por dolo o culpa grave del asegurado o empleados. Así mismo existen entonces ciertos tipos de riesgos que son excluidos totalmente por las compañías aseguradas o que no son asegurables, como lo son por ejemplo, los daños inherentes a las cosas por el simple transcurso del tiempo, desgaste y deterioro paulatino como consecuencia del uso o funcionamiento normal, pérdida de resistencia, corrosión, erosión y oxidación.

En la mayoría de casos se trata entonces de verificar que todos los riesgos asegurables se

encuentren en grados bajos y moderados de riesgos (Bahr, 1997). Para así poder conseguir un adecuado programa de seguros. Ese fue el objetivo de la sección 7. Valoración De Riesgos y sección 8. Programa De Control De Riesgos del presente trabajo.

### 8.1. Asegurabilidad del sistema Trolebús de la UPB

Partiendo de una consulta detallada con las principales compañías de seguros del medio, del análisis de riesgos realizado a lo largo de este trabajo, se concluye que el sistema trolebús objeto de estudio es completamente asegurable.

Sin embargo es posible que tal asegurabilidad esté sujeta al cumplimiento de ciertas recomendaciones propias de cada compañía.

Dichas recomendaciones por lo general consisten en la implementación de medidas para minimizar los riesgos clasificados como de nivel extremo, para los cuales ya el sistema cuenta con la mayoría de protecciones implementadas.

Así, son posibles dos formas de aseguramiento del sistema, en primer lugar consiste en amparar bajo una póliza todo riesgo de daños materiales todos los activos fijos, y los vehículos protegidos bajo una póliza del tipo para automóviles. Otra opción es una única póliza especial tanto para bienes fijos como para el trolebús haciendo una adaptación integral de una póliza todo riesgo de daños. Para ambos casos la inclusión de las coberturas de responsabilidad civil general y HAMCCP (Huelga, asonada, motín conmoción civil y popular), AMIT y Terrorismo.

## 9. ASEGURABILIDAD COMPARADA CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Para determinar la asegurabilidad del sistema trolebús respecto a otras tecnologías actuales de transporte como Diesel, Gas Natural Vehicular (GNV) e híbridos, es necesario realizar un análisis de cada uno de los riesgos presentes en cada sistema.

Respecto al riesgo de incendio, el sistema trolebús tiene gran ventaja por el hecho de no incorporar líquidos o gases inflamables considerablemente en su operación como es el caso de las otras

tecnologías de análisis. Este aspecto representa una disminución considerable en el costo de un programa de seguros.

Respecto al riesgo de daños eléctricos o electrónicos, existe una mayor exposición que en los otros sistemas obviamente por su naturaleza de buses eléctricos lo que representa mayor cantidad de bienes expuestos, tanto en el mismo trolebús como la unidad de conversión CA/CC, transformadores y demás infraestructura eléctrica necesaria, lo que representa un incremento en el costo del seguro por este aspecto. Es importante aclarar que la agravación del riesgo en equipos eléctricos es mucho menor a la agravación del riesgo por la utilización de líquidos o gases inflamables, por ende aún tendría un mejor grado de asegurabilidad el sistema trolebús.

Respecto a los riesgos propios de automóviles, como colisiones o accidentes de tránsito todas las tecnologías pueden considerarse con un grado similar de exposición pues su labor sería idéntica en la vía pública, sería visto como cualquier bus de servicio público con todos sus riesgos asociados. Sin embargo el sistema trolebús puede tener una leve ventaja debido en primer lugar a que su ruta está limitada por el circuito de alimentación eléctrica, hecho que reduce la exposición del sistema a un área determinada y fija, otro aspecto de ventaja puede ser la mejor capacitación de maniobra que deben tener los operadores del trolebús, hecho que disminuye la probabilidad de accidentes por fallas humanas. En este aspecto el costo del seguro puede tener nula o una leve disminución en comparación con las otras tecnologías.

Respecto a otros riesgos de la naturaleza puede existir un incremento en el costo del seguro para el sistema trolebús dada la mayor cantidad de bienes expuestos, como las torres de alimentación eléctrica, transformadores, unidades de rectificación, entre otros.

Desde el punto de vista de la Responsabilidad Civil Extracontractual (RCE) aspectos contaminadores como la emisión de partículas, polución y gases de invernadero son considerados como agravantes, este aspecto está a favor del sistema trolebús. La Fig. 7 muestra un comparativo estimativo de los principales aspectos de emisión de gases y partículas entre los sistemas de estudio.

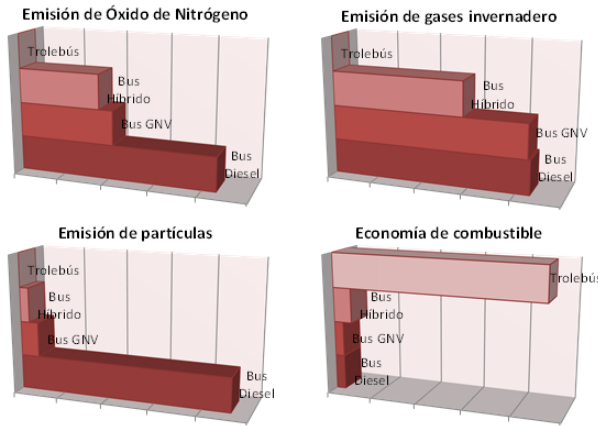


Fig. 7. Comparativo aproximado entre diferentes tecnologías. Tomada de [De azevedo \(2010\)](#)

Otro caso de análisis en la RCE es el relacionado con lesiones a personas o bienes de terceros por efecto de descargas eléctricas, contacto con las líneas, electrocuciones o cualquier accidente eléctrico, ese sería un aspecto negativo para el sistema trolebús que de ser controlado con todas las normas de seguridad exigidas puede ser un riesgo controlado. En todo caso el riesgo de lesiones por accidentes eléctricos es menor que el riesgo por accidentes de explosión o incendio de vehículos con gases o líquidos inflamables que es el caso de las otras tecnologías de análisis.

Otros aspectos que favorecen la asegurabilidad del sistema trolebús y lo destacan sobre otras tecnologías es su gran durabilidad, fácil mantenimiento, bajo costo de operación y el hecho de ser movido a electricidad sin la emisión de polución. Adicional a esto, otras ventajas serían la ausencia de ruido y alta velocidad, y como desventaja estaría el mayor costo inicial de implantación, costo que con avances tecnológicos actuales viene siendo reducido considerablemente.

Se concluye que principalmente para grandes centros urbanos, donde la polución resultante de los sistemas basados en derivados del petróleo es inadecuada e inaceptable, tornándose aún más importante los sistemas de transporte colectivo de bajo impacto contaminante ([De azevedo, 2010](#)).

### 9.1. Análisis comparativo del riesgo de explosión

Otro riesgo de gran importancia por su severidad en sistemas de transporte con tecnología Diésel, GNV, hidrógeno junto con GNV e híbridos, es el

riesgo de explosión, riesgo que en caso de materializarse puede traer grandes pérdidas parciales y hasta pérdidas totales del bus, puede generar un incendio, y puede generar grandes daños a pasajeros o a propiedades de terceros como vehículos cercanos, personas o construcciones.

En el sistema de transporte trolebús, el riesgo de explosión a partir de agentes inflamables es nulo, hecho que determina una gran ventaja desde el punto de vista de la seguridad y consecuentemente desde el punto de vista de su asegurabilidad. “Aseguradora solidaria” tiene amplia experiencia en el aseguramiento de vehículos de transporte masivo, específicamente en su cobertura Pérdida total o parcial por daños ([Aseguradora Solidaria de Colombia, 2015](#)).

La inclusión de hidrógeno dentro de la mezcla explosiva de GNV es una interesante propuesta para reducir la emisión de partículas contaminantes al ambiente sin disminuir considerablemente la potencia mecánica generada ([Middha, 2009](#)), sin embargo en relación al riesgo de explosión de los diferentes tipos de mezclas probados no hay una diferencia relevante o reducción de riesgo considerable al incluir hidrogeno en la mezcla ([Ko, 2004](#)).

Un riesgo relacionado con el riesgo de explosión es el riesgo de fugas de gases o líquidos inflamables. La utilización de hidrogeno como combustible ha demostrado el mínimo riesgo de explosión que presenta al tener una fuga de éste en espacios abiertos por su fácil esparcimiento, pero el riesgo de explosión a partir de la fuga se ve sustancialmente incrementado en espacios confinados como túneles o garajes de parqueo dada la imposibilidad del gas para esparcirse rápidamente ocasionando acumulaciones peligrosas y en ciertos casos auto-explosivas ([Hansen, 2007](#)).

Un momento crucial en el cual se incrementa el riesgo de incendio y explosión en sistemas combustibles es durante el periodo de abastecimiento por efecto de alguna chispa accidental. Tal riesgo puede ser reducido hasta niveles soportables con la implementación de procedimientos, medidas de seguridad, equipo especial, conductos especiales, entre otras medidas preventivas, pero de igual forma el riesgo siempre estará presente a diferencia de sistemas trolebús

donde es inexistente la necesidad de abastecimiento de combustible (Friedman, 2008).

## 10. CONCLUSIONES

Partiendo de una consulta detallada con las principales compañías de seguros del medio, y del análisis de riesgos realizado a lo largo de este trabajo, se concluye que el sistema trolebús objeto de estudio es completamente asegurable. Sin embargo es posible que tal asegurabilidad esté sujeta al cumplimiento de ciertas recomendaciones propias de cada compañía, que por lo general consisten en la implementación de medidas para minimizar los riesgos clasificados como de nivel extremo, para los cuales ya el sistema cuenta con la mayoría de protecciones implementadas.

Las causas principales de accidentes en sistemas trolebús son:

- Las paradas repentinas hechas por el operador del trolebús y operación negligente.
- Los peatones y ciclistas que obstaculizan la vía del trolebús.
- Líneas de transmisión eléctrica y sistema de alimentación del trolebús indebidamente mantenidas.

Son posibles dos formas de aseguramiento del sistema, en primer lugar consiste en amparar bajo una póliza todo riesgo de daños materiales todos los activos fijos, y los vehículos protegidos bajo una póliza del tipo para automóviles. Otra opción es una única póliza especial tanto para bienes fijos como para el trolebús haciendo una adaptación integral de una póliza todo riesgo de daños. Para ambos casos la inclusión de las coberturas de responsabilidad civil general y Huelga, asonada, motín conmoción civil y popular (HAMCCP), AMIT y Terrorismo.

Aspectos que favorecen la asegurabilidad del sistema trolebús y lo destacan sobre otras tecnologías es su gran durabilidad, fácil mantenimiento, bajo costo de operación y el hecho de ser movido a electricidad sin la emisión de polución. Adicional a esto, otras ventajas serían la ausencia de ruido y facilidad de control velocidad, y como desventaja estaría el mayor costo inicial de implantación, costo que con avances tecnológicos actuales viene siendo reducido considerablemente.

Un sistema de transporte trolebús es considerado, en términos generales, menos riesgoso en comparación con las otras tecnologías analizadas de acuerdo con los criterios de asegurabilidad discutidos para los intereses de una compañía de seguros común en el medio.

En el sistema de transporte trolebús, el riesgo de explosión a partir de agentes inflamables es nulo, hecho que determina una gran ventaja desde el punto de vista de la seguridad y consecuentemente desde el punto de vista de su asegurabilidad.

## REFERENCIAS

- Ayala, Francisco J. Y Olcina, Jorge. (2002). *Riesgos naturales*. Ed. Ariel.
- Bahr, Nicholas J. (1997). *System safety engineering and risk assessment: a practical approach*. Washington: Taylor & Francis.
- De azevedo e melo, Guilherme. (2010). *Retificador entrelaçado boost, no modo de condução descontínua, com técnica de correção da corrente de entrada e elevado fator de potência, para aplicação em sistema trólebus*. Tesis de Doctorado. UNESP.
- Friedman, D.M.; Farkondehpay, D. (2008). Risk assessment of indoor refueling and servicing of CNG-fueled mass transit buses. Phase 2. Final report. (1), December 1988-November 1990. En línea, en *Energy Citations Database*, [Http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?Osti\_id=6126288].
- Hansen, Olav R. Prankul Middha. (2007). CFD simulation study to investigate the risk from hydrogen vehicles in tunnels. En línea, en [Http://conference.ing.unipi.it/ichs2007/fileadmin/user\_upload/CD/PAPERS/11SEPT/1.3.80.pdf].
- Ko, Jae-sun. Hyo Kim. (2004). The fire risk assessment in Compressed Natural Gas Buses and Gas Station. *T. Of Korean Institute of Fire Sci. And Eng.*, **18** (2): 57 – 67.
- Maloney, Timothy J. (2006). *Electrónica Industrial Moderna*. 5ª Edición, Pearson Educación. ISBN 9702606691, 9789702606697.
- Marin, Augusto L y otros. (2006). *Implementación de criterios de seguridad y confort en la evaluación del estado técnico de vehículos ferroviarios*. Tesis de Maestría. Universidad EAFIT.

- Middha, Prankul, Derek Engel, Olav R. Hansen. (2009). Can the addition of hydrogen to natural gas reduce the explosion risk? En línea, en [<http://conference.ing.unipi.it/ichs/images/stories/papers/114.pdf>].
- Molak, Vlasta. (1997). *Fundamentals of risk analysis and risk management*. Lewis Publishers.
- Montané S, Paulino. (1999) *Protecciones En Las Instalaciones Eléctricas*. Marcombo Boixareu Editores, ISBN 9681862228.
- Ingo Hahn (2005) IEEE IAS/PELS/IES German Chapter Meeting at Wuppertal University. IEEE Power Electronics Society NEWSLETTER. En línea, en [[http://www.ewh.ieee.org/r8/germany/ias-pels/press\\_info/pels\\_news\\_2005\\_no3.pdf](http://www.ewh.ieee.org/r8/germany/ias-pels/press_info/pels_news_2005_no3.pdf)].
- RTVSC Rail Transit Standards Committee-Sub-Committee No.1 Standards for Overhead Contact Systems. IEEE Rail Transit Standards Committee. En línea, en <http://grouper.ieee.org/groups/railtransit/ocs/> <http://grouper.ieee.org/groups/railtransit/>
- Aseguradora Solidaria de Colombia (2015). En línea, en <https://www.aseguradorasolidaria.com.co/segu-ro-automoviles-buses-busetas-microbuses>

## SOBRE LOS AUTORES

### **Andrés E. Díez**

Ingeniero Electricista, MSc. y PhD. Profesor Titular de tiempo completo e Investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.

### **Alejandro Hincapié**

MSc en Electrónica de Potencia de la *Universidade Estadual do Estado de São Paulo*, Brasil (UNESP, 2012-2014), Ingeniero Electrónico e ingeniero electricista egresado de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.

### **Armando Bohórquez Cortázar**

Ingeniero Electricista, MSc. Profesor Titular de tiempo completo e Investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia