

Suministro de la Energía Eléctrica de la Línea 2 del Metro de Panamá: Ingeniería Conceptual comentada

Supply of the Electric Power of Line 2 of the Panama Metro: Conceptual Engineering commented

Anthony Monrroy¹, Dariel Domínguez², Emmanuel González³, Gabriela García⁴, José Burgos⁵, Aránzazu Berbey-Alvarez^{1,6}

¹Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá

²Panama Railway Engineering Research Group, VIPE, Universidad Tecnológica de Panamá

¹anthony.monrroy@utp.ac.pa, ²dariel.dominguez@utp.ac.pa, ³emmanuel.gonzalez@utp.ac.pa, ⁴gabriela.garcia@utp.ac.pa, ⁵jose.burgos@utp.ac.pa, ⁶aranzazu.berbey@utp.ac.pa

Resumen– El siguiente artículo tiene como propósito presentar las principales características del Sistema eléctrico que poseerá la línea 2 del metro de Panamá, la cual se encuentra actualmente bajo construcción. Se desarrollan puntos importantes como son las subestaciones, los sistemas de catenarias, los cables, sistemas de protección, sistemas de alimentación eléctrica y demás aspectos eléctricos de este sistema de transporte ferroviario. Este artículo tiene como finalidad ser un recurso didáctico para estudiantes de carreras de ingeniería y afines en los cursos de ingeniería y transporte ferroviario.

Palabras claves– Metro de Panamá, línea 2, energía eléctrica, subestaciones, Sistema de catenaria.

Abstract– The purpose of the following article is to present the main characteristics of the electrical system that will have line 2 of the Panama subway, which is currently under construction. Important points are developed such as substations, catenary systems, cables, protection systems, power supply systems and other electrical aspects of this rail transport system. The purpose of this article is to be a didactic resource for students of engineering and related careers in the courses of engineering and rail transport.

Keywords– Subway of Panama, line 2, electric power, substations, catenary system.

1. Introducción

Es posible encontrar en la literatura información sobre el Sistema de Transporte de la Ciudad de Panamá. Entre ellos están: ESTAMPA [1], ESTAMPA [2], ESTAMPA [3], Bermúdez[4], Dames & Moore [5], INECO [6], Renardet[7],BCEOM [8], ESTUI [9], Bocarejo [10], Banco Mundial [11], Solis et al.,[12], Nikoei [13], SMP[14-17] Berbey et al.,[18-31], BID[32]

El inicio de los estudios en Julio de 2009, para dotar a la Ciudad de Panamá de un sistema de transporte tipo Metro, sobre cuya base se diseñó la Línea 1, la Secretaría del Metro de Panamá conceptualizó el sistema Metro como el componente estructurante de la red integrada de transporte público del Área Metropolitana de Panamá y en tal sentido analizó y propuso la red maestra de transporte masivo del área metropolitana de la ciudad, considerando como horizonte de planificación el año 2035 [33]. De acuerdo

con La Estrella de Panamá, [34] el periódico más antiguo del país, la línea 2 tiene un porcentaje de avance del 55% aproximadamente [35], para las fechas de octubre del año 2017. A febrero del año 2018, este porcentaje corresponde a un 65% [36].

La muy restringida capacidad de crecimiento que tiene el sistema vial existente, debido a la configuración estrecha y alargada del Área Metropolitana determinó que se planteara servir los corredores troncales de transporte público con tecnologías de transporte masivo con derecho de vía propio. Es decir, un sistema de transporte ferroviario con características de plataformas reservada o exclusiva.

En este contexto el sector Este de la Ciudad de Panamá, que albergaba en el año 2010 cerca de 500 mil habitantes presenta en la actualidad condiciones de movilidad muy precarias, sobre todo en los períodos

pico, con largos recorridos sobre una red vial con capacidad y conectividad deficitarias.

El tiempo de viaje en transporte público promedio desde estos sectores al centro de la ciudad en el período pico está cercano a los 90 minutos [33], pudiendo alcanzar más de dos horas.

Según los estudios realizados por el Metro de Panamá, al año 2035 la población de este sector superará los 750 mil habitantes, con viajes diarios en transporte público entre la periferia y el centro en más de 400 mil desplazamientos, las cuales se realizarían en condiciones de movilidad insatisfactorias, aun considerando mejoras viales [33].

Por lo tanto, el planteamiento de servir el sector Este de la ciudad con una línea de Metro desde San Miguelito hasta Felipillo, surge como la mejor opción para disminuir en forma significativa los tiempos de viaje de los desplazamientos de mayor magnitud y recorrido, garantizando así una mejor calidad de vida para la población residente en el área [33].

Subestaciones

El sistema de alimentación eléctrica de la Línea 2 provendrá de las empresas de servicio eléctrico de la ciudad de Panamá en nivel de media tensión y se obtendrán los voltajes de uso de 480v, 208v y 120v en las sub-estaciones de transformación propia del sistema. Los trenes serán alimentados a través de un sistema de catenaria rígida en 1500 voltios en corriente continua [37]. De acuerdo a González et al [38], los costos de mantenimiento posteriores de la catenaria rígida a diferencia de la catenaria flexible son menores, mientras que al inicio es mucho más cara la catenaria rígida en comparación con la flexible [39-41]. De acuerdo a Calvo et al., [39-41] la corriente continua en media y alta tensión (de 600 a 6000 voltios) se toma de la red de distribución y se somete a dos modificaciones en las subestaciones: reducción de tensión en las transformadores y transformación a corriente continua en los rectificadores. El uso de voltajes más elevados permite reducir las caídas de tensión a lo largo del sistema de la catenaria.

a. Descripción del sistema

De acuerdo a Villaronte [42] la electrificación es el sistema de alimentación de tracción por el cual la energía eléctrica proveniente de la una línea exterior de alta tensión pasa por la subestación; circula por el

elemento conductor instalado a lo largo de la línea (LAC o tercer riel), penetra en la locomotora a través del captador de corriente (pantógrafo o tercer riel), alimenta los motores y retorna cerrando el circuito por los rieles y feeders negativos, si los hubiera, y solo accidentalmente por tierra. De acuerdo a Calvo et al.,[39-41] el pantógrafo es el sistema de captación más utilizado. Consiste en un sistema tubular articulado que permite tanto la elevación como la posición horizontal del frotador, mediante un sistema de muelles, neumático o eléctrico. En un inicio estos eran romboidales, pasando a ser más ligeros y son semiromboidales. Cada coche motor suele llevar dos.

El Sistema de Suministro de Energía de la Línea 2 de Metro de Panamá tendrá la función de recibir, transformar, rectificar y distribuir la energía eléctrica proveniente de la(s) Compañía(s) Eléctrica Local (CEL) de suministro de electricidad. Para este fin se considera la instalación de dos o más acometidas o puntos de conexión independientes a partir de las subestaciones y líneas de distribución de la CEL a las Subestaciones de Transformación Principal (LAP) de la SMP. El esquema de acometida preferencial, mostrado en la figura 1, para la Línea 2 de Metro de Panamá, será en 34.5 kV y alimentando al sistema de catenaria a 1.500 VDC y 480/277 VAC para las SEP (subestación eléctrica de pasajeros). También se debe realizar un esquema de acometida en 13.8 kV, alimentando al sistema de catenaria a 1.500 V VDC y 480/277 para las SEP.[37]

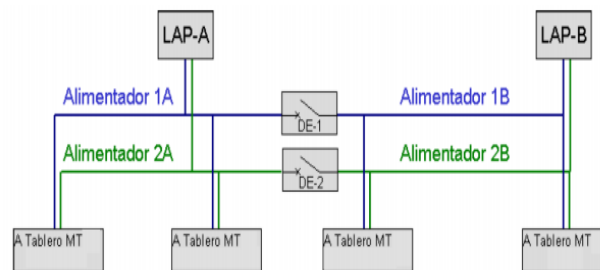


Figura 1. Esquema de alimentación a las subestaciones. Secretaría del Metro de Panamá. Ingeniería conceptual Línea 2 Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales. Tomo II. Equipamientos [37].

Este Sistema cuenta con las siguientes instalaciones:

- De acuerdo a la SMP [37], Carmona *et al.*, [43] la subestaciones de Tracción (SET) es la instalación

destinada a la transformación de la energía, a un nivel que una vez rectificado a corriente continua, dé la tensión nominal de 1500VDC requerida para la alimentación de los equipos del material rodante.

- Subestaciones de Estaciones de Pasajeros (SEP): Unidades que transformarán la energía eléctrica, a un nivel de utilización de 480/277 y 208/ 120 y 240/120 VAC para los equipos y servicios auxiliares de las Estaciones, Patios, Talleres [37].

b. Locales de acometida de potencia (LAP)

La distribución del suministro eléctrico para todas las instalaciones y/o subestaciones eléctricas del Sistema, se realizará a través de una red interna de distribución con arquitectura de Anillo Abierto, en Media Tensión (MT).

Los Locales de Acometida de Potencia recibirán la energía de circuitos trifásicos independientes provenientes de la red de distribución. El sistema debe contar con un interruptor de enlace, lo que permitirá en caso de la falla de cualquiera de los circuitos, alimentar todas las cargas sin perturbaciones al servicio del Sistema Metro.

Se realizará el despacho de energía a partir de Tableros de Distribución equipados con Interruptores Compactos (SWG).

Los Tableros de Interruptores (SWG) alimentarán una “Barra Seccionada” a través de un Interruptor de Enlace o de “Acoplamiento”.

A partir de dicho Tablero SWG se hará la distribución de energía, en un arreglo del tipo “Anillo Abierto” y de ahí, se realiza el reparto de energía, en forma radial, hacia cada una de las Subestaciones Eléctricas [37].

c. Subestaciones de tracción

Las subestaciones eléctricas de tracción (SE) es donde se transforma y controla la energía recibida de las fuentes de suministro. También contienen las protecciones necesarias del sistema y los feederes de acometida. Además puede haber Centros de puesta en paralelo (CPP) en corriente continua, autotransformadores intermedios (ATI) y autotransformadores finales (ATF) en corriente alterna [44].

De acuerdo a la SMP [37], cada subestación estará alimentada por dos buses, 3 fases, 3 hilos, 60 Hz. Provenientes de dos subestaciones alimentadoras con

una variación admisible de $\pm 10\%$. La alimentación normal de la rectificadora será a través de un bus o grupo de cables de energía. Un interruptor operará como preferente y el otro como emergente.

Las subestaciones de tracción realizan la transformación de la energía eléctrica CA a 1500 VDC y alimentan la catenaria mediante 2 Interruptores Ultrarrápidos [37]. De acuerdo a Carmona et al., [43], Arranz [45], ha estos interruptores o disyuntores se les denomina ultrarrápidos por su elevada capacidad de respuesta, por el orden de 50 ms, son los que mediante una barra común, distribuyen la corriente a los distintos circuitos que establecen para alimentar la catenaria.

De acuerdo a [37], el interruptor ultrarrápido de cada SET corresponde a:

- Tablero de mediana tensión.
- Transformador - Rectificador de Potencia de doble devanado secundario de 12 pulsos. (dodecafásico).
- Tablero de Corriente Continua (TCC).
- Un Cargador y Banco de Baterías.
- Gabinete de Control (GC).
- Enlaces entre Rectificadores y TCC y de los Transformadores con el TMT.
- Sistemas de mediciones, protección y bloqueo.

d. Subestaciones de pasajeros (SEP).

La alimentación eléctrica en Baja Tensión (BT) para los Sistemas de Alumbrado, Fuerza y demás equipos y servicios complementarios para la operación total de las Estaciones de Pasajeros se hará a partir las Subestaciones de Pasajeros (SEP).

Cada subestación estará alimentada por los buses o sistema de alimentación común, en 3 fases y 60 Hz que conformarán el anillo interno de la Red de Distribución de Energía Eléctrica en Media Tensión [37].

La subestación será de tipo interior y se alimentará a partir de un interruptor en SF6 (Los interruptores de media tensión, utilizan el gas de hexafluoruro de azufre (SF6) como medio de extinción del arco eléctrico y también como medio aislante).

El transformador será tipo seco, resistente a la explosión y al fuego y enfriado por la circulación del aire, por convección natural, a través de sus arrollamientos, bobinas o devanados y núcleos y deberá contar con la capacidad necesaria y suficiente para alimentar las distintas cargas de las Estaciones (Los transformadores secos son medioambientalmente

seguros, proporcionan un excelente comportamiento a los cortocircuitos y robustez mecánica, sin peligro de fugas de ningún tipo de líquidos, sin peligro de fuego o explosión y son apropiados para aplicaciones interiores o exteriores) [37]. Las subestaciones estarán constituidas por:

- Desconector Principal en SF6 (o cualquier sistema, como mínimo, de iguales prestaciones, fiabilidad y funcionalidad).
- Transformador de distribución, tipo interior.
- Sistema de protecciones, medición y bloqueos.

Sistema de catenaria

De acuerdo a la norma UNE-EN 50119 [46], se denomina sistema de línea aérea de contacto a la red de apoyo para proporcionar energía eléctrica a unidades de alimentación electromotrices. La misma norma, indica que la línea aérea de contacto es aquella en la que los conductores están colocados por encima o por el lado límite superior del gálibo de los vehículos. El término gálibo, designa las dimensiones máximas, tanto de altura como de anchura, que pueden tener todos los vehículos. También se utiliza para hacer referencia a la zona geométrica que debe estar libre de obstáculos alrededor de un sitio [47], es decir, es un contorno de referencia con unas reglas de aplicación [48]. El galibo es un área en la sección transversal de una línea ferroviaria, dentro de la cual el vehículo ferroviario debe poder transitar. Si un vehículo excede en tamaño el gálibo de una línea, no será autorizado para circular por la misma [49]. De acuerdo a Arranz [44] la Catenaria es la parte del sistema de cables de cobre, que tendidos sobre la vía tiene forma de curva catenaria, también llamado hilo sustentador. Junto con el hilo aéreo de contacto, péndolas, etc., el hilo catenario forma el sistema para la captación de corriente del material motor de los trenes mediante su pantógrafo. De acuerdo a Calvo et al., [39-41], la catenaria es la forma que adopta un hilo suspendido entre dos puntos. La flecha central disminuye con el aumento de la tensión mecánica del hilo. La catenaria consiste en una línea aérea compuesta por un cable sustentador, el que adopta la forma de catenaria y que es el que soporta mediante péndolas a un segundo cable de alimentación que suele ser de cobre y doble para mejorar la toma de corriente. La SMP [37] ha seleccionado:

- Línea Aérea de Contacto denominada “Catenaria Tranviaria” en Patio y Talleres.

- Línea Aérea de Contacto denominada en Trayecto, en función del tipo de catenaria a ejecutar: Catenaria Rígida y Catenaria simple poligonal atirantada.

La Línea 2 del Metro está diseñada para operar con estaciones en superficie y elevadas.

A. Sistema de catenaria ligera, convencional o flexible

Una de las opciones a elegir dentro del diseño de la Línea 2 del Metro de Panamá para el sistema en Patio y Talleres será la catenaria del tipo ligero. La suspensión de la catenaria se hará por medio de postes, en el caso de existir gálibo suficiente en entavía, también se realizará por medio de pórticos. El término postes corresponde a los pilares verticales que se levantan desde la altura del terreno hasta la altura adecuada para soportar la línea aérea de contacto [50]. Los pórticos corresponde son una estructura de soporte que se componen de dos postes a ambos lados de las vías y uno o más cables que cruzan transversalmente sobre estas, amarrándose a los postes [51].

La catenaria estará conformada por dos hilos de contacto, encargados de transmitir la corriente eléctrica al pantógrafo. De acuerdo a Villaronte [42] este elemento que aunque no forma parte de la línea de alimentación, es bien importante, por ser el encargado de captar la energía eléctrica de la catenaria y transmitirla a la máquina del tren. Ubicado en el techo material rodante motor y asilado de esta mediante aisladores de porcelana, consiste en una mesilla con una o varias placas conductoras que cuenta con regulación y amortiguación vertical, mediante muelles o a través de un sistema neumático, que le permite mantener el contacto con la línea área de contacto(LAC) durante el desplazamiento del convoy.

La catenaria deberá ser diseñada para conducir la energía eléctrica desde los alimentadores de las “SET” hacia los trenes, así como para permitir el deslizamiento regular del pantógrafo, sin choques, ni desacoplamientos.

Este sistema deberá poseer un área de material conductor en cobre que pueda asegurar una eficiente distribución de la corriente rectificada a lo largo de la línea, permitiendo la menor cantidad de pérdidas eléctricas y caídas de voltaje, a fin de permitir un buen funcionamiento de los trenes.

Alimentación eléctrica. El suministro de la energía eléctrica a los trenes tendrá las características siguientes[37]:

- **Tensión nominal:** 1,500 VCC +20 % / -30 %.
- **Conexiones:** Las conexiones entre conductores tendrán como principal objetivo conservar la continuidad eléctrica, por tal motivo se deberá elegir un material que ofrezca un mínimo de resistencia al paso de la corriente así como la no formación de pares electros galvánicos en el punto de unión. Esta conexión deberá ser flexible y será aplicable a las conexiones siguientes:
 - Conexión entre alimentador e hilo de contacto.
 - Conexión entre riel y negativo de la SET.
 - Conexión de los sistemas de protección y control.

Aislamiento eléctrico: Los aislamientos se deberán seleccionar para proporcionar un alto índice de seguridad tanto para el usuario como para el personal de mantenimiento y operación, así como para las instalaciones mismas. Se deberá considerar siempre el concepto de doble aislamiento en todos los componentes de la catenaria al respecto a los puntos con potencial eléctrico 1,500 VCC [37].

B. Sistema de catenaria rígida

Uno de los sistemas que se ha escogido para el tramo en trayecto es la catenaria rígida. Es un sistema de alimentación eléctrica de alta fiabilidad. De acuerdo a Calvo et al., [39-41] la catenaria rígida está constituida por un perfil de aluminio extrusionado, Tiene una ranura en su base inferior donde se aloja pinzado, elásticamente, sin necesidad de tornillos, el hilo de contacto de cobre.

Los carriles (perfiles PAC) que constituyen la catenaria rígida, están fabricados en barras que en el momento de montaje se unen mediante el diagrama cubrejuntas.

La rigidez del carril permite instalar una catenaria rígida con radios de hasta 120 m., sin precauciones especiales. Si el perfil se ha curvado previamente de forma mecánica, se pueden incluso equipar vías con radios de 45 m.

Es utilizada para la electrificación, sobre todo, en túneles, en estaciones, en el paso bajo puentes, en instalaciones sobre puentes rodantes, levadizos,

basculantes y en algunos casos incluso en zonas a "cielo abierto".

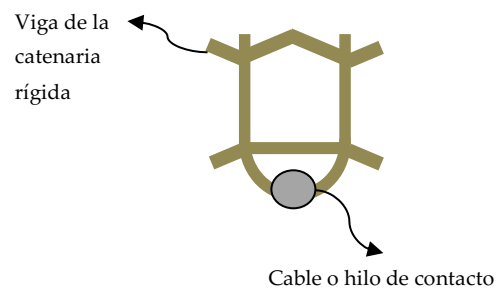


Figura 2. Esquema de catenaria rígida Fuente: Berbey_Alvarez *et al.*, Proyecto de caracterización del sistema ferroviario del Metro de Panamá. UTP-FIE. 2013.

Para una mejor explotación de la Línea, esta se debe seccionar en diversos puntos diseñados para este fin, se deberán instalar equipos de seccionamiento, para aislamiento de 1500Vcd. Los seccionamientos consisten en aislar eléctricamente una instalación o circuito eléctrico de la red de alimentación eléctrica, dejando dicha instalación o circuito sin carga o en vacío [52].

Para la catenaria en los cambiavías, se deberá también verificar el diseño de los mismos, y deberán ser elementos separables mecánicamente de la catenaria de vía principal. Los cambiavías son elementos indispensables en la operación de un sistema ferroviario, permitiendo la reunión, la separación y la intersección de los itinerarios [53].

Se instalarán aisladores de sección en los cambiavías con el fin de evitar la inducción de tensiones entre las diferentes vías.

Debido al fenómeno de dilatación sobre el perfil, las secciones de la catenaria rígida tienen un límite de longitud de acuerdo a la variación de temperatura del túnel.

Seccionadores de alimentación de catenaria. La función de estos equipos es conectar eléctricamente la catenaria desde la SET, estando instalados tres seccionadores, dos de ellos destinados a la alimentación de la catenaria a ambos lados de la vía y uno para by-pass cuando la subestación de tracción se encuentre fuera de servicio.

Cables de retorno de tracción. Estos tendrán la función de asegurar el retorno de la corriente a la fuente

de alimentación y partirán del seccionador negativo del rectificador de la SET [37]. Características:

Soportes. Son herrajes que se anclan al techo o a las paredes del túnel y de los cuales se suspende toda la catenaria rígida.

Cada uno de estos herrajes se sujetará a la bóveda o techo del túnel por medio de fijaciones roscadas, en los cuales se montará el perfil laminado sobre el que irá suspendido el aislador [37].

Macizos. El izado de los postes se realiza a través de cimentaciones de hormigón. Para los contrapesos o tirantes de anclaje se realizará un macizo denominado "de anclaje". Los macizos de catenaria no se pueden atravesar en ningún punto de su sección por ningún tipo de canalización, tubo, cable, etc.

Postes. Los postes para soportar la catenaria, mostrados en la figura 2, se izarán, a poder ser, en entrevías. La distancia entrevía es la distancia que existe entre dos vías de tren, medida entre sus caras activas más próximas. En una estación ferroviaria sirve para determinar su ancho y, por lo tanto, el dimensionamiento transversal de una estación [53]. El diseño del poste incluye las anclas y la placa base para su fijación así como una especificación de protección contra la corrosión que garantice una vida útil mínima de 30 años por medio de un galvanizado en caliente.



Figura 3. Postes de soportar catenarias. Ingeniería conceptual Línea 2. Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales. Tomo II. Equipamientos [37].

Ménsulas aislantes. El perfil PAC de catenaria rígida se suspenderá sobre ménsulas aislantes tubulares logrando de esta forma un doble aislamiento gracias al aislador y a la propia ménsula [37]. De acuerdo a Ferropedia [54], la ménsula es un brazo o conjunto de elementos en los que se apoya o suspende la catenaria. La ménsula suele estar sujeta a los postes, pero en situaciones especiales es posible que se apoye sobre paredes, hastiales o columnas. En sistemas clásicos de corriente continua la catenaria se encuentra separada de las ménsulas por medio de aisladores, mientras que en los nuevos modelos de catenaria y en las de corriente alterna las ménsulas se encuentran en tensión y el apoyo en los postes se hace sobre aisladores.

Aislador + bridas de suspensión. La catenaria rígida se suspende de los Soportes mediante conjuntos de aislador + brida de suspensión [37]. En Metros se utiliza el aislador + brida de suspensión, que consta de un aislador de resina de poliéster, reforzado con fibra de vidrio y de una brida de suspensión de aleación cobre aluminio.

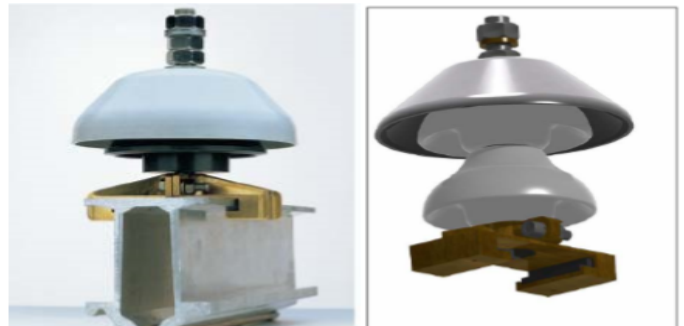


Figura 4. Conjunto aislador + brida de suspensión. Secretaría del Metro de Panamá. Ingeniería conceptual Línea 2. Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales. Tomo II. Equipamientos [37].

Barra de PAC. Es un perfil extrusionado en aluminio aleado de forma casi rectangular. Su parte inferior está abierta y tiene forma de pico, lo que le permite mantener, por simple pinzamiento, el hilo de contacto. La parte superior de la barra de PAC dispone de unas aletas que permiten su fijación a las bridas de Suspensión. La barra de PAC está taladrada en cada extremo con 8 agujeros de diámetro 12 que permiten el paso de los tornillos de las bridas de Unión, en una especie de sistema de embridado eléctrico.

Bridas de unión. La continuidad eléctrica y mecánica de la barra de PAC se realiza mediante el montaje de dos bridas de Unión. El conjunto de bridas de Unión está constituido por dos perfiles de aluminio extruido que se fijan por la parte interior de las barras de PAC a unir.

Rampa. Cuando, en una instalación, un tramo de catenaria rígida debe presentar una interrupción; Junta de Dilatación o Seccionamiento a lámina de aire o desvío, etc., para que la transición del pantógrafo de una barra a otra se realice de una forma suave y progresiva, se realiza a través de unas Rampas.

Brida de conexión. Es un conjunto formado por dos bloques de aluminio que se fijan a uno y otro lado de la parte superior de la barra de PAC mediante 2 espárragos roscados.

Brida de puesta a tierra. Durante las operaciones de mantenimiento, la catenaria rígida debe ser puesta fuera de tensión y puesta a tierra en las zonas donde se efectúen los trabajos.

Brida de anclaje. Es un conjunto que se fija, mediante espárragos roscados, a la parte superior de la barra de PAC. Se coloca una brida a cada lado de una brida de suspensión, bloqueando el movimiento en este punto. Este sistema de punto fijo se utiliza sólo en tramos cortos.

Punto fijo fuerte. Es un conjunto formado por una brida robusta que se fija a la parte superior de la barra de PAC mediante espárragos roscados. A esta brida están fijados unos cables de Kevlar. Unos tensores permiten regular la tensión de dichos cables.

Pórticos funiculares. En las estaciones, la catenaria se sustentará por medio de pórticos funiculares para disminuir el impacto ambiental y la estética de la estación.

Aislador de sección. Cuando las necesidades de explotación exigen la existencia de una zona neutral, en un tramo de catenaria rígida, se monta un aislador de Sección. Se trata de un que se inserta entre 2 barras de

PAC. Existen unas pletinas de cobre que permiten efectuar conexiones de puenteo.

Protección de la catenaria rígida: En zonas de gran proximidad a la obra civil, donde el aislamiento de aire es insuficiente ($e < 150$ mm), en zonas de humedad y/o túnel el perfil se protege con una cubierta plástica dieléctrica.

Hilo de contacto. El hilo de contacto que se inserta en la barra de PAC puede variar de secciones entre 120 o 150 m².

Cables de retorno de tracción. Es el pantógrafo el que se encarga de transmitir la corriente eléctrica a los motores y circuitos auxiliares, la propia estructura metálica hace de negativo porque está unida al negativo del (los) rectificador(es) en la subestación a través de los carriles. Así, la corriente de los motores pasará a través de la propia estructura metálica de la máquina a las ruedas que en perfecto contacto con los carriles devolverán la corriente hacia la subestación.

Sistema de puesta a tierra. Se realizará un tendido con cable de cobre o aluminio de sección adecuada, que tendrá la función de conectar todas las estructuras y soportes de catenaria para su protección. [37]. En este sentido, para Schneider electric [55-56] la puesta a tierra o conexión a tierra es la conexión de las superficies conductoras expuestas (gabinetes metálicos) a algún punto no energizado; comúnmente es la tierra sobre la que se posa la construcción, de allí el nombre. Al sistema de uno o varios electrodos que proveen la conexión a tierra se le llama «toma de tierra». Dependiendo del sistema, el fallo puede provocar que se desconecte el suministro por un interruptor termomagnético, un interruptor diferencial o un dispositivo monitor del aislamiento.

C. Catenaria poligonal atirantada

El otro sistema escogido para el tramo en Trayecto o de Línea es la Catenaria Simple Poligonal Atirantada.

La catenaria deberá ser diseñada para conducir la energía eléctrica desde los alimentadores de las Subestaciones de Tracción hacia los trenes, así como para permitir, por sus características mecánicas, el buen

deslizamiento regular del pantógrafo, sin choques ni desacoplamiento "despegues".

La suspensión de la catenaria se realizará por medio de postes, izados en el centro del viaducto en configuración "paraguas", con la separación entre ellos que permita cada zona puntual del trazado y/o la estructuración del viaducto, siendo el vano máximo en recta de 60 m. La catenaria estará formada por dos cables principales:

Sustentador. Se tenderá en la parte superior del conjunto denominado ménsula, este cable, según estudio eléctrico podrá ser de 153 o 184 mm².

Hilo de contacto. Son los encargados de realizar la interacción con el pantógrafo para una buena captación de corriente. El hilo de contacto puede ser de 120 o 150 mm² de sección.[37] Para las actividades de montaje del hilo de contacto se recomiendan las siguientes operaciones de control de calidad tales como: tipo, tendido, situación, instalación, regulación, tensado, sobretensado y empalmes. En este sentido, se comentara de acuerdo a MF [57] lo siguiente:

Tipo: comprobar la coincidencia del tipo de hilo instalado con el que fue definido en el pliego de cargos, en el contrato o en las especificaciones del proyecto establecido.

Tendido: comprobar de que el tendido del hilo de contacto se hace sin arrastrar este por el suelo, y suspendido en poleas o soportes que no dañen el mismo durante el proceso del tendido del hilo de contacto.

Situación: comprobar la ausencia de deformaciones anormales en el hilo de contacto durante la actividad del tendido o puesta.

Instalación: comprobar que la instalación y la fijación del hilo de contacto sobre los equipos de atirantado se realiza sin inconvenientes.

Regulación: comprobar que los equipos de compensación trabajan, cuando se realizan las operaciones de amarre del hilo de contacto a los equipos de compensación.

Tensado: comprobar el tensado del hilo de contacto de acuerdo a las normas del proyecto.

Sobre tensado: realizar la comprobación del sobretensado del hilo de contacto del hilo de acuerdo a las normas establecidas del proyecto.

Empalmes: comprobar las ausencias de empalmes. Sin embargo, si por motivos constructivos se autoriza el montaje de empalmes se debe comprobar que el tipo utilizado está homologado y que su instalación es la correcta [57].

Péndolas. Conjunto de cables de cobre o bronce que tienen como primera finalidad el mantener el ó los hilos de contacto a una determinada altura del Plano Medio de Rodadura (PMR)[37]. Experiencias de instalaciones de las catenarias indican que el montaje de las péndolas consiste en la instalación de las piezas que unen el cable portador de la catenaria con el hilo de contacto, que es el que transmite la energía eléctrica hacia el pantógrafo de las locomotoras. La necesidad de la instalación de estas péndolas se debe a que el hilo de contacto debe transcurrir paralelo a las vías para que la conexión con el pantógrafo sea sencilla y rápida (para permitir altas velocidades de las locomotoras) a diferencia del cable portador que es el que sustenta el peso de la catenaria y no transcurre paralelo a las vías haciéndolo en vanos de poste a poste [58].

Cables de acero. Formados por hilos en los que uno de ellos hace de eje y sobre él se arrollan los restantes. Son utilizados para soportar esfuerzos mecánicos a tracción. No como conductores. Se utilizan diámetros como 48 mm² y 72 mm²[37]. Como recomendaciones[57] se menciona lo siguientes operaciones de control de calidad de materiales, aspectos, recubrimiento exterior, certificado del fabricante o laboratorio homologado de que las características son las exigidas en el pliego de cargo, acopio y para los hilos por separado del cable de acero se realizaran los siguientes ensayos o pruebas: resistencia a la tracción, ensayo de torsión galvanizado, para el cable completo de acero se comprobara diámetro y carga de rotura mínima

Alimentación. La alimentación de las catenarias se realizará a través de los cables alimentadores de las subestaciones.

Macizos. El izado de los postes se realiza a través de cimentaciones de hormigón. Para los contrapesos o tirantes de anclaje se realizará un macizo denominado "de anclaje" [37].

Postes. La SMP [37] requiere que los postes para soportar la catenaria se izarán, a poder ser, en entrevías, proponiéndose los elementos que brinden las mejores características funcionales y que posibiliten un mínimo impacto visual. En este sentido, conviene mencionar que los postes son pilares verticales que se levantan desde la altura del terreno hasta la altura adecuada para soportar la línea aérea de contacto. Existen infinidad de tipos, siendo los más comunes los metálicos y los de hormigón armado. Los de madera están actualmente casi olvidados, salvo en alguna línea minera o turística [43][59-60].

Ménsulas. Para Carmona *et al.*, [43], Montesinos *et al.*, [59] y Kiessling *et al.*, [60] Las ménsulas son elementos estructurales, en voladizo desde el poste, que tienen como función sostener la línea aérea de contacto en su posición correcta sobre el tren. La SMP [37] la ha definido como el elemento que apoyándose en el poste, permite la colocación de la catenaria en su posición adecuada. Las ménsulas se pueden clasificar en dos grandes tipos: De celosía o Tubulares. La diferencia básica entre los dos tipos de ménsulas consiste en que la ménsula tubular se encuentra siempre en tensión eléctrica sujetándose los distintos tipos de cables directamente a la ménsula, mientras que la de celosía se encuentra conectada a tierra a través del cable guarda y por tanto los cables se sujetan a la ménsula mediante aisladores.

Pórticos funiculares. Este está formado por los cables: Cable funicular, Transversal superior, Transversal inferior [37] Para Carmona *et al.*, [43], Montesinos *et al.*, [59] y Kiessling *et al.*, [60] los pórticos flexibles (comúnmente llamados "funiculares") se componen de dos postes a ambos lados de las vías y uno o más cables que cruzan transversalmente sobre estas, amarrándose a los postes. Las catenarias cuelgan de estos cables, paralelas al trazado de las vías.



Figura 5. Equipo Tensorex. Ingeniería conceptual Línea 2. Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales. Tomo II. Equipamientos [37].

Equipos de compensación. Tanto el sustentador como el hilo de contacto tendrán compensaciones independientes una de la otra. Se muestra un ejemplo en la figura 5. En este sentido, a efectos de ampliación conviene indicar que los cables conductores que forman la catenaria (sustentador e hilo[s] de contacto) se ven sujetos a variaciones de longitud debidas a la dilatación térmica producida por los cambios de temperatura. Al variar la longitud de los cables, la geometría de la catenaria se modifica, aumentando la flecha de los cables al elevarse la temperatura. Este efecto es indeseable para la calidad de captación del pantógrafo, por lo cual se instalan elementos de regulación automática de la tensión mecánica, denominados equipos de compensación [43][59-60]

Seccionadores de alimentación de catenaria. La función de estos equipos es conectar eléctricamente la catenaria desde las Subestaciones de Tracción, estando instalados en ambas vías y otro seccionador que realizará las funciones de by-pass cuando la subestación de tracción se encuentre fuera de servicio. [37]

De acuerdo a la SMP [37], el sistema de protección utilizado en la línea aérea de contacto para corriente continua estará formado por los siguientes elementos:

- Tendido del cable guarda LA-110 de 116.2 mm² o conexión con a cable desde la base de los postes a cable de tierra longitudinal con las correspondientes puestas.
- Tendido de cable guarda LA-110 de 116.2 mm² soterrado conexionando la base de los postes con las correspondientes puestas a tierra en la zona de metro que discurre en calzada.
- Bajada a tierra general de protección como mínimo cada 900 / 1.000 metros.

- Tierras de protección en cada accionamiento de seccionadores.
- Descargadores de antenas cada 900 / 1.000 metros como mínimo. La puesta a tierra de la catenaria será independiente.

D. Terminología general para la geometría de la catenaria.

De acuerdo con Carmona et al., [43], Montesinos et al., [59] y Kiessling et al., [60] y con el ánimo de ampliar más este recurso didáctico, para los cursos de ingeniería relacionados con la ingeniería y transporte ferroviario, se presentan los siguientes términos:

Vano: Distancia entre dos apoyos consecutivos en el sentido de avance de la línea.

Altura del hilo de contacto: Distancia vertical entre el plano de rodadura del tren, definido por los carriles, y el punto más bajo del hilo de contacto.

Altura de la catenaria: Distancia entre el hilo de contacto y el sustentador (en las catenarias que disponen de este) medida en el apoyo.

Descentramiento: Distancia horizontal, medida a la altura del hilo de contacto y en el plano paralelo al de rodadura, que existe entre el eje de la vía y la posición del hilo de contacto.

Flecha de los hilos de contacto: Distancia vertical medida en el centro de un vano entre la cota del hilo de contacto en ese punto y en los apoyos anterior y posterior. Si la cota es diferente en éstos, la flecha se establecerá como la semidiferencia de ambas cotas.

Cables de 2 y 5 KV

La alimentación para el sistema de catenaria que opera en un nivel de voltaje nominal de 1500 Vcd, se hará por medio de cables de energía. Estos cables serán unipolares, conductor de cobre suave electrolítico, con aislamiento de etileno propileno (EPR) y con cubierta protectora de hypalon.

Las partes que compondrán los cables de energía serán las siguientes: • El conductor • La pantalla sobre el conductor (solo para los cables de 5 KVcd). • El aislamiento • La cubierta protectora.

Diámetro exterior del conductor. Los diámetros exteriores de los conductores de energía serán los siguientes: Alimentador positivo 5 kVcd: 34.54 mm (1.36"); Retorno negativo 2 kVcd: 28.44 mm (1.12"). [37]

A. Cable conductor

El material del conductor será cobre electrolítico, temple suave, cableado concéntrico, clase "C", estañado, para el retorno negativo y clase "D" para el alimentador positivo. El cobre electrolítico deberá presentar las siguientes características: • Elevada conductividad eléctrica; • Alta conductividad térmica; • Resistencia a la corrosión; • Gran maleabilidad (flexibilidad); • Gran ductilidad (alargamiento);

- Alta resistencia mecánica.[37]

Calibre del conductor. El calibre de los cables de energía para la alimentación de la SET a la catenaria será: Alimentadores positivos 5 kVcd: 500 MCM, 91 hilos Retorno negativo 2 kVcd: 500 MCM, 91 hilos, mostrado en la "Fig. #4".

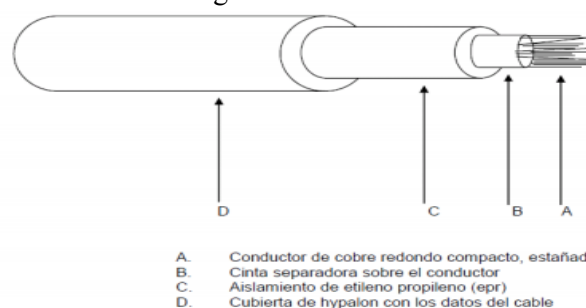


Figura 6. Cable de energía 2 kV Tomo II. Equipamientos. II.3. Sistema eléctrico [37].

Resistencia del conductor. La resistencia eléctrica de la corriente continua en los conductores de energía, deberá ser uniforme en toda su longitud; los valores de esta resistencia no deberán exceder los indicados en las normas ASTM y las demás aplicables, como por ejemplo, las especificaciones normativas ASTM B-189 [61] y ASTM B-8 [62].

B. Pantalla sobre el conductor (cables de 5 kVcd)

La pantalla semiconductor estará ubicada directamente sobre el conductor, con el propósito de evitar la acumulación de esfuerzos eléctricos que se presenten en los intersticios de un conductor formado por cables, a consecuencia de la forma en que se agrupan los hilos [37].

C. Aislamiento

El propósito del aislamiento del conductor de energía será el de confinar la corriente eléctrica en el conductor y contener el campo eléctrico dentro de su masa. Las principales características eléctricas que

deberá tener el aislamiento serán: alta rigidez eléctrica, alta constante de resistencia de aislamiento, baja constante dieléctrica y bajo factor de potencia. [37]

Material de aislamiento. El aislamiento de los cables de energía será un compuesto de hule etileno propileno (EPR).

La capacidad de conducción de corriente de los conductores de energía con aislamiento de EPR estará basada en una temperatura de operación máxima de 90° C.

La temperatura de operación de sobrecarga deberá ser 130° C, la cual podrá ser, por un tiempo total que no exceda de 100 horas en cualquier período de 12 meses consecutivos.

La temperatura de operación de cortocircuito deberá ser 250° C, la cual podrá ser, por un tiempo de 1 seg.

Color de aislamiento. El aislamiento de los cables de energía deberá ser color claro para el alimentador positivo (5 kVcd) y color oscuro para el retorno negativo (2 kVcd).

Espesor del aislamiento El espesor mínimo de aislamiento de los cables de energía será como sigue: Para el alimentador positivo 5 kVcd: El espesor del aislamiento será 3.55 mm (0.140”). Para el retorno negativo 2 kVcd: El espesor del aislamiento será 1.90 mm (0.075”) [37].

D. Cubierta protectora

La función de la cubierta protectora será la de proteger el cable de energía de la influencia de factores externos, para preservarlo de daños que pudieran ocasionarle.

Material de la cubierta protectora. Deberá ser un compuesto de polietileno cloro-sulfurado (hypalon), aplicado sobre el aislamiento del conductor.

Color de la cubierta protectora. Para los cables de energía será como sigue: Alimentador positivo 5 kVcd: Color azul claro, mate; Retorno negativo 2 kVcd: Color negro, mate.

Espesor de la cubierta protectora. Para los cables de energía deberá ser como sigue: Alimentador positivo 5 kVcd: 2.79 mm (0.110”). Retorno negativo 2 kVcd: 1.90 mm (0.075”). El espesor mínimo en cualquier punto de la cubierta no deberá ser menor del 80% del valor indicado.

Pararrayos, sistemas de tierras, protección catódica

A. El sistema de tierras de pararrayos

De acuerdo a la RAE [63], un sistema de tierras de pararrayos es un artificio compuesto de una o más varillas de hierro terminadas en punta y unidas entre sí y con la tierra húmeda, o con el agua, por medio de conductores metálicos, el cual se coloca sobre los edificios o los buques para preservarlos de los efectos de la electricidad de las nubes.

El sistema de protección contra los rayos estará formado por una instalación exterior de protección contra los rayos (IEPR) y una instalación interior de protección contra los rayos (IIRP) complementarias:

IEPR: Estará formada por uno o más pararrayos con dispositivo de cebado (PDC), uno o más conductores de bajada y una o más tomas de tierra.

IIRP: Comprende todos los dispositivos que reducen los efectos electromagnéticos de la corriente de descarga atmosférica en el interior del espacio a proteger.

El sistema de tierras de pararrayos que se instalará en las estaciones elevadas de pasajeros del sistema de transporte del Metro de Panamá y en la zona de Patio y Talleres. Comprenderá lo siguiente: A. Sistema de pararrayos para estación de pasajeros. B. Malla de tierras para sistema de pararrayos [37].

B. Sistemas de protección catódica

Los sistemas de protección catódica tiene como componente fundamental un ánodo galvánico (de sacrificio) para la protección contra la corrosión de las estructuras enterradas. En estos sistemas un metal más activo es anódico con respecto a otro más noble, corroyéndose el metal anódico [64-69]. El ánodo está hecho de una aleación metálica con mayor tendencia a la oxidación en comparación con el metal que se desea proteger de la corrosión, es decir, con un potencial de reducción más negativo.

Se produce una diferencia de potencial entre los dos metales (ánodo y cátodo) dando lugar a que el ánodo se oxide preservando la estructura a conservar, ya que el material del ánodo se consumirá con preferencia al metal de la estructura catódica, que es la que se protege de la corrosión.

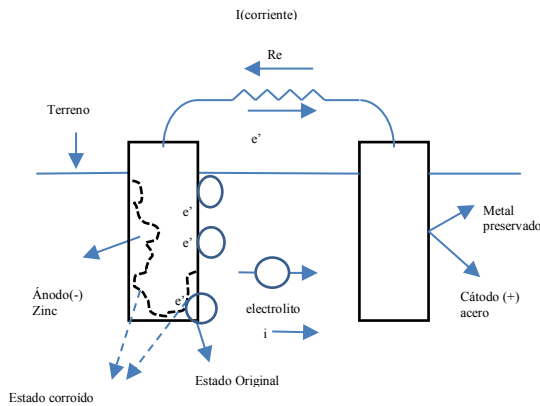


Figura 7. A. Berbey.Alvarez. Esquema de protección catódica. Elaboración propia para curso de ingeniería de tópicos de actualización tecnológica a partir de [64-69].

6. Sistema de alimentación eléctrica a estaciones y suministro en baja tensión.

El sistema de baja tensión será instalado y estará en funcionamiento en todas las estaciones, en el viaducto y en el área de patio y talleres de la línea 2 de metro de Panamá.

El sistema de baja tensión tendrá una interfaz con el centro de transformación a través del cuadro general de baja tensión. Estará parcialmente tele mandado para poder rearmar desde el CCO los interruptores que se hayan caído, así como poder controlar el encendido/apagado del sistema de iluminación, etc.

Aunque consistirá en un solo sistema, las funciones irán enfocadas a los siguientes apartados:

- Iluminación.
- Instalación de fuerza.
- Instalación de los cuadros de baja tensión y secundarios.
- Tendidos y cableados asociados.
- Sistemas de alimentación ininterrumpida.

El sistema de la red de bt consistirá en un sistema a varias tensiones para facilitar la alimentación habitual en Panamá, así como dar acceso a los sistemas de potencia que se puedan instalar. Por tanto habrá:

- Una red de uso eminentemente monofásico de 3 hilos, 220/127 v, 60 hz, (3 hilos) para la alimentación de usuarios comunes, como pueden ser los sistemas de alumbrado, fuerza, o los sistemas comúnmente alimentados en monofásico.

- Una red de uso trifásico para la alimentación de equipamiento de gran consumo, como pueden ser ascensores, escaleras, o equipamiento de taller. El sistema será una red trifásica 480/272 v a 60 hz, con conductores de 4 ó 5 hilos. [37].

A. Cuadro general de baja tensión

El cuadro general de baja tensión, estará compuesto por armario metálico modular prefabricado, con grado de protección ip-559, compuesto por paneles que forman un conjunto.

El armario contendrá todos los elementos para protección, mando y control de los circuitos de alimentación a los consumidores de baja tensión de la estación, para la intensidad de potencia a entregar por el proponente.

El cuadro de baja tensión, dispondrá a la entrada de unos interruptores generales de entrada a barras, que estarán motorizados con conmutación automática, mandos por palanca y enclavamiento mecánico. Desde aquí se alimentará a los cuadros secundarios de estación que se consideren no críticos.

Los servicios críticos de la estación, se alimentarán desde un módulo equipado con conmutación automática normal – socorro, motorizada, selectiva y con enclavamiento mecánico que permitirá alimentar los servicios del módulo desde la tensión de barras del cuadro de baja tensión o desde la acometida de socorro de compañía eléctrica.

Se dispondrá de una batería de condensadores conectada a las barras generales del cuadro de baja tensión, para corregir el factor de potencia de la instalación. Asimismo se incorporará un conjunto rectificador-batería para los suministros en corriente continua [37].

B. Equipo ups (sistema de alimentación ininterrumpida)

La fuente de energía que alimentará el alumbrado de socorro será un sistema de alimentación ininterrumpida, del tipo off-line, modular redundante, funcionamiento en paralelo con entrada y salida trifásica o monofásica, dimensionada según la potencia de críticos a abastecer, pero en ningún caso tendrá una potencia inferior a 25kva y una hora de duración. Estará situado en el cuarto de baja tensión y alimentará los diferentes circuitos del alumbrado de socorro tanto de estación como de viaducto.

C. Telemando de los centros de transformación y cuartos de baja

El sistema de control distribuido tendrá una configuración en bus que recorrerá los plcs de control instalados en el centro de transformación y cuarto de baja tensión. El sistema de telemando de los centros de

transformación, contemplará en el ámbito de control, entornos diferenciándolos por el nivel de tensión controlado y funciones a realizar.

D. Alumbrado en estaciones y edificios de línea 2 de metro de Panamá

De acuerdo a González et al., [38] el alumbrado en túneles ferroviarios metropolitanos, como es el caso de la línea 1 de metro, es decir, en metros subterráneos se concibe básicamente para facilitar las evacuaciones de pasajeros en caso de accidentes, incidencias, desalojo del material rodante y en un segundo aspecto, para facilitar las operaciones de mantenimiento. González et al., [38] menciona que su primer destino básico hace considerarlo como algo prioritario y obligatorio.

Alumbrado normal en estaciones y edificios. La alimentación a los circuitos de alumbrado normal de andén, se realizará a través de dos interruptores automáticos diferenciales tetrapolares de los que parten seis circuitos monofásicos protegidos por magnetotérmicos. Las luminarias de un mismo andén se alimentarán a través de tres circuitos, procurando que una tercera parte de las luminarias estén asociadas a circuitos de críticos. El disparo de uno de los interruptores diferenciales garantiza la permanencia de, al menos 1/3 del alumbrado.[37]

Instalación de alumbrado normal en taller. En el caso de los talleres dispondremos de dos tipos de instalaciones:

- Instalaciones de oficinas.
- Instalaciones de trabajo de taller y cocheras.
- Los tendidos eléctricos para las estaciones deben de estar protegidos para evitar que la manipulación de máquinas herramientas puedan poner en riesgo a las personas.
- Las luminarias serán de tipo estanco con un nivel ip54.
- Se tendrá una iluminación baja en las zonas de foso y vías sobre pilarillos, con una hilera de luminarias en cada vía de forma que se pueda ver la parte baja de los trenes.
- Todas las vías podrán ser encendidas de forma independiente.
- El reparto de circuitos de alumbrado será tal que en caso de caída de cualquier interruptor del cgbt se deje de alimentar, como máximo, al 33% de las luminarias.

Instalación de alumbrado de emergencia. Dispondrá de un cuadro general, con circuitos monofásicos para alumbrado que discurrirán por las canalizaciones de las

propias luminarias pero por compartimentos independientes de los de la instalación de alumbrado normal.

Alumbrado de socorro. Alimentado por un equipo autónomo ups, independiente de las anteriores instalaciones.

Este alumbrado debe permitir la circulación de personas en caso de corte total de suministro de energía, así como la identificación y localización de las vías de salida

Este alumbrado se encenderá automáticamente cuando falten ambas alimentaciones o la tensión descienda por debajo del 70 % de su valor nominal. [37]

Niveles luminosos (alumbrado normal y de emergencia). El alumbrado será de tipo led y los niveles luminosos medios a que dan lugar los alumbrados normal y de emergencia, de forma conjunta, serán los siguientes:

- Andenes: 300 lux nivel medio y 400 lux a un metro del borde del andén.
- Cambios de altura (escaleras, escaleras mecánicas): 500 lux.
- Zonas de accesos (validación y expedición de billetes): 500 lux.
- Vestíbulos: 300 lux.
- Cuartos técnicos: 350 lux.
- Taquillas y cuartos de comunicaciones: 500 lux.
- Lugares de trabajo/oficinas: 500 lux.
- Pasillos, aseos, y zonas comunes: 300 lux.

E. Alumbrado en viaducto

Instalación de alumbrado normal en viaducto. El objeto de esta instalación es obtener en el viaducto una iluminación media superior a 25 lux en cota de carriles y con una uniformidad media superior a 0,25, de forma que el nivel luminoso resultante sea el adecuado para realizar evacuaciones de viajeros y trabajos de mantenimiento.

El circuito será trifásico más neutro y tierra (3f+n+t), y su sección dependerá de la longitud de cada media interestación, pero como mínimo habrá tres circuitos monofásicos. Estos circuitos quedarán conectados a los interruptores automáticos tetrapolares de protección del cuadro de baja.

Instalación de alumbrado de emergencia. Al cual se conectará 1/8 de las luminarias del alumbrado general de viaducto. Estará alimentada de la conmutación

automática entre la alimentación normal y la alimentación de emergencia existente en el cuadro de baja tensión. Cada estación alimentará desde dos interruptores la mitad del viaducto.

Instalación de alumbrado de socorro. Consta de un conjunto de luminarias instaladas a lo largo del viaducto y alimentadas desde un equipo de alimentación ininterrumpida ups situado en el cuarto de baja tensión de la estación correspondiente [37].

Para efectos de montaje de líneas de alumbrado se recomiendan las siguientes actividades de control de calidad [57] referentes a el tipo de línea, la situación, el montaje, instalación.

Tipo de línea: realizar la comprobación de la coincidencia del tipo de línea y de los conductores a instalar de acuerdo al pliego del proyecto.

Situación: comprobar que la instalación de la línea de alumbrado se realiza en el lugar y trazados definidos por el pliego de cargos del proyecto y no entorpece las otras actividades de instalación independientemente de si la línea va sobre pósteres independientes, postes de electrificación o canaleta.

Montaje: comprobación de que el montaje de la línea de alumbrado no presenta problemas irresolubles, existe espacio adecuada para su instalación para el montaje completo de la línea de alumbrado y sus protecciones, es decir, verificar el conjunto de la línea de alumbrado completo.

Instalación: verificar que el montaje de la línea es el correcto, es decir, que los componentes y herrajes son los adecuados, y que las características de todos los materiales cumplen con las normas establecidas.

2. Conclusiones

Debido al crecimiento de la población panameña y la mala distribución de las carreteras en la ciudad se han buscado medios de transportes alternativos, como es el metro. Una parte importante a la hora de diseñar una obra de tal magnitud es la red de distribución eléctrica, ya que de esto dependerá en gran parte el funcionamiento eficaz de un metro. Se deben estudiar distintos aspectos, basándose en obras existentes, estudios al sitio de instalación y equipos existentes; para así conseguir el mejor diseño posible de la red eléctrica.

3. Referencias

[1] MOP-JICA. ESTAMPA I. Estudio de Transporte Urbano en el Área Metropolitana de Panamá (ESTAMPA I). Enero 1981-Dic.

1982. Ministerio de Obras Públicas (MOP) Japan International Cooperation.

- [2] MOP-JICA ESTAMPA II. Estudio de Factibilidad del Corredor Norte (ESTAMPA II). Mayo 1983-Enero 1985. Ministerio de Obras Públicas (MOP). Japan International Cooperation Agency(JICA).1985.
- [3] MOP-JICA ESTAMPA III. Estudio de Factibilidad del Proyecto de Desarrollo del Corredor Sur en el Área Metropolitana de Panamá(ESTAMPA III). Japan International Cooperation Agency(JICA). Julio 1986-Feb. 1988. 1988
- [4] Ricardo J. Bermúdez. Ricardo J. Bermúdez en la cultura arquitectónica y literaria de Panamá. Compilación, clasificación y prólogo de Samuel A. Gutiérrez Tomo I. ISBN 84-921778-0-2. La Prensa. Panamá. 1996.
- [5] Dames & Moore. Plan de Desarrollo urbano de las áreas metropolitanas del Pacífico y atlántico. 1995-1998. Ministerio de Vivienda. Banco Interamericano de Desarrollo (BID)-1998.
- [6] INECO. Estudio de posibilidades de la implantación de un sistema de metro ligero/tranvía en la Ciudad de Panamá. Mayo 1999.
- [7] Renardet Ingenieurs Conseils. Asistencia técnica para la administración y planificación del transporte urbano 1996-1999. Ministerio de obras Públicas. Banco Mundial. 2000.
- [8] BCEOM-Systra. Estudio de factibilidad de un sistema de transporte masivo en el área metropolitana de la ciudad de Panamá .ESTPUM. Donación del Gobierno de Francia. 2000.
- [9] Consorcio advanced logistic Group- TMB. Estudio de transporte publico integrado para la Ciudad de Panamá. ESTPUI. Donación del gobierno de España. Banco Interamericano de desarrollo. ATTT. 2002.
- [10]Consorcio Pablo Bocarejo Ingenieros consultores/ETSA. Programa de mejoramiento del marco regulatorio y concesiones del transporte urbano del área metropolitana de Panamá. 2003-2005. Banco Interamericano de desarrollo. ATTT. 2005.
- [11] Banco Mundial. La movilidad urbana en el Área metropolitana de Panamá. Elementos para una política integral. Departamento de Desarrollo Sostenible. Región de Latinoamérica y el Caribe. Marzo 2007. Banco mundial.
- [12] Solis et al., Solis, D; Rodriguez, H. Análisis computarizado del sistema de transporte urbano en la Ciudad de Panamá. Proyecto: FID05-136. VIPE. Universidad Tecnológica de Panamá. SENACYT. Panamá, Republica de Panamá.
- [13] Nippon Koei Co. Pre feasibility study on the development of mass transit system of Panama City.Final Report..Ministry of Economy, Trade and industry Nippon Koei Co., LTD. JICA. March 2008.
- [14] SMP. Secretaria del Metro de Panamá. Estudio preliminar de demanda para un sistema de transporte masivo en la Ciudad de Panamá. .Gobierno Nacional. 2009.
- [15] SMP. Secretaria del Metro de Panamá. Ingeniería Conceptual, Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales. Tomo I Obras civiles I.6. Secretaria del Metro de Panamá Arquitectura de estaciones. 1.6.1. Memoria descriptiva, N°1, 17/03/2010. Por C&M/Ram. Emisión original 2010.

- [16] SMP. Informe final de la demanda para un sistema de transporte masivo en la Ciudad de Panamá. Secretaria del Metro de Panamá. Gobierno Nacional. 2010
- [17] Secretaria del Metro de Panamá. SMP, "Estudio de demanda para la línea 1 del sistema de transporte masivo de la ciudad de Panamá", Informe Final, Secretaria del Metro (SMP), República de Panamá, 2010.
- [18] Berbey A., Caballero R., Proyecto I+D "Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario", Informe técnico financiero de la primera etapa del proyecto de I+D , Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Ciudad de Panamá, Panamá, 2010
- [19] Berbey A., Caballero R., Proyecto I+D "Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario", Informe técnico financiero de la segunda etapa del proyecto de I+D, Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Ciudad de Panamá, Panamá, 2011.
- [20] Berbey A., Caballero R., Proyecto I+D "Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario", Informe técnico financiero de la tercera etapa del proyecto de I+D , Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Ciudad de Panamá, Panamá, 2011.
- [21] De Caballero, A. Caballero R., Álvarez H., Laguardia C., Batista D., Solís D., Sanz J.D., Galán R., Brunel J., Guerra K., Flores J., "El Transporte Ferroviario: Fundamentos y algunas Características Más Sobresalientes". Revista Prisma Tecnológico, Vol.3, Nº1. ISSN 2076-8133, 2012.
- [22] Berbey, A., Proyecto I+D "Metodologías e índices de desempeño para sistemas de transporte ferroviario", I seminario en investigación y Desarrollo Científico Regional y II seminario en Innovación, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Energícamente Eficiente. Organizado por: OEA (USA)-ICTP (Italia)-InCYTDE en Guatemala 2013.
- [23] Berbey, A.; Caballero, R.; Sánchez, V.; Calvo, F. Passenger's flow for a train's coach and dwelling time using fuzzy logic. In Proceedings of 2014 International Work Conference on Bio-inspired Intelligence (IWOB), Liberia, Costa Rica, 16–18 July 2014; pp. 30–60. 2014.
- [24] Aranzazu Berbey Álvarez. Jessica Guevara Cedeño, Rony Caballero George. "Externalidades socio-ambientales de la línea 1 del metro de Panamá" XII Encuentro Iberoamericano de Mujeres Ingenieras, Arquitectas y Agrimensoras. "Perspectiva de la mujer profesional Iberoamericana, ante las tendencias de la ingeniería y arquitectura sostenible" ISBN-978-9962-698-16-6. 17 al 21 de febrero de 2014. Panamá, República de Panamá. 2014.
- [25] Aranzazu Berbey Álvarez, Rony Caballero George, Alberto Cogley Brown. "Simulación de escenarios operativos nominales de la línea 1 de metro de Panamá". XII Encuentro Iberoamericano de Mujeres Ingenieras, Arquitectas y Agrimensoras. "Perspectiva de la mujer profesional Iberoamericana, ante las tendencias de la ingeniería y arquitectura sostenible" ISBN-978-9962-698-16-6. 17 al 21 de febrero. Panamá, República de Panamá. 2014.
- [26] Alberto Cogley Brown, Aranzazu Berbey Álvarez, Rony Caballero George. "Estimación de los servicios parciales de la línea 1 del metro de Panamá". XII Encuentro Iberoamericano de Mujeres Ingenieras, Arquitectas y Agrimensoras. Perspectiva de la mujer profesional Iberoamericana, ante las tendencias de la ingeniería y arquitectura sostenible" ISBN-978-9962-698-16-6. Panamá, República de Panamá. 2014.
- [27] Aranzazu Berbey-Alvarez, Fernando Merchan, Jessica Guevara Cedeño, Alberto Cogley Brown, Rony Caballero. Caracterización de la línea 1 del Metro de Panamá. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, THE THIRTEENTH LATIN AMERICAN AND CARIBBEAN CONFERENCE FOR ENGINEERING AND TECHNOLOGY, Santo Domingo, Dominican Republic. 2015.
- [28] Aranzazu Berbey Alvarez 1,3,* , Fernando Merchan 1,3,† , Francisco Javier Calvo Poyo 2,3 and Rony Javier Caballero George 1,3,‡ A Fuzzy Logic-Based Approach for Estimation of Dwelling Times of Panama Metro Stations. Entropy 2015, 17, 2688-2705; doi:10.3390/e17052688. Entropy. ISSN 1099-4300 www.mdpi.com/journal/entropy. 2015.
- [29] Berbey-Álvarez, A. et al: ARÁNZAZU BERBEY-ÁLVAREZ , JESSICA GUEVARA-CEDEÑO, GEMA CASTILLO, HUMBERTO ÁLVAREZ, ISABEL DE LA TORRE DIEZ "Perspectivas de las externalidades socio económicas de la línea 1 del metro de Panamá en la productividad urbana", TRIM 13 (2017), pp. 37-56. ISSN: 2173-8947. 2017.
- [30] Aranzazu Berbey Alvarez, Jessica Guevara Cedeño, Humberto Alvares and Juan De Dios Sanz Bobi. Panama Metro Bus System and Metro Line 1: An externalities analysis of CO2 emissions spectre. Conference: 2017 International Conference in Engineering Applications Track: Energy and Sustainability in Small Developing Economies, At In Funchal, Madeira Island, July 10-13, 2017, Volume: In Funchal, Madeira Island, July 10-13, 2017
- [31] ARÁNZAZU BERBEY-ÁLVAREZ, JESSICA GUEVARA-CEDEÑO, GEMA CASTILLO, HUMBERTO ÁLVAREZ, ISABEL DE LA TORRE DIEZ. Ahorro en tiempos de viajes: Externalidad socio económicas de la Línea 1 del Metro de Panamá en la productividad urbana. X Reunión de Jóvenes Investigadores de Iberoamérica Centro Tordesillas de Relaciones con Iberoamérica de la Universidad de Valladolid, 31 de marzo del 2017. Tordesillas, España. 2017.
- [32] BID. Banco Interamericano de Desarrollo. PLAN INTEGRAL DE MOVILIDAD URBANA SUSTENTABLE PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE PANAMÁ (PIMUS). BID. Cal Mayor y Asociados. Metro de Panamá. Entregable 7. Informe final. Agosto 2015.
- [33] Metro de Panamá. Línea 2 del Metro de Panamá. [Consultado: 11 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://guiasbus.us.es/bibliografiaycitas/estilouneiso>

- [34] La Estrella de Panamá. El Metro festeja hito constructivo de la viga "U" número Mil. NACIONAL 19/10/2017 - 8:45 p.m. jueves 19 de octubre de 2017.
- [35] La Prensa. Manuel Vega Loo. Circulación de vagones. Línea 2 del Metro logra construcción de la viga 'U' número mil.. https://www.prensa.com/sociedad/Linea-Metro-logra-construccion-numero_0_4876012361.html. Fecha: 20 octubre 2017.
- [36] La Prensa. Transporte público. La línea 2 del Metro tiene un avance de 65%. https://impresa.prensa.com/panorama/linea-Metro-avance_0_4954004646.html. Febrero 2 2018.
- [37] Secretaría del Metro de Panamá. Ingeniería conceptual Línea 2. Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales. Tomo II. Equipamientos. II.3. Sistema eléctrico. sept 2014.
- [38] González et al., Francisco Javier González Fernández. Ingeniería Ferroviaria. Unidad didáctica UNED. ISBN 978-84-362-5293-4. 2008
- [39] Calvo et al., F.J. Calvo, R. Jurado, J. Lorente, J. De Oña. Ferrocarriles. Área de ingenierías infraestructuras de los transportes. Departamento de ingeniería civil. Universidad de Granada. Primera edición. ISBN 978-8415418-08-5. 2011.
- [40] F. J. Calvo, José Lorente Gutiérrez. J. de Oña López. Funcionamiento y explotación de la infraestructura ferroviaria. Grupo editorial universitario. ISBN 84-8491-609-X. 2006.
- [41] Francisco J. Calvo Poyo, Rafael Jurado Piña, José Lorente Gutiérrez, Juan de Oña López. Diseño y Característica de la vía ferroviaria. ISBN 84-8491-601-4. 2005.
- [42] Juan Antonio Villaronte Fernández- Villa. Ingeniería y tecnología ferroviaria. Procedimientos constructivos e instalaciones. Segunda Edición. ISBN 978-84-92453-85-6. Publicaciones Delta. 2011
- [43] Manuel Carmona Suarez. Jesús Montesinos Ortuño. Sistemas de alimentación a la tracción ferroviaria. FormaRail. ISBN 978-615-9536-5. 2013.
- [44] Ferropedia. Subestaciones eléctricas de tracción. http://ferropedia.es/mediawiki/index.php/Subestacion_elctrica_de_Traccion abril 17, 2015. Fecha de búsqueda: Marzo 2018
- [45] Arranz, Valentín. 501 términos español-inglés, inglés-español de Señalización Ferroviaria moderna explicados. Valentín Arranz Rodríguez. 2011. ISBN 978-84-615-1494-6. 2011.
- [46] UNE-EN 50119. Aplicaciones ferroviarias Instalaciones fijas Líneas aéreas de contacto para tracción eléctrica. 2002
- [47] Wikipedia. Definición de Galibo. <https://es.wikipedia.org/wiki/Galibo>. Fecha de búsqueda: Marzo 2018.
- [48] Andrés López Pita. Infraestructura ferroviaria. Páginas 446. Editorial Ediciones UPC. ISBN: 9788483018538. 2006.
- [49] Ferropedia. Ferropedia, la enciclopedia colaborativa del ferrocarril. Galibo. <http://www.ferropedia.es/wiki/Galibo>. Fecha de búsqueda: Marzo 2018.
- [50] Ferropedia Postes. Fecha de búsqueda: Marzo 2018.
- [51] Ferropedia Porticos. Fecha de búsqueda: Marzo 2018.
- [52] Ferropedia Seccionamientos Fecha de búsqueda: Marzo 2018.
- [53] Ferropedia. Cambiavías. Fecha de búsqueda: Marzo 2018.
- [54] Ferropedia. Ménsulas <http://ferropedia.es/mediawiki/index.php/Ménsulas>. Junio 23, 2014. Fecha de búsqueda: Marzo, 2018
- [55] Schneider Electric. Guía de diseño de instalaciones eléctricas. E17-E29.
- [56] Schneider electric. Consideraciones de puesta a tierra 4. Páginas 73-86. 890USE17103 Abril 2004 Abril 2014.
- [57] Ministerio de Fomento. Recomendaciones para el Control de calidad en la ejecución de instalaciones ferroviarias. Serie normativas. Secretaria de Estado de Infraestructuras y Transportes. Madrid. Páginas 250. ISBN 84-498-0404-3. 1999.
- [58] Grupo Mariño (GM). Proyecto de montaje de péndolas en el proyecto 31PO 0146 Catenaria Motilla Valencia Albacete, dependiente del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF). <http://www.grupomarino.net/es/infraestructuras/21-catenarias.html>. Fecha de búsqueda: marzo 2018.
- [59] Montesinos Ortuño, Jesús / Carmona Suárez, Manuel (2002), Tecnología de catenaria, ISBN 84-607-4015-3
- [60] Kiessling / Puschmann / Schmieder / Vega (2008), Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados: Planificación, Diseño, Instalación y Mantenimiento, ISBN 978-3-981274202
- [61] ASTM B-189. Standard Specification for Lead-Coated and Lead-Alloy-Coated Soft Copper Wire for Electrical Purposes
- [62] ASTM B-8. Standard Specification for Concentric-Lay-Stranded Copper Conductors, Hard, Medium-Hard, or Soft
- [63] Real Academia Española. (2001). Diccionario de la lengua española (22.a ed.). Madrid, España.
- [64] O de Rincón, M Sánchez, O Salas, G Romero, C Palacios, J Basile, J Suárez, M de Romero, R Zamora (2010), «COMPARATIVE BEHAVIOR OF SACRIFICIAL ANODES BASED ON Mg, Zn, AND Al ALLOYS IN BRACKISH WATER» Comparative Behavior of Sacrificial Anodes Based on Mg, Zn, and Al Alloys in Brackish Water, NACE, p. 15, consultado el 5 de septiembre de 2013
- [65] A.W. Peabody, Peabody's Control of Pipeline Corrosion, 2nd Ed., 2001, NACE International. ISBN 1-57590-092-0
- [66] Schreir L.L. et al., Corrosion Vol. 2, 3rd Ed., 1994, ISBN 0-7506-1077-8
- [67] Baeckmann, Schwenck & Prinz, Handbook of Cathodic Corrosion Protection, 3rd Edition 1997. ISBN 0-88415-056-9
- [68] Det Norske Veritas Recommended Practice for Cathodic Protection Design DNV RP-B401-2005
- [69] Catedu. Centro Aragonés de Tecnologías para la Educación (CATEDU). 3.3. Protección catódica. http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4912/html/33_proteccion_catdica.html. Fecha de búsqueda: febrero 218

SIGLAS

CEL → Compañía eléctrica local
LAP → Locales de acometida de potencia
SMP → Secretaria Metro Panamá
VDC → Voltage of continuous current
SEP → Subestación de estación de pasajeros
SET → Subestación de tracción
MT → Media tensión
VAC → Voltaje de corriente Alterna
SWG → Switch gear (tablero compacto e interruptor)
TCC → Tablero de corriente continúa
GC → Gabinete de control
TMT → Transformador monofásico trifásico
BT → baja tensión
SPG → Hexafluoruro de azufre
PAC → Perfil aéreo de contacto
EPR → Etileno propileno
IEPR → Instalación exterior de protección contra los rayos
NPR → instalación interior de protección contra los rayos
PDC → Pararrayos con dispositivo de cebado
CCO → Centro de control de operaciones