



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Modernización de la línea aérea
de contacto en el Tren Ligero de
la Ciudad de México**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Juan José Vázquez Tapia

ASESOR DE INFORME

M. en C. Edgar Baldemar Aguado Cruz



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021

Agradecimientos.

A mis padres, quienes me dieron la vida y me han apoyado durante toda esta, me dieron la oportunidad de obtener los cimientos que me sirvieron para continuar mis estudios y con ello la experiencia para poder presentar este trabajo.

A mi esposa Cristina que me apoyó y me sigue apoyando en todo momento, por estar siempre a mi lado y que me alienta siempre a ser positivo y por demostrarme que a pesar de las situaciones siempre puedo contar con ella.

A mi hija, quien con su respeto y cariño, me llena de felicidad todos los días y que es uno de mis motores para salir diario a trabajar y dar lo mejor de mí.

A mis profesores, que desde el nivel preescolar hasta la universidad, utilizaron parte de su tiempo para otorgarme sus conocimientos y consejos, y de quienes aprendí muchas cosas.

A mis amigos, compañeros de trabajo y directivos que en su momento creyeron en mí y me dieron la oportunidad de demostrar mis capacidades.

Agradezco infinitamente a Dios por darme la oportunidad de vivir, de seguir conservando a mis padres, de tener una familia que me llena de felicidad, que me ha permitido cruzarme en el camino de personas buenas que seguramente se alegraran de saber que he concluido este proceso de titulación.

.

Tabla de contenido

Índice

Introducción.....	6
Descripción de la empresa.....	6
Misión, visión y objetivos de la institución.....	6
Breve historia de la infraestructura del tren ligero.....	7
Descripción del puesto laboral.....	8
Antecedentes.....	10
Problemática.....	10
Participación profesional.....	11
Diagnostico técnico de las condiciones de la catenaria en el primer tramo.....	12
Diagnostico técnico de las condiciones de la catenaria en el segundo tramo.....	13
Primera intervención en catenaria.....	15
Especificación de necesidades para la catenaria del tren ligero (1er tramo).....	16
1. Objetivo.....	16
2. Normas.....	16
3. Características y especificaciones actuales de los componentes del sistema.....	17
3.1 Tramo a implementar.....	17
3.2 Descripción general de la línea actual del tren ligero.....	17
3.2.1 Características de operación del Tren Ligero.....	17
3.2.2 Características de las vías.....	17
3.2.3 Características del tren ligero (vehículo).....	18
3.2.4 Características del pantógrafo del Tren Ligero.....	19
3.2.5 Características y cantidades del sistema de distribución y de fijación del cable mensajero, hilo de contacto y cable de alimentación.....	19
3.2.6 Condiciones ambientales de la Ciudad de México.....	20
3.2.7 Características del alambre de cobre ranurado (hilo de contacto).....	20
3.2.8 Alimentación eléctrica.....	20
4. Requerimientos mínimos para el proyecto.....	21
4.1 Memorias de cálculo.....	21
4.2 Especificación de materiales y equipos a utilizar.....	21
4.3 Planos.....	21

4.4 Manuales para ensamble y montaje.....	21
4.5 Manuales para efectuar pruebas de montaje y puesta en servicio.....	22
4.6 Catálogo de conceptos.....	22
4.7 Lista de refacciones.....	22
4.8 Capacidades del proveedor.....	22
5. Descripción y características de la infraestructura a suministrar.....	23
5.1 Condiciones de servicio.....	23
5.2 Datos de la catenaria a diseñar e implementar.....	23
5.3 Características técnicas de los componentes del equipo.....	26
5.3.1 Conexiones eléctricas.....	26
5.3.2. Aislamiento eléctrico.....	26
5.4 Diseño de los elementos constitutivos de la catenaria.....	26
5.4.1 Hilo de contacto.....	26
5.4.2 Hilo mensajero o portador.....	27
5.4.3 Puentes alimentadores.....	27
5.4.4 Péndulos.....	28
5.4.5 Postes.....	28
5.4.6. Aisladores de sección.....	29
5.4.7. Tensionadores.....	29
5.4.8. Protecciones.....	29
Justificación para la adquisición del equipo de alimentación, distribución eléctrica y sus componentes para la tracción de la línea del tren ligero.....	30
Sustitución de términos en el proceso de licitación.....	30
Propuesta de innovación tecnológica.....	31
Análisis comparativo de los sistemas de compensación mecánica de la catenaria del tren ligero.....	31
1. Introducción.....	31
2. Desarrollo.....	32
a. Sistema de tensión mecánica por medio de poleas y contrapesos.....	32
b. Sistema de compensación mecánica por resortes (Tensorex).....	33
c. Diferencias entre ambos equipos de compensación mecánica.....	34
Pruebas realizadas a diferentes equipos antes de su instalación.....	36
Capacitación del personal.....	37

- Instalación de flejes para la fijación de ménsulas de catenaria.....37
- Construcción e instalación de péndolas.....38
- Instrucciones para el montaje del equipo Tensorex.....38
- Instrucciones para seguridad.....39
- Mantenimiento preventivo y correctivo.....39

Inicio de la modernización de la infraestructura catenaria.....39

1. Introducción.....39
 - 1.1 La Catenaria de Tipo Normal.....40
 - 1.2 La Catenaria de Tipo Simple.....41
2. Planteamiento inicial para el proyecto.....41
3. Descripción de la ejecución del proyecto.....42
 - 3.1 Marcaje.....42
 - 3.2 Excavaciones.....43
 - 3.3 Cimentaciones.....43
 - 3.4 Postes.....44
 - 3.5 Retiro de infraestructura existente.....44
 - 3.6 Instalación de ménsulas.....45
 - 3.7 Adaptación de los equipos de compensación.....46
 - 3.8 Tendido de conductores.....47
 - 3.9 Adecuación de alimentadores.....47
 - 3.10 Instalación y ajustes de péndolas.....48
 - 3.11 Descentramiento y galibo de la infraestructura.....48
 - 3.12 Pruebas de resistencia de aislamiento.....49
 - 3.13 Pruebas de puesta en servicio.....50

Avance de los trabajos de sustitución de infraestructura catenaria.....52

Conclusiones.....53

Beneficios obtenidos.....55

Glosario.....55

Abreviaturas.....57

Bibliografía.....57

Introducción

El siguiente informe, contiene la cronología de las actividades ejecutadas como experiencia laboral, durante el proceso de modernización del primer tramo de la infraestructura electromecánica, para la tracción del tren ligero de la ciudad de México, que comprende del intertramo de la estación Estadio Azteca-Huipulco, a la Terminal Tasqueña. En este documento se detalla el proceso mediante el cual se presentaron y definieron las necesidades prioritarias que dieron pauta a la solicitud de recursos económicos para la adquisición de equipos y materiales para la línea aérea de contacto en el tren ligero.

De la misma manera, se detallan los procesos constructivos, bases y lineamientos utilizados durante la implementación de la infraestructura, experiencias, problemáticas y satisfacciones obtenidas.

Descripción de la empresa

La empresa, es un Organismo Público Descentralizado creado mediante decreto del 31 de diciembre de 1946, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de abril de 1947, con personalidad jurídica y patrimonio propio, de conformidad con la Ley de la Institución Descentralizada de Servicio Público "LA EMPRESA", del 30 de diciembre de 1955, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de enero de 1956, siendo su objeto:

- ✓ Administración y operación de los sistemas de transportes eléctricos que fueron adquiridos por el Gobierno de la Ciudad de México.
- ✓ Operación de otros sistemas, ya sean de gasolina o diesel, siempre que se establezcan como auxiliares de los sistemas eléctricos.
- ✓ Estudio, proyección, construcción y en su caso operación de nuevas líneas de transporte eléctrico en la Ciudad de México.

Misión, visión y objetivos institucionales.

Misión:

Brindar una alternativa de transportación no contaminante, segura, confiable y oportuna, que satisfaga con eficiencia y de manera económica las necesidades de traslado del público en general.

Visión:

Ser un Organismo que proporcione una alternativa de transporte con altos estándares de calidad y eficiencia, mediante la prestación de un servicio tecnológicamente

avanzado en sus diferentes modos de transporte y la consolidación de una red de Corredores Cero Emisiones, en un marco de respeto al medio ambiente.

Objetivos:

- Implementar las estrategias que permitan expandir la red de transporte eléctrico en operación e incrementar el número de pasajeros transportados, mediante la prestación de un servicio que satisfaga las necesidades de movilidad de la ciudadanía.
- Establecer, oportuna y continuamente, acciones que permitan incrementar la eficiencia en la prestación del servicio de los modos de transporte operados por el Organismo, mediante el desarrollo de estrategias de mejora continua.

Breve historia de la infraestructura del tren ligero

El Organismo, tiene como propósito fundamental, el transporte de personas con calidad, oportunidad, confort y seguridad, a través de sus dos modalidades; trolebuses y tren ligero.

La Línea del Tren Ligero ofrece el servicio de transportación a los habitantes de la Ciudad de México en las Delegaciones Coyoacán, Tlalpan y Xochimilco.

En 1976, cuando se inició la construcción de los ejes viales, se eliminaron las líneas existentes de tranvías, quedando para 1979 únicamente la Línea de Tasqueña a Xochimilco.

En octubre de 1984, se inicia la reconstrucción de la vía de Tasqueña a Huipulco, utilizando el derecho de vía existente y el sistema antiguo de catenaria y vía concretada con los mismos rieles y aparatos de vía que datan de principios de siglo (1900), en donde se utilizarían los tranvías existentes.

Debido a que se construía una vía renovada ahogada en concreto, surge la idea de que por ésta circulen trenes con un aspecto más moderno como los trenes ligeros utilizados en otras ciudades, por lo que se inicia la reconversión de los tranvías P.C.C. en Trenes Ligeros por Moyada (Motores y adaptaciones S.A. de C.V.)

En 1985 se inicia la construcción del tramo Huipulco a Xochimilco, poco después en 1986, entra en servicio la línea Tasqueña- Huipulco con los tranvías P.C.C. convertidos a trenes ligeros (TLM), En 1988, entra en operación el tramo de Huipulco a Xochimilco, con una infraestructura totalmente nueva del tipo francés, con catenaria auto compensada, vías y aparatos de vía sobre balasto.

Es preciso mencionar, que para la reconstrucción de ambos tramos, los rieles utilizados fueron seleccionados del material usado que se tenía en el almacén y del que se había

desmantelado, esto es, con rieles de 80 Lb/Yda. y aparatos de vía fabricados entre los años de 1900 a 1914 y algunos otros no identificados que utilizaron los tranvías.

En el año de 1990, se adquieren 12 Trenes modelos TE-90 a la Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril (CONCARRIL), en donde al término de su fabricación se observó incompatibilidad en la distancia entre ruedas de ambos sistemas TLM y TE-90, por lo que en julio de 1991, se contrató a la Empresa SIEMENS, para la realización de los estudios de adaptación del Sistema rueda-riel para la circulación de ambos tipos de trenes en la infraestructura que se tenía.

Descripción del puesto laboral.

Puesto: Subgerente de Mantenimiento a Instalaciones Eléctricas.

Misión:

Asegurar el adecuado funcionamiento de la infraestructura electromecánica que conforma la línea elevada y las instalaciones eléctricas en baja tensión del Organismo, a fin de coadyuvar a la adecuada prestación del servicio de transporte de pasajeros al público usuario.

Objetivo 1.

Conservar en condiciones operables la infraestructura electromecánica que conforma la línea elevada para Trolebuses y Tren Ligero, mediante la detección y el análisis de las necesidades y la administración de los recursos humanos y materiales disponibles, de acuerdo al Programa de Trabajo Anual.

Funciones vinculadas con el objetivo 1

- Elaborar las propuestas de programa de trabajo anual para el mantenimiento a la infraestructura electromecánica que conforma la línea elevada y las instalaciones eléctricas en baja tensión, a fin de presentarlas a la Gerencia de Mantenimiento a Instalaciones para su aprobación.
- Realizar los trabajos establecidos en el Programa de Mantenimiento a Instalaciones Electromecánicas, con objeto de conservar la infraestructura que conforma la Línea Elevada necesaria para la tracción de Trolebuses y Tren Ligero.
- Presentar a la Gerencia de Mantenimiento a Instalaciones, los requerimientos de materiales y equipos para realizar los trabajos de mantenimiento a la infraestructura de Línea Elevada y Catenaria.
- Realizar, en coordinación con la Subgerencia de Control de Tráfico y Supervisión Operativa, la instalación y retiro de interconexiones eléctricas entre

subestaciones, a efecto de mantener un suministro de energía de tracción constante en la red de Trolebuses.

- Analizar en campo, la factibilidad de ejecución de propuestas presentadas por el área de transportación, referente a la ampliación, reducción y adecuación de línea elevada, para la correcta utilización de la infraestructura para la tracción de Trolebuses y Tren Ligero.
- Realizar las actividades de levantamiento, proyecto ejecutivo, trazos geométricos en sitio y cuantificación de los materiales necesarios para las modificaciones, retiro e implementaciones de línea elevada utilizada para la tracción de Trolebuses y Tren Ligero.
- Realizar la modificación o instalación de infraestructura electromecánica de línea elevada que se considere necesaria para la adecuada operación del material rodante del Organismo.

Objetivo 2

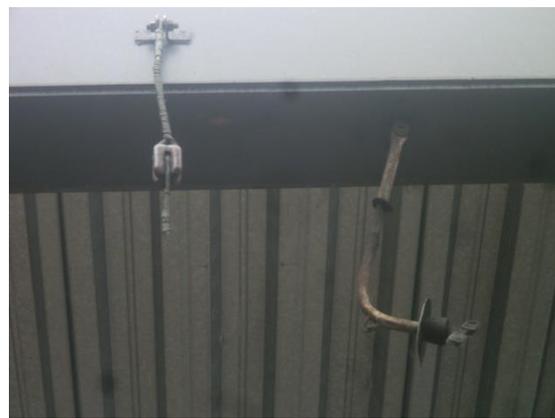
Conservar en condiciones operables las instalaciones eléctricas de baja tensión, alumbrado y contactos, en los diferentes inmuebles del Organismo, mediante la detección y el análisis de las necesidades y la administración de los recursos humanos y materiales disponibles, de acuerdo al Programa de Trabajo Anual.

Funciones vinculadas con el objetivo 2

- Elaborar las propuestas de programa de trabajo anual para el mantenimiento a las instalaciones eléctricas en baja tensión, a fin de presentarlas a la Gerencia de Mantenimiento a Instalaciones para su aprobación.
- Presentar a la Gerencia de Mantenimiento a Instalaciones, los requerimientos de materiales y equipos para realizar los trabajos de mantenimiento a las instalaciones eléctricas de baja tensión.
- Dar cumplimiento a los programas de mantenimiento diario y mensual para la conservación de las instalaciones eléctricas de alumbrado y contactos en oficinas, patios, talleres, subestaciones, terminales, estaciones, cambios de vía e interestaciones del Tren Ligero.
- Realizar las actividades que expresamente le encomiende el Gerente de Mantenimiento a Instalaciones, el Director de Mantenimiento o el Director General y las demás necesarias para el desempeño de sus funciones.

Antecedentes

La línea del Tren Ligero en su primer tramo de Tasqueña a Huipulco, contaba con un sistema hechizo de línea elevada para tranvía, adaptada para Tren Ligero, de características técnicas tipo tensado fijo con una guía de cable galvanizado utilizado como cable portador o mensajero, mismo que sostenía el alambre trolley de calibre 2/0 AWG, por medio de sujetadores (péndulos), instalados cada dos metros como mínimo y tres como máximo, con un trazo en zig-zag aplicando el principio de descentramiento desde +200 mm., hasta -200 mm., variando este en función de recta o curva, este primer tramo estaba soportado por postes monotubulares cónicos de acero, con una distancia interpostal de 30 metros como máximo, originalmente la suspensión del alambre trolley era a través de un herraje de fijación con aislador, suspendido de un segmento de cable galvanizado, de manera similar a la que se suspenden los alambres trolley en el sistema de alimentación de trolebuses, sin embargo al pasar de un trole a pantógrafo con la transición de Tranvía a Tren Ligero, se presentaron constantes problemas de desprendimiento de la línea con el pantógrafo, repercutiendo en la apertura de los interruptores de alimentación por elevaciones súbitas de corriente, este problema fue solucionado en gran medida, con la implementación de brazos curvos fabricados por los mismos trabajadores en los talleres de la Empresa, estos elementos permitieron que se suavizara el muelleo de la infraestructura de contacto evitando drásticamente la separación continua del pantógrafo con el hilo de contacto.



Brazo curvo adaptado por trabajadores del Organismo para catenaria 1er. tramo.

Problemática

En el caso de la catenaria del primer tramo, la problemática se centraba en que por ser un tipo de catenaria adaptado, el deterioro al paso de los años generaba un desgaste anormal del hilo de contacto (alambre trolley 2/0 AWG), producto de los cambios de tensión mecánica, tanto en el portador como el hilo de contacto, a consecuencia principalmente de los cambios de temperatura. De la misma manera debido a que los

accesorios de suspensión ya eran obsoletos, no permitiendo el perfecto reglaje de los brazos de atirantado, provocando un descentramiento incorrecto en el hilo de contacto.

De la misma manera, debido al alto índice de reparaciones que se habían realizado a lo largo de la vida útil de esta infraestructura, existían muchas conexiones en el hilo de contacto, provocando puntos duros sobre la línea, afectando los mecanismos del pantógrafo de los trenes, impactando en las condiciones de seguridad, exponiendo a los usuarios que usan este modo de transporte.



PORTICOS FLEXIBLES ADAPTADOS CON
HERRAJES DE TROLEBUS



DEFICIENCIA EN EL TRAZO DE LA
INFRAESTRUCTURA, PROVOCANDO MAL
REGLAJE DEL HILO DE CONTACTO

Respecto a la Catenaria del segundo tramo, ésta es de manufactura francesa, y actualmente registra ya un deterioro considerable por el paso de los años, por lo que es necesario llevar a cabo un mantenimiento mayor, con sustitución de piezas y cableados, así como la calibración y/o sustitución de elementos de auto tensión.

Participación profesional

Al tomar el cargo en la Subgerencia de Mantenimiento a Instalaciones Eléctricas, en Septiembre de 2012, una de las actividades más importantes realizadas, fue el levantamiento de las condiciones físicas en las que se encontraba la Infraestructura electromecánica para la tracción del tren ligero, cuyo objetivo principal era revisar, analizar y determinar el estado físico y funcional, del Sistema de Catenaria en la Línea del Tren Ligero, de Tasqueña a Xochimilco. A inicios del año 2013, se busco el apoyo de personal profesional, especializado en mantenimiento y conservación de este tipo de infraestructura y a través de visitas de campo, recorrido en toda la línea así como revisiones documentales respecto a los antecedentes de la infraestructura y el tipo de mantenimiento que hasta ese momento se le había proporcionado, se elaboro la

información que dio pauta para el proyecto de sustitución de la infraestructura, de acuerdo a lo siguiente:

Diagnostico técnico de las condiciones de la catenaria en el primer tramo Tasqueña a Huipulco

A continuación se presenta de manera general las principales causas de los problemas que el personal técnico, observó durante los recorridos efectuados en este tramo de la Línea.

PRIORIDAD	PROBLEMÁTICA	DEBIDO A:	SOLUCIÓN PROPUESTA
1	Desgaste anormal del hilo de contacto	Falta de tensión mecánica, tanto en el portador como en el hilo de contacto.	Seccionar la catenaria en tramos de hasta 1500 m y el cambio total del portador por cable de cobre.
		Herrajes en mal estado, lo cual no permite el reglaje de la Catenaria	Cambio total de herrajes a la catenaria, así como brazos de atirantado, para poder realizar un reglaje óptimo (descentramiento y altura del hilo de contacto)
		Hilo girado en algunas partes del tramo señalado	Desengrapar el hilo y girarlo para alinear su posición, si su daño es permanente realizar la sustitución.
2	Descentramiento incorrecto del hilo de contacto.	Un mal reglaje de los brazos de atirantado, observándose en algunos tramos el deslizamiento del hilo de contacto fuera de la banda de frotación de los pantógrafos.	Realizar el reglaje de todos los brazos de atirantado, basándose a las condiciones actuales de la instalación.
3	Múltiples ondulaciones en el hilo de contacto	Debido a la falta de equipo, no se tenso adecuadamente el hilo de contacto provocando estas ondulaciones	Sustitución del hilo de contacto, instalándolo con el equipo adecuado para este trabajo
4	Múltiples grapas de unión en el hilo de contacto	Debido a las múltiples reparaciones a lo largo de la vida útil, se han colocado muchas conexiones, provocando "puntos duros" en la línea.	Reemplazar el hilo de contacto por un diámetro mayor y en tramos de hasta 1500 m.
5	Pendulaje inadecuado	Que múltiples péndulos no realizan su trabajo, que es el de soportar el hilo de contacto	Rependular la catenaria
6	Aisladores de la catenaria dañados y/o sucios	Falta de mantenimiento y sustitución de piezas.	Revisar uno a uno los aisladores, sustituyendo el material dañado.
7	Aisladores de sección en mal estado.	Múltiples marcas de arcos eléctricos, debido a la diferencia de potencial entre las zonas eléctricamente que delimitan.	Cambiar todos los aisladores de sección o reconsiderar la división de las zonas eléctricas del tramo.
8	Anclajes de conductores inadecuados	La falta de poste de anclaje a lo largo del tramo, ya que los que se observan están en un lugar inadecuado, muchos en los pasos peatonales representando un peligro potencial para los usuarios de los mismos.	Colocar los anclajes necesarios con sus aisladores adecuados donde se requieran.

9	Cambios bruscos y repentinos en la altura del hilo de contacto.	Un cambio de pendiente inadecuada, sin considerar las normas para la velocidad de este tipo de material rodante.	Adecuar el nuevo hilo de contacto y distribuir la pendiente como lo marca la norma para este tipo de instalaciones.
10	Herrajes de la catenaria oxidados y deteriorados	El paso del tiempo y la falta de mantenimiento de los mismos.	Cambiar los herrajes y/o postes deteriorados y limpiar y recubrir los restantes con un acabado adecuado para este tipo de instalaciones.

Observaciones adicionales.

- 1.- Desgaste acelerado de hilo de contacto, motivado por un brazo de atirantado improvisadamente sujetado, en la mayoría de los brazos se presenta este problema.
- 2.- Se observa que la banda de frotación del pantógrafo, fue rebasada por el hilo de contacto y casi se sale del mismo. Se detectan muchos casos, requiere un reglaje adecuado.
- 3.- Anclajes inadecuados, además cambios bruscos de pendientes al paso de los puentes viales o peatonales, lo cual provoca un desgaste acelerado de los hilos de contacto.

Diagnostico técnico de las condiciones de la catenaria en el segundo tramo Huipulco a Xochimilco.

Los problemas que en general se presentan en este segundo tramo, son derivados de la falta de limpieza, calibraciones y ajuste, los cuales podrán ser superados atendiendo a las recomendaciones sugeridas para su solución en la tabla que a continuación se detalla.

PRIORIDAD	PROBLEMÁTICA	DEBIDO A:	SOLUCIÓN PROPUESTA
1	Falta de nivelación en la altura de la Catenaria, lo cual provoca desgaste acelerado de los hilos de contacto y arcos eléctricos al paso de los pantógrafos.	Deficiente nivelación de los péndulos, algunos más cortos con respecto al otro hilo de contacto. Exceso de grapas de unión de hilo en corta distancia. (nota: en este tramo existe doble hilo de contacto en cada vía)	Realizar el pendulaje correcto, regulando su nivel, para que ambos hilos de contacto estén siempre en fricción con la barra del pantógrafo al irse deslizando al paso del material rodante. Cambiar tramos de hilos de contacto para eliminar exceso de grapas.

2	Mal reglaje de los brazos de atirantado en gran número de soportes de la red aérea.	Una mala calibración de la altura de los brazos, lo cual provoca puntos duros (zona de desgaste) en los soportes a lo largo del tramo.	Realizar el reglaje adecuado de acuerdo al carnet de montaje original, respetando y verificando las alturas de cada soporte que por diseño se requieren.
3	Se observan a lo largo del tramo en cuestión, gran número de ondulaciones o "cocas", las cuales provocan puntos de desgaste acelerado y mal contacto de los hilos con las barras de carbón de los pantógrafos, ocasionando un deslizamiento no uniforme de los mismos.	Por un mal empleo de la técnica para enderezar el hilo de contacto y golpes recibidos por la acción del paso de los pantógrafos de los trenes.	Realizar un reglaje general del hilo de contacto, con la técnica adecuada y sustituir, si es necesario los tramos donde el daño sea considerable.
4	Se observa al final de las diferentes zonas eléctricas, que los aisladores cuya función es la de delimitar estas mismas, están mal nivelados, provocando golpeteo en los pantógrafos y arqueos al paso del tren.	La mala nivelación de los aisladores de sección.	Nivelar correctamente estos aisladores, para que los pantógrafos se deslicen uniformemente con el aislamiento
5	Los aisladores de la catenaria que se encuentran bajo los puentes vehiculares y peatonales están demasiados sucios, lo cual podría provocar una fuga de corriente hacia los soportes o instalaciones aledañas al cajón del tren.	La acción del tiempo y la polución que se observa en la zona	Limpiar con una solución adecuada estos aisladores para corregir el problema.

Como parte de las acciones a seguir, después de haber obtenido los diagnósticos anteriores, se crearon nuevos formatos de mantenimiento para cada uno de los tramos de la infraestructura, vigilando la aplicación correcta, de acuerdo a la disposición de recursos humanos, materiales y de herramientas especiales; aunado a esto, se dio inicio a la solicitud de recursos para la sustitución de la infraestructura, así también se busco con diferentes empresas fabricantes de infraestructura electromecánica para la tracción de trenes eléctricos, elementos para la suspensión de la infraestructura, con adecuaciones y adaptaciones a las instalaciones actuales, con objeto de reducir costos y obtener más rápidamente los recursos necesarios.

Primera intervención en catenaria

En noviembre de 2013, por parte de una empresa fabricante de herrajes para catenaria, y después de unas cuantas visitas a la misma y trámites administrativos, se obtuvieron tres muestras de cantiléver en tensión, compresión y tangente, las cuales fueron sustituidas en un tramo de la línea, colocando éstas en turnos nocturnos, realizando adecuaciones para la infraestructura actual, como se puede observar en las siguientes tomas fotográficas.



Estos herrajes se quedaron a prueba, dando pauta a una sustitución de infraestructura más moderna adaptada a las condiciones de la infraestructura existente.

La Subgerencia de Mantenimiento a Instalaciones Eléctricas, tiene como objetivo conservar y mantener en condiciones óptimas de operación, seguridad y confort los 27.2 km. de catenaria del Tren Ligero; sin embargo, debido a los tiempos de operación de este modo de transporte, el mantenimiento preventivo solo se lleva a cabo en turno nocturno, en un intervalo de tiempo muy corto; así mismo, debido a las condiciones de la infraestructura y a la falta de material para poder realizar una modificación sustantiva a la misma, fue necesario realizar la solicitud de sustitución de los equipos de alimentación y distribución de la corriente eléctrica utilizados para la tracción del tren ligero, de forma prioritaria la adquisición de materiales y equipos, que garantizaran un recorrido del material rodante, con seguridad y eficiencia.

Debido a la gran demanda del público usuario, de este modo de transporte de pasajeros, era de gran importancia contar con un sistema de catenaria que cumpla con los requerimientos técnicos necesarios que permitan la compatibilidad con el material rodante y la infraestructura existente, para una mejor explotación del sistema.

Por lo que prepare la información que fue la base en la elaboración de la especificación de necesidades prioritarias de la catenaria del primer tramo para la licitación del proyecto “**Modernización de la infraestructura de catenaria en el primer tramo de la Línea del Tren Ligero**” cuyos recursos fueron autorizados para el ejercicio 2015.

Especificación de necesidades para la “catenaria del primer tramo del tren ligero”

1. Objetivo

Desarrollo de la ingeniería a detalle del proyecto, construcción de obra electromecánica, pruebas y puesta en servicio del equipo de alimentación, distribución eléctrica y sus componentes para la explotación del primer tramo de la línea de tren ligero, ofreciendo las mejores condiciones de servicio con un nivel óptimo de seguridad y eficiencia.

2. Normas

El diseño de las instalaciones para el sistema catenaria así como los equipos y materiales a utilizar deberán cumplir con las normas y pruebas establecidas por las organizaciones siguientes:

- **ASTM:** American Standards Testing Materials
- **NOM :** Norma Oficial Mexicana
- **AREMA:** American Railway Engineering and Maintenance of Way Association.
- **ASTM B-47:** Standard Specification for Copper Trolley Wire.

- **ASTM B-49:** Standard Specification for Copper Rod Drawing Stock for Electrical Purposes.
- **ASTM B-193:** Standard Test Method for Resistivity of Electrical Conductor Materials.
- **CCONNIE:** Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Eléctrica.
- **CEI:** Comisión Electrotécnica Internacional.
- **ANSI:** American National Standards Institute
- **NEMA:** National Electrical Manufacturers Association

3. Características y especificaciones actuales de los componentes del sistema.

3.1. Tramo a implementar

El trayecto a implementar y equipar con la nueva catenaria estará comprendido de la Terminal Tasqueña a los talleres de Huipulco.

3.2. Descripción general de la línea actual de Tren Ligero.

A continuación se mencionan las principales características de operación e infraestructura:

3.2.1. Características de operación del Tren Ligero

- Servicio continuo 20 horas diarias, los 365 días del año.
- Frecuencia de paso entre trenes de 4 minutos (promedio).
- Cantidad de estaciones 9.
- Velocidad máxima de diseño de 80 Km/h.
- Velocidad comercial de 21 Km/h.
- Voltaje de operación de 525 a 900 VCD.
- Carga por tren de 40 toneladas en vacío y 70 toneladas a su máxima capacidad.
- Longitud de vía doble en el primer tramo Tasqueña-Estadio Azteca de 12.6 Km.
- Dos vías con 100% derecho de vía.
- Nueve estaciones con una terminal en el primer tramo.
- Disposición de andenes laterales y centrales.
- Altura de andenes sobre el hongo de riel de 1020 mm.
- Ancho de andén estación terminal y estación de paso 4 m.

3.2.2. Características de las vías.

- Cantidad de vías 2
- Derecho de vía 100% exclusivo

Pendiente máxima:	
• En interestaciones→	1.7%
• En estación →	0%
• Ancho en vía en tangente	1435 mm.
• Distancia entre ejes de vía	4000 mm.
Radios mínimos de curvatura	
• En vía principal→	44.79 metros
• En vía secundaria→	88.50 metros
• Ancho de la estructura del viaducto	7000 mm.
• Estaciones terminales:	
• Final→	1
• Fijación de vías:	
• Vías principales	Fijación directa a concreto
• Depósito y Talleres→	Fijación directa a concreto
• Unión de rieles en vía principal	Emplanchuelado
• Accionamiento cambia – vías	Eléctrico
• Remate de vía	Con parachoques de fricción

3.2.3. Características del Tren Ligero (vehículo)

- Velocidad máxima de diseño de 80 Km/h.
- Velocidad comercial de 21 Km/h.
- Voltaje de operación de 525 a 900 VCD.
- Carga por tren de 42 toneladas en vacío y 62.44 toneladas a su máxima capacidad.
- Cantidad de motores dos por vehículo.
- Potencia máxima del motor 270 KW, 565 VCA, 60 Hz.
- Largo total del vehículo entre acopladores de 29560 mm (largo).
- Largo total entre frentes de 28200 mm.
- Ancho exterior entre costados de 2650 mm.
- Altura de techo al hongo de riel de 3370 mm.
- Altura de la superficie de contacto del pantógrafo al hongo del riel de 3850 a 6200 mm.
- Altura de piso del vehículo al hongo del riel 1020 mm.
- Distancia entre centro de bogíes 10300 mm.
- Distancia entre ejes de bogíes 2100 mm.
- Diámetro de ruedas 660 a 740 mm.
- Motor de tracción tipo inducción de 3 fases.
- Aceleración máxima a 3/4 de carga de 0.962 m/seg².
- Control tipo chopper con convertidor estático de tracción a transistores IGBT y transistores GTO.
- Desaceleración a plena carga de 1.0 m/s² y a frenado de emergencia de 1.2 m/s².
- Rango del Voltaje, nominal 750 Vcc. Mínimo 500 Vcc. Máximo 1000 Vcc.
- Regeneración de energía eléctrica.

3.2.4. Características del pantógrafo del Tren Ligero

- Longitud total de 1897 mm.
- Ancho de la cabeza de 400 mm.
- Longitud de banda colectora (barra de carbón) 1050 mm.
- Altura máxima desplegada 2.6 m.
- Rango de operación máximo 5.8 m.
- Rango de operación mínimo 4.0 m
- Presión de contacto de 8 a 9 bars.
- Tipo (Faiveley) LV-2600

3.2.5. Características y cantidades del sistema de distribución y de fijación del cable mensajero, hilo de contacto y cable de alimentación.

- Alambre calibre 2/0 AWG, de cobre refinado desnudo temple duro.
- Descentramiento +/- 20 cm, del hilo de contacto.
- Cable sustentador de acero galvanizado.
- 147 Ménsulas en tensión.
- 127 Ménsulas en compresión.
- 87 Ménsulas en tangente.
- 3 Ménsulas con arreglo especial a dos hilos (cambio de vía).
- 5 Cambios de agujas para cambios de vía.
- Arreglo de ménsulas brazo curvo tipo tubular con tirantes y aisladores al hilo de contacto.
- 36 Pórticos flexibles.
- Pórticos rígidos con sillas y arreglo de ménsulas brazo curvo tipo tubular doble con tirantes y aisladores al hilo de contacto.
- 25 Separadores aislantes en seccionadores y sistema tensor aislante.
- 335 Postes troncocónicos en vía 1 y vía 2:
 - 93 Postes al centro con arreglo doble de ménsula tubular (distancia entre poste y poste 30 m).
 - 242 Postes laterales con arreglo sencillo de ménsula tubular (distancia entre poste y poste 30 m).
- Postes con bajada de alimentación directa al hilo de contacto, con puesta a tierra cada 120 m.
- Altura de catenaria (distancia entre el hilo de contacto y cable sustentador) de 30 a 60 cm.
- Péndolas de acero.
- 7 a 9 péndolas por sección, a una distancia entre éstas de 3.30 a 5.90 m.
- 12 seccionadores/quebradoras, 6 por vía.
- Línea de catenaria rígida sin contrapesos compensadores.
- Longitud de vía doble en el primer tramo Tasqueña-Estadio Azteca de 12.6 Km.

3.2.6. Condiciones ambientales de la Ciudad de México

- Altura: 2,240 metros sobre el nivel del mar.
- Temperatura ambiental: -5 a 40°C.
- Precipitación pluvial: 850 mm promedio anual.
- Temporada de lluvias abundantes: 4~5 meses.
- Humedad relativa: 90% máxima.

3.2.7. Características del alambre de cobre ranurado (hilo de contacto)

- Alambre calibre 2/0 AWG, de cobre refinado electrolíticamente, desnudo temple duro, ranurado longitudinalmente cumple con los requerimientos señalados en la **tabla No. 1.**
- Tensión mecánica en la catenaria de 1000 Kg nominal.
- Altura máxima del hilo de contacto sobre el hongo de Riel:
- Vías principales, 5.50 metros.
- Pasos a desnivel, 4.0 metros.
- Estaciones, 4.5 metros.

Tabla No. 1.- Alambre de cobre tipo trolley (hilo de contacto)

Sección	Unidades	Medida
Área de la sección transversal nominal	mm ²	69.9
Peso nominal	Kg / Km	621
Esfuerzo de tensión	Kgf / mm ²	35.3 mínimo
Elongación	%	2.8 mínimo
Conductividad a 20°C	%	97.16 mínimo
Resistividad a 20°C	Ω / Km	0.25402
Densidad nominal	gr / cm ³	8.89

3.2.8. Alimentación eléctrica

El suministro de la energía eléctrica a los trenes ligeros tendrá las características siguientes:

- Voltaje nominal de alimentación: 750 VCC
- Caída de voltaje máxima permitida: 30% Vn.
- Sobrevoltaje máximo permitido: 20%Vn.
- Pérdida de energía máxima permitida mínimo de acuerdo a normas internacionales

4. Requerimientos mínimos para el proyecto.

4.1. Memorias de cálculo

Se deberán desarrollar memorias de cálculo para todos y cada uno de los componentes del sistema, que para su fabricación y/o selección requieran de cálculos ó el manejo de tablas ó gráficas.

Estas memorias deberán contener el desarrollo completo del cálculo incluyendo la información técnica involucrada y las abreviaturas utilizadas. Todos los cálculos deberán ser en el sistema métrico decimal y su redacción deberá ser en el idioma español.

4.2. Especificación de materiales y equipos a utilizar.

Se deberán generar especificaciones para todos los equipos y materiales, que para su fabricación y/o compra requieran de una descripción detallada.

En cada especificación deberá indicarse claramente tanto el alcance como las características técnicas requeridas por los equipos y/o materiales.

Los equipos y materiales especificados deberán cumplir con los requerimientos de las normas técnicas aplicables mencionadas con anterioridad.

4.3. Planos.

Se deberá elaborar plano general de cada uno de los arreglos del sistema, plano explosionado, esta información deberá contener las características generales de ubicación, construcción, cadenamiento, trayectoria, componentes, etc., elaborar planos de todos los elementos de la infraestructura, en el que se indiquen dimensiones y características, los juegos de planos deberán entregarse impresos y en archivo electrónico (AutoCAD 2013) en los tamaños siguientes: 91 por 61 cm y 43 por 28 cm (doble carta).

4.4. Manuales para ensamble y montaje

Se deberán elaborar y entregar manuales con la descripción detallada para el ensamble de las piezas y equipos de la catenaria, así como su montaje en la obra, en estas descripciones se deberán incluir los materiales y las herramientas especiales utilizadas para dichos trabajos.

Los manuales deberán contener las abreviaturas y simbología utilizadas, su redacción deberá ser en español y en formato tamaño carta y electrónico, salvo el caso de croquis o dibujos que por contenido requieran ser de un tamaño mayor.

4.5. Manuales para efectuar pruebas de montaje y puesta en servicio.

Se deberá elaborar un manual o protocolo conteniendo todas las pruebas necesarias para verificar la correcta instalación de los componentes de la catenaria, describiendo la forma en que se llevarán a cabo e incluyendo un formato para el reporte de los resultados, mismo que deberá ser validado por el Organismo.

También deberá incluirse en forma clara y concisa la operación de puesta en marcha del sistema, describiendo los pasos a seguir y el orden en que se deben realizar.

4.6. Catálogo de conceptos.

Se deberá elaborar un catálogo de conceptos, el cual contendrá todos y cada uno de los elementos componentes del sistema de alimentación, distribución eléctrica y catenaria, con su descripción detallada y la cantidad necesaria para el sistema, a fin de que se pueda desglosar la totalidad de estos para su sustitución del arreglo general de la catenaria a compresión-tensión-tangente, así como en el sistema de alimentación y distribución eléctrica.

4.7. Lista de refacciones.

Se deberá elaborar un listado de las refacciones recomendadas para el sistema de Catenaria, que deberá contener tanto las refacciones para el arranque, así como las refacciones necesarias a utilizar en los primeros dos años de funcionamiento normal del sistema.

Este listado deberá contener la descripción de la pieza, el equipo al que pertenece, el número de catálogo o modelo y la marca o el nombre del fabricante.

4.8. Capacidades del proveedor.

- El proveedor deberá presentar curriculum de su empresa donde acredite con documentación fehaciente, que cuenta con la experiencia, infraestructura, equipo y personal para el suministro e instalación y puesta a punto de infraestructura de alimentación y distribución eléctrica para trenes eléctricos, además deberá presentar la relación de sus principales clientes en sistemas alimentación y distribución eléctrica tipo Tren Ligero.
- El proveedor deberá demostrar que cuenta con personal certificado como perito experto en las actividades a realizar.
- El proveedor deberá demostrar en caso de ser distribuidor autorizado, que cuenta con la autorización del fabricante para proporcionar asistencia técnica, capacitación para el manejo y montaje de los elementos para la catenaria del Tren Ligero, así como dar respuesta a las solicitudes de

garantía de su producto, incluyendo soporte técnico para la localización de fallas.

- El proveedor proporcionara la capacitación necesaria antes, durante y posterior a la implementación de la infraestructura para proporcionar el mantenimiento preventivo y correctivo a la catenaria del Tren Ligero y a cada uno de los elementos instalados, a un grupo de hasta 30 personas, incluyendo los elementos necesarios para la impartición del mismo, tales como: manual explosionado de partes, manual de mantenimiento preventivo, manual de mantenimiento correctivo, así como el material didáctico complementario, los cuales deberán estar en idioma español.
- Todos los trabajos a realizar deberán hacerse bajo las normas de calidad y de seguridad necesarias, tanto para el personal de construcción, supervisión, operación y del propio usuario de este modo de transporte, así como para la infraestructura y el entorno existente.

5. Descripción y características de la infraestructura a suministrar.

5.1. Condiciones de servicio.

La longitud de la línea es de 12.6 kilómetros, con servicio en su totalidad tanto línea en explotación como líneas auxiliares; razón por lo cual se hace necesario considerar la implementación de alternativas de construcción, considerando etapas por tramos. El contratante deberá efectuar las alternativas de solución en tiempo y forma, además del diseño, deberá tomar en cuenta las conexiones pertinentes para homologar el traslape con la catenaria existente en el segundo tramo, con una catenaria que cumpla con los requerimientos necesarios.

La catenaria deberá contar con las características necesarias para dar servicio a la intemperie, sin que esta condición origine perturbaciones en su funcionamiento ni fatiga anormal en sus componentes. Las refacciones, dispositivos y herrajes del arreglo de la catenaria deberán cumplir con las características físicas y mecánicas establecidas en esta especificación técnica, considerando las condiciones ambientales de la Ciudad de México, cuyos principales agentes de contaminación son lluvia ácida, ozono, bióxido de carbono, plomo, partículas en suspensión, monóxido de carbono, óxidos de azufre, entre otros, lo que acelera la degradación de los elementos mecánicos debido a la corrosión, por lo que todos y cada uno de los elementos a utilizar deberán considerar protecciones anticorrosivas.

5.2. Datos de la catenaria a diseñar e implementar.

El proveedor deberá considerar como mínimo el suministro, construcción y puesta a punto de los elementos para la modernización de la catenaria a compresión-tensión-tangente, así como los del sistema de alimentación y distribución eléctrica de la Línea del Tren Ligero.

Los elementos a suministrar deberán asegurar que la catenaria sea del tipo ligera, amortiguada y auto tensionada por contrapesos, montada sobre vías principales, cambiavías, escapes y cola de maniobras, la suspensión de la catenaria se hará por medio de postes según se requiera, con separación aproximada de 30 metros, en promedio entre ellos o de acuerdo a la estructura del trazo de la vía, en bajo puentes mediante soportes elásticos.

La catenaria deberá ser diseñada para conducir la energía eléctrica desde los alimentadores de las “S.E.R.” hasta los trenes ligeros, así como para permitir, por sus características mecánicas, el deslizamiento regular del pantógrafo, sin choques, ni desacoplamientos.

Este sistema deberá poseer un área equivalente de cobre de ampacidad tal, 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 ligeros en circulación. El sistema de conducción de energía de la catenaria deberá contemplar en su integración el empleo de materiales con excelentes propiedades electromecánicas, que arrojen como resultado el uso de menores áreas de sección y por ende la implementación de un sistema de soportería más ligero; así mismo, deberá diseñarse para resistir todos los esfuerzos mecánicos a que puedan ser sometidos los conductores, sin excederse en ningún momento los coeficientes de seguridad reglamentarios.

Para facilidad de operación y mantenimiento el diseño de la catenaria deberá incluir a lo largo de su trayectoria, un determinado número de seccionamientos, tanto eléctricos como mecánicos, de acuerdo con lo siguiente:

- La Línea se deberá seccionar eléctricamente mediante aisladores de sección para conformar áreas denominadas zonas de tracción, mismas que podrán ser interconectadas o aisladas a voluntad por comandos locales por medio de seccionadores de enlace motorizados, para obtener un sistema más versátil y con mayor rango de continuidad y seguridad en el servicio de la línea.
- Los aisladores de sección (puenteables) instalados como fronteras entre zonas adyacentes, deberán cumplir con los requerimientos siguientes:
 - Garantizar que bajo condiciones normales de operación, no exista continuidad eléctrica entre zonas adyacentes.
 - Garantizar que en condiciones anormales por corto circuito en una zona de tracción, no exista conexión eléctrica entre una zona energizada y la adyacente con falla.
 - Garantizar la continuidad mecánica del conjunto del sistema de catenaria bajo cualquier circunstancia.
 - Garantizar que bajo condiciones de humedad, baja temperatura y lluvia, no exista continuidad eléctrica entre zonas adyacentes.

- Por otra parte los aisladores de sección, deberán ser construidos de tal forma que garanticen el paso libre del pantógrafo, a cualquier velocidad dentro de los límites considerados, sin que se atore en alguno de sus componentes.
 - Deberá contar con dispositivos, que eliminen la generación de arcos eléctricos provocados al paso de los pantógrafos de los trenes en circulación.
- La Catenaria incluirá en su diseño los seccionadores motorizados de enlace, necesarios para interconectar eléctricamente las distintas zonas de tracción y poder operar el sistema en condiciones de falla de alguna de las “S.E.R”.
- Los componentes de la catenaria deberán contemplar el diseño de sus elementos de tal forma que proporcionen las siguientes ventajas:
 - Reducción o anulación de desgaste anormal, tanto del hilo de contacto como de la barra de frotamiento de grafito del pantógrafo del Tren Ligero.
 - Conducción eficiente de la corriente eléctrica, para una buena captación de energía por parte del pantógrafo del Tren Ligero.
 - Flexibilidad adecuada del hilo de contacto, para absorber el movimiento vertical del pantógrafo sin desacoplamiento de la línea que provoque arcos eléctricos.
- La catenaria deberá ser dividida mecánicamente en tramos auto tensionados por contrapesos, de aproximadamente entre 1100 y 1200 metros, cada corrida estará sujeta en el punto medio de la misma para evitar el desplazamiento de la catenaria y para localizar la pérdida de tensión en una de las mitades, en el caso de que el hilo mensajero o el hilo de contacto se rompan. Los contrapesos para el tensionado serán localizados en los extremos de la corrida y deberán ser calculados para dar la tensión adecuada a cada corrida de la catenaria.
- El sistema de contrapesos deberá contar con un sistema de auto frenado para evitar que el cuerpo del contrapeso se impacte contra el piso en caso de pérdida instantánea de tensión por rotura de catenaria, además deberá ser seccionado para facilitar su montaje y mantenimiento.
- La altura promedio del hilo de contacto con respecto al plano de rodamiento de la vía (hongo del riel) será de 5.50 metros salvo en bajo-puentes donde la altura deberá ser adaptada a la infraestructura ya existente. Los enlaces entre las zonas de altura normal y las de altura reducida deberán ser realizados de tal manera que las pendientes máximas no sea superiores 6/1000 y las variaciones de pendiente entre dos soportes consecutivos no excedan 3/1000.

5.3. Características Técnicas de los componentes del equipo.

5.3.1 Conexiones eléctricas

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 evitar la formación de pares electro galvánicos en los puntos de unión. Esta conexión deberá ser flexible y será aplicable a las conexiones siguientes:

- A) Conexión entre alimentador e hilo mensajero
- B) Conexión entre hilo mensajero e hilo de contacto
- C) Conexión entre riel y negativo de "S.E.R"
- D) Conexión de los sistemas de protección y control

En el hilo de contacto, el hilo mensajero y el hilo portador no se permitirá ningún tipo de empalme, las corridas deberán ser de un solo tramo continuo.

5.3.2 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 respecto a los puntos con potencial eléctrico 750 VCC.

5.4. Diseño de los elementos constitutivos de la catenaria.

5.4.1. Hilo de contacto

El hilo de contacto deberá permitir el desplazamiento del pantógrafo del tren ligero por debajo de este, sin que existan desacoplamientos o interrupciones de contacto eléctrico y sin deformaciones que origine el empuje del pantógrafo al deslizarse, por tal razón deberá poseer un alto rango de uniformidad y elasticidad entre soportes, para cualquier temperatura o intervalo de operación, a fin de garantizar una óptima captación de la energía por parte del pantógrafo.

El hilo de contacto se deberá seleccionar con la capacidad adecuada para el transporte de la corriente del sistema. Además, deberá poseer excelente conductividad eléctrica, alta resistencia a la tracción, alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la corrosión, elasticidad y bajo coeficiente de dilatación térmica. También deberá estar diseñado para transmitir la corriente hacia el pantógrafo con una alta eficiencia, considerando una sobrecarga temporal del 50% originada en el arranque de los vehículos con un 30% de sección (mm²) por desgaste. La trayectoria deberá seguir un zig-zag con amplitud de ± 250 mm., para evitar el desgaste puntual de los carbones del pantógrafo.

5.4.2. Hilo mensajero o portador

Para proporcionar la uniformidad y elasticidad necesaria de la catenaria y en particular al hilo de contacto, se adopta la solución de suspenderlo al cable superior denominado hilo mensajero o portador, de forma tal que solo permita una flecha o comba máxima de hilo de contacto de 1/1000. De esta forma, además de garantizar la eficiente transportación de la energía rectificada hacia el pantógrafo, se minimizan al máximo los desgastes anormales, tanto del hilo de contacto como de los carbones de los pantógrafos, originados por flamaos o arcos eléctricos, que se generan al existir desacoplamiento entre el pantógrafo y el hilo de contacto, soportara esfuerzo equivalente al peso del hilo de contacto, más el peso de los péndulos, más su propio peso y la tensión mecánica aplicada a este mismo portador y además cumplirá con la función complementaria de ayudar a conducir la corriente rectificada, deberá de poseer las propiedades de buena conductividad eléctrica, alta resistencia a la tracción mecánica, bajo coeficiente de alargamiento y de dilatación térmica y gran resistencia a la corrosión atmosférica.

Para el hilo mensajero al igual que para el hilo de contacto se debe seleccionar cable con una alta conductividad, además este cable deberá poseer las características mecánicas para responder a las exigencias de soportar su propio peso y el del hilo de contacto además de las péndolas y herrajes necesarios para su instalación.

La capacidad de corriente del hilo mensajero deberá satisfacer la demanda del sistema adecuadamente con la circulación de trenes ligeros. En este cálculo se deben considerar los cambios de temperatura del cable tanto por factores ambientales como por efectos de calentamiento debidos a la circulación de corriente a través del cable.

5.4.3. Puentes alimentadores

Los puentes alimentadores cumplirán con la función de interconectarse a cada determinada distancia entre los conductores de la catenaria, a fin de mantenerlos en equilibrio eléctrico, evitando con esto, que se genere una diferencia de potencial entre ellos. La distancia a la que se instalarán las interconexiones, deberá ser la adecuada para facilitar la alimentación de energía, permitiendo el paso de corriente en un tiempo adecuado, de forma tal, que no se originen daños al hilo de contacto por efectos de sobrecalentamiento.

Las conexiones eléctricas entre conductores tendrán como función primordial, asegurar y conservar la continuidad eléctrica a lo largo de la línea y para tal efecto, se deberán de elegir elementos conectores que posean características de alta conductividad, mínima oposición al paso de la corriente eléctrica, nula formación de pares galvánicos en los puntos de unión, durabilidad, alta resistencia a la corrosión y de preferencia ligeros.

Se deberá proveer a la catenaria de puentes alimentadores que conectaran eléctricamente el hilo de contacto con el hilo mensajero de acuerdo a las necesidades

del sistema, dichos puentes deberán hacerse con cable de cobre flexible de la capacidad adecuada, utilizando los herrajes necesarios para su perfecta fijación y contacto eléctrico para que no formen un punto duro en el hilo de contacto que provoque desgaste prematuro del hilo de contacto al paso del pantógrafo de los trenes.

5.4.4. Péndulos

La suspensión del hilo de contacto al hilo mensajero o portador, se realiza por medio de péndolas, cuya distribución es tal que la separación entre estos es mayor a medida que se tiene una mayor cercanía al poste o al soporte, y se reduce en el centro del vano o claro interpostal, con el fin de evitar tanto el efecto “puntos duros” en las cercanías del poste, como el efecto de “flecha” en el centro del claro interpostal. Como el hilo pendular solo cumplirá con la función de suspender al hilo de contacto, deberá de poseer características como buena resistencia a la tracción mecánica, gran resistencia a la corrosión ambiental, bajo coeficiente de alargamiento y deberá ser ligero.

Estos dispositivos deberán ser diseñados para suspender adecuadamente el hilo de contacto desde el hilo mensajero y/o portador. Se podrá hacer y presentar un análisis para presentar como alternativa un sistema en el que se puedan usar los péndulos como conexión eléctrica entre el hilo mensajero y el hilo de contacto. También deberán estar diseñados para proporcionar la flexibilidad adecuada de la catenaria y permitir un deslizamiento suave del pantógrafo sobre el hilo de contacto.

5.4.5. Postes

Los postes para soportar la catenaria serán de tubo de acero sin costura A.S.T.M. A-53 grado “B” de 10” de diámetro invariablemente instalados a lo largo del trazo de la vía, en el caso de las fijaciones en bajo-puentes estas serán con soportes de tipo elástico.

El diseño de postes aterrizados nuevos 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.

Para los diferentes tipos de postes se harán agrupaciones de los mismos con objeto de estandarizar a la cantidad mínima de diseño. Los postes en las vías generales de tránsito se diseñarán bajo los criterios siguientes:

- ◆ En zonas de curvas debido al galibo dinámico y al radio en particular de cada curva se deberá calcular la distancia necesaria entre postes para cumplir con el descentramiento permitido del hilo de contacto al paso del pantógrafo.
- ◆ Los postes de anclaje de seccionamiento y de remates terminales deberán calcularse de acuerdo con la carga que soportaran e implementos con elementos para anclaje.

5.4.6. Aisladores de sección

Los aisladores de sección deberán estar localizados estratégicamente, preferentemente en las interestaciones para evitar que tengan que soportar altas corrientes al paso del pantógrafo, con el tren ligero traccionando ó frenando, por lo que se deberán seleccionar los puntos considerando la curva de tracción de los trenes, y así evitar arcos eléctricos que dañen la integridad física del hilo de contacto y del propio aislador de sección.

5.4.7. Tensionadores

Tomando en cuenta que la catenaria trabajara bajo condiciones ambientales muy variables, se deberá colocar un sistema de autotensionado para absorber los cambios de longitud generados en los conductores, debido a la dilatación por efectos de la temperatura y así mantener los hilos de contacto y mensajero en la posición y tensión mecánica adecuada, para un buen acoplamiento con el pantógrafo.

Este sistema deberá implementarse para secciones de longitud adecuada, y deberá ser de alta confiabilidad en su operación. Deberá incluir protección para el caso de roturas con poleas dentadas y autofrenadas, y los contrapesos deberán ser modulares para su fácil manejo y confinados para evitar que su caída obstruya la vía, o provoque algún daño a las instalaciones o a los trenes.

Dependiendo del diseño de material, este equipo deberá de estar protegido contra la corrosión a base de un galvanizado en caliente.

5.4.8. Protecciones

En el diseño de la catenaria, deberá incluir el sistema de protección contra sobretensiones tanto de origen atmosférico (descargas eléctricas), como de los producidos por fallas de origen interno (frenado regenerativo de tren ligero, desconexiones súbitas de carga, etc.). Este sistema deberá ser implementado a todo lo largo de la catenaria y será aterrizado en forma independiente al resto de los equipos.

La ingeniería generada deberá mostrar a detalle la forma de instalación de las protecciones consideradas, así como su especificación y memorias de cálculo.

Para la protección contra descargas eléctricas de origen atmosférico deberán incluir apartar rayos u otros elementos supresores de picos, aterrizados a sus propias tierras.

Se deberá considerar también los elementos de protección de las instalaciones de la línea aérea de contacto, así como los no asociados a la transmisión de la corriente eléctrica, pero que ejercen funciones de protección de las instalaciones frente a eventuales problemas como pueden ser: cortocircuitos, derivaciones, sobretensiones, vandalismo, etc., de acuerdo con el tipo de corriente que circula por la Línea del Tren Ligero. Por mencionar algunas pueden ser cables de puesta a tierra o cable guarda y aparta rayos.

Justificación para la adquisición del equipo de alimentación, distribución eléctrica y sus componentes para la tracción de la línea del tren ligero.

Los equipos de alimentación, distribución eléctrica y sus componentes para la tracción del tren ligero requeridos, serán destinados para que la Empresa alcance el objetivo de mantener la infraestructura de catenaria para el tren ligero en condiciones de operación, con un mínimo de interrupciones, para la transportación de los usuarios de este medio de transporte, observando en todo la seguridad de sus usuarios.

La falta de adquisición de estos equipos, provocaría un incremento en el riesgo de sufrir algún accidente, la disminución de seguridad en la catenaria y por consecuencia la afectación al servicio, ocasionando pérdidas y costos inimaginables.

La adquisición de estos equipos, tendría los siguientes resultados:

- Mantener la catenaria en condiciones de funcionamiento, eficientes, confiables y con alto grado de seguridad.
- En el servicio se elevaran los niveles de seguridad, calidad y eficiencia, al mantener en óptimas condiciones de operación la flota vehicular del tren ligero.
- Aumento anual en los ingresos del Organismo.
- Salvaguardar la integridad humana, impulsando el desarrollo sustentable de un transporte público de vanguardia, seguro, confortable, eficiente, accesible, ya que le permite a los usuarios de las Delegaciones Coyoacán, Tlalpan y Xochimilco, trasladarse a sus centros de trabajo, escolares y de recreo en un transporte público ordenado, cómodo, limpio y seguro.
- Cambio en los límites de velocidad asegurando la reducción de tiempo en su explotación.
- Contar con información técnica calificada para el mantenimiento del nuevo sistema de catenaria.
- Garantizar el suministro de material, equipo y herramienta necesaria para el mantenimiento del nuevo sistema de catenaria.
- Mejorar la imagen de este Organismo.

Sustitución de términos en el proceso de licitación.

Como se puede observar, la información anterior está enfocada a la adquisición de un servicio de adquisición, adecuación, instalación, y puesta a punto de infraestructura electromecánica de contacto para el tren ligero, sin embargo debido a la disponibilidad

de recursos y la necesidad de otras áreas, para complementar e incrementar la eficiencia en el servicio de tren ligero, los recursos obtenidos, fueron dirigidos para la adquisición de equipo de alimentación, distribución eléctrica y sus componentes para la tracción de la línea del tren ligero, proyecto de ingeniería a detalle y el apoyo y seguimiento de la contratista en los trabajos de adecuación y puesta a punto de la infraestructura, así como la adquisición e instalación de cambios de vía.

Por lo anterior, la Subgerencia de Mantenimiento a Instalaciones Eléctricas a cargo del que suscribe, fue la encargada de realizar los trabajos para la instalación, de infraestructura, adecuaciones y todo lo necesario para la modernización de la catenaria en el primer tramo de la línea del Tren Ligero.

Propuesta de innovación tecnológica

Como parte de una propuesta de innovación tecnológica, por parte de la empresa contratista se presento un sistema de compensación mecánica de última tecnología, denominado tensorex, por lo que se me solicito, llevar a cabo un análisis técnico comparativo entre los sistemas de compensación mecánica a través de contrapesos y el sistema tensorex, con objeto de apoyar en la decisión de aceptación de este nuevo elemento, presentando lo siguiente.

Análisis comparativo de los sistemas de compensación mecánica de la catenaria del tren ligero.

1. Introducción

La “Catenaria” en el ámbito ferroviario, se denomina a la línea aérea de alimentación que proporciona la energía eléctrica de tracción a los trenes. La infraestructura de la “Catenaria” está integrada por conductores de energía, hilo de contacto (alambre trolley), cable sustentador (mensajero), así como diversos herrajes, aisladores y elementos de tensión. En el caso de la Línea del Tren Ligero la tensión de alimentación eléctrica es de 750 volts de corriente continua que requieren los motores de tracción que utilizan los trenes.

La longitud del seccionamiento mecánico de tracción denominado “cantón”, va de 700 a 1200 metros de acuerdo a las características operativas de la línea y la horizontalidad del hilo de contacto. A consecuencia de las variaciones de temperatura y debido a la dilatación térmica de los metales, la longitud del hilo de contacto se ve afectada provocando elongaciones, este efecto es perjudicial para la funcionalidad de captación del pantógrafo del tren ligero, por lo cual es necesaria la instalación de elementos que lleven a cabo una regulación en la tensión mecánica de la línea de contacto.

2. Desarrollo

Tipos de Sistemas de Compensación Mecánica.

a. Sistema de tensión mecánica por medio de Poleas y Contrapesos.

Este sistema, es el elemento más común para evitar variaciones en la tensión del hilo de contacto debido a las variaciones de la temperatura. Se instala un equipo de contrapesos que tiran de los conductores, manteniendo constante su tensión mecánica y la longitud del mismo, no obstante se requiere de calibración manual para mantener las condiciones de operación del sistema de forma segura, sin esta calibración por las variantes del clima, la elongación aumenta afectando el paso del pantógrafo del Tren Ligero.

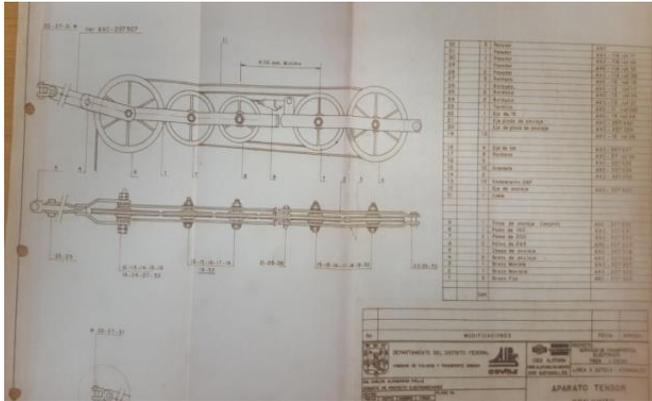
Para disminuir el número de contrapesos necesarios, se instala un dispositivo que multiplique la efectividad del contrapeso. Los dispositivos utilizados regularmente por éste método son las poleas de ejes solidarios (concéntricas) y los sistemas de poleas de ejes paralelos.

El principio de acción para las poleas de ejes solidarios se basa en que, al estar unidas a un mismo eje, componen un sólido rígido. Para que se mantenga el equilibrio en el mismo, debe cumplirse que la suma de momentos respecto al centro del eje sea cero; por lo tanto, la fuerza que ejercen los contrapesos multiplicada por la distancia desde su línea de acción hasta el eje es igual a la tensión mecánica de la línea por la distancia desde la línea de acción hasta el eje.



Sistema de poleas y contrapesos instalado en el segundo tramo de la línea del tren ligero de la Ciudad de México.

Esto da como resultado que las fuerzas de ambos cables es inversamente proporcional a los radios de las poleas sobre las que se arrollan. Esta razón se conoce como “factor de multiplicación” o “relación de compensación”, Los valores usuales están entre 1:3 y 1:5.

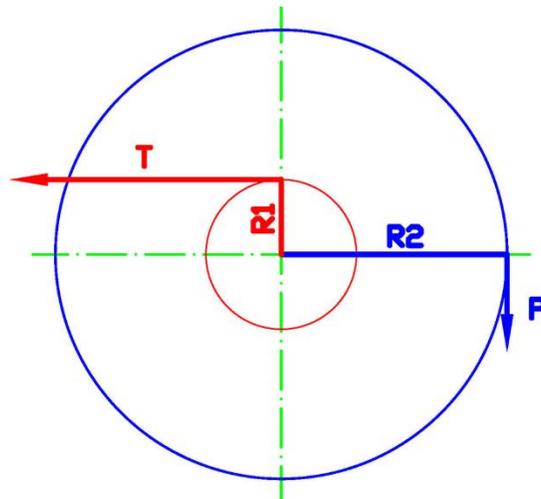


Esquema de poleas de ejes solidarios

El principio de acción para los polipastos se basa igualmente en que todos los elementos que componen el sistema son sólidos rígidos. Cada polea se encuentra sujeta por su eje a algún elemento rígido, o a otro de los cables que componen el polipasto, y la vez sobre ella se encuentra enrollado a alguno de los cables.

En este caso existen también el factor de multiplicación o relación de compensación, si bien esta vez no tiene que ver con el tamaño de las poleas, sino con el numero de estas y la forma en que se fijan entre si, y al poste o elemento de estructura sobre el que se ancla el conjunto.

Polea de compensación de catenaria.
Diagrama del sólido rígido



$$P.R_2 = T.R_1$$

$$\frac{P}{R_1} = \frac{T}{R_2}$$

b. Sistema de Compensación mecánica por resortes (Tensorex).

Este sistema es empleado en la compensación mecánica de la tensión de la catenaria por medio de un resorte helicoidal (muelles), también conocido por su marca comercial “Tensorex”, el resorte proporciona una fuerza variable en función de la elongación del cable y/o catenaria, lo cual es necesario para mantener una tensión constante de esta.



El principio de acción del resorte obedece a la Ley de Hook, la forma más común de representar matemáticamente esta ley, es mediante la ecuación del muelle o resorte, donde se relaciona la fuerza F ejercida por el resorte de elongación o alargamientos δ provocado por la fuerza externa aplicada al extremo del mismo

$$F = k \delta$$

La manera en que se convierte la tensión para el cable de catenaria es por medio de un dispositivo leva, es decir, una polea de radio variable. Dicha leva debe estar perfectamente ajustada, de tal modo que la posición angular de la misma para cada elongación del resorte compense la constante k , tensando en forma autónoma la catenaria, en específico el hilo de contacto.



c. Diferencias entre ambos equipos de compensación mecánica

El sistema por medio de poleas y contrapesos se encarga de equilibrar de forma natural por gravedad las fuerzas de tensión en la línea aérea de contacto, durante los cambios de temperaturas, este sistema gradualmente se tienen que calibrar, a diferencia del sistema automático Tensorex, que utiliza un resorte helicoidal para mantener una tensión constante en los sistemas de catenaria ferroviaria.

El sistema Tensorex comparado con los sistemas de contrapeso estándar, es muy compacto por sus dimensiones, gracias a un resorte espiral en vez de pesos o contrapesos, su montaje es justo en el lado de la cabeza y pegado al poste, por lo que no se dificulta su instalación. A continuación se muestran otras ventajas y desventajas de ambos sistemas.

COMPARATIVO EQUIPO TENSOREX - SISTEMA TRADICIONAL DE CONTRAPESOS

	TENSOREX	SISTEMA TRADICIONAL DE CONTRAPESOS
Composición	Sistema compacto de sólo dos elementos.	Sistema robusto y se compone de manera regular de diez diferentes elementos, entre los que podemos citar; poleas, cables, herrajes, contrapesos, etc.
Funcionamiento	Sistema automático de tensión, mediante un resorte helicoidal de alta precisión.	Sistema de compensación mecánica con elementos de contrapesos con poleas.
Manejo y almacenaje	Fácil transporte al sitio de instalación. Peso de 80 a 200 Kg	Muchos componentes peso aproximado equipo tradicional 800 Kg
Instalación	Versatilidad en la instalación, puede ser de lado, en el techo de un túnel o girar hasta 90°, de acuerdo a la geometría del lugar. Tiempos cortos de instalación.	Se debe contemplar un mayor espacio para colocar los elementos del sistema "anclaje especial". Proceso de instalación con tiempos mayores y equipo especial.
Mantenimiento	Libre de mantenimiento y facilidad de rearme ante rupturas del hilo de contacto.	Inspección regular, calibración, engrasado, ajuste de cables de manera rutinaria. Intervención mayor en caso de ruptura del hilo de contacto.
Integridad del equipo	No contiene partes móviles que puedan ser dañadas o robadas.	Equipo susceptible de actos vandálicos o robo de contrapesos, lo cual requiere una atención inmediata ya que repercute directamente en la operación del sistema.

Por lo anterior, se puede observar que el sistema Tensorex presenta mejores condiciones de operación y con tecnología que le permite tener mayores ventajas respecto al sistema tradicional de contrapesos, además, debido a la información que se pudo investigar, se trata de un sistema ya probado en líneas de tracción de trenes eléctricos de países con vanguardia en este tipo de infraestructura.

Cabe mencionar que el sistema de contrapesos instalado en la catenaria del segundo tramo del tren ligero, constantemente ha sido vandalizado, con el robo de contrapesos, situación que provoca problemas de operación.



Intervenciones preventivas y correctivas a los contrapesos del sistema de poleas del 2º tramo del tren ligero.

Pruebas a diferentes equipos antes de su instalación.

Como medidas complementarias, antes de llevar a cabo los trabajos de modernización de la infraestructura, se realizaron pruebas a equipos y materiales del sistema, con objeto de asegurar el funcionamiento de la infraestructura. Por lo que se solicitó el apoyo del Centro de Investigación e Innovación Tecnológica del Instituto Politécnico Nacional, para la ejecución de pruebas al equipo tensorex, aisladores y cables, a continuación se muestran algunos resultados.

0001

	FORMATO <small>CENTRO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA</small>								
Código: MKC-01/112 Revisión: 02 INFORME DE RESULTADOS LABORATORIO DE METROLOGÍA DIMENSIONAL Y PRUEBAS FÍSICAS Página 2 de 2									
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="font-size: x-small;">SERVICIO 172-15 ISO 9001:2008 REGISTRO: RSGC 518</td> <td style="font-size: x-small;">INFORME 269-15 No. de Cotización: 198-15</td> </tr> </table>	SERVICIO 172-15 ISO 9001:2008 REGISTRO: RSGC 518	INFORME 269-15 No. de Cotización: 198-15							
SERVICIO 172-15 ISO 9001:2008 REGISTRO: RSGC 518	INFORME 269-15 No. de Cotización: 198-15								
4.- RESULTADOS DE LA MUESTRA 4.1.- En las siguientes tablas se indican los resultados:									
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th colspan="2">Prueba de Tensión Tensorex Modelo TRC 650/3100</th> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Referencia ficha técnica</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Tensión</td> <td style="text-align: center;">1 100 kg</td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Resultado de Laboratorio</td> <td style="text-align: center;">1 100 kg</td> </tr> </table>		Prueba de Tensión Tensorex Modelo TRC 650/3100		Referencia ficha técnica		Tensión	1 100 kg	Resultado de Laboratorio	1 100 kg
Prueba de Tensión Tensorex Modelo TRC 650/3100									
Referencia ficha técnica									
Tensión	1 100 kg								
Resultado de Laboratorio	1 100 kg								
5.- EQUIPO Y REFERENCIAS > Dinamómetro Marca: DILLON Modelo: 327705 No. de Informe de Calibración: s/IC									
Realizó pruebas: Ing. Darío Ahiró Luna Signatario autorizado	Autorizó: Responsable Técnico Dr. Ricardo R. Ambríz Rojas								

LABORATORIO DE METROLOGÍA DIMENSIONAL Y PRUEBAS FÍSICAS
 Carretera Cuernavaca-Cajal, Santa Catarina, Delegación Azcapotzalco, C.P. 02330 México, D.F.
 Tel. 527-4600 Ext. 36336 y 36340. E-mail: lab_dim@ipn.mx
 Este documento solo responde a los equipos especificados y no está válido si presenta modificaciones, alteraciones o sustituciones que alteren los datos originales.
 Queda prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización previa del laboratorio.

0004

	FORMATO <small>CENTRO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA</small>								
Código: MKC-01/112 Revisión: 02 INFORME DE RESULTADOS LABORATORIO DE METROLOGÍA DIMENSIONAL Y PRUEBAS FÍSICAS Página 2 de 2									
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="font-size: x-small;">SERVICIO 172-15 ISO 9001:2008 REGISTRO: RSGC 518</td> <td style="font-size: x-small;">INFORME 269-15 No. de Cotización: 198-15</td> </tr> </table>	SERVICIO 172-15 ISO 9001:2008 REGISTRO: RSGC 518	INFORME 269-15 No. de Cotización: 198-15							
SERVICIO 172-15 ISO 9001:2008 REGISTRO: RSGC 518	INFORME 269-15 No. de Cotización: 198-15								
4.- RESULTADOS DE LA MUESTRA 4.1.- En las siguientes tablas se indican los resultados:									
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th colspan="2">Prueba de Rigidez Dieléctrica y Aislamiento Conector Aislado con Lengüeta</th> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Referencia ficha técnica</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Voltaje de operación</td> <td style="text-align: center;">3 000 V</td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Resultado de Laboratorio</td> <td style="text-align: center;">5 000 V</td> </tr> </table>		Prueba de Rigidez Dieléctrica y Aislamiento Conector Aislado con Lengüeta		Referencia ficha técnica		Voltaje de operación	3 000 V	Resultado de Laboratorio	5 000 V
Prueba de Rigidez Dieléctrica y Aislamiento Conector Aislado con Lengüeta									
Referencia ficha técnica									
Voltaje de operación	3 000 V								
Resultado de Laboratorio	5 000 V								
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th colspan="2">Prueba de Rigidez Dieléctrica y Aislamiento Ojillo Abraxadera</th> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Referencia ficha técnica</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Voltaje de operación</td> <td style="text-align: center;">3 000 V</td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Resultado de Laboratorio</td> <td style="text-align: center;">5 000 V</td> </tr> </table>		Prueba de Rigidez Dieléctrica y Aislamiento Ojillo Abraxadera		Referencia ficha técnica		Voltaje de operación	3 000 V	Resultado de Laboratorio	5 000 V
Prueba de Rigidez Dieléctrica y Aislamiento Ojillo Abraxadera									
Referencia ficha técnica									
Voltaje de operación	3 000 V								
Resultado de Laboratorio	5 000 V								
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th colspan="2">Prueba de Rigidez Dieléctrica y Aislamiento Sillita Aislada Reforzada</th> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Referencia ficha técnica</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Voltaje de operación</td> <td style="text-align: center;">1 500 V</td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Resultado de Laboratorio</td> <td style="text-align: center;">2 500 V</td> </tr> </table>		Prueba de Rigidez Dieléctrica y Aislamiento Sillita Aislada Reforzada		Referencia ficha técnica		Voltaje de operación	1 500 V	Resultado de Laboratorio	2 500 V
Prueba de Rigidez Dieléctrica y Aislamiento Sillita Aislada Reforzada									
Referencia ficha técnica									
Voltaje de operación	1 500 V								
Resultado de Laboratorio	2 500 V								
5.- EQUIPO Y REFERENCIAS > Megger Marca: AVO Modelo: M801 No. de Informe de Calibración: s/IC									
Realizó pruebas: Ing. Darío Ahiró Luna Signatario autorizado	Autorizó: Responsable Técnico Dr. Ricardo R. Ambríz Rojas								

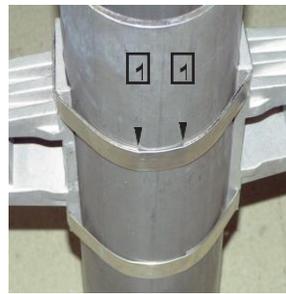
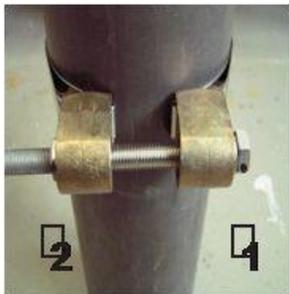
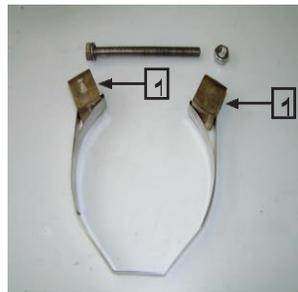
LABORATORIO DE METROLOGÍA DIMENSIONAL Y PRUEBAS FÍSICAS
 Carretera Cuernavaca-Cajal, Santa Catarina, Delegación Azcapotzalco, C.P. 02330 México, D.F.
 Tel. 527-4600 Ext. 36336 y 36340. E-mail: lab_dim@ipn.mx
 Este documento solo responde a los equipos especificados y no está válido si presenta modificaciones, alteraciones o sustituciones que alteren los datos originales.
 Queda prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización previa del laboratorio.

Capacitación del personal.

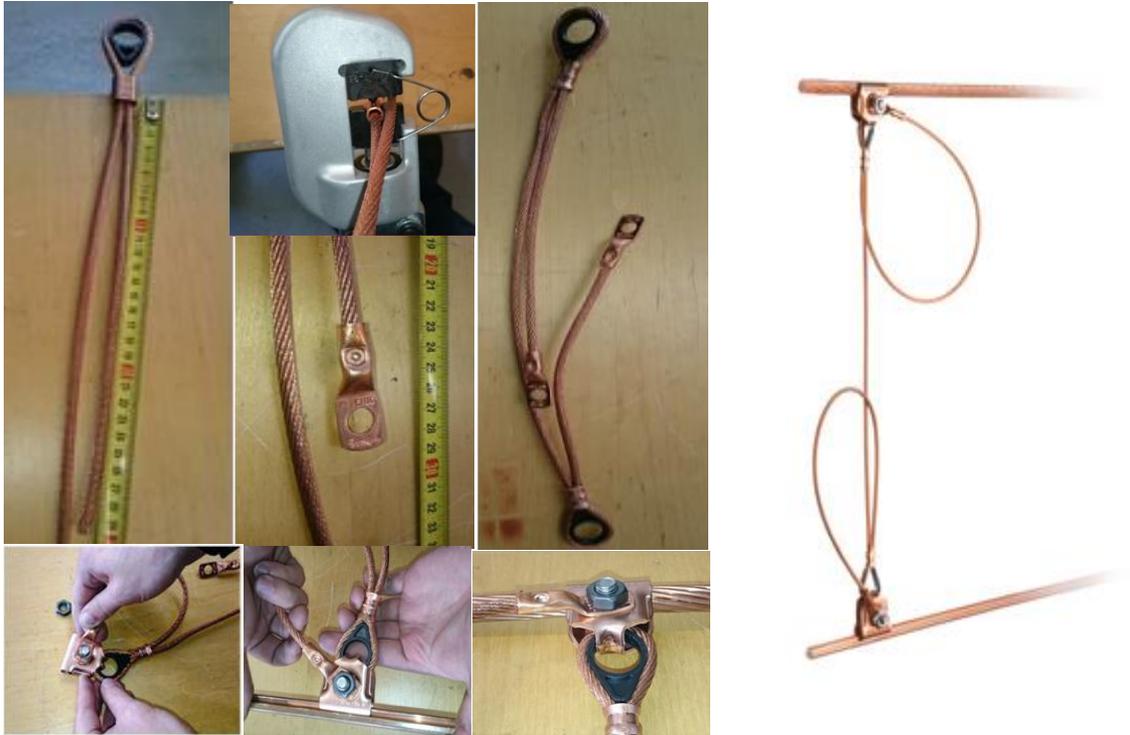
Como parte de las necesidades prioritarias para el inicio de las actividades de modernización de la infraestructura, se solicitó la capacitación del personal para la instalación de equipos materiales y elaboración de accesorios de la infraestructura, por lo que se dio inicio a un programa de capacitación a diferentes grupos, con objeto de familiarizarse con la nueva infraestructura.

De cada uno de los temas que se trataron, se adquirieron conocimientos teóricos con apoyo de un manual de instalación; así como, la ejecución de práctica en sitio para la aplicación de los conocimientos adquiridos, los temas fueron los siguientes:

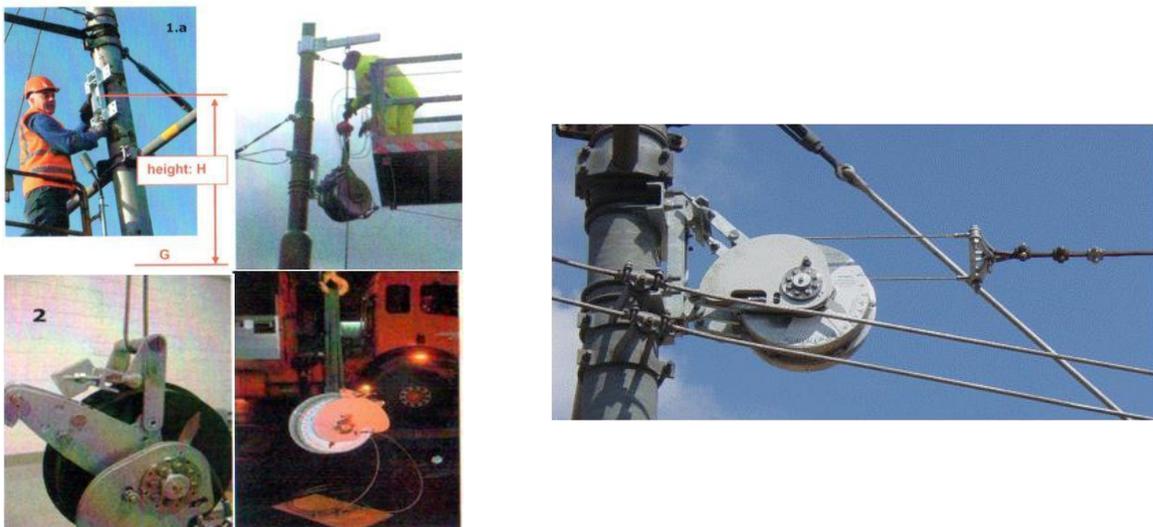
- **Instalación de flejes para la fijación de ménsulas de catenaria.** Revisando datos técnicos, montaje, montaje de preparación e inspección final de arranque.



- **Construcción e instalación de péndolas.** Revisando temas como, descripción técnica, longitud de la péndola, material requerido y preparación, instalación de péndola y control del par de apriete.



- **Instrucciones para el montaje del equipo Tensorex.** Revisando temas como, descripción técnica, colocación de herrajes de fijación, extracción del Tensorex de su empaque original, preparativos para conexión del Tensorex, ajustes del Tensorex y activación de seguros.



- **Instrucciones para seguridad.** Revisando temas como, prevención de riesgos, protección contra riesgos de electrocución, protecciones individuales y primeros auxilios.
- **Mantenimiento preventivo y correctivo.** Revisando temas de mantenimiento preventivo provisional y definitivo, herramientas para la aplicación del mantenimiento, mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo programado, recorridos a pie.



Inicio de la modernización de la infraestructura catenaria.

1. Introducción.

Catenaria es la curva que describe una cadena suspendida por sus extremos y que se encuentra sometida a un campo gravitatorio uniforme. La palabra deriva del latín *catenarius*, propio de la cadena.

En ferrocarriles se denomina catenaria al sistema que transmite potencia eléctrica a las locomotoras u otro material rodante motor. Las tensiones de alimentación más comunes van desde 600 V a 3 kV en corriente continua, o entre 15 y 25 KV en corriente alterna. La mayor parte de las instalaciones funcionan con corriente (continua o alterna) monofásica, aunque existen algunas instalaciones trifásicas.

Algunos autores prefieren utilizar el término "Línea Aérea de Contacto" o abreviadamente L.A.C., que puede incluir los sistemas denominados "Línea Tranviaria", "Línea Trolebús", "Catenaria Flexible" y "Catenaria Rígida".

En las líneas aéreas, normalmente el polo positivo de la instalación es la catenaria y el negativo son los rieles sobre los que circula el tren. Las corrientes provenientes de la subestación (transformadora o rectificadora de la tensión de la red general) llegan al tren por la catenaria y vuelven a la subestación a través de los rieles de la vía férrea.

El nombre de catenaria proviene de la forma geométrica característica de la curva que forma un hilo flexible sometido a su propio peso, que es la que tiene el cable del que se suspende la verdadera línea de alimentación, que debe quedar casi perfectamente paralela al plano de los rieles. No obstante, se denomina comúnmente así a todo el conjunto formado por los cables alimentadores, apoyos y elementos de tracción y suspensión de los cables que transmiten la energía eléctrica.

Existen diferentes formas de clasificar a las catenarias, por su montaje:

<p>Catenaria Aérea Flexible</p>	<p>La catenaria flexible consiste en dos cables principales, el superior tiene aproximadamente la forma de la curva conocida como catenaria y se llama "Portador Principal", mediante una serie de elementos colgantes (péndulos) sostiene otro cable, el de contacto, llamado hilo de contacto, de modo que permanezca manteniendo una linealidad paralela al plano de las vías. A veces hay un tercer cable intermedio para mejorar el trazado del de contacto, este cable se suele llamar "Portador Auxiliar". El hilo de contacto no es propiamente lo que se conoce como cable, con varios hilos o alambres enrollados en varias capas, sino un trefilado, es decir, un alambre macizo de una sola pieza.</p>
<p>Catenaria Aérea Rígida</p>	<p>La catenaria aérea rígida consiste en un perfil metálico cuya sección garantiza por sí sola la horizontalidad o, mejor dicho, la alineación de la línea de toma. Se utiliza con frecuencia en las catenarias de las líneas de metro donde la variación de temperatura es mínima.</p>
<p>Tercer Riel</p>	<p>La catenaria de tercer riel consiste en un conductor (perfiles de acero laminado) sobre apoyos en aisladores. Sus ventajas incluyen la rigidez, la fácil captación, su facilidad de colocación y su bajo costo, pero la línea no es de alta tensión por su proximidad a tierra, no siendo de esta forma segura ni eficiente. El sistema de alimentación por tercer riel implica más subestaciones eléctricas, debido al menor voltaje, y eso a la larga demanda más dinero. Además, no es rentable para líneas largas, ya que implica la instalación de varias subestaciones rectificadoras y obliga al tren a tener un sistema de alimentación autónomo por un determinado tiempo, ya que la catenaria aérea siempre está, pero el tercer carril a veces debe faltar (ejemplo: combinaciones, áreas de paso peatonal, etc.).</p>

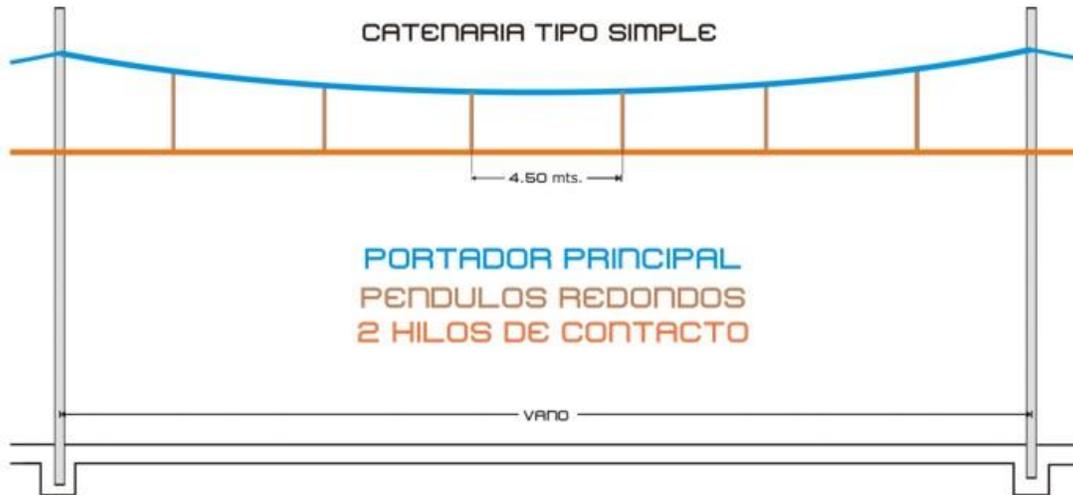
1.1. La Catenaria de Tipo Normal

La Catenaria de Tipo Normal la encontramos instalada sobre vías principales, sus elementos constitutivos le permiten desarrollar velocidades de hasta 120 Km/Hr. aunque la velocidad comercial de 60 Km/Hr.

Está compuesta por un Portador principal, un Portador auxiliar un alimentador o fedder y 1 o 2 hilos de contacto, tiene una sección transversal de poco menos de 696 mm² que le permite soportar los aproximadamente 3000 amperes que demanda un tren cuando tracciona.

1.2. Catenaria Tipo Simple

La catenaria de tipo Simple permite desarrollar velocidades de hasta 100 Km/Hr. aunque la velocidad para la que es utilizada este tipo de catenaria en la es de 60 Km/Hr. Está compuesta por un portador principal, un alimentador o fedder y por 1 o 2 hilos de contacto, tiene una sección transversal de poco menos de 592 mm².



Este es el modelo de catenaria que se tomo como referencia para el proceso de renovación del sistema de Tracción de Catenaria en el tramo comprendido entre el kilómetro 0-491.40 el kilómetro 5+364.10, que va de la terminal Tasqueña a los talleres de Huipulco ubicados en la estación Estadio Azteca de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México.

Las actuaciones a realizar estuvieron delimitadas como se describe a continuación:

- Sustituir elementos críticos del sistema de Tracción de Catenaria de la vía principal, modernizando la infraestructura.
- Dotar a la línea de unas instalaciones de electrificación que optimicen las condiciones de operación, permitiendo incrementar frecuencia y velocidad de los trenes con seguridad.
- Minimizar las operaciones de mantenimiento de las instalaciones.

2. Planteamiento inicial para el proyecto.

En líneas generales, el mantenimiento consistió en el suministro y puesta a punto de los conjuntos y elementos deteriorados y/o fuera de norma, leyes y reglamento, refiriéndose sobre todo, a los elementos de sujeción, suspensión, aislamiento y transmisión de energía, como son arreglos a tensión, arreglos a compresión, líneas de alimentación eléctrica (hilo de contacto e hilo mensajero). Los trabajos fundamentales

que se incluyeron en el proyecto fueron el suministro y puesta a punto de elementos para cambio y la sustitución de la Línea Aérea de Contacto.

- Ingeniería y diseño de cimentaciones mediante pilotes cilíndricos de concreto armado.
- Aplicación de protección anticorrosiva de los postes existentes mediante pintura con mini rodillo y brocha.
- Suministro y puesta a punto de aisladores.
- Suministro y puesta a punto de nuevos conjuntos de ménsula, suspensión y atirantado para aplicación en tensión, compresión y tangente en vías principales.
- Suministro y puesta a punto de conjuntos completos para tensión y compresión, para colocación en pórticos rígidos.
- Suministro y puesta a punto de cables de catenaria formada por un sustentador de cobre e hilo de contacto de cobre con pendolado equipotencial.
- Puesta a punto de postes existentes para claros de 60 metros en tangentes y de 30 a 50 metros en curvas, asegurando el correcto descentramiento de la línea aérea de contacto.
- Suministro y puesta a punto de sistemas para autocompensado del hilo de contacto alcanzando entre 800 y 1100 Kg. de tensión mecánica sobre el hilo de contacto, en particular el hilo sustentador o mensajero no se compensará, debido a la infraestructura vial existente sobre la línea del tren ligero, aplicando sistemas de auto compensado por medio de sistema Tensorex.
- Suministro y puesta a punto del diseño para establecimiento de secciones de catenaria entre 900 y 1400 metros con puntos fijos intermedios.
- Suministro y puesta a punto de conjunto ménsula con arreglo para cambio de vía.

3. Descripción de la ejecución del proyecto.

3.1 Marcaje

De acuerdo al proyecto ejecutivo, se dio inicio con actividades preliminares a la instalación de la infraestructura, una de las más importantes, el marcaje de la ubicación de postes adicionales, necesarios para la instalación de ménsulas, sistema de compensación mecánica, así como de las retenidas correspondientes.



3.2 Excavaciones.

La ejecución de las excavaciones, se realizaron en turnos nocturnos, utilizando solamente la ventana de tiempo cuando el servicio dejaba de operar; lo anterior para evitar afectaciones a la operación. Las actividades se realizaron con equipo mecanizado o a mano de acuerdo a las condiciones de las zonas de trabajo, en algunos puntos se tuvo la necesidad de realizar la ruptura de zapata y muro perimetral, corte del armado de muro perimetral, y en la mayoría de las zonas la ruptura de plancha de concreto superior y ruptura de concreto de loza de sustentación, realizando el retiro de material producto de la excavación y/o demolición, para posteriormente realizar la colocación del acero de refuerzo y concreto. La fijación de las armaduras se realizo sobre una plantilla de cemento pobre.



3.3 Cimentaciones

La cimentación de los postes de catenaria fue construida de pilotes cilíndricos de concreto armado. El concreto a emplear fue tipo $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ para cimentación de postes, y concreto de $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ para cimentación en retenidas, con los aditivos necesarios por condiciones especiales o características del terreno. Las armaduras fueron de acero corrugado de acuerdo a la norma ASTM-A-775, de $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$.

De la armadura de los elementos sobresalen ocho anclas que sirven como pernos de fijación para los postes mediante tuercas, no siendo la longitud de éstas un aspecto que suponga un peligro para las personas. Los pernos que sobresalen del macizo son galvanizados en toda su longitud.



En el caso de cimentación de anclaje, los pernos se sustituirán por herrajes de anclaje adecuados a los tirantes de anclaje. El tipo de cimentación depende del tipo de poste a emplear y de las características y de la capacidad de carga del terreno, donde se realice la cimentación.

3.4 Postes

Se usaron los postes existentes, colocando nuevos postes en los seccionamientos de compensación que lo requirieron. Siendo postes troncocónicos similares a los que existen en el sistema actual.

RESUMEN DE POSTES	
TIPO DE POSTE	CANTIDAD
POSTES LATERALES	121
POSTES CENTRALES	50
PORTICO FLEXIBLE	1
SILLETAS LATERLAES	2
POSTE IZQUIERDO PARA RETENIDA Y SISTEMA DE COMPENSACIÓN	6
POSTE DERECHO PARA RETENIDA Y SISTEMA DE COMPENSACIÓN	3
POSTE CENTRAL PARA RETENIDA Y SISTEMA DE COMPENSACIÓN	5



3.5 Retiro de infraestructura existente

Obligadamente antes de realizar el retiro de la infraestructura, una de las actividades principales, fue el remate de la infraestructura existente en los puntos frontera, debido a que la intervención se realizaría paulatinamente y por tramos, habilitando el servicio al terminar la intervención, construyendo el traslape correspondiente entre la línea nueva y la antigua.

Una vez realizado el remate de la infraestructura se procedió a realizar el retiro de la antigua catenaria, en los tramos a intervenir, retirando cableado de catenaria, elementos de suspensión y fijación, quedando solo postes y cable alimentador.



3.6 Instalación de Ménsulas

El elemento de giro permite los desplazamientos lineales del sustentador y de los hilos de contacto, por efecto de la dilatación lineal. Es decir, la ménsula del punto fijo estará siempre en posición perpendicular a la vía, mientras que el resto de ménsulas, desde este punto central hacia las ménsulas del seccionamiento, se han de desplazar desde la posición perpendicular hacia un lado u otro en función de la temperatura existente. Un aumento de la temperatura provoca el giro hacia los extremos y una disminución el efecto contrario. Se realizó la sustitución de las ménsulas actuales por ménsulas dobles, conforme a la ingeniería de detalle de arreglo general según correspondió en cada poste.

Se utilizaron los conjuntos de acuerdo a lo siguiente:

- Arreglo tipo de Ménsula a compresión.
- Arreglo tipo de Ménsula a tensión.
- Arreglo de Doble Ménsula para traslape.
- Arreglo tipo de Ménsula en tangente.
- Pendiente máxima de la catenaria 6% con variación máxima de 3%.
- Altura del sistema 120 cm.
- Los seccionamientos de compensación son de 3 vanos.
- Se evitaron seccionamientos de compensación en pasos superiores.

- Se evitaron seccionamientos de compensación en zona de andenes.
- Los cantones fueron de 1200 metros como máximo.



3.7 Adaptación de los equipos de compensación

Se colocaron equipos de compensación mecánica para el hilo de contacto en cobre de 107 mm^2 , con resistencia a la ruptura de 3,600 kg, con una tensión máxima de 1100 kg, dejando el hilo sustentador sin compensación mecánica, esto por efecto de la configuración, galibo y frecuencia de los pasos superiores. Los equipos de compensación mecánica al principio se propuso con contrapesos, sin embargo como innovación tecnológica se colocaron equipos Tensorex en cantones de 1200 metros como máximo con semi-cantones a 600 metros. Este sistema, dentro de sus características sustanciales mejorará la horizontalidad, así como la respectiva tensión de hilo de contacto (alambre trole).



3.8 Tendido de conductores

En las vías principales se colocaron nuevos conductores, el cable sustentador fue calibre 120 mm² en Cu-ETP DIN 48201, y el alambre trolley (alambre de contacto) calibre 107 mm² (4/0 AWG) en Cu DIN EN 50149-BC.



3.9 Adecuación de alimentadores

Los alimentadores no fueron renovados, se utilizaron los instalados actualmente, cable alimentador desnudo calibre 500 KCM 37 hilos, y se adecuaron las bajadas de alimentación existentes de cable THW-LS, antiflama, calibre 250 KCM, de acuerdo al nuevo sistema, realizando cálculos de caídas de tensión de la nueva infraestructura.



3.10 Instalación y ajustes de péndolas

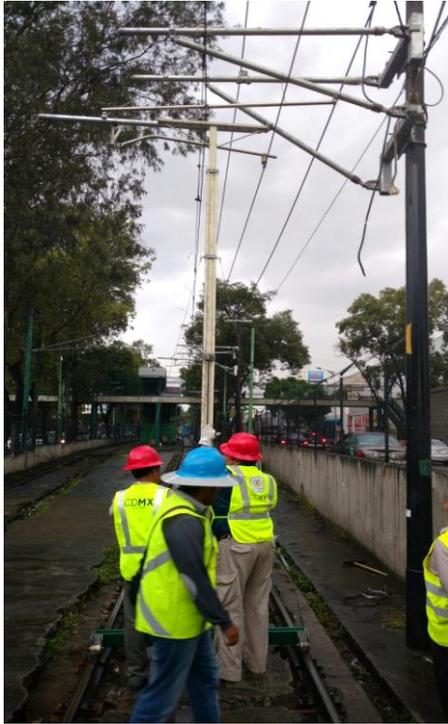
Las nuevas péndolas son equipotenciales, formadas por cable de cobre flexible para equipos aéreos de sección 16 mm^2 en Cu Mg DIN 43138. La distancia entre péndolas se encuentra entre 4.5 metros a 7.5 metros como máximo. Se logra un mejor comportamiento mecánico del conjunto, uniendo sustentador e hilo de contacto, mediante tornillería y grifas en ambos cables, evitando “puntos duros” en el hilo de contacto, siempre perjudiciales para la buena captación de corriente y origen de desgastes anormales. Con la sustitución de las péndolas se evitó también el desgaste prematuro del hilo de contacto.



3.11 Descentramiento y galibo de la infraestructura.

Durante la instalación de las péndolas se verifica el galibo de la infraestructura, propiamente del alambre trolley, posteriormente al realizar los ajustes de descentramiento de la infraestructura, nuevamente se verifica el galibo.

De acuerdo al proyecto se proporciono una amplitud de descentramiento (zig-zag) de +200 milímetros hasta -200 milímetros., lo que quiere decir que el alambre trolley no debe salir más de 20 centímetros hacia ambos lados del centro de vía, variando este en función de la recta o curva del trazo de la línea. El galibo de la infraestructura va desde 4.80 metros hasta 6.6 metros, esto derivado de las alturas de los puentes peatonales, vehiculares y el cruce vehicular a nivel, existentes en todo el tramo. El punto más bajo se tiene en un puente peatonal ubicado entre las estaciones las Torres y Ciudad Jardín y el más alto en el traslape con la catenaria del segundo tramo que se ubica a la altura de los talleres del depósito de Huipulco.



3.12 Pruebas de resistencia de aislamiento

Una vez instalado un tramo de infraestructura, y antes de conectarla a la línea de alimentación, se realizaron pruebas de resistencia de aislamiento del sistema, con objeto de verificar que todos los aisladores utilizados en la infraestructura estuvieran en perfectas condiciones de operación.



Para realizar esta prueba se utilizó un megger o megóhmetro que nos permite medir la resistencia de un aislamiento determinado. El nombre se debe a que la medida que se obtiene son $M\Omega$. Su principio de funcionamiento se basa en la ley de Ohm: $R= V/I$.

Se genera una tensión conocida y estable de entre 125 V y 10.000 V en corriente continua sobre el conductor cuyo aislamiento se quiere medir. Se mide la corriente que circula y se obtiene la resistencia según la fórmula antes indicada. El valor obtenido, indicado en $M\Omega$, indica la entereza de nuestro aislamiento. La corriente se denomina corriente de fuga.

Los valores obtenidos, sobrepasaron por mucho el valor de referencia que es de 2500 $M\Omega$, obteniendo valores de algunos cientos de $G\Omega$. Por lo que se dedujo que cada uno de los tramos (cantones) instalados se encontraban en perfectas condiciones de aislamiento.

3.13 Pruebas de puesta en servicio

De acuerdo a la disponibilidad de recursos, se realizó la adaptación de un pantógrafo a una unidad vehicular tipo bivial, con objeto de simular el paso del tren sobre la línea aérea de contacto, lo que permitió verificar tanto descentramiento, gálibos y posicionamiento de brazos de atirantado en recta y curva, verificando el libre paso del pantógrafo, así como el posible bamboleo propio del tren, se realizó una segunda adaptación a esta unidad bivial que además de permitir observar el funcionamiento del pantógrafo en la línea también permitió realizar ajustes mínimos en el momento sobre la misma unidad, sin la necesidad de energizar la infraestructura aérea, de la misma manera determinar la funcionalidad y de ser necesario realizar los ajustes en los traslapes de los diferentes cantones.



Como pruebas finales, se energizó la catenaria y con apoyo de uno o varios trenes, se verificó a diferentes velocidades el deslizamiento correcto del pantógrafo del tren sobre el hilo de contacto, en cada una de las ménsulas (puntos de fijación) así como el comportamiento de la misma derivado del muelle, así también se verificó el funcionamiento de los traslapes entre cantones y el funcionamiento de las ménsulas dobles; también se verificó el posicionamiento de la línea en estaciones, debido a que en ellas continuamente se registra un bamboleo del tren, propio del descenso y ascenso de pasaje.

Con apoyo de personal de mantenimiento eléctrico de tren ligero, se instaló un equipo graficador de voltajes de línea y se instaló una cámara de video en el techo de un tren, enfocando el pantógrafo del vehículo, con objeto de verificar dos cosas, el comportamiento de los voltajes a lo largo de toda la línea y el comportamiento del descentramiento de la línea en la superficie del pantógrafo, situación que permitió comprobar también la ausencia de algún arco eléctrico producto de la diferencia de potencial entre las diferentes secciones eléctricas. Siendo todas estas pruebas, satisfactorias para la puesta en servicio de la nueva infraestructura electromecánica tipo catenaria del Servicio de Tren Ligero en el tramo de Tasqueña a Estadio Azteca.



Los documentos que integran el proyecto ejecutivo de Ingeniería son los siguientes:

- Trazo esquemático general de la configuración del sistema.
- Trazo esquemático general de la energización del sistema.
- Trazo esquemático por cantón (12 cantones y 2 semicantones)
- Trazo esquemático de energización por cantón.
- Ingeniería de detalle de péndola.

- Distribución de péndolas.
- Ingeniería de detalle de sección tipo y cimentación.
- Ingeniería de detalle de hilo de contacto, cable para péndola y cable sustentador.
- Esquema de seccionamiento de compensación en 3 vanos.
- Arreglo tipo de ménsula a compresión.
- Arreglo tipo de ménsula a tensión.

Avance de los trabajos de sustitución de infraestructura catenaria.

PERIODO	ACTIVIDADES REALIZADA
Enero al 28 de agosto de 2016	Se realizaron actividades preliminares para la adecuación de la infraestructura de catenaria como son: levantamiento de la infraestructura de acuerdo a proyecto para la ubicación de las excavaciones, Trazo y todas las actividades explicadas anteriormente para la ejecución de excavaciones e instalación de postes
29 de agosto al 24 de septiembre de 2016	Se inicio con la sustitución de la infraestructura catenaria cantón 2 sobre Vía 1 ubicado desde el bajo puente vehicular de Tasqueña hasta la estación La Virgen, con una longitud estimada de 1200 metros lineales
26 de septiembre al 25 de diciembre de 2016	Se realizaron actividades preliminares para la adecuación de la infraestructura de catenaria completando el 100% de actividades de instalación de postes, desde la estación Tasqueña hasta la Estación Estadio Azteca por ambas vías, así como las adecuaciones necesarias para la instalación del cantón 3 y 4
26 de diciembre de 2016 al 7 de enero de 2017	Se continuó con la sustitución de la infraestructura catenaria del cantón 3 y 4 sobre Vía 1 ubicado desde la estación la Virgen hasta la Estación Registro Federal, con una longitud estimada de 2300 metros lineales.
9 de enero al 17 de marzo de 2017	Se realizan trabajos preparativos en el Sistema de Tracción Catenaria de la Línea del Tren Ligero para la modernización de los cantones restantes (11 cantones) sobre Vía 1 y Vía 2 ubicados desde la terminal Tasqueña hasta la Estación Estadio Azteca
18 de marzo al 1 de mayo de 2017	Se finaliza con trabajos de sustitución en el Sistema de Tracción Catenaria de la Línea del Tren Ligero cantones 1, 5, 6 y 7 que va desde la terminal Tasqueña a la estación Las Torres y de la estación Registro Federal a la estación Estadio Azteca por vía 1 y del cantón 1 al 7 que va de la estación Estadio Azteca a la terminal Tasqueña por vía 2, con una longitud estimada de 9100 metros lineales.

Conclusiones

Si tratamos de simplificar la explicación de en qué consiste una ejecución de proyecto diremos que se conforma de las siguientes etapas:

- **organizar**, los medios humanos y materiales del proyecto para poder asignar los recursos adecuados a cada tarea
- **controlar**, para asegurar la adecuada ejecución y el control del riesgo.
- **concluir**, para obtener la aceptación y hacer la entrega del producto o servicio.

Todo proyecto requiere de una etapa inicial de puesta en marcha que podemos asociar a la fase de Organización, con los objetivos generales de:

1. Definir un hito de comienzo de la ejecución (deberá estar reflejado en el cronograma o diagrama de Gantt)
2. Establecer una primera reunión del comité de seguimiento asignado al proyecto
3. Fijar la primera reunión o reunión de inicio de proyecto
4. Definir un manual de plan de proyecto (documento operativo de referencia)
5. Aprobar el plan de incorporación de recursos humanos y materiales.

Sin embargo y como paso previo, antes de llegar a este hito debemos haber conformado nuestro equipo de proyecto.

En definitiva, las personas son casi siempre las claves del éxito y del fracaso.

(Emilio Sanz, fecit.).

Gran parte del éxito obtenido durante este proyecto, fue el gran equipo de trabajo que se conformo para la ejecución del mismo, de la misma manera el apoyo que se recibió de las diferentes áreas del Organismo, como lo fue el área de Mantenimiento a Subestaciones quienes apoyaron en el retiro de infraestructura existente, personal de mantenimiento mecánico del tren ligero, quienes apoyaron en la fabricación de piezas, elementos y herrajes para fijación de la infraestructura, el área de transportación para la coordinación en el flujo del servicio y pruebas, y sobre todo el personal que formaba parte de la Subgerencia Mantenimiento a Instalaciones Eléctricas quien en todo momento apporto su esfuerzo y conocimientos para sacar el proyecto adelante.

Recuerdo que cuando se dio la primer noticia de que la Subgerencia a mi cargo sería la designada para implementar la nueva infraestructura de catenaria, algunos comentarios del personal adscrito al área, quienes ya contaban con más de 20 años de experiencia en las aéreas de mantenimiento a la infraestructura electromecánica para la tracción de trolebuses (línea elevada) y para la tracción del tren ligero (catenaria), daban a entender que existía una gran diferencia entre el mantenimiento a la catenaria y la construcción de un nuevo sistema de infraestructura catenaria, con nuevos y desconocidos elementos de sujeción y fijación y tensión.

Se notaba a simple vista el asombro y el miedo a la vez de realizar una actividad no desconocida pero si diferente, y sobre todo en una infraestructura de gran importancia para el Organismo, ya que de este modo de transporte se tiene una importante fuente de ingreso para dicho ente.

También resaltaban comentarios de estos compañeros donde recordaban y enaltecían a sus anteriores jefes de área quienes en algún momento habían realizado la conversión o adecuación de una línea antigua de tranvías a una línea para tren ligero, y la cual desde hace más de treinta años y a esa fecha todavía estaba proporcionando el servicio, sobre todo hacían mucho énfasis en un tramo de la línea de Tasqueña a Estadio Azteca, llamada curva de Puerto Rico ubicada a la salida de la estación Tasqueña, cuyas características de trazo se encontraban fuera de los rangos normales para la operación del tren ligero, y que en aquel momento fue un gran logro acondicionar los elementos electromecánicos para la operación de la catenaria.

Sin embargo, en cuanto se inicio con la explicación del proyecto, reuniones de trabajo, programas de trabajo y capacitación, nos empezamos a familiarizar con la nueva infraestructura y en cuanto se puso en marcha la construcción del primer cantón de la catenaria, se fueron dando las circunstancias y la confianza en todo el equipo para proponer mejores procesos y técnicas para cada una de las actividades, situación que propicio los acortamientos de programas de trabajo como se pudo observar en los avances posteriores.

La satisfacción personal que me deja este proyecto es que en cualquier momento de tu vida laboral profesional, se presentan retos que a primera vista pueden resultar inalcanzables o imposibles de lograr sin embargo, con entusiasmo, entrega y perseverancia nada es imposible.

Definitivamente la experiencia obtenida durante este proyecto fue la primera de mayor importancia para mi desarrollo profesional, ya que la satisfacción de ver en funcionamiento el tren ligero deslizándose sobre la infraestructura construida te hace crecer como persona en todos los aspectos, esta etapa me sirvió en todo momento para darme cuenta de que el formar un buen equipo de trabajo es la mejor herramienta para cualquier proyecto.

Cabe señalar que aunque la empresa a la que se le adjudico la compra de los equipos y materiales, también entrego el proyecto ejecutivo, este proyecto ejecutivo sufrió varios cambios, debido a que el trazo de la infraestructura de la vía se encontraba fuera de parámetros en varios puntos, por lo que fue necesario realizar adecuaciones en sitio como la sustitución de ménsulas en compresión, tensión o tangente, la adecuación de puntos de fijación del cable mensajero, adecuación de péndulos y sobre todo ajustes en los traslapes de línea o cantones, así mismo, hubo la necesidad de realizar adecuaciones de herrajes en puntos de fijación de retenidas de cable mensajero ya que muchas de ellas o casi todas estaban sujetas a estructuras de puentes peatonales y vehiculares, por lo que de acuerdo al trazo y galibo se fueron diseñando los elementos para satisfacer las necesidades de manera inmediata.

Algunos de los beneficios que se obtuvieron con la modernización de la infraestructura fueron los siguientes:

- Mantener la línea aérea de contacto en condiciones de funcionamiento, eficiente y con alto grado de seguridad.
- Elevar los niveles de seguridad, calidad y eficiencia del servicio, al mantener en óptimas condiciones de operación la flota vehicular del tren ligero.
- Reducción de los esfuerzos verticales que originan daños al material rodante.
- Disminución de los costos por mantenimiento correctivo de los equipos de la línea aérea de contacto.
- Salvaguardar la integridad humana, impulsando el desarrollo sustentable de un transporte público de vanguardia, seguro, confortable, eficiente, accesible, ya que le permite a los usuarios de las Delegaciones Coyoacán, Tlalpan y Xochimilco, trasladarse a sus centros de trabajo, escolares y de recreo en un transporte público ordenado, cómodo, limpio y seguro.
- Incremento de velocidad de las unidades con el cambio de infraestructura, siendo además entre otros los beneficios, la recuperación de usuarios que prefieren transportarse en el tren ligero por la diferencia de tarifas con otros tipos de transporte alternos.
- Asegurar una alimentación y distribución eléctrica uniforme, evitando arcos eléctricos entre el sistema catenaria y sistema de captación corriente del Tren Ligero
- Mejorar la imagen de este Organismo.

Con este proyecto, se proporcionó una mayor confiabilidad en ruta, que permitirá a los usuarios acortar sus tiempos de traslado por un menor tiempo de espera para abordar el tren ligero, además será posible realizar el mantenimiento preventivo programado en tiempo y forma para la catenaria del tren ligero, reduciendo así el riesgo de incidentes en la infraestructura electromecánica que afecta la imagen del Organismo.

Glosario

Con objeto de lograr un mejor entendimiento en las descripciones de las especificaciones, se da a continuación las definiciones de los términos más usados.

Catenaria: Se denomina de esta manera al conjunto de cables situados en forma longitudinal sobre la vía, soportado por postes, aisladores, soportes y herrajes que constituyen la línea aérea para el suministro de la energía eléctrica al Tren Ligero.

Hilo de contacto: Es el conductor elevado que por medio del contacto directo con el pantógrafo proporciona la energía eléctrica necesaria al Tren Ligero, es de cobre y está ranurado longitudinalmente.

Hilo mensajero o portador: Es el conductor elevado, que sirve como soporte para suspender el hilo de contacto por medio de péndulos, además de contribuir en la conducción de la corriente eléctrica.

Péndulos: Son los tirantes mediante los cuales se suspende y se soporta el hilo de contacto desde el hilo mensajero, además realizan función de conducción de corriente eléctrica al hilo de contacto.

Puentes alimentadores: Son los conductores eléctricos y herrajes que conectaran eléctricamente el hilo de contacto con el mensajero y/o portador.

Cable Alimentador: Es el conductor que transporta la energía desde la subestación eléctrica rectificadora (SER) hasta el sistema de la catenaria.

Zona de aparatos de cambio: Es la zona donde se instala un tramo de catenaria que permite la comunicación de dos vías diferentes y poder cambiar un Tren Ligero de una vía hacia la otra, sin estar conectadas eléctricamente.

Punto medio: Es el punto de fijación central que se hace en cada tramo de tensionado para equilibrar las fuerzas ejercidas por los contrapesos de la catenaria.

Traslape: Es el tramo de la catenaria donde se traslapan 2 corridas adyacentes para darle continuidad al sistema (hilo de contacto, mensajero y/o portador).

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.

Descentramiento: Desviación de la catenaria en el plano horizontal con respecto al centro de la vía.

Altura de catenaria: Distancia entre el hilo de contacto y el cable sustentador.

Pórtico rígido: Son las estructuras empleadas para soportar la catenaria cuando se tiene problemas de galibo al montar postes independientes, permitiendo el apoyo de varias catenarias sobre el mismo.

Pórtico flexible: Es el sistema de suspensión de catenaria por medio de cable tendido entre dos postes o estructuras.

Ménsula o cantiliver: son los herrajes que soportan los elementos de catenaria como son aisladores, cable mensajero o portador e hilo de contacto.

Seccionador de alimentación: Es la cuchilla que sirve para aislar mediante su apertura la catenaria de la subestación rectificadora puede ser manual o motorizado.

Seccionador de enlace: Es la cuchilla cuya función es conectar o desconectar dos zonas adyacentes de catenaria.

Aislador de sección: Es el dispositivo que se utiliza para mantener la continuidad mecánica de la catenaria sin que exista continuidad eléctrica entre dos zonas eléctricas adyacentes.

Cadenamiento: Es el Ordenamiento de las distancias entre diversos puntos de la línea en base a un origen convencional previamente establecido.

Corrida: Es el tramo de catenaria mecánicamente independiente que pueda estar tensionado por contrapesos en sus extremos o fijo a una retenida en uno de ellos.

Poste: Es la estructura en la cual se sujetan todos los herrajes de la catenaria.

Abreviaturas.

El siguiente listado muestra algunas de las abreviaturas más utilizadas en el sistema eléctrico y se ha desarrollado en base a la nomenclatura de los sistemas utilizados, que por tener nombres o identificaciones largas se ha preferido usar la para su mejor identificación.

- **S.E.R.** Subestación Eléctrica Rectificadora.
- **P.C.C.** Puesto Central de Control.
- **C.A.** Corriente Alterna.
- **C.C.** Corriente Continua.
- **S.E.T.** Sistema Eléctrico de Tracción.
- **B.T.** Baja Tensión.
- **M.T.** Mediana Tensión.
- **A.T.** Alta Tensión.
- **C.F.E.** Comisión Federal de Electricidad.
- **VIA-1.** Dirección en el sentido de avance del cadenamiento.
- **VÍA-2.** Dirección en el sentido contrario al avance del cadenamiento.
- **Vn.** Voltaje Nominal.
- **Veff.** Voltaje Eficaz.

Bibliografía.

- Museo de Servicio de Transportes Eléctricos de la CDMX
- Montesinos Ortuño, Jesús / Carmona Suárez, Manuel (2002), *Tecnología de catenaria*.
- Carmona Suárez, Manuel / Montesinos Ortuño, Jesús (2013), *Sistemas de alimentación a la tracción ferroviaria*.
- Kiessling / Puschmann / Schmieder / Vega (2008), *Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados: Planificación, Diseño, Instalación y Mantenimiento*.