



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

## **ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**

### **TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTAN:

**NARCISO PERALTA BARBOSA**

**IGNACIO MARCO ANTONIO VERDURA URIBE**

DIRECTOR DE TESIS:

**ING. JUAN JOSÉ LÓPEZ MÁRQUEZ**

**Cd. UNIVERSITARIA, D.F., MAYO 2012**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**

---



A las hermosas y bellas personas que siempre me brindan su apoyo y respaldo de manera incondicional para seguir adelante, con todo el corazón.

Gracias PADRES

Muy en especial y con todo mi amor y respeto a mi MADRE, (Q.E.D.P.) por el gran amor y la devoción que tuvo siempre para sus hijos, por el apoyo ilimitado e incondicional que siempre me dio, por tener siempre la fortaleza para guiarme por la fe que siempre me tuvo para continuar y llegar a culminar esta parte tan importante de mi vida. Este examen te lo dedico con todo mi corazón.

Gracias MAMA estas siempre en mi pensamiento

Al creador, ser divino que nos permitió la vida para llevar a cabo este logro y continuar siendo protagonistas ahora de nuestra vida como profesionistas.

Gracias DIOS

A los que con una sonrisa o palabra de motivación también me animaron a concluir esta aventura.

Gracias HERMANO

A todos aquellos que contribuyeron en mi formación académica y profesional: a mis profesores, que compartieron conmigo sus conocimientos a lo largo de mi educación universitaria.

Gracias PROFESORES

---



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**

---



Agradezco de todo corazón a Dios que me ha heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo "sus padres", a mis Padres por que ellos me concedieron la vida. Así como a mis hermanos, a mi esposa, mi hijo y a todas las personas que directa o indirectamente han tenido a bien ayudarme en mi formación como ser humano y profesional.

Gracias por ayudarme cada día a cruzar con firmeza el camino de la superación, por que con su apoyo, consejos y aliento hoy he logrado uno de mis más grandes anhelos, la culminación de mi carrera profesional y el hacerlos sentirse orgullosos de esta persona que tanto los ama. Gracias por darme la herencia más valiosa que pudiera recibir por parte de ustedes.

Quiero agradecer especialmente a mi Madre, por que en los momentos más oscuros de mi vida, cuando perdí el rumbo y la fe en mi mismo, ella siempre estuvo junto a mí para apoyarme y guiarme por el camino correcto.

Jamás encontraré la forma de agradecerles su constante apoyo y confianza, sólo espero que comprendan que mis ideales, esfuerzos y logros han sido también suyos e inspirados en ustedes.

N.P.B.

---



# ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



## ÍNDICE

Resumen

Objetivo

Introducción

### 1. Marco Histórico

1.1. Historia del Transporte Eléctrico Mexicano

1.1.1. Tipos de Transporte Eléctrico en México

1.2. Tipos de Alimentación Eléctrica en el Transporte

### 2. Subestación Rectificadora

2.1. Definición.

2.2. Tipos de Conversión de c.a. a c.d.

2.2.1. Rectificadores Monofásicos de Media Onda

2.2.2. Parámetros de Rendimiento

2.2.3. Rectificadores Monofásicos de Onda Completa

2.2.4. Rectificador Monofásico de Onda Completa con Carga RL

2.2.5. Rectificadores Multifase en Estrella

2.2.6. Rectificadores Trifásicos en Puente

2.3. Tipos de Rectificación usados en el Transporte Eléctrico Mexicano

2.3.1. Rectificación en el Sistema de Transporte Colectivo (S.T.C.) “Metro”

2.3.2. Rectificación en el Servicio de Transportes Eléctricos del D.F. (S.T.E.) “Trolebús y Tren Ligero”

2.4. Equipos Principales de una Subestación Rectificadora (S.T.E.)

2.4.1. Diagrama de una Subestación Eléctrica Rectificadora

2.4.2. Equipos Principales de una Subestación Eléctrica Rectificadora

2.4.3. Gabinete de Alta Tensión

2.4.4. Acometida de C.F.E. 23 kVca (Caja de Medición)

2.4.5. Cuchillas de Operación 23 kVca (89)

2.4.6. Interruptor UR-52 (52)

2.4.7. Transformador de Estación. (T.E.)

2.4.8. Transformador de Potencia. (T.P.)

2.4.9. Banco Rectificador

2.4.10. Interruptor Ultra Rápido UR-54 (54)

2.4.11. Seccionadores Manuales (89N Y 89P)

2.4.12. Interruptores Derivados (Línea 11, 12, 21, 22 y 31)



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



- 2.4.13. Banco de Baterías y Cargador de Baterías
- 2.4.14. Gabinete de Control
- 2.4.15. Sistema de Mando Centralizado
- 2.4.16. Diagrama Esquemático del Sistema de Mando Centralizado
- 2.4.17. UPS (Ondulador)
- 2.5. Tendencias de la Rectificación del Transporte Eléctrico Mexicano
  - 2.5.1. Válvulas de Tiristores
  - 2.5.2. Tiristores LTT (Light Tiggered Thyristor)
  - 2.5.3. Tiristores ETT (Electrical Tiggered Thyristor)
  - 2.5.4. HVDC basada en VSCs o “HVDC Light”
  - 2.5.5. Aplicaciones
- 3. Esquema de Protección en Subestaciones Eléctricas Rectificadoras
  - 3.1. Definición
    - 3.1.1. Objetivos de un Sistema de Protección Eficiente contra Disturbios Eléctricos
    - 3.1.2. Tipos y Causas de Fallas
  - 3.2. Tipos de Protecciones
  - 3.3. Esquema de Protección utilizados en el Servicio de Transporte Eléctrico del D.F.
- 4. Implementación de la Subestación Rectificadora “Doctor Pascua”
  - 4.1. Antecedentes
    - 4.1.1. Corredor Cero Emisiones
  - 4.2. La Red Eléctrica del Distrito Federal
  - 4.3. Acometidas Principales de C.F.E
  - 4.4. Capacidad Instalada en el D.F.
    - 4.4.1. Situación actual del Consumo Energético en el G.D.F.
  - 4.5. Capacidad solicitada al proyecto “Corredor Cero Emisiones”
  - 4.6. Importancia de la Subestación Rectificadora “Doctor Pascua”
- 5. Resultados
  - 5.1. Socioeconómicos
  - 5.2. Técnicos
  - 5.3. Datos de la Subestación Rectificadora
  - 5.4. Los 5 Casos Diferentes de los Interruptores Derivados
  - 5.5. Consumo de los Trolebuses en el Corredor Cero Emisiones “Eje Central”
  - 5.6. Caída de Tensión en el Cable Alimentador de 500 kCM
  - 5.7. Caída de Tensión en el Cable Alimentador de 1000 kCM
  - 5.8. Caída de Tensión en el Hilo de Contacto de 2/0 AWG



# ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



Conclusiones

Bibliografía



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### Resumen

La propuesta de esta tesis es mostrar la importancia de la implementación de la Subestación Eléctrica Rectificadora Doctor Pascua, en el Corredor Cero Emisiones para corregir los problemas de falta de continuidad en el servicio de transporte derivado principalmente por la constante apertura de los interruptores, así como de la falta de alimentación eléctrica por parte de la empresa suministradora, en este caso CFE y por la existencia de bajo voltaje en las secciones que alimentan las Subestaciones de Lázaro Cárdenas y Jaime Nuno cuya separación es considerable por lo que al existir varias unidades en esta zona, se presenta el bajo voltaje generando por este motivo la suspensión o retraso de el servicio.

Al poner en marcha la Subestación Eléctrica Rectificadora Doctor Pascua, se corrigió considerablemente el retraso de las unidades y la continuidad del servicio. Esto se logra cuando por algún motivo la compañía suministradora CFE, tiene algún problema y no alimenta alguna de las Subestaciones antes mencionadas, en ese momento se interconecta la “nueva Subestación” y se proporciona voltaje a las unidades evitando así su demora, otro caso que se corrigió es cuando se tiene un gran número de unidades en dichas secciones y se presenta un bajo voltaje, por sobre-carga. Al incorporar la Subestación Eléctrica Rectificadora Doctor Pascua las secciones se redujeron y los interruptores soportan perfectamente la demanda de corriente y así se continúa con el servicio.

Por último y no por ello menos importante Transportación hizo una Terminal en la Subestación Eléctrica Rectificadora Doctor Pascua, la cual proporciona de esta manera la posibilidad de aumentar la cantidad de trolebuses en horas pico o de alta demanda en dicha zona.





## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### Introducción

Hoy en día, hablar del Servicio de Transportes Eléctricos del D.F. es garantizar el servicio de transporte público para satisfacer las necesidades de la población en general, resulta bastante complicado, debido al constante crecimiento de la población y por lo tanto de la demanda. Es por esto que se buscan constantemente soluciones para evitar los retrasos del servicio derivado de la interrupción de la alimentación eléctrica a las unidades.

El Corredor Cero Emisiones, está alimentado por una red de subestaciones que rectifican y transmiten voltaje en c.d., estas subestaciones se encuentran repartidas a lo largo del trayecto proporcionando el voltaje necesario para la tracción de los trolebuses. En ocasiones se presentan problemas de alimentación en la línea por diversos motivos, como falta de suministro eléctrico por parte de CFE, bajo voltaje o por problemas generados por la cantidad de automóviles que circulan en el Eje Central Lázaro Cárdenas sin respetar el confinamiento de los Trolebuses.

Para ello, la necesidad de implementar medidas a tiempo, a partir de analizar y corregir las condiciones particulares del recorrido de la línea A o “Corredor Cero Emisiones” en el intervalo que comprende desde la Subestación Eléctrica Rectificadora **Lázaro Cárdenas** hasta la Subestación Eléctrica Rectificadora **Jaime Nuno**. Siendo esta zona donde con mayor frecuencia se presenta la caída de voltaje principalmente.

El punto primordial para la puesta en marcha de una Subestación Eléctrica Rectificadora fue solucionar la interrupción constante del servicio en esta zona por las constantes fallas en el suministro eléctrico, el exceso de unidades las cuales provocaban un bajo voltaje y como resultado la no tracción de las demás unidades.

Es por esto que la puesta en marcha de esta Subestación Eléctrica Rectificadora la cual se denomina “Doctor Pascua” nos proporciona un reforzamiento en la alimentación cuando exista el problema de bajo voltaje y de alimentación cuando por algún motivo CFE no alimente cualquiera de las 2 subestaciones antes mencionadas.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### Objetivo

- 1.- Conocer la evolución que ha sufrido el Transporte Eléctrico en el Distrito Federal, así como darnos cuenta de la importancia que tiene este medio, en la vida cotidiana.
- 2.- Realizar el análisis técnico considerando los beneficios que la puesta en marcha de la Subestación Eléctrica Rectificadora en el Corredor Cero Emisiones tendrá y así proporcionar la continuidad en el servicio.
- 3.- Presentar la importancia de la implementación de la Subestación Eléctrica Rectificadora Doctor Pascua en el Corredor Cero Emisiones “Eje Central Lázaro Cárdenas” para mejorar el servicio que actualmente se presta a la población del D.F., evitando de esta manera la interrupción en el servicio o tracción de los Trolebuses.
- 4.- Participar de manera activa tanto analíticamente como físicamente en la puesta en marcha y a punto de la Subestación Eléctrica Rectificadora “Doctor Pascua.”



# ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



## 1. Marco Histórico

En este capítulo conoceremos brevemente la evolución y cambios que ha sufrido el Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal a lo largo de los años hasta la actualidad. Así como las diferentes Líneas que conforman la Red de Trolebuses, sus dos Corredores Cero Emisiones y Tren Ligero.

### 1.1. Historia del Transporte Eléctrico Mexicano

Desde fines del siglo pasado se ha dado una gran importancia al mejoramiento continuo del transporte público urbano en la Ciudad de México; el primer intento que puede considerarse significativo fue aquel que señaló el cambio de la tracción animal por la eléctrica autorizada a través del acuerdo del 20 de febrero de 1881 expedido por el ayuntamiento que especificó:

*Única – dígase al administrador general de la Compañía de Ferrocarriles del Distrito Federal que el Ayuntamiento concede a esa Compañía autorización para que adopte la tracción eléctrica y para que en las calles pueda sostener, por medio de ménsula y columnas de fierro los conductores eléctrico.*

*Limitando por ahora esa autorización a una sola vía, y reservándose el Ayuntamiento la facultad de fijar las condiciones definitivas para permitir el empleo de la tracción eléctrica y aún para negarlo por completo después de que se hayan hecho los ensayos prevenidos por la Secretaría de Fomento.*

El 14 de abril de 1896, que la Compañía Limitada de los Ferrocarriles del Distrito, pidió permiso al Ayuntamiento para cambiar en algunas de sus líneas, la tracción animal por la eléctrica.

Por ello se realizaron diversos estudios acerca de las ventajas e inconvenientes que a la Ciudad podría ocasionar el cambio de tracción, habiéndose encontrado que además de la mejor conservación de pavimentos y mayor limpieza en las calles, los viajes se efectuarían en menor tiempo y se fraccionarían los trenes de modo que pudieran salir con más frecuencia lo que representaba sin duda una gran ventaja para el público.

Así quedaron planteados los más firmes propósitos para adoptar la tracción eléctrica, sin embargo fue hasta el 15 de enero de 1900 que se concretizaron las acciones para explotar este tipo de tracción, al inaugurarse la línea de Chapultepec a Tacubaya y el día 16 se inició el servicio para el público.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



A partir del 1º de marzo de 1901 la Compañía Limitada de Tranvías Eléctricos de México se hizo cargo de la explotación que en diversas rutas realizaba la Compañía de Ferrocarriles del Distrito Federal, la cual se consolidó en 1907 y adquirió vigor el desarrollo de su red en toda la ciudad de México.

La operación como vía doble del tramo San Antonio Abad a Churubusco se inicio en agosto de 1905, la siguiente etapa Churubusco a Huipulco se completo hasta junio de 1910. El 1º de junio de 1906 nació la compañía de Tranvías de México, el 23 de diciembre de 1924 se conforma la Alianza de Tranviarios de México.

Desde su nacimiento, los tranvías eléctricos de la Ciudad de México, se destacaron como un Sistema de vanguardia tecnológica en varios sentidos. A partir del Tranvía serie "Cero" (Figura.1-1), (Tranvía que se encuentra en el museo del tranvía en las oficinas centrales del Servicio de Transportes Eléctricos del D.F.) es el único sobreviviente.

Dentro de este museo se exhiben trolebuses y tranvías antiguos, que sin duda fueron piezas importantes en la evolución de nuestra ciudad, destacando el tranvía "0" (conocido popularmente como "El Cerito"), ultimo testigo de estos 107 años de servicio. Este tranvía fue fabricado en 1898 y ensamblado en los talleres del desaparecido depósito de Indianilla, ubicado en la Colonia Doctores, dando fin a sus recorridos en 1990.



Figura. 1-1 Tranvía serie Cero.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Se difundió el uso de carrocerías más anchas con filas de asientos dobles; se experimentó con carros de 72 asientos acomodados en dos pisos, se implantó el uso de espejos retrovisores, el despacho centralizado de corridas, el sistema de tarifa múltiple para uso en carros de clase mixta (Figura. 1-2) que permitía una diversificación de ingresos y servicios: fúnebres, de presidiarios, excursiones privadas y turísticas, trenes de carga por horario o contratados y hasta la circulación de un tranvía presidencial.



Figura. 1-2 Tranvía de usos múltiples.

La Cía. de Tranvías de México con una red de 225 kms. de vías para 1909 (Figura. 1-3), vio por terminada la primera etapa de la hidroeléctrica de Necaxa, quedando así por los años subsiguientes donde se cumplió todo lo programado para antes de 1913.



Figura. 1-3 Compañía de Tranvías de México.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Pero proyectos a terminar en 1918 como las líneas de Puebla, en Tulyehualco, y Toluca, la Venta, quedaron suspendidas; al fragor de estas obras se experimentó con innovaciones con el uso de concreto en durmientes o losas para la vía por ejemplo de 1,435 mm de ancho. Para 1922 su servicio era el de mayor difusión para el traslado de pasajeros, carga, funerario, etc., estaba a la vanguardia de la publicidad (Figura. 1-4) ya que en la mayoría de las unidades se promocionaban diferentes empresas.



Figura. 1-4 Tranvía con publicidad de diferentes empresas.

Entre 1920 y 1945, diversos conflictos obrero-patronales culminaron con la declaración del Presidente Ávila Camacho hiciera en el informe de septiembre de 1946, como consecuencia de que la Compañía de Tranvías de México no cumplió con todas las obligaciones que le imponían las concesiones; el Gobierno, después de recibir sus defensas, las declaró caducas y estaba por resolver la organización que se daría a tan importante servicio y fue así que por decreto del 31 de diciembre de 1946 se dio nacimiento a la Institución Descentralizada de **Transporte Eléctrico del Distrito Federal**.

En octubre de 1952, el Departamento del Distrito Federal adquiere todos los bienes de las empresas: Compañía de Tranvías de México, S.A., Compañía Limitada de Tranvías de México y Compañía de Ferrocarriles del Distrito Federal, las cuales pasaron a formar parte del patrimonio del **Organismo Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal**. Consolidando esta acción el 30 de diciembre de 1955 el Congreso de la Unión decreta la Ley de la Institución Descentralizada de servicio Público "Servicio de Transportes Eléctricos del D.F." publicada en el Diario Oficial del 4 de enero de 1956, derogando el ordenamiento del año 1946.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 1.1.1. Tipos de Transporte Eléctrico en México

#### Los Años 50

Una vez creado el Servicio de Transportes Eléctricos se iniciaron los planes para reestructurar y renovar el servicio. La gran mayoría del material rodante había rebasado su vida útil y era necesario reemplazarlo. Las necesidades de una urbe en constante crecimiento como la Ciudad de México exigían que los nuevos carros cubrieran los niveles óptimos de capacidad, velocidad, economía de mantenimiento, servicio rápido y eficiencia. Un primer esfuerzo para poner a tono el nivel de los transportes de tracción eléctrica fue la adquisición de un nuevo tipo de tranvía, construido en los Estados Unidos, este vehículo ofrecía un diseño moderno y aerodinámico adaptado para el servicio urbano de transporte eléctrico para pasajeros, contaba con un sistema de puertas automáticas, podría llevar hasta cien personas y era notablemente mas cómodo y silencioso que los tranvías convencionales. El tranvía estadounidense dio servicio en la ciudad hasta la década de los ochenta y fue el antecedente inmediato del moderno tren ligero. Sin embargo, la base de la renovación del Servicio de Transporte Eléctrico (STE) y que constituiría el símbolo característico de esta institución, fue el Trolebús. Las primeras veinte unidades con las que contó la Ciudad de México fueron del modelo Westram (Figura. 1-5) compradas en 1945 a una empresa en Nueva York y armadas en los talleres de Indianilla durante 1946.



Figura. 1-5 Trolebús modelo Westram.

Para las primeras pruebas se levanto un circuito experimental entre las calles de Villalongin y Sullivan. Sin embargo, fue hasta el viernes 9 de marzo de 1951 cuando se inauguro el servicio formal en la línea Tacuba – Calzada de Tlalpan. En poco tiempo, el trolebús demostró sus múltiples ventajas: mayor libertad de movimiento, ya que prescindía de las vías férreas; sus neumáticos lo hacían un vehículo silencioso, rápido y confiable.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Durante los años 50s y 60s se adquirieron diferentes tipos de trolebuses. De Italia se compraron trolebuses Alfa Romeo y Casaro, (Figura. 1-6) de Estados Unidos.



Figura. 1-6 Trolebús Alfa Romeo.

Marmon Herrington, Brill americano, (Figura. 1-7) Pullman Standard y Saint Louis; de Canadá, Brill Canadiense.



Figura. 1-7 Trolebús Marmon Herrington

### Los Años 60

En 1965 el Servicio de Transportes Eléctricos del D. F. contaba con un parque vehicular de 173 trolebuses y 170 km de línea elevada.

### Cambio de imagen, década de los 70

Para el año de 1970 el Organismo tenía un parque vehicular de 577 trolebuses, de los cuales sólo 230 unidades prestaban el servicio. Fue necesario a principio de 1971, realizar un programa de rehabilitación, restauración y mantenimiento de 550 trolebuses. Para diciembre de 1972 se pusieron en operación 311 unidades restauradas cifra que ascendió para fines del año siguiente a 505 unidades.





## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



En 1974 se rehabilitaron 45 trolebuses más, concluyéndose así el plan funcional de 550 unidades y consolidándose una nueva imagen del transporte urbano para beneficio de miles de usuarios en nuestra Ciudad.

### **Puesta en servicio de 10 nuevos trolebuses.**

“Se pusieron en servicio en el Eje Vial Lázaro Cárdenas, (Figura. 1-8) los 10 primeros trolebuses nuevos fabricados en México por Mexicana de Autobuses, S.A. (MASA) y es altamente satisfactorio para nosotros poderles informar, que están operando con toda eficiencia y seguridad, y que las pequeñas fallas técnicas de esta nueva experiencia, están siendo corregidas sobre la marcha y con prontitud por nuestro equipo de técnicos, apoyados por los técnicos de Mexicana de Autobuses, S.A. y por técnicos japoneses que intervienen en el programa. El 10 de abril del año de 1980, constituye ya una fecha histórica en el derrotero de Transportes Eléctricos y de la industria mexicana”.



Figura. 1-8 Trolebús en el Eje Central Lázaro Cárdenas.

Durante el año de 1980 se recibieron 100 trolebuses nuevos MASA-Somex. Para ese año STE tenía un total de 758 unidades. En el periodo de 1980 a 1985 se fabricaron aproximadamente 420 trolebuses MASA-Somex.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### Restauración integral de 241 trolebuses

El 4 de marzo de 1980, se iniciaron los trabajos de restauración de las carrocerías e interiores, así como de los componentes mecánicos y eléctricos de 241 trolebuses que faltaban restaurar, en ese momento la imagen cambia a trolebuses de color blanco, como se puede apreciar en la (Figura. 1-9).



Figura. 1-9 Trolebús MASA-Somex.

En 1985 se acoplaron dos unidades MASA-Somex, después de la evaluación del prototipo, el STE aprueba la conversión de 67 unidades, conocidas como trolebuses articulados. Para el año de 1986, el STE contaba con un parque vehicular de 1,045 trolebuses de los cuales 700 estaban en condiciones de operar y 345 detenidos por falta de refacciones.

### Desarrollo tecnológico, década de los 90

Al principio de los 90s fue necesario hacer una rehabilitación del parque vehicular adquirido en años anteriores. Para el año 1991 se pusieron en servicio, en los tres Ejes Viales más importantes de la Ciudad de México, 80 unidades, 50 Marmon Herrington. En 1996, STE adquirió un equipo de tracción con tecnología de punta (inversor de corriente alterna VVVF) instalado en una carrocería nueva, trolebús 4206. Para el mes de marzo del año 1997, se pusieron en operación 5 trolebuses New Flyer serie 3200, adaptados para prestar servicio especial a personas con alguna discapacidad y de la tercera edad. Llegaron a STE, en el año de 1997, los primeros 50 trolebuses de la serie 9700, entrando en operación en el mes de febrero de 1998. Estas unidades cuentan con equipo de tracción de corriente alterna VVVF, utilizando módulos inteligentes IPM's; únicos en su tipo.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Fue en el mes de diciembre, también de 1998, cuando se pusieron en servicio otros 75 nuevos trolebuses. Los últimos 75 trolebuses de la serie 9800, comenzaron a operar en el mes de octubre de 1999 (Figura. 1-10).



Figura. 1-10 Trolebús serie 9800.

Estos nuevos trolebuses, con avances tecnológicos y diseños vanguardistas tienen un alto grado de confort y seguridad para el usuario, fueron fabricados conjuntamente por la empresa japonesa Mitsubishi Electric Co., fabricante del sistema tracción frenado y Mexicana de Autobuses, S.A., fabricó la carrocería.

### **Año 2001, Parque vehicular**

STE tiene un parque vehicular de 489 trolebuses: 5 Marmon Herrington, serie 5500 y 5700; 9 New Flyer, serie 3200; 53 MASA-Toshiba, serie 4200; 147 MASA-Toshiba, serie 4300 y 4400; 45 MASA- Mitsubishi, serie 4700; 30 MASA-Kiepe, serie 7000 y 200 MASA-Mitsubishi, series 9700 y 9800.

### **1.2. Tipos de alimentación eléctrica en el Transporte**

El 15 de enero de 1900 se inauguró la primera línea de transporte eléctrico, que desplazaría a los llamados tranvías de mulitas. Al día siguiente, el servicio fue puesto a disposición del público, acto con el que se inició una época de renovación y modernidad sin precedentes para los mexicanos. La misión del tranvía era unir los alrededores de la Capital con la zona central, y así equiparar a la Ciudad de México con las grandes urbes del mundo. Durante los meses siguientes, las líneas crecieron y aumentaron las rutas que conectaron el corazón de la ciudad con numerosas zonas urbanas y suburbanas. Los servicios disponibles iban desde el transporte de carga o de mercancías hasta el traslado de presos, los paseos turísticos o los servicios funerarios. Para abastecer a la cada vez más extensa red de transporte eléctrico, durante la primera década del siglo XX se construyeron subestaciones generadoras de corriente directa, como La Nana, obra del arquitecto Genaro Alcorta que se inauguró en 1908. Así se logró dar servicio a todas las rutas y afrontar las condiciones que imponía el crecimiento de la ciudad.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Estas subestaciones generadoras, ubicadas en posiciones estratégicas por la Compañía Limitada de Tranvías Eléctricos de México, suministraron durante años el voltaje adecuado (600 volts de corriente directa) para poner en marcha el sistema tranviario.

El Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal es un Organismo Descentralizado que tiene como propósito fundamental el traslado de personas por medio de transportes que utilizan la energía eléctrica como fuente principal de alimentación para su funcionamiento, contribuyendo así al mejoramiento del medio ambiente. El servicio se presta en dos modalidades: la primera en una Red de líneas de Trolebuses por diversas zonas del Distrito Federal y en la zona Sur se cuenta con la Línea del Tren Ligero.

### Líneas de Trolebuses

La Red de Servicio cuenta con 10 Líneas de Trolebuses (Figura. 1-11) con una longitud de 260.97 Kilómetros, la flota vehicular programada en la Red es de 189 trolebuses para el periodo de enero - mayo y 300 para junio - diciembre, los cuales operan a un intervalo de paso promedio de 6.0 minutos, todas dentro del Distrito Federal:

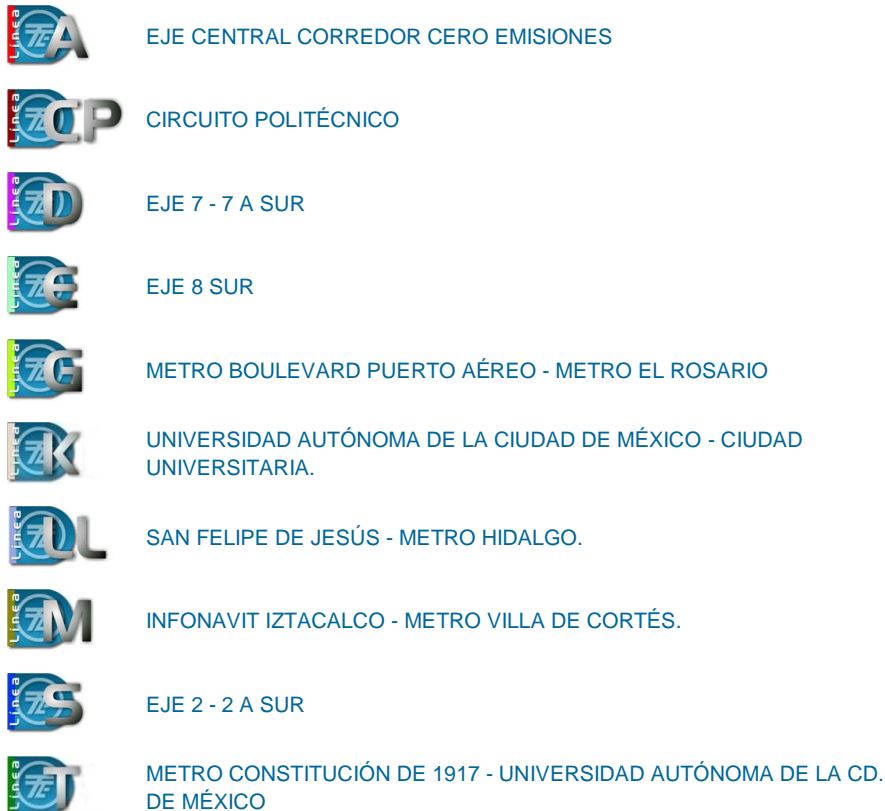


Figura. 1-11 Líneas de la Red de Trolebuses.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### Línea de Tren ligero

El Tren Ligero forma parte de la red del Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal, el cual opera en el Sur de la Ciudad de México prestando un servicio de transporte no contaminante a la población de las Delegaciones Coyoacán, Tlalpan y Xochimilco, brindando su servicio a través de 16 estaciones y 2 terminales (Figura. 1-12), mediante 16 trenes dobles acoplados con doble cabina de mando con capacidad máxima de 374 pasajeros por unidad. Las terminales son Taxqueña y Xochimilco, las 16 estaciones con las que cuenta la ruta del tren ligero son: Las Torres, Estadio Azteca, Ciudad Jardín, Huipulco, La Virgen, Xomali, Xotepingo, Periférico, Nezahualpilli, Tepepan, Registro Federal, La Noria, Textitlan, Huichapan, El Vergel, Francisco Gotilla y Terminal de Xochimilco.



Figura. 1-12 Estaciones del tren Ligero.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



Las Subestaciones Eléctricas Rectificadoras, son las encargadas de suministrar la alimentación tanto a los Trolebuses como al Tren Ligero, para tal acción éstas se encuentran distribuidas de manera estratégica a lo largo y ancho del Distrito Federal, dicho suministro se realiza reduciendo y transformando el voltaje entregado por CFE, Zona de Transmisión Metropolitana, de 23,000 Volts c.a. a 600 Volts c.d. para Trolebús y 750 Volts c.d. para Tren Ligero; así mismo, lo distribuye por las diferentes rutas o líneas a través de la línea elevada y un sistema de Catenaria, dividido en secciones.

Las Subestaciones Eléctricas Rectificadoras que conforman la red que alimenta la línea del tren ligero cuya longitud es de 28.8 Km.son: (ver Tabla 1-1).

Nº	Subestación Rectificadora	Capacidad (KW)	Líneas que alimentan eléctricamente
1	Finisterre	2,000	Tren Ligero (LI)
2	La Virgen	2,000	Tren Ligero (LI)
3	Registro Federal	2,000	Tren Ligero (LI)
4	El Vergel	2,000	Tren Ligero (LI)
5	Xomali	2,000	Tren Ligero (LI)
6	La Noria	2,000	Tren Ligero (LI)
7	Xochimilco	2,000	Tren Ligero (LI)

Tabla. 1-1 Subestaciones Rectificadoras que alimentan al Tren Ligero.

La longitud total de la catenaria para Trolebús es de 412.8 Km por lo que contamos con un mayor número de Subestaciones Eléctricas Rectificadoras las cuales dividimos en Corredor Cero Emisiones 1 Eje Central Lázaro Cárdenas (tabla 1-2) se incluye la subestación Dr. Pascua.

Nº	Subestación Rectificadora	Capacidad (KW)	Líneas que alimentan eléctricamente
1	Potrero	2,000	Cero Emisiones 1
2	Beethoven	2,000	Cero Emisiones 1
3	Jaime Nuno	2,000	Cero Emisiones 1
4	<b>Dr. Pascua</b>	<b>2,000</b>	<b>Cero Emisiones 1</b>
5	Lázaro Cárdenas	2,000	Cero Emisiones 1
6	Xola	2,000	Cero Emisiones 1
7	Panamá	2,000	Cero Emisiones 1
8	Tasqueña	2,000	Cero Emisiones 1

Tabla 1-2 Corredor Cero Emisiones Eje Central Lázaro Cárdenas.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



En Corredor Cero Emisiones 2 que corre a lo largo del eje 2 – 2A, también tiene subestaciones alimentadoras como se ve en la Tabla 1-3.

Nº	Subestación Rectificadora	Capacidad (KW)	Líneas de Trolebuses que alimentan eléctricamente
1	Acapulco	2,000	Eje 2 -2A
2	Balbuena	2,000	Eje 2 -2A
3	Cafetal	2,000	Eje 2 -2A
4	Doctores	2,000	Eje 2 -2A

Tabla 1-3 Subestaciones Corredor Cero Emisiones 2.

Por ultimo tenemos la tabla que contiene el resto de las subestaciones de las líneas restantes donde corren los trolebuses (Tabla 1-4).

Nº	Subestación Rectificadora	Capacidad (KW)	Líneas de Trolebuses que alimentan eléctricamente
1	Azcapotzalco	2,000	G, I
2	Central de Abasto	2,000	Q, S
3	Colegio Salesiano	2,000	I
4	Ciudad Universitaria	2,000	K1
5	Canal de Garay	2,000	T1
6	Centro Médico	2,000	S
7	Culhuacán	2,000	K1, R1, R2
8	Eduardo Molina	2,000	F, DM4, G
9	El Coyol	2,000	F, DM4, LL
10	El Rosario	2,000	G, I
11	Ermita	2,000	E, Q
12	Estrella	2,000	K1
13	Hangares	2,000	G, Q
14	Iztacalco	2,000	Ñ, M
15	La Villa	2,000	LL
16	Mexicaltzingo	2,000	D, E, R1, R2
17	Oriental	2,000	Q
18	San Borja	2,000	O
19	Politécnico	2,000	Circuito Politécnico
20	San Juan de Aragón	2,000	G, F, DM4, LL
21	Santa Cruz	2,000	D
22	San Andrés Tetepilco	2,000	D, E
23	San Felipe de Jesús	2,000	LL
24	Trajineras	2,000	M, O
25	Vicente Guerrero	2,000	E
26	Venados	2,000	K1, T1

Tabla 1-4 Subestaciones que alimentan diferentes líneas de Trolebús.

## 2. Subestación Rectificadora

En este capítulo hablaremos acerca de los diferentes tipos de rectificación, así como de sus tendencias y del equipo principal de una Subestación Rectificadora.

### 2.1. Definición

Una Subestación Rectificadora es un circuito que convierte una señal de corriente alterna en una señal de corriente directa, está formada básicamente por una unidad de transformación en corriente alterna y de una unidad de rectificación de estado sólido, silicio de alta potencia.

### 2.2. Tipos de Conversión de c.a. a c.d

- Rectificadores Monofásicos de Media Onda.
- Rectificadores Monofásicos de Onda Completa.
- Rectificadores Multifase en estrella.
- Rectificadores Triásicos en Puente.

#### 2.2.1. Rectificadores Monofásicos de Media Onda

Los diodos se usan extensamente en los rectificadores. Un rectificador monofásico de media onda es el tipo más sencillo, pero no se utiliza normalmente en aplicaciones industriales. Sin embargo, resulta útil para comprender el principio de la operación de los rectificadores. En la Figura. 2-1a aparece el diagrama de circuito con una carga resistiva. Durante el medio ciclo positivo de entrada, el diodo  $D_1$  conduce y el voltaje de entrada aparece a través de la carga.

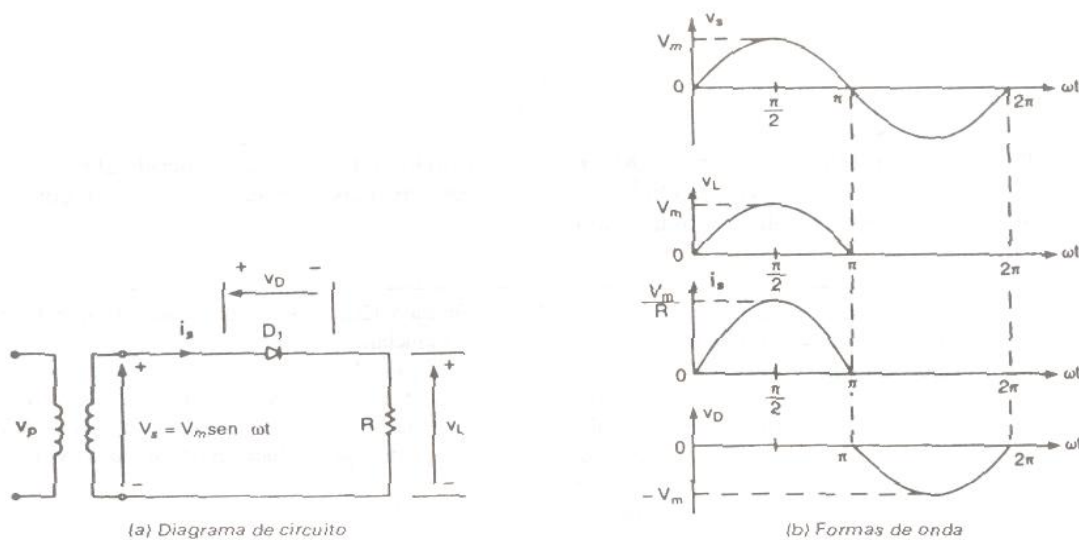


Figura. 2-1 Rectificador monofásico de media onda.





## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Durante el medio ciclo negativo de voltaje de entrada, el diodo está en condición de bloqueo y el voltaje de salida es cero. Las formas de onda para los voltajes de entrada y de salida se muestran en la Figura. 2-1b.

### 2.2.2. Parámetros de Rendimiento

Aunque el voltaje de salida, tal y como aparece en la Figura. 2-1b, es cd, es discontinuo y contiene armónicas. Un rectificador es un procesador de potencia que debe proporcionar una salida de cd con una cantidad mínima de contenido armónico. Al mismo tiempo, deberá mantener la corriente de entrada tan sinusoidal como sea posible y en fase con el voltaje de entrada, de tal forma que el factor de potencia esté cercano a la unidad. La cantidad de energía que un rectificador requiere lo determina el contenido armónico de la corriente de entrada, del voltaje de salida y de la corriente de salida. Hay distintos tipos de circuitos de rectificadores y los rendimientos de un rectificador se evalúan normalmente en función de los parámetros siguientes:

El valor promedio del voltaje de salida (o de carga),  $V_{cd}$ .

El valor promedio de la corriente de salida (de carga),  $I_{cd}$ .

La salida de potencia en cd.

$$P_{cd} = V_{cd}I_{cd} \quad (2-01)$$

El valor medio cuadrático (rms) del voltaje de salida,  $V_{rms}$ .

El valor medio cuadrático (rms) de la corriente de salida,  $I_{rms}$ .

La potencia de salida en ca.

$$P_{ca} = V_{rms}I_{rms} \quad (2-02)$$

La eficiencia (o relación de rectificación) de un rectificador, que es una cifra de mérito y nos permite comparar la efectividad, se define como:

$$n = \frac{P_{cd}}{P_{ca}} \quad (2-03)$$

El voltaje de salida se puede determinar como formado de dos componentes: (1) el valor cd y (2) la componente de ca u ondulatoria. El valor efectivo (rms) de la componente de ca del voltaje de salida es:

$$V_{ca} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{cd}^2} \quad (2-04)$$



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



El factor de forma, que es una medida de la forma del voltaje de salida, es:

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{cd}} \quad (2-05)$$

El factor de componente ondulatoria, que es una medida del contenido de la componente ondulatoria, se define como:

$$RF = \frac{V_{ca}}{V_{cd}} \quad (2-06)$$

Sustituyendo la ecuación (2-04) en la (2-06), el factor de la componente ondulatoria se puede expresar como:

$$RF = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{cd}}\right)^2 - 1} = \sqrt{FF^2 - 1} \quad (2-07)$$

El factor de utilización del transformador se define como:

$$TUF = \frac{P_{cd}}{V_s I_s} \quad (2-08)$$

Donde  $V_s$  e  $I_s$  son el voltaje y la corriente media cuadrática (rms) del secundario del transformador, respectivamente. Veamos las formas de onda que se muestran en la Figura. 2-2, donde,  $v_s$  es el:

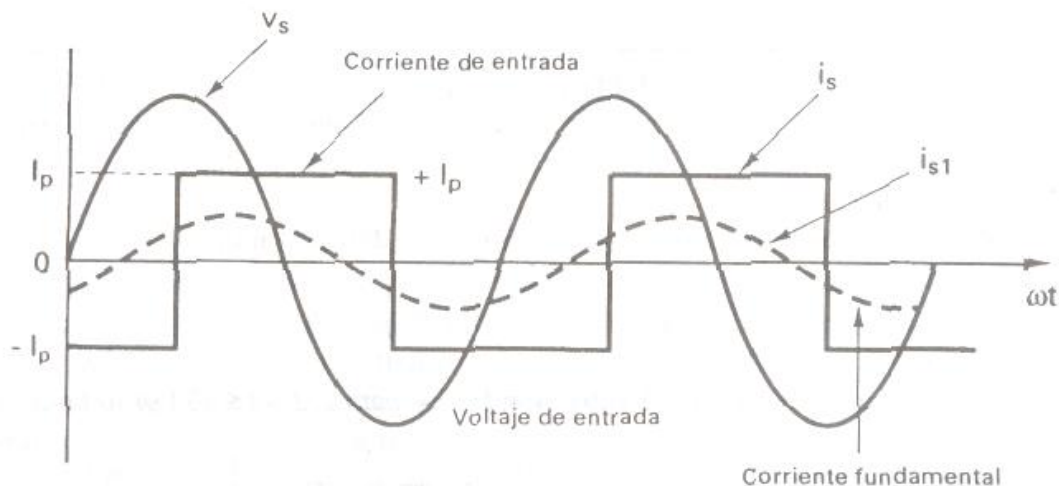


Figura. 2-2 Formas de onda del voltaje y corriente de entrada.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



Voltaje de entrada sinusoidal,  $i_s$  es la corriente de entrada instantánea, e  $i_{s1}$  es el componente fundamental.

Si  $\Phi$  es el ángulo entre las componentes fundamentales de la corriente y el voltaje de entrada,  $\Phi$  se llama el ángulo de desplazamiento. El factor de desplazamiento se define como:

$$DF = \cos \Phi \quad (2-09)$$

El factor armónico de la corriente de entrada se define como:

$$HF = \left( \frac{I^2 S - I^2 S_1}{I^2 S_1} \right)^{1/2} = \left[ \left( \frac{I_s}{I_{s1}} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \quad (2-10)$$

Donde  $I_{s1}$  es la componente fundamental de la corriente de entrada  $I_s$ . Tanto  $I_{s1}$  como  $I_s$  se expresan aquí en valores rms. El factor de potencia de entrada se define como:

$$PF = \frac{V_s I_{s1}}{V_s I_s} \cos \Phi = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \Phi \quad (2-11)$$

A menudo resulta de interés el factor de cresta CF, que resulta una medida de la corriente de entrada pico  $I_{s(pico)}$  en comparación con su valor rms  $I_s$ , a fin de establecer las especificaciones de corriente de pico de dispositivos y componentes.

El CF de la corriente de entrada se define mediante:

$$CF = \frac{I_{s(pico)}}{I_s(rms)} \quad (2-12)$$

### 2.2.3. Rectificadores Monofásicos de Onda Completa

En la Figura. 2-3a aparece un circuito rectificador de onda completa con un transformador de derivación central. Cada mitad del transformador con un diodo asociado actúa como si fuera un rectificador de media onda. La salida de un rectificador de onda completa se muestra en la Figura. 2-3b. Dado que a través del transformador no fluye corriente directa, no hay problema por saturación en el núcleo de este mismo transformador. El voltaje de salida promedio es:

$$V_{cd} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t \, dt = \frac{2V_m}{\pi} = 0.6366V_m \quad (2-13)$$

## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

En vez de utilizar un transformador con toma o derivación central, podemos utilizar cuatro diodos, como se muestra en la Figura. 2-4a. Durante el medio ciclo positivo del voltaje de entrada, se suministra potencia a la carga a través de los diodos  $D_1$  y  $D_2$ . Durante el ciclo negativo, los diodos  $D_3$  y  $D_4$  conducirán. La forma de onda del voltaje de salida aparece en la Figura. 2-4b y es similar a la de la Figura. 2-3b. El voltaje de pico inverso de un diodo es solo  $V_m$ . Este circuito se conoce como rectificador puente, y es de uso común en aplicaciones industriales.

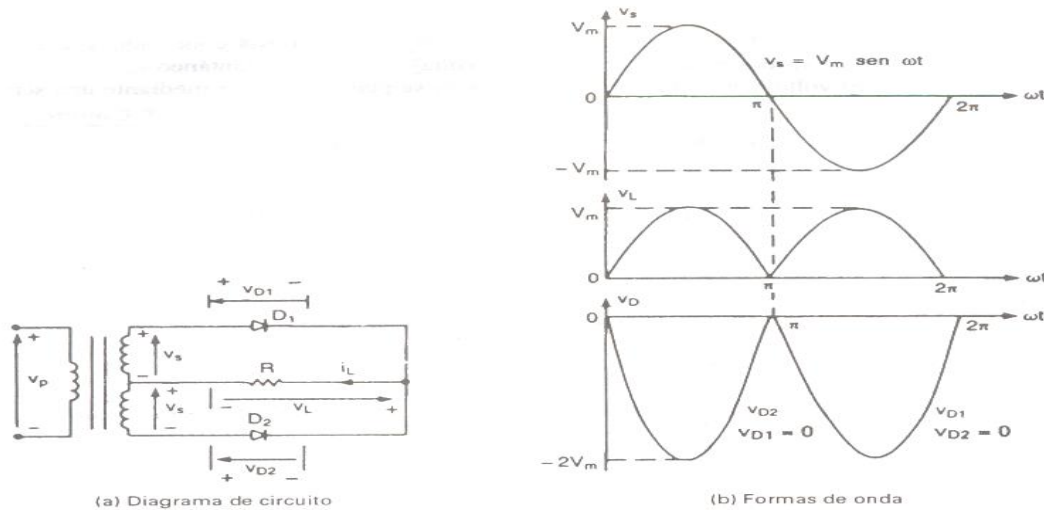


Figura. 2-3 Rectificador de onda completa con transformador con derivación central.

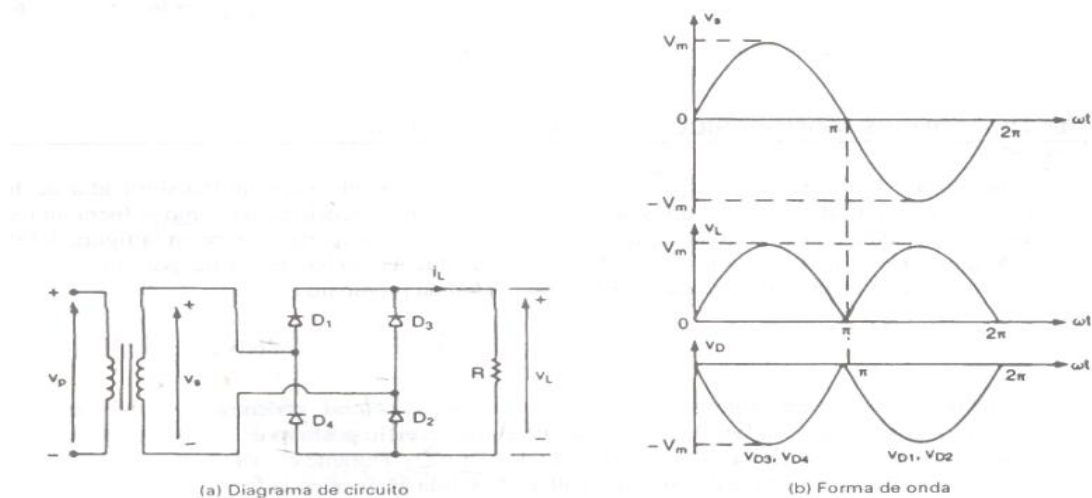
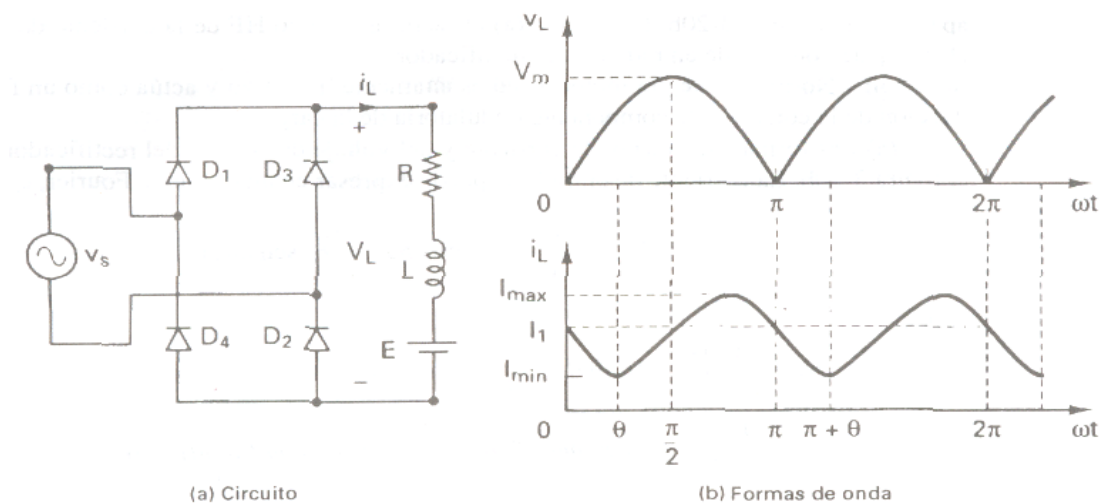


Figura. 2-4 Rectificador puente de onda completa.

### 2.2.4. Rectificador Monofásico de Onda Completa con Carga RL

Con una carga resistiva, la corriente de carga tiene una forma idéntica al voltaje de salida. En la práctica, la mayor parte de las cargas son en cierta cantidad inductivas, la corriente de carga depende de los valores de la resistencia de carga  $R$  y de la inductancia de carga  $L$ . Esto aparece en la Figura. 2-5a. Se añade una batería de voltaje  $E$  para poder desarrollar ecuaciones de tipo general. Si el voltaje de entrada es  $v_s = V_m \text{ sen } \omega t = \sqrt{2} V_s \text{ sen } \omega t$ , la corriente de carga  $i_L$  se puede deducir de:

$$L \frac{di_L}{dt} + Ri_L + E = \sqrt{2} V_s \text{ sen } \omega t$$



(a) Circuito  
(b) Formas de onda  
Figura. 2-5 Rectificador de puente completo con carga RL.

Que tiene una solución de la forma:

$$i_L = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \text{ sen } (\omega t - \theta) + A_1 e^{-(R/L)t} - \frac{E}{R} \tag{2-14}$$

Donde la impedancia de la carga  $Z = [R^2 + (\omega L)^2]^{1/2}$ , y el ángulo de impedancia  $\theta = \tan^{-1} (\omega L/R)$ .

**Caso 1: corriente de carga continúa.** La constante  $A_1$  en la ecuación (2-14) se puede determinar a partir de la condición en:  $\omega t = \pi$ ,  $i_L = I_1$ .

$$A_1 = \left( I_1 + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \text{ sen } \theta \right) e^{(R/L)(\pi/\omega)}$$



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



Si sustituimos de  $A_1$  en la ecuación (2-14), obtenemos:

$$i_L = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \operatorname{sen}(\omega t - \theta) + \left( I_1 + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \operatorname{sen} \theta \right) e^{(R/L)(\pi/\omega - 1)}$$

Bajo una condición de régimen permanente,  $i_L(\omega t = 0) = i_L(\omega t = \pi)$ . Esto significa que,  $i_L(\omega t = 0) = I_1$ . Aplicando esta condición, obtenemos el valor de  $I_1$  como:

$$i_L = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \operatorname{sen} \theta \frac{1 + e^{-(R/L)(\pi/\omega)}}{1 - e^{-(R/L)(\pi/\omega)}} - \frac{E}{R} \text{ para } I_1 \geq 0 \quad (2-15)$$

El cual, después de sustituirse en la ecuación (2-15) y de simplificarse, nos da:

$$i_L = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \left[ \operatorname{sen}(\omega t - \theta) + \frac{2}{1 - e^{-(R/L)(\pi/\omega)}} \operatorname{sen} \theta e^{-(R/L)t} \right] - \frac{E}{R} \quad (2-16)$$

Para  $0 \leq \omega t \leq \pi$  e  $i_L \geq 0$

La corriente rms del diodo se puede encontrar de la ecuación (2-16) como:

$$I_r = \left[ \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi i_L d(\omega t) \right]^{1/2}$$

Y entonces, la corriente rms de salida se puede determinar mediante la combinación de las corrientes rms de cada diodo como:

$$I_{rms} = (I_r^2 + I_r^2)^{1/2} = \sqrt{2} I_r$$

También se puede encontrar la corriente promedio del diodo a partir de la ecuación (2-16) como:

$$I_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi i_L d(\omega t)$$

**Caso 2: corriente de carga discontinua.** La corriente de carga fluye sólo durante el periodo que a continuación se muestra:  $a \leq \omega t \leq b$ . Los diodos empiezan a conducir en  $\omega t = a$ , dado por:

$$a = \operatorname{sen}^{-1} \frac{E}{V_m}$$



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



En  $\omega t = a$ ,  $i_L(\omega T) = 0$  y la ecuación (2-14) nos da.

$$A_1 = \left[ \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \operatorname{sen}(a - \theta) \right] e^{(R/L)(a/\omega)}$$

Que, después de sustituirse en la ecuación (2-14), proporciona la corriente de carga.

$$i_L = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \operatorname{sen}(\omega t - \theta) + \left[ \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \operatorname{sen}(a - \theta) \right] e^{(R/L)(a-\beta/\omega-1)} \quad (2-17)$$

En  $\omega t = \beta$ , la corriente cae a cero, e  $i_L(\omega T = \beta) = 0$ . Esto es:

$$\frac{\sqrt{2}V_s}{Z} = \operatorname{sen}(\beta - \theta) + \left[ \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \operatorname{sen}(a - \theta) \right] e^{(R/L)(a-\beta)/\omega} = 0$$

$\beta$  se puede determinar de esta ecuación trascendental mediante un método de solución iterativo (prueba y error), Inicie con  $\beta = 0$ , e incremente su valor en cantidades muy pequeñas, hasta que el lado izquierdo de esta ecuación se convierta en cero.

La corriente rms del diodo se puede encontrar a partir de la ecuación (2-17) como:

$$I_r = \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_L^2 d(\omega t) \right]^{1/2}$$

La corriente promedio del diodo también se puede encontrar a partir de la ecuación (2-17) como:

$$I_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_L d(\omega t)$$

### 2.2.5. Rectificadores Multifase en Estrella

Hemos visto en la ecuación (2-13) que el voltaje promedio de salida que se podrá obtener de los rectificadores de onda completa monofásicos es  $0.6366 V_m$ . Estos rectificadores se utilizan en aplicaciones hasta un nivel de potencia de 15 kW. Para salidas de potencias mayores, se utilizan los rectificadores trifásicos y multifásicos. En la práctica es común utilizar un filtro para reducir el nivel de armónicas en la carga; el tamaño del filtro se reduce con el aumento de la frecuencia de armónicas. Además de la mayor salida de potencia de los rectificadores multifase, también aumenta la frecuencia fundamental de las armónicas y resulta q veces la frecuencia fuente (qf).

Este rectificador se conoce como rectificador estrella. El circuito rectificador de la Figura. 2-3a se puede extender a varias fases mediante embobinados multifase en el secundario del transformador, tal y como se muestra en la Figura. 2-6a. Este circuito se puede considerar como  $q$  rectificadores monofásicos de media onda y es del tipo de media onda. Las formas de onda para voltajes y corrientes aparecen en la Figura. 2-6b. El periodo de conducción de cada diodo es  $2\pi/q$ . De la Figura. 2-6b se puede notar que la corriente que fluye a través del embobinado secundario es unidireccional y contiene una componente de cd. Sólo el embobinado secundario lleva corriente en un momento determinado y, como resultado, el primario debe estar conectado en delta.

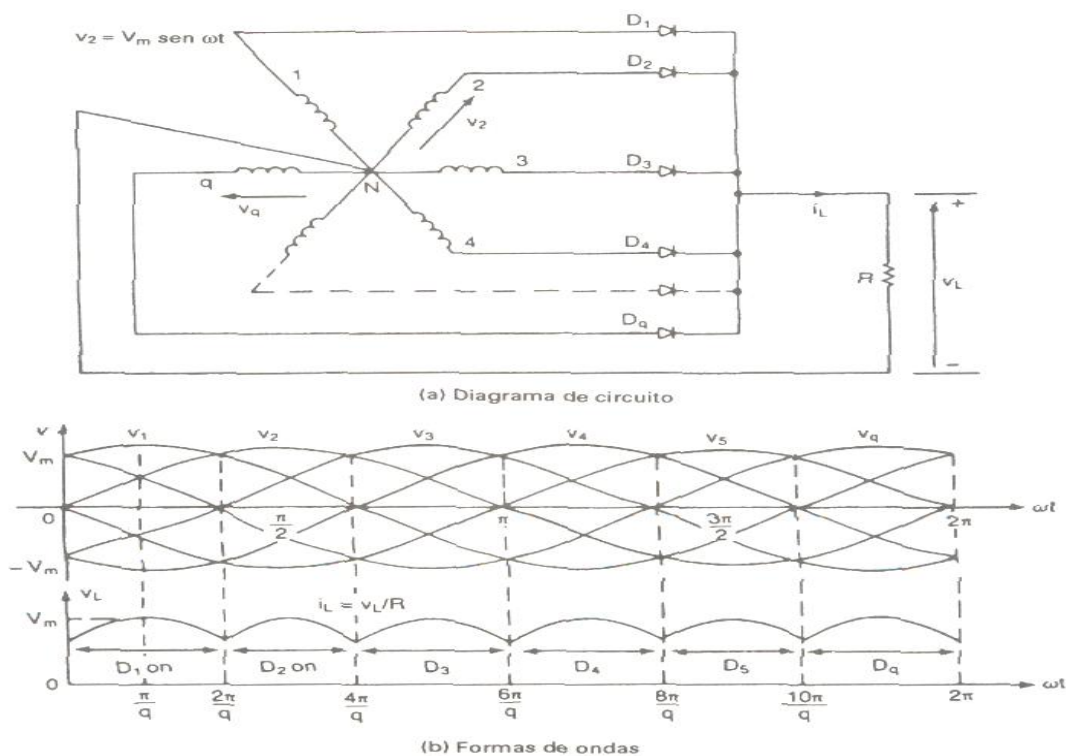


Figura. 2-6 Rectificadores multifase.

A fin de eliminar la componente de cd del lado de la entrada del transformador. Esto minimiza el contenido armónico de la corriente de línea primaria.

Si suponemos una onda coseno desde  $\pi/q$  hasta  $2\pi/q$ , el voltaje promedio de salida para un rectificador de  $q$  fases está dado por:

$$V_{cd} = \frac{2}{2\pi q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} \text{sen} \frac{\pi}{q} \quad (2-18)$$



$$V_{rms} = \left[ \frac{2}{2\pi/q} \int_0^{\pi/q} V_m^2 \cos^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} \quad (2-19)$$

$$= V_m \left[ \frac{2}{2\pi} \left( \frac{\pi}{q} + \frac{1}{2} \operatorname{sen} \frac{2\pi}{q} \right) \right]^{1/2}$$

Si la carga es resistiva pura, la corriente de pico a través del diodo es  $I_m = V_m/R$  pudiéndose encontrar el valor rms de la corriente del diodo (o de una corriente secundaria de transformador) como:

$$I_s = \left[ \frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi/q} I_m^2 \cos^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} \quad (2-20)$$

$$= I_m \left[ \frac{1}{2\pi} \left( \frac{\pi}{q} + \frac{1}{2} \operatorname{sen} \frac{2\pi}{q} \right) \right]^{1/2} = \frac{V_{rms}}{R}$$

### 2.2.6. Rectificadores Trifásicos en Puente

Un rectificador trifásico en puente como el que se muestra en la Figura. 2-7 es de uso común en aplicaciones de alta energía. Este es un rectificador de onda completa. Puede operar sin o con transformador y genera componentes ondulatorias de seis pulsos en el voltaje de salida. Los diodos están numerados en orden de secuencia de conducción, cada uno de ellos conduce durante  $120^\circ$ . La secuencia de la conducción de los diodos es 12, 23, 34, 45, 56, y 61.

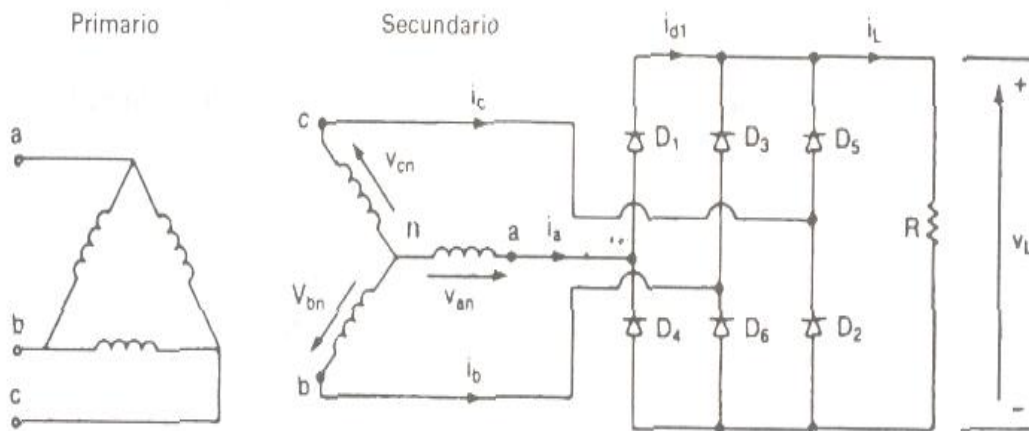


Figura. 2-7 Rectificador puente trifásico.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



El par de diodos conectados entre el par de líneas de alimentación que tenga la diferencia instantánea más alta de línea a línea serán los que conduzcan. En una fuente conectada en estrella trifásica el voltaje de línea a línea es  $\sqrt{3}$  veces el voltaje de fase. Las formas de onda y los tiempos de conducción de los diodos aparecen en la Figura. 2-8. El voltaje promedio de salida se encuentra a partir de:

$$V_{cd} = \frac{2}{2\pi/6} \int_0^{\pi/6} \sqrt{3} V_m \cos \omega t d(\omega t) \tag{2-21}$$

$$= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m = 1.654 V_m$$

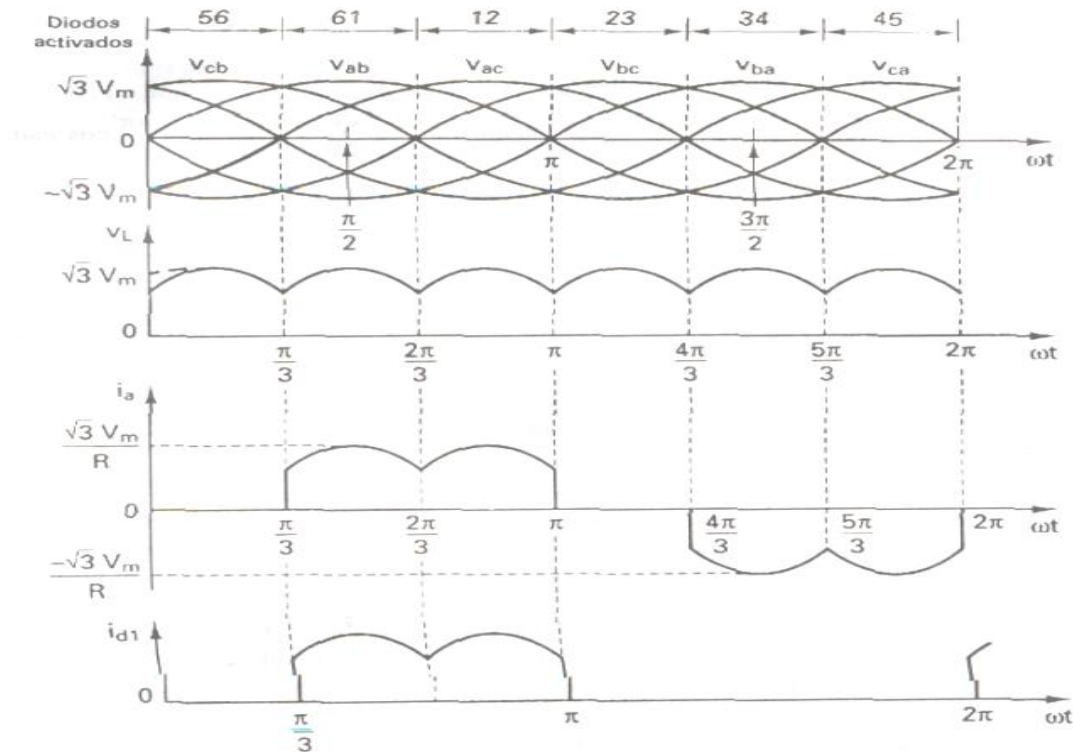


Figura. 2-8 Formas de onda y tiempos de conducción de los diodos.

Donde  $V_m$  es el voltaje de fase pico. El voltaje rms de salida es:

$$V_{rms} = \left[ \frac{2}{2\pi/6} \int_0^{\pi/6} 3 V_m^2 \cos^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} \tag{2-22}$$



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



$$= \left( \frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} \right)^{1/2} V_m = 1.6554 V_m$$

Si la carga es puramente resistiva, la corriente pico a través de un diodo es  $I_m = \sqrt{3} V_m/R$  y el valor rms de la corriente del diodo es:

$$I_r = \left[ \frac{4}{2\pi} \int_0^{\pi/6} I_m^2 \cos^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} \quad (2-23)$$

$$= I_m \left[ \frac{1}{\pi} \left( \frac{\pi}{6} + \frac{1}{2} \operatorname{sen} \frac{2\pi}{6} \right) \right]^{1/2}$$

$$= 0.5518 I_m$$

El valor rms de la corriente secundaria del transformador, es:

$$I_s = \left[ \frac{8}{2\pi} \int_0^{\pi/6} I_m^2 \cos^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} \quad (2-24)$$

$$= I_m \left[ \frac{2}{\pi} \left( \frac{\pi}{6} + \frac{1}{2} \operatorname{sen} \frac{2\pi}{6} \right) \right]^{1/2} = 0.7804 I_m$$

Donde  $I_m$  es la corriente de línea pico en el secundario.

### 2.3. Tipos de Rectificación usados en el Transporte Eléctrico Mexicano

Aquí mencionaremos al Sistema de Transporte Colectivo (S.T.C.) y al Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal (S.T.E.).

#### 2.3.1. Rectificación en el Sistema de Transporte Colectivo (S.T.C.) “Metro”

Subestación de Rectificación (S.T.C.): Estas Subestaciones están ubicadas a lo largo de la línea, generalmente a nivel de calle y aproximadamente a 1,200 metros una de otra. Su función es transformar y rectificar los 23,000 Vca a 750 Vcd que es una tensión nominal con la que funcionan los trenes.

Existen tres tipos de Subestaciones de rectificación que surgen de la necesidad de una mayor disponibilidad del servicio en caso de falla, así se aísla la falla en la sección o zona y continuara en funcionamiento el resto de la línea. Las Subestaciones de rectificación son:

1) Subestaciones de rectificación tipo "T" de las cuales hay 12 a lo largo de la línea.

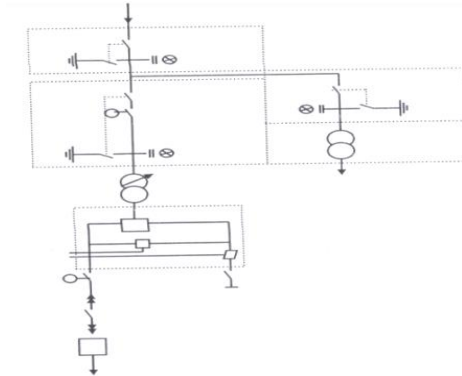


Figura. 2-9 Diagrama de Subestación tipo "T".

2) Subestaciones de rectificación tipo "TT" de las cuales hay 4 y son las que se encuentran en la frontera de las zonas.

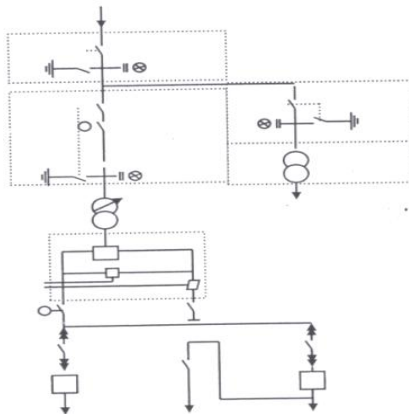


Figura. 2-10 Diagrama de Subestación tipo "TT".

3) Subestación de rectificación tipo "TALLER" la cual es única.

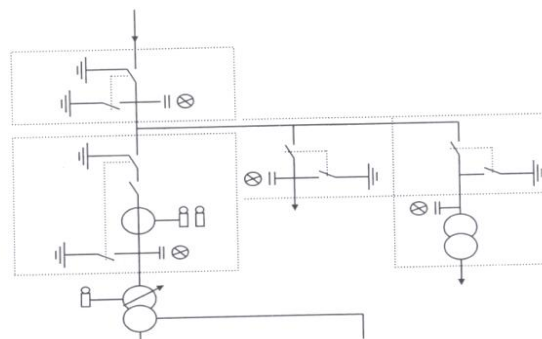


Figura. 2-11 Diagrama de Subestación tipo "Taller".



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Una subestación de rectificación está constituida por las siguientes partes:

- Subestación de mediana tensión, la cual tiene que realiza la recepción y distribución de los 23,000 Vca.
- La sección principal o de grupo que realiza la transformación y la rectificación. Proporcionando a su salida 750 Vcd.
- La sección de tracción o de vía que es la encargada de conectar la alimentación de 750 Vcd que viene de la sección principal a la catenaria (+) y al riel (-). También protege a esta sección en caso de falla.
- La sección de control y protección; ésta se encarga de proteger al equipo, ya que por medio del control instalado en cada equipo se puede mandar el corte de energía.

Rectificación: En el Sistema de Transporte Colectivo (Metro), un rectificador está caracterizado por el número de fases de la tensión rectificada, su función es rectificar la corriente alterna de 552 Vca, en corriente continua de 750 Vcd, la cual se suministra a las barras guías para la tracción de los trenes.

### 2.3.2. Rectificación en el Servicio de Transportes Eléctricos del D.F. (S.T.E.) “Trolebús y Tren Ligero”

Las Subestaciones Eléctricas Rectificadoras de S.T.E. son elementos de un circuito que alimenta a la línea aérea de contacto. Recibe un Vca de media tensión (23 kV), trifásica a 60 Hz, a través de la compañía suministradora, en este caso CFE, este voltaje una vez que es recibido se baja de potencial a 474 Vca y 552 Vca por medio del transformador y se rectifica por medio de diodos de silicio, obteniendo 600 Vcd para el Trolebús y 750 Vcd para el Tren Ligero. El rectificador tiene una capacidad de 2000 kW del lado de cd, que se suministra a la catenaria a través de los interruptores derivados de corriente directa conectados a los cables alimentadores o feeders de alimentación. A continuación se muestra el diagrama unifilar de la subestación, obtenido del gabinete de control.



Figura. 2-12 Diagrama Unifilar de la Subestación del Gabinete de Control.

El transformador principal. Está equipado con todos los accesorios usuales, válvula de drenaje, válvula para muestra de aceite, nivel del aceite, conexión para el filtro prensa. Cambiador de derivaciones, relevador Bucchloz, termómetro de contactos, protección de humedad Silica gel.

Por su parte el rectificador será auto enfriado o con ventilación forzada. Dispondrá de los accesorios y controles necesarios para su protección de las anomalías: elevación de temperatura, falla de los diodos y de los indicadores de fallas y señales de alarma. Las subestaciones de S.T.E. del D.F. cuentan con dos tipos de rectificadores al silicio de 6 pulsos como se muestra en la Figura. 2-13.



Figura. 2-13 Rectificador JEUMONT-SCHNEIDER de 6 pulsos.

Diagrama del Rectificador JEUMONT-SCHNEIDER de 6 pulsos y Transformador de Potencia Trifásico.

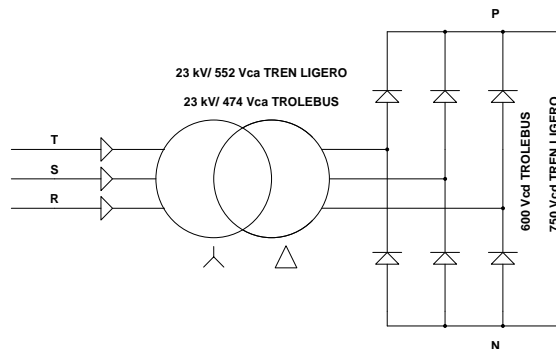


Figura. 2-14 Diagrama del Rectificador JEUMONT-SCHNEIDER de 6 pulsos.

Y rectificador al silicio de 12 pulsos, marca ENGLISH ELECTRIC como se muestra a continuación.



Figura. 2-15 Rectificador ENGLISH ELECTRIC 12 pulsos.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Diagrama del Rectificador ENGLISH ELECTRIC 12 pulsos y Transformador de Potencia Trifásico.

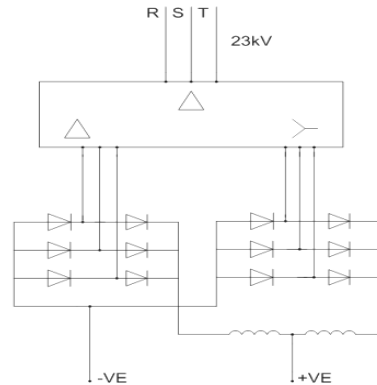


Figura. 2-16 Diagrama del Rectificador ENGLISH ELECTRIC 12 pulsos.

### 2.4. Equipos Principales de una Subestación Rectificadora (S.T.E.)

El Servicio de Transportes Eléctricos (S.T.E.) cuenta con 45 Subestaciones Eléctricas de Rectificación, así como 2 subestaciones de Alumbrado y Fuerza (Rosario y Tetepilco), a las cuales se les proporciona Mantenimiento Preventivo y Correctivo, dichos mantenimientos, son realizados por personal calificado, que cuenta con los conocimientos básicos de electricidad y en algunas ocasiones, conocimientos basados en experiencia individual adquirida con el tiempo. Cada subestación está conformada por equipo eléctrico, diseñado con las características esenciales para formar parte de algún circuito eléctrico básico para el desarrollo de funciones lógicas que en algún momento energizan o desenergizan áreas de consumo al usuario. Cabe mencionar que este equipo eléctrico debe mantenerse en las mejores condiciones operativas para reducir las probabilidades de falla, mejorando así la continuidad del servicio. Equipo Principal:

1. Gabinete de Alta: Caja de Medición, Cuchillas de 23 kVca (89), Transformadores de Potencia (TP's), Cuchillas de Int.52 (89AC), Interruptor Principal ca (Int. 52), Cuchillas de Tierra, para Transformador de Potencia (57.2), Transformadores de Corriente (TC's), Cuchillas de Transformador de Estación (600.11) y Cuchillas de Tierra, para Transformador de Estación (57.2).
2. Transformador de Potencia (23kVca/472Vca).
3. Rectificador.
4. Interruptor Principal cd (Int. 54).
5. Seccionador Positivo (89P) y Seccionador Negativo (89N).
6. Secciones (11,12,21,22 y 31).



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



7. Transformador de Estación (23kVca/127Vca).
8. Cargador de Baterías y Banco de Baterías.

Cada Subestación cuenta con Gabinetes de Control y Protecciones. Los Gabinetes de Control se dividen en tres celdas (TG, TD1 y TD2), cuentan con señales luminosas que indican el estado de cada uno de los componentes principales de la subestación, así como controles para la operación de los mismos. Cuenta con tres pantallas las cuales muestran las alarmas presentes en el equipo, cuando estas se iluminan. El equipo principal que es controlado desde el Gabinete de Control es:

- Interruptor Principal de ca (52).
- Interruptor Principal de cd (54).
- Interruptore Derivado (11).
- Interruptore Derivado (12).
- Interruptore Derivado (21).
- Interruptore Derivado (22).
- Interruptore Derivado (31).





## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 2.4.1. Diagrama de una Subestación Eléctrica Rectificadora

CFE nos suministra 23 kVca, este voltaje pasa por todas las protecciones. Hasta llegar al transformador de potencia el cual reduce el voltaje a 474 Vca. El rectificador convierte el Vca en Vcd, teniendo al final un voltaje de 600 Vcd. Que posteriormente son distribuidos entre los interruptores derivados. El transformador de estación es alimentado también con 23 kVca y lo reduce a 127 Vca para alimentar el cargador de baterías, los circuitos de control y el alumbrado de la subestación.

Analizando lo anterior, es necesario que los trabajos de mantenimiento a Subestaciones Eléctricas de Rectificación, sean realizados por personal adecuado, con los conocimientos teóricos necesarios, para que se continúe realizando un trabajo de calidad, evitando así la salida prematura del equipo en operación.

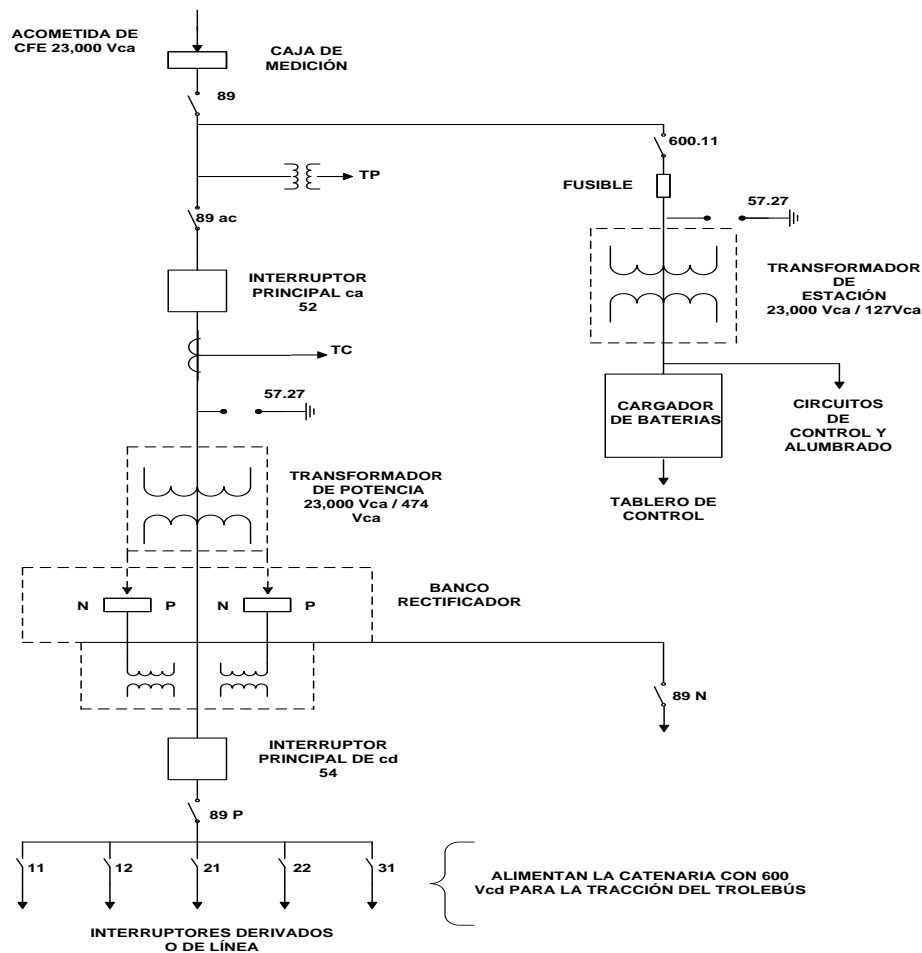


Figura. 2-17 Diagrama de Subestación Rectificadora del STE.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 2.4.2. Equipos Principales de una Subestación Eléctrica Rectificadora

Se describe brevemente el funcionamiento del equipo que se necesita para el adecuado funcionamiento de la subestación eléctrica rectificadora en S.T.E.

### 2.4.3. Gabinete de Alta Tensión

Este equipo se compone de cuatro secciones, en la primer sección se encuentra la acometida de 23 kV de ca y el equipo de medición de la compañía suministradora (CFE), en la segunda sección tenemos las cuchillas desconectadoras principales de operación sin carga y operación en grupo, que permiten la desenergización total de las barras principales; el accionamiento de las cuchillas es realizado desde el exterior del gabinete de forma manual con guantes de aislamiento para 23 kV; así mismo en esta celda se encuentran los transformadores de potencial. En la tercera celda o sección, se encuentra localizado el interruptor principal de corriente alterna denominado UR-52; es el equipo encargado de proporcionar un medio de desconexión y protección contra sobrecargas y cortos circuitos al transformador de potencia, además esta celda cuenta con cuchillas aisladoras de operación sin carga, estas son utilizadas para aislar el interruptor de las barras de 23 kV, con objeto de realizar intervenciones de mantenimiento preventivo y correctivo.

El interruptor cuenta con cuchillas de conexión de puesta a tierra, con el fin de proporcionar un medio de drenar a tierra las tensiones inducidas en el transformador; así mismo, en esta celda se encuentran los transformadores de corriente. En la cuarta celda se encuentra la alimentación al transformador de servicio, que consta de barras de 23 kV, cuchillas seccionadoras de operación sin carga, fusibles de potencia tipo limitador de corriente, cuchillas de puesta a tierra y transformadores de potencial. Las cuchillas seccionadoras proporcionan el medio de conexión y desconexión del transformador de servicio en vacío y con carga, pero no en condiciones de falla o sobrecarga, esta protección es proporcionada por los fusibles de potencia que una vez operado cualquiera de ellos, activa el mecanismo de disparo de las cuchillas. Las cuchillas de puesta a tierra son utilizadas para drenar posibles tensiones cuando se realice el mantenimiento del equipo.



Figura. 2-18 Gabinete de Alta Tensión dividido en cuatro celdas.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 2.4.4. Acometida de CFE 23 kVca (Caja de Medición)

CFE es el organismo que proporciona la alimentación eléctrica para el funcionamiento de la subestación rectificadora con un rango de 23,000 volts en forma de corriente alterna.



Figura. 2-19 Celda para alojar el equipo de Medición de CFE.

### 2.4.5. Cuchillas de Operación 23 kVca (89)

Elemento de desconexión, de operación sin carga, que aísla al circuito de potencia (interruptor 52, transformador de potencia, puente rectificador) de las barras principales de 23 kV, para su mantenimiento.



Figura. 2-20 Cuchillas Seccionadoras Trifásicas Generales de 23 kVca.  
De 400 Amp. de Operación sin Carga.

### 2.4.6. Interruptor UR-52 (52)

Interruptor de corriente alterna en pequeño volumen de aceite, permite el cierre y apertura del circuito alimentador del transformador de potencia a través del tablero de mando, desde la consola del Puesto Central de Control (PCC) o de forma directa desde su panel de control, dependiendo de la infraestructura de cada subestación. Esta formado por tres fases contenedoras comúnmente llamadas piernas dentro de las cuales se encuentra los contactos móviles y fijos con sus respectivas cámaras de arqueo, sumergidos en aceite para proporcionar un medio más efectivo de la extinción del arco eléctrico.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Figura. 2-21 Interruptor en SF6 (52) a 23 kVca.  
De 1200 Amp. y 500 MVA de Capacidad Interruptiva.

### 2.4.7. Transformador de Estación. (T.E.)

Es el elemento encargado de proporcionar la energía para los servicios propios de la subestación como lo son contactos e iluminación, además de alimentar los elementos de control y protección tales como Interruptores termomagnéticos, bobinas de elementos de control y operación, cargador de baterías, etc.



Figura. 2-22 Transformador de Servicio Trifásico de 23 kVca a 220/127 Vca, 30 kVA y a una frecuencia de 60 Hz.

### 2.4.8. Transformador de Potencia. (T.P.)

El transformador de potencia, es el elemento encargado de proporcionar la energía al equipo rectificador a un nivel de tensión apropiado, ya que se encarga de reducir el voltaje de 23 kVca, a 474 y 552 Vca. Según sea la línea de tracción trolebús o tren ligero respectivamente, en nuestro caso 474 que es para trolebús, mediante el procedimiento del cambio de taps por medio de campos electromagnéticos de los devanados de alta tensión con respecto a los devanados de baja tensión, tiene una conexión en sus devanados tipo estrella – delta, cabe mencionar que este cambio se realiza con el equipo fuera de servicio.



Figura. 2-23 Transformador de Potencia Trifásico de 23 kVca/474 Vca, 2225 kVA y a una frecuencia de 60 Hz.

#### **2.4.9. Banco Rectificador**

El rectificador es un arreglo de diodos de silicio, con circuitos de resistencias y capacitores (RC), así como radiadores de enfriamiento por circulación de aire natural. El rectificador es el elemento encargado de convertir la energía eléctrica de corriente alterna a energía eléctrica de corriente directa con una potencia de 2000 kW a 600 Vcd y 750 Vcd. El rectificador nos brinda una corriente directa que es requerida para el funcionamiento de motores de los trolebuses y el tren ligero. Ya que los motores de corriente directa poseen características de control de velocidad y par de arranque superiores a los de un motor convencional de corriente alterna.



Figura. 2-24 Banco Rectificador de 2500 kVA, 600 Vcd, 2000 Amp. RMS, y 2200 V de pico inverso.

#### **2.4.10. Interruptor Ultra Rápido UR-54. (54)**

La función principal del interruptor ultra rápido es abrir el circuito eléctrico con carga nominal, en condiciones de sobre carga y corto circuito. El interruptor UR-54 nos permite proteger a los alimentadores de sección en forma agrupada, es decir en caso de que un interruptor de línea no opere, entrara en acción el interruptor UR-54 el cual operará de forma inmediata para proteger al equipo rectificador y el transformador de potencia de sobreesfuerzos electromecánicos.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Tiene la función de desconectar los circuitos eléctricos, en cualquiera de las condiciones siguientes: con carga, en vacío y en condiciones de falla.



Figura. 2-25 Unipolar con cierre eléctrico y manual para un voltaje nominal de 800 Vcd y corriente de 6000 Amp. cd.

### 2.4.11. Seccionadores Manuales (89N Y 89P)

Tienen la función de aislar la energía de los buces positivo y negativo del puente rectificador al interruptor UR-54. Cabe mencionar que el seccionador 89N y el seccionador 89P son iguales en su diseño. Estos tienen un micro conectado al gabinete de control, el cual nos avisa si los seccionadores se encuentran abiertos o cerrados.

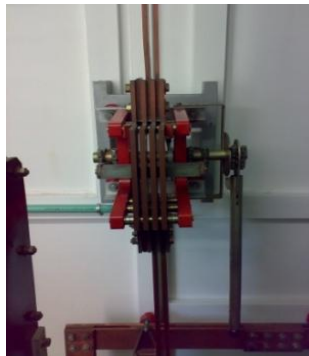


Figura. 2-26 Seccionadores de operación sin carga, para el bus de salida positivo y negativo.

### 2.4.12. Interruptores Derivados (Línea 11, 12, 21, 22 y 31)

La función que desempeñan en el sistema es seccionar la carga del rectificador para proporcionar alimentación independiente para diferentes secciones del servicio. Estas se clasifican como sigue: línea 11, línea 12, línea 21, línea 22 y línea 31. Normalmente solo se utilizan las 4 primeras dejando la línea 31 como auxiliar, en caso de que alguna de estas llegase a fallar. Los interruptores derivados protegen al puente rectificador de cortos circuitos externos, a causa de accidentes en la línea.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Así como de descargas atmosféricas presentadas en las secciones de servicio, esto por medio de las protecciones individuales de cada interruptor derivado. Es preferible que se dañe un interruptor derivado y no el rectificador. Ya que el costo de este es mucho mayor.



Figura. 2-27 Unipolares con cierre eléctrico y manual para un voltaje nominal de 800 Vcd y corriente de 4000 Amp. cd.

### 2.4.13. Banco de Baterías y Cargador de Baterías

Banco de Baterías se encarga de soportar en faltas de corriente alterna, la energía eléctrica en corriente directa para el control de la subestación, específicamente alimenta algunos contactores que se encuentran dentro del gabinete de control, las bobinas de retención de interruptores derivados y el sistema de comunicación del (TE-14) que sirve para monitorear y telemandar la subestación. Está formado por 85 baterías de 1.3 Vcd, cada una contenida en un recipiente de resina sintética transparente con marca permanente de los niveles máximo y mínimo del electrolito. Con régimen de recuperación de 95% de la carga en un tiempo de 4 a 6 horas. Cargador de Baterías se alimenta con 127 Vca y suministra 120 Vcd al Banco de Baterías manteniendo cargadas las 85 baterías, las cuales funcionan en caso de falta de ca.



Figura. 2-28 Banco de Baterías de Nickel-Cadmio de 100 Amp/hora, 120 Vcd y Cargador de Baterías con alimentación de 127 Vca, entrega 120 Vcd con 40 Amp. Suministra la corriente necesaria para mantener la carga del Banco de Baterías (flotación).



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 2.4.14. Gabinete de Control

Como su nombre lo menciona, es el encargado de controlar todos los dispositivos que se encuentran en la subestación, en el se alojan los contactos, relevadores, contactores, interruptores y fusibles que forman parte de la lógica de control de la subestación, además de poder manipular la subestación desde este dispositivo, también cuenta con la interfase del telemando para poder manipularla a distancia desde el Puesto Central de Control (PCC). Cuenta con tres pantallas en las cuales se pueden observar las fallas que existen en la subestación y en la mayoría de sus componentes. Gabinete de alta tensión, Transformador, Rectificador, etc.



Figura. 2-29 Gabinete de Control, se divide en tres secciones (TG, TD1 y TD2).

### 2.4.15. Sistema de Mando Centralizado

Debido a la importancia que tiene el funcionamiento de las subestaciones eléctricas rectificadoras, es necesario tener un control de las mismas, manteniéndolas bajo observación y registrando cualquier cambio en los estados de sus dispositivos electromecánicos, así como visualizar las diversas alarmas que pudieran poner en riesgo la subestación, permitiendo además el accionamiento del equipo a distancia, es decir, en forma inmediata.

Para satisfacer esta necesidad, el STE adquirió el Sistema de Mando Centralizado, el cual fue implementado y puesto en funcionamiento por la empresa Francesa Gec. Alstom en el año de 1992, a partir de esta fecha le proporciono mantenimiento a este sistema hasta el año 2003, siendo posteriormente realizado por personal técnico del área de la Subgerencia de Mantenimiento a Subestaciones, Despacho de Carga y SAE del S.T.E.





## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### Funcionamiento

En cada subestación se encuentra instalado un equipo TE-14, el cual se encarga de concentrar todas y cada una de las alarmas presentes en el equipo, tales como falta de alimentación eléctrica suministrada por CFE o el estado de los interruptores que alimentan eléctricamente a las secciones, dicha información es enviada a un radio módem que transmitirá los datos vía radiofrecuencia hacia una estación repetidora, la cual concentra la información de todas las subestaciones que conforman la Arteria y las envía en un paquete de datos hacia el Puesto de Despacho de Carga (PDC).



Figura. 2-30 TE-14 manda las alarmas presentes de la subestación a PDC.

En este lugar la información es recibida por otro radio módem y es enviada a la computadora central ubicada en la sala técnica que se encarga de actualizar y procesar la información para desplegar en los monitores de las consolas y en el Tablero de Control Óptico (TCO) la apertura o cierre de alguna de las secciones o cualquier cambio de estado en la subestación. El tiempo que tarda en reconocer un cambio de estado de cualquier subestación es de aproximadamente 5 segundos.

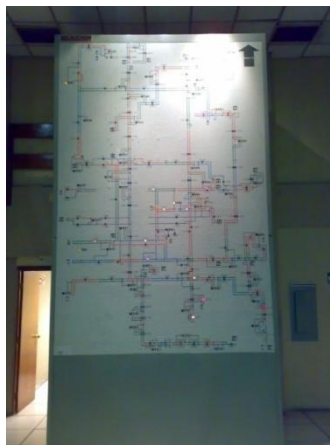


Figura. 2-31 TCO muestra todas las secciones y subestaciones del organismo.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Además, en la sala técnica se aloja una impresora de explotación (caja negra) en la cual se registra e imprimen todos los eventos que ocurren de cada una de las subestaciones con la fecha y hora en que sucede cada incidente. De la misma forma, el Sistema de Mando Centralizado manipula los interruptores de una subestación desde el Puesto de Despacho de Carga, el Operador ejecuta un mando desde la consola, especificando la subestación a la que quiere tener acceso, y el equipo se encarga de transmitir esta orden a la subestación elegida vía radio módem; en la subestación, se reciben los datos y el modem los envía al equipo TE-14, el cual los interpreta y los ejecuta en forma inmediata, tomando para este proceso solo una fracción de segundo (aproximadamente 15 ms).



Figura. 2-32 PDC desde aquí se controlan a distancia los equipos principales de las Subestaciones.

#### 2.4.16. Diagrama Esquemático del Sistema de Mando Centralizado

En cada subestación se encuentra instalado un TE-14, el cual se encarga de conectar todas las alarmas presentes en el equipo y el estado de los interruptores que alimentan las secciones. Dicha información es enviada a la estación repetidora que a su vez reenvía la información al Puesto de Despacho de Carga. Y aquí es desplegada en los monitores y el TCO.

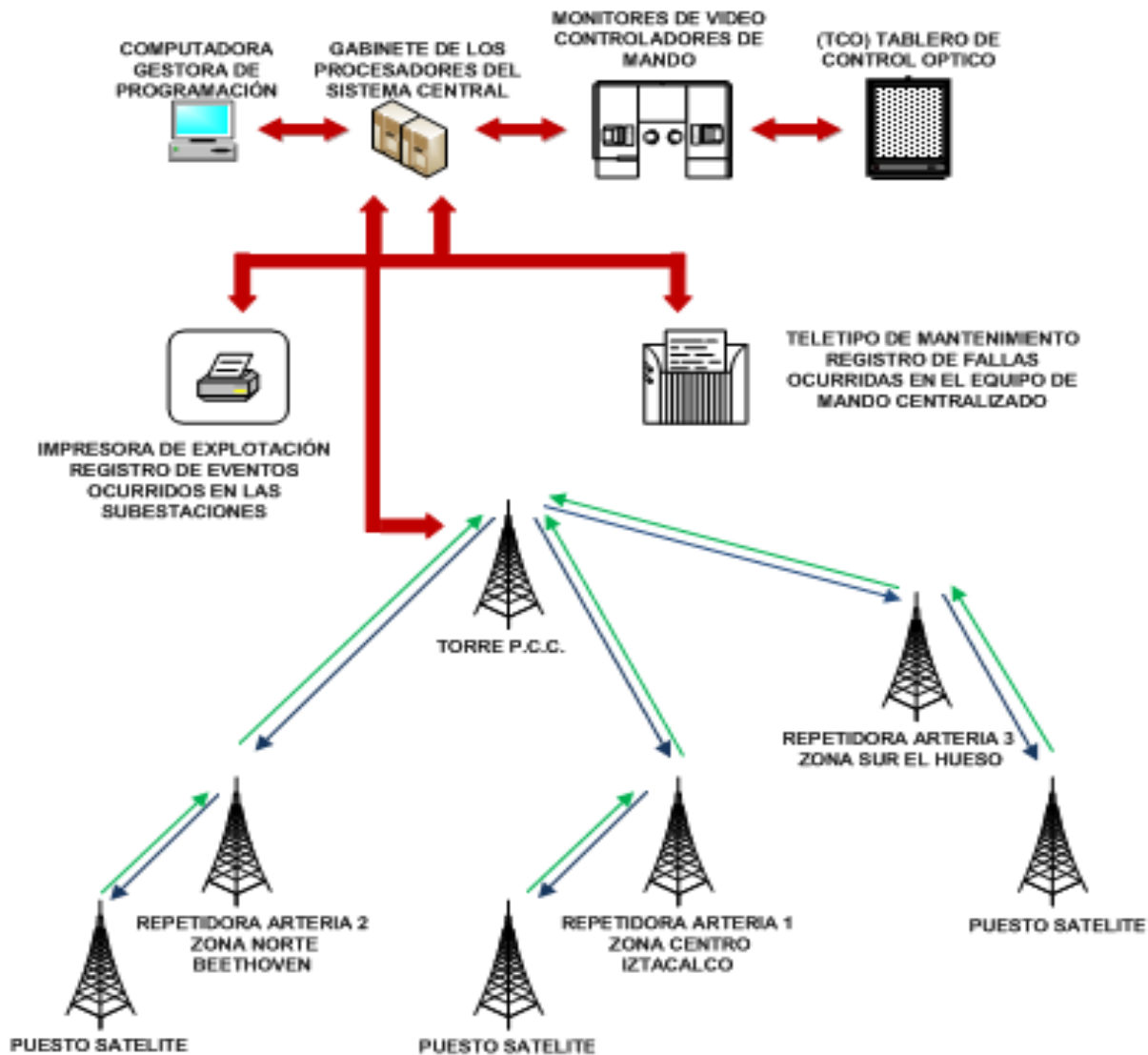


Figura. 2-33 Sistema de Mando Centralizado, el TE-14 envía la información por medio de la torre de la Subestación, a la torre Repetidora de su Arteria. Esta a la torre del Puesto Central de Control (PCC) y esta a su vez a las consolas.

#### 2.4.17. UPS (Ondulador)

El Sistema de Mando Centralizado se encuentra respaldado por una unidad de alimentación eléctrica ininterrumpible llamado UPS on-line, la cual funciona con 50-60 (Hz) y tiene una potencia de 10-80 kVA. Este equipo soporta el suministro de energía eléctrica por variaciones de tensión inesperadas, el UPS es alimentado a su vez por un transformador también ubicado en la sala técnica, entregando 127 volts de ca. En caso de falla en su alimentación comercial el UPS se alimenta de un banco de baterías que consta de 32 celdas conectadas en serie, cada una de 12 volts de cd, el UPS finalmente se encarga de transformar esta corriente directa en corriente alterna.



Figura. 2-34 UPS 2000 provee alimentación estática ininterrumpida.



Figura. 2-35 Pantalla del UPS. Red 1 (alimentación normal) y Red 2 (vía de socorro).



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 2.5. Tendencias de la Rectificación del Transporte Eléctrico Mexicano

La tecnología HVDC clásica es conocida como LCC (Line Commutated Converter) o por conmutación natural. La estación convertidora es la parte fundamental de este sistema HVDC, pues es ahí donde se realiza la función básica de conversión de CA a CD y viceversa. Aunque el diseño de gran parte de los sistemas HVDC data de los años 70's cuando los tiristores comenzaron a reemplazar a las válvulas de vapor de mercurio, se ha tenido un gran desarrollo en el funcionamiento del equipo de los sistemas HVDC, esta tecnología emplea la conmutación natural para lograr la conversión.

#### 2.5.1. Válvulas de Tiristores

El diseño de las válvulas de los convertidores consta de un número limitado de conexiones en serie de tiristores y otros componentes. El número de conexiones en serie varía dependiendo de la tensión nominal de la válvula y del tiristor. Normalmente se emplean conexiones en serie de tiristor y reactancias. La reactancia controla mejor la diferencial de corriente  $di/dt$  durante el encendido del tiristor y minimiza los efectos de las variaciones entre encendidos de cada tiristor y ofrece una alta inductancia a bajas corrientes y una alta inductancia a corrientes altas. Las válvulas pueden contener también circuitos "snubber" (capacitores y resistencias conectados en serie) los cuales limitan la distorsión de tensión dentro de la válvula y las sobretensiones transitorias ocurridas durante la desactivación del sistema. Un dispositivo de protección contra las sobretensiones limita la tensión que puede aparecer a través de la válvula; el dispositivo es activado por las unidades de control, las cuales detectan la tensión instantánea en cada capa de cada tiristor. El diseño de las válvulas está basado en el concepto modular. Las conexiones en serie de tiristores y los circuitos auxiliares mencionados se encuentran arreglados en módulos y conectados a su vez en serie para formar una válvula. Un módulo de una válvula puede contener de 2 a 12 tiristores conectados en serie. Dicho módulo tiene las mismas propiedades eléctricas que una válvula completa, excepto por el valor reducido de la tensión nominal.

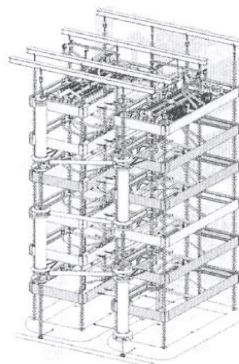


Figura. 2-36 Arreglo general de una torre de válvulas.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Los módulos son conectados en serie en una estructura para formar una válvula. La estructura puede contener tantos módulos como lo requiera la tensión de operación. Un arreglo común es un grupo de cuatro válvulas en una estructura con tres de estas torres formando una conexión en serie de dos puentes de Graetz. La ventaja de este arreglo es la simplificación del gradiente eléctrico al operar la válvula a muy altas tensiones de CD al ser colocado físicamente a una distancia mayor de tierra.



Figura. 2-37 Válvula con cuatro conexiones en serie de módulos de tiristores y reactancias.

### 2.5.2. Tiristores LTT (Light Tiggered Thyristor)

Estos tiristores pueden ser encendidos por la inyección de fotones en la compuerta en lugar de electrones. El uso de esta nueva tecnología puede reducir el número de componentes en la válvula de tiristores hasta en un 80%. Con los tiristores LTT, el pulso de control de la compuerta es transmitido por un cable de fibra óptica a través de la válvula del tiristor directamente a la oblea del tiristor, por lo que no se requieren circuitos electrónicos elaborados, ni fuentes auxiliares. La potencia requerida por la compuerta es de 40 mW. La protección contra sobretensiones es realizada en la oblea.

### 2.5.3. Tiristores ETT (Electrical Tiggered Thyristor)

Los tiristores ETT son accionados por pulsos eléctricos generados en una unidad de control electrónica pequeña del tiristor TCU (Thyristor Controller Unit). Los tiristores se disparan eléctricamente con energía tomada directamente del circuito “snubber” de amortiguación, esta señal óptica es amplificada por un GEU (Gate Electronic Unit). El GEU también puede efectuar el disparo de protección del tiristor independientemente de la unidad central de control. Esto es realizado por un diodo BOD (Breakover Diode) vía una resistencia limitadora de corriente la cual dispara al tiristor cuando la tensión de entrada amenaza con exceder la tensión nominal del tiristor. La diferencia entre tiristores ETT y LTT se enfoca en el plano comercial, los tiristores LTT no requieren de circuitos snubber y necesitan de una potencia menor en comparación a los ETT, sin embargo no cuentan con componentes redundantes y son mas complejos en su diseño y unidades de control. Es normal incluir algunos niveles redundantes de tiristores para permitir a la válvula quedarse en servicio después de la falla de algunos tiristores. También son empleados apartarrayos en cada válvula para protección contra sobretensión. Los tiristores producen considerables pérdidas por calor, normalmente de 30 a 40 MW/cm<sup>2</sup> (o sobre 1 MW para válvulas cuádruples típicas), por ello son esenciales sistemas de refrigeración eficientes. Algunos de los métodos de refrigeración emplean aire, aceite, gas (SF<sub>6</sub>) o agua desionizada.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### 2.5.4. HVDC basada en VSCs o “HVDC Light”

La transmisión HVDC basada en VSCs o también conocida como HVDC “Light” o HVDC “PLUS” es un nuevo método adecuado en casos de aplicaciones de generación y transmisión de potencia, desde unas pocas decenas hasta cientos de megawatts, para cables submarinos y subterráneos o sistemas de transmisión de enlace recíproco (“Back to Back”), aunque puede ocuparse también en líneas aéreas.

La tecnología HVDC Light o PLUS está basada en el diseño de convertidores de fuente de tensión (VSC Voltage Source Converters) de conmutación forzada y su comportamiento se asemeja al de las máquinas síncronas. Usando componentes de alta frecuencia de conmutación, como el transistor bipolar de compuerta aislada “IGBT” (Insulated Gate Bipolar Transistor), es posible usar tecnología de Modulación del Ancho de Pulso PWM (Pulse Width Modulation), para producir la tensión de corriente alterna como una conmutación ultra-rápida entre dos tensiones fijas.

Con la modulación PWM es posible producir cualquier ángulo de fase y amplitud (hasta cierto nivel), además de que se pueden variar prácticamente en forma instantánea. El método HVDC Light no solamente permite controlar en forma rápida y precisa el flujo de potencia activa, sino también puede generar o consumir potencia reactiva independientemente del flujo de potencia activa, manteniendo así estable la tensión y la frecuencia, lo cual da una flexibilidad total con respecto a la localización de los convertidores en el sistema de CA.

El diseño de la estación convertidora se basa en el concepto modular, para tensiones de CD de hasta los 150 kV la mayor parte del equipo es instalado en encapsulamientos en la subestación, mientras que para tensiones más altas de CD el equipo requerido es instalado en construcciones hechas específicamente para su resguardo. Los requisitos de espacio para las estaciones convertidoras son pequeños y todo el equipo es de interior, con excepción de los transformadores de potencia.

Las subestaciones son diseñadas para ser automatizadas, pueden ser operadas de manera remota o de manera autónoma, basado en las necesidades de la red de ca interconectadas, mientras que el mantenimiento requerido es determinado principalmente por el equipo convencional como lo son los interruptores de ca, el sistema de enfriamiento, etc. Los cables empleados en HVDC Light tienen un aislamiento de polímero y son operados en modo bipolar, con un cable con polaridad positiva y otro con polaridad negativa. Su resistencia mecánica y flexibilidad los hacen muy convenientes para instalaciones en condiciones de trabajo severas, por ejemplo, los cables submarinos pueden ser puestos en aguas más profundas y en fondos ásperos, los cables para tierra pueden ser instalados a un menor costo con la técnica de tendido, además de que también pueden ser empleados como cables aéreos.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



Algunos de los beneficios ambientales que ofrece esta tecnología son:

- Eliminación de los campos magnéticos, ya que los cables empleados se colocan en pares con la corriente (CD) en direcciones opuestas.
- Eliminación del riesgo de derrame de aceite, como el empleado en cables aislados por papel impregnado de aceite.
- El aislamiento del cable está basado en polímero y no es peligroso.
- Los metales empleados en el cable puede ser reciclados.

### 2.5.5. Aplicaciones

Mantener la integridad de un sistema de potencia depende de un control seguro y estable de la potencia activa y reactiva, la pérdida de este control puede llevar al colapso del sistema. Los convertidores de fuente de tensión (VSCs) tienen la ventaja de ser capaces de cambiar de manera casi instantánea su punto de trabajo y controlar de manera independiente la potencia activa y reactiva. Esto se puede utilizar para respaldar a la red con la mejor mezcla de potencia activa y reactiva durante condiciones de disturbios. En muchos casos una combinación de potencia activa y reactiva es una mejor solución comparado a solo tener la potencia activa o reactiva. Los sistemas de transmisión basados en VSCs por lo tanto pueden dar apoyo adicional a la red.





## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### 3. Esquema de Protección en Subestaciones Eléctricas Rectificadoras

La continuidad y la calidad del servicio son dos requisitos sumamente importantes para el transporte público es por esto que están íntimamente ligados al funcionamiento satisfactorio de los equipos eléctricos instalados en las subestaciones, razón para contar con un esquema de protección muy bien coordinado.

#### 3.1. Definición

La protección es la ciencia, técnica o arte de aplicar y seleccionar relevadores y/o fusibles para proporcionar la máxima sensibilidad para la detección de las fallas o condiciones indeseables, y no obstante, evitar su operación en todas las condiciones permisibles o tolerables.

Las protecciones son un seguro de vida que se compra para el sistema de potencia a un costo extremadamente bajo. Un proceso de protección puede resumirse en tres etapas, a saber:

- Detectar corrientes y/o tensiones (medición).
- Analizar si esos valores son o no perjudiciales al sistema (Lógica).
- Si son perjudiciales, desconectar la parte de la falla en el menor tiempo posible. (Acción).

La primera etapa del proceso de protección corresponde a la detección de las corrientes y/o los voltajes necesarios. Esta labor la realizan los dispositivos sensores, los cuales, a su vez, cumplen una función de protección a los aparatos y al personal de los altos voltajes y corrientes de potencia. Esta reducción en las cantidades medidas facilita la normalización de los relés (o aparatos de medida según el uso).

Es vital que la decisión correcta sea hecha por el mecanismo de protección, si la perturbación es intolerable y de esta manera demande una acción rápida, o si es una perturbación tolerable o situación transitoria que el sistema pueda absorber toman la decisión para que el dispositivo de protección opere si es necesario para aislar el área de perturbación rápidamente como sea posible y con un mínimo de disturbios en el sistema, este tiempo de perturbación es asociado a menudo de señales extrañas en la fuente, los cuales no beben "engañar" al dispositivo de protección para que origine una incorrecta operación.

Ambas, la operación por falla y la operación incorrecta pueden originar al sistema un problema mayor involucrando un aumento del daño al equipo, aumento en el riesgo para el personal, y una posible interrupción del servicio más larga. Estos requerimientos rigurosos hacen que los ingenieros de protección sean conservadores. Es por esto que un ingeniero de protección experimentado a menudo desea continuar usando equipos de protección que tengan un largo historial y confiabilidad.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Para minimizar los problemas potenciales y catastróficos que pueden resultar en el sistema de potencia en una falla en la protección, la práctica es el usar relevadores o sistemas de protección por relevadores operando en paralelo. Esto puede ser instalado en el mismo sitio, (protección primaria), en la misma estación (protección local), y/o en varias estaciones remotas (protección remota). Los tres sistemas de protección se pueden aplicar juntos este concepto es más rígido porque deben separarse las señales de corriente de la protección, ó sea que la medición sea separada.

Todos los dispositivos de protección deben coordinarse apropiadamente de tal forma que los relevadores primarios asignados para operar a la primera señal de disturbio en su zona de protección asignada operen primero. Si ellos fallarán, varios sistemas de respaldo deberán de ser capaces de conseguir la liberación del disturbio.

### 3.1.1. Objetivos de un Sistema de Protección Eficiente contra Disturbios Eléctricos

El objetivo que se busca al diseñar un sistema eléctrico de distribución es que los siguientes tres aspectos estén totalmente considerados:

El primero y que resulta ser el más común, es su operación normal, lo que significa que no debe haber interrupción en el servicio y que no existen cortos circuitos o circuitos abiertos en el sistema, el segundo aspecto se refiere a la **prevención de fallas**, es decir, obtener económica y técnicamente una solución óptima en el proceso de evitar la presencia de falla en el sistema y el tercer aspecto a considerar es la reducción de los efectos de las fallas cuando estas se presentan a pesar de las prevenciones, para este caso se consideran los elementos de protección adecuados para minimizar el numero de circuitos que salgan de servicio en caso de falla procurando afectar al menor número de usuarios. En si los objetivos principales de la instalación de protecciones son:

- Protección y seguridad para la vida humana.
- Protección y seguridad en la operación electromecánica y electrónica.
- Continuidad de operación y cumplimiento puntual con los programas de aseguramiento de la calidad.
- Compatibilidad electromagnética (mínimos niveles de interferencia y contaminación entre equipos, aparatos, componentes, accesorios y seres humanos).
- Alta eficiencia eléctrica. (Disminución del factor de pérdidas, minimizando las pérdidas de energía eléctrica, lo cual se traduce en ahorro de energía).
- Calidad de operación y equilibrio ecológico.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### 3.1.2. Tipos y Causas de Fallas

En los sistemas de distribución, como es el caso del Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal (STE), se pueden clasificar las fallas en dos grandes grupos que son:

- Fallas transitorias o instantáneas.
- Fallas permanentes.

En la distribución aérea las fallas transitorias (consideradas menores a 5 minutos) se presentan de 80 a 95% y están relacionadas de algún modo con las condiciones climatológicas existentes, siendo algunas de las causas más comunes las siguientes:

- Contacto instantáneo entre conductores desnudos, debido generalmente a la acción de vientos fuertes.
- Contacto con objetos extraños sobre las líneas; que pueden ser: ramas de árbol alambres, anuncios, aves que disminuyan la distancia de aislamiento, etc.
- Descargas atmosféricas.
- Arqueos por contaminación.
- Sobre corrientes instantáneas.
- Flameo de aisladores.
- Orquillamiento de trolebuses.

Las fallas permanentes se presentan en un 5% y son aquellas que persisten sin importar con que rapidez se abra el circuito siendo las más comunes las siguientes:

- Contacto sólido entre conductores o de conductores a tierra.
- Vandalismo.
- Degradación de aislamiento.
- Sobrecarga permanente.
- Robo de cable alimentador.

### 3.2. Tipos de Protecciones

Derivado de la diversidad de las causas de falla que pueden afectar el sistema no podemos prescindir de una adecuada protección. De donde la aplicación y coordinación selectiva de equipos de protección requiere conocer los puntos donde se aplicaran, esto a razón de donde se presentan sobre corrientes, sobre voltajes, etc. Por tal motivo las protecciones instaladas deberán presentar aspectos de: confiabilidad, sensibilidad, selectividad y rapidez.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



**CONFIABILIDAD:** para tener un sistema confiable debemos contar con dos aspectos muy importantes como son la calidad en funcionamiento y seguridad. El primero indica ciertamente que siempre será correcta la operación en respuesta a las fallas, mientras que la segunda es la habilidad para no emitir falsas operaciones.

**SENSIBILIDAD:** el equipo de protección debe ser lo suficientemente capaz para detectar las fallas, dependiendo de su ubicación en el sistema.

**SELECTIVIDAD:** se obtiene cuando el equipo está coordinado adecuadamente, con el objeto de que solo opere el equipo de protección más cercano a la falla, quedando el inmediato anterior como dispositivo de respaldo.

**RAPIDEZ:** al desconectar oportunamente el circuito, antes de que la sobre corriente alcance una magnitud tan elevada que dañe o destruya al equipo.

Con las características anteriores, se logra la función de la protección la cual es:

- Aislar las fallas del resto del circuito.
- Reducir el número de fallas permanentes.
- Incrementar la continuidad del servicio.
- Reducir el tiempo para localizar las fallas.
- Prevenir daños al equipo.
- Reducir la probabilidad de falla destructiva.
- Reducir al máximo las situaciones peligrosas para el público en general.

### 3.3. Esquema de Protección utilizados en el Servicio de Transporte Eléctrico del D.F.

Las partes de las que consta la protección de los equipos y elementos de las subestaciones son los siguientes:

#### 89 AC Cuchillas de Operación 23 kV

Cuchillas de línea (número NEMA 89) en este caso lleva las iniciales AC. Es un desconectador utilizado como seccionador o separador de circuitos de potencia de corriente alterna siempre que sea accionado eléctricamente o tenga accesorios eléctricos, tales como desconectador auxiliar, bloqueo magnético etc.

Elemento de desconexión, de operación sin carga, que aísla al circuito de potencia (interruptor NEMA 52, transformador de potencia, puente rectificador) de las barras principales de 23 kV. Para su mantenimiento.



Figura. 3-1 Cuchillas 89AC conectadoras y desconectadoras.

#### Interruptor UR-52 de Potencia Para Corriente Alterna

Interruptor número NEMA 52: Dispositivo utilizado para cerrar o abrir un circuito de corriente alterna bajo condiciones normales o para abrir el circuito bajo condiciones de emergencia o de falla.



Figura. 3-2 Interruptor 52 piernas v mecanismo.

### Transformadores de Corriente (TC)

En la subestacion son utilizados como parte del equipo de medición que indica el consumo que se realiza en la operación de los equipos rodantes que son alimentados por cada una de las subestaciones, de esta manera indica la protección contra sobre corrientes o cortos circuitos producidos por parte de la compañía suministradora de energía en este caso CFE.



Figura. 3-3 Transformadores de Corriente.

### Transformadores de Potencial (TP)

El transformador de potencial es un transformador que mide las tensiones. Este equipo de medición se define como un transformador especial destinado a reducir las magnitudes de voltaje existentes en una línea de distribución de energía de media tensión a valores apropiados para ser medidos o censados por medidores de energía, relés o circuitos de control.



Figura. 3-4 Transformadores de Potencial.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### Relevadores (Relé)

Son dispositivos electromagnéticos o electrónicos que protegen los equipos de una instalación eléctrica de los efectos destructivos de una falla y reducen sus efectos y daños. Al decir “que protegen” se hace referencia que al actuar en combinación con otros equipos, se encargan de reducir el daño, debido a la rápida desconexión del equipo que haya fallado.

Los relevadores son dispositivos que envían a los interruptores considerados una señal de apertura y se dice que funcionan cuando al energizarse su bobina de disparo cierra sus contactos, disparando los interruptores. Los relevadores se pueden dividir en tres grandes grupos:

Atracción electromagnética.  
Inducción electromagnética.  
Estado sólido.

Cualquiera de ellos opera por medio de las señales recibidas, que pueden ser:

- Tensión. Derivada de transformadores de potencial.
- Corriente. Derivada de transformadores de corriente.
- Mixtos. Reciben ambas señales simultáneamente.

### Protección con Fusibles

Los fusibles son elementos utilizados también en la protección. La IEEE define un fusible como: "Un dispositivo de protección de sobre - corriente con un elemento térmico que al ser calentado severamente por el paso de la sobre - corriente a través del, abrirá el circuito". Así los relevadores de protección y sus sistemas asociados (a menudo se abrevia simplemente como relevadores o sistemas del relevador.

Este tipo de protección primaria (esta en el circuito de potencia), que se usan en alimentadores de distribución; el fusible se selecciona para que en caso de falla separe la zona afectada del resto del sistema. Los tipos de fusibles más comunes son los de tipo K y los de tipo T, siendo los de tipo K rápidos y los de tipo T lentos. Los fusibles tienen un bajo costo de adquisición, una operación rápida para altas corrientes, un mantenimiento bajo y la limitación de corriente basada en la corrientes que manejan las subestaciones, en algunos casos no son reutilizables, su operación es monopolar, si no tienen disparador.

### Protección con Relevadores de Sobrecorriente

En su forma más sencilla una protección eléctrica opera en la forma mostrada en la Figura. 3-5 donde:

- TC = Transformador de corriente.
- B = Bobina de operación del relevador.
- C = Contacto de disparo del relevador.
- Bd = Bobina de disparo del interruptor de potencia.

El relevador recibe en su bobina de operación B, la señal de corriente del secundario de protección del transformador de corriente (TC). Esta bobina cierra el contacto de disparo C del relevador que, a su vez, permite el paso de la corriente directa de la batería principal de 120 volts y energiza la bobina del circuito de disparo del interruptor Bd que, al abrir, aísla la zona que se encuentra bajo condiciones de falla.

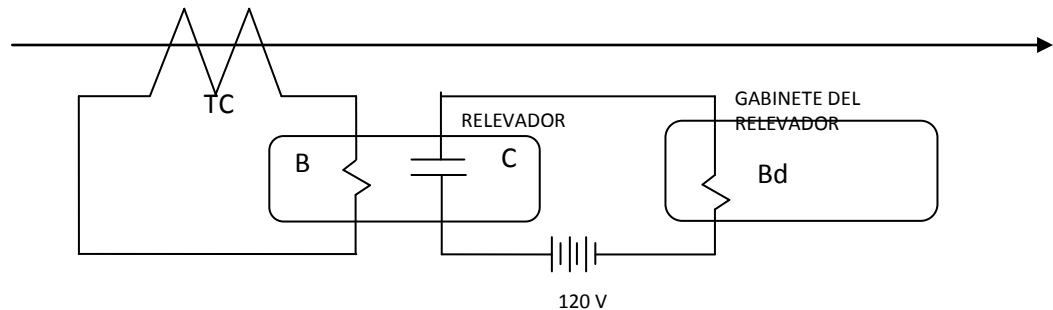


Figura. 3-5 Relevador.

Este tipo de protección tiene la cualidad de poderse utilizar después de operar y de facilitar la coordinación.



Figura. 3-6  
Tablero de control con relevadores de protección.





## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



La fuerza ejercida por el disco del relé depende del flujo, y este es directamente proporcional al número de vueltas y la corriente mínima de operación, esto es, si aumenta el número de vueltas, la corriente necesaria para apenas hacer operar el relé disminuye y viceversa. Para que se produzca el mismo par se necesitan los mismos Amper vuelta (NI); esa condición es la que permite variar la corriente mínima de operación, es decir al variar el tap se varia el número de espiras, y por tanto la corriente mínima de operación.

El tiempo de operación, a su vez depende de la posición de arranque del disco. Si el disco arranca de una posición más alejada se demora más en llegar a la posición de cierre de contactos para la misma corriente. Esta circunstancia se aprovecha para cambiar el tiempo de operación del relé, al decir fijar el relé se hace referencia a la fijación del tap y su dial.

### TAP

Los "taps" (derivación en español) no son más que derivaciones de alguno de los bobinados del transformador, a veces para cambiar el voltaje de entrada, o para escoger distintos voltajes de salida en el secundario.

Función: regular el nivel de tensión a la salida del transformador, incrementando o disminuyendo el número de espiras del embobinado primario.

Operación: el TAP es un mecanismo interno y expuesto externamente, se encuentra en el interior del transformador pero sobresale su terminal o Switch Selector, este switch permite hacer contacto con 5 diferentes terminales del embobinado primario generalmente numerados del 1 al 5.

El tap se debe seleccionar de manera que cumpla con las siguientes condiciones:

- Ser mayor que la corriente de carga para que no opere en condiciones normales de trabajo del sistema.
- Ser menor que la corriente mínima de operación para lograr la operación bajo cualquier condición.

La fijación del tap debe tener en cuenta el punto a partir del cual arrancan las características de operación de los relés (normalmente 1.5 veces el tap), para que la corriente mínima de cortocircuito sea mayor que ese valor.

### Relevador Instantáneo de Sobrecorriente

Relevador (número NEMA 50) que funciona instantáneamente al alcanzar la corriente un valor excesivo o si la corriente aumenta con demasiada rapidez lo cual es señal de que ha habido una falla en el aparato o en el circuito protegido.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### Protección de Transformador

La protección para los transformadores de potencia dependen del tamaño, la tensión y la importancia que pueda tener en el sistema.

En la práctica general además de las protecciones eléctricas contra sobrecalentamiento o sobrecarga, puede haber accesorios térmicos o mecánicos para la activación de una alarma, un banco de ventiladores y en el peor de los casos desconectar los transformadores.

La protección de los transformadores se hace típicamente con fusibles para potencia de 6.5 kVA.

Las normas NEMA especifican que para tensiones inferiores a 600 volts primarios y si los transformadores se protegen solo en el primario, los fusibles deben tener una capacidad de corriente inferior del 150% de la capacidad primaria del transformador.

### Protección Relevador Buchholz

Relevador (número NEMA 63) que funciona a valores dados de la presión, flujo o nivel de un líquido o de un gas o a un régimen de variación determinado de dichas magnitudes. Es un relé situado en el canal de conducción de los gases hacia el conservador colocado en la parte superior de algunos transformadores. El relé consta de dos interruptores de mercurio. Uno cierra el conducto por la acumulación de gases en el relé, consecuencia de algún corto entre espiras o alguna sobre-carga; el otro actúa por el caudal con que pasan los gases hacia el conservador como sucede en condiciones de corto circuito. El primero acciona una alarma mientras el segundo activa el interruptor de disparo para la desconexión del transformador.



Figura. 3-7 Relevador Buchholz.

Cuando se presenta una falla en un transformador enfriado por aceite, se generan gases, haciendo que el relevador Buchholz envíe una alarma. Este relevador contiene dos elementos, uno para fallas menores (la cual genera una alarma) y otro para fallas mayores (genera disparo). Los elementos de alarma operan después de que determinado volumen de gas se acumula dentro del relevador. Ejemplos de fallas que provocarían generación de gases serían:



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



- Falla en el aislamiento de los tornillos de sujeción del núcleo.
- Cortos en los laminados.
- Contactos o conexiones eléctricas defectuosas.
- Puntos calientes excesivos en los devanados.

El elemento de disparo opera en el caso de un cambio súbito en el aceite cuando sucede una falla más crítica como:

- Falla a tierra debido a daño en el aislamiento de devanado a tierra (tanque).
- Cortocircuito interno en el devanado.
- Cortocircuito entre fases.

### Protección de Temperatura

Este instrumento indica la temperatura actual del aceite en la parte superior del tanque. Los instrumentos incluyen la carátula, bulbo sensor, y el medidor con aguja de máxima temperatura alcanzada, la cual se puede restablecer. Los contactos eléctricos se utilizan para poder mandar alarma o disparo en el nivel de ajuste que se determine. Para detectar las altas temperaturas en el aceite y los efectos de calentamiento de la corriente de carga sobre el devanado, se usa el relé con elementos termostáticos sumergidos en el aceite del transformador, que lleva una corriente proporcional a la corriente de carga. La forma de lograrlo es ubicando el indicador de temperatura en una bolsa de aceite, e introducir allí una resistencia que varía con la temperatura, con un TC ubicado en el embobinado. Esta bolsa es un réplica térmica del devanado y se coloca aproximadamente 25 cm por debajo del tope del tanque, donde se supone se encuentra la parte más caliente del aceite. Esta replica tiene como función medir la temperatura del transformador desconectándolo si es muy alta ya que acciona un contacto.



Figura. 3-8 Medidor de temperatura con zona.

### Interruptor Ultra Rápido UR-54

La función principal del interruptor Ultra Rápido es abrir el circuito eléctrico con carga nominal, en condiciones de sobre carga y corto circuito.

El interruptor UR-54 nos permite proteger a los alimentadores de sección en forma agrupada, es decir en caso de que un interruptor de línea no opere, el interruptor UR-54 operará de forma inmediata para proteger al equipo rectificador y el transformador de potencias de sobreesfuerzos electromecánicos. Tiene la función de desconectar los circuitos eléctricos, en cualquiera de las condiciones siguientes: con carga, en vacío y en condiciones de falla.

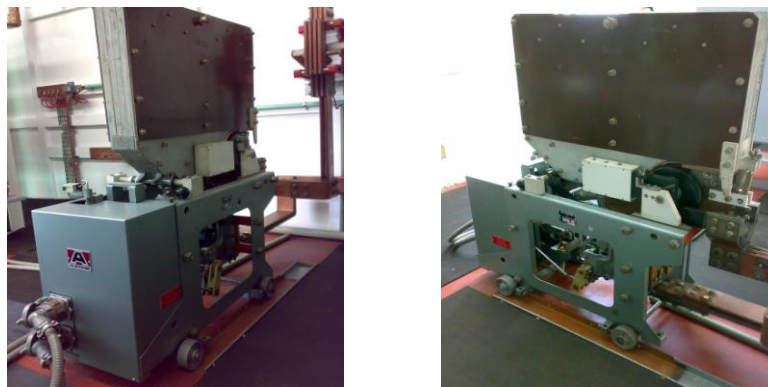


Figura. 3-9 Interruptor UR-54.

### Seccionadores Manuales ( 89N Y 89P )

Tienen la función de aislar la energía de los buces positivo y negativo del puente rectificador y del interruptor UR-54.



Figura. 3-10 Seccionadores 89N y 89P.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### Interruptores Derivados (Línea 11,12,21,22 Y 31)

Interruptor derivado o de sección encargados de distribuir la alimentación de las diferentes secciones.



Figura. 3-11 Interruptores derivados.

La función que desempeñan en el sistema es seccionar la carga del rectificador para proporcionar alimentación independiente para diferentes secciones de servicio.

Los interruptores derivados protegen al puente rectificador de cortos circuitos externos y descargas atmosféricas presentadas en las secciones de servicio, esto por medio de las protecciones individuales de cada interruptor derivado.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### Diagrama Unifilar de una Subestación Eléctrica Rectificadora

Un diagrama unifilar es una representación gráfica de una instalación eléctrica o de parte de ella. El esquema unifilar se distingue de otros tipos de esquemas eléctricos en que el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de dichos conductores. Típicamente el esquema unifilar tiene una estructura de árbol como se puede observar a continuación.

#### SUBESTACIÓN RECTIFICADORA JEUMONT SCHNEIDER

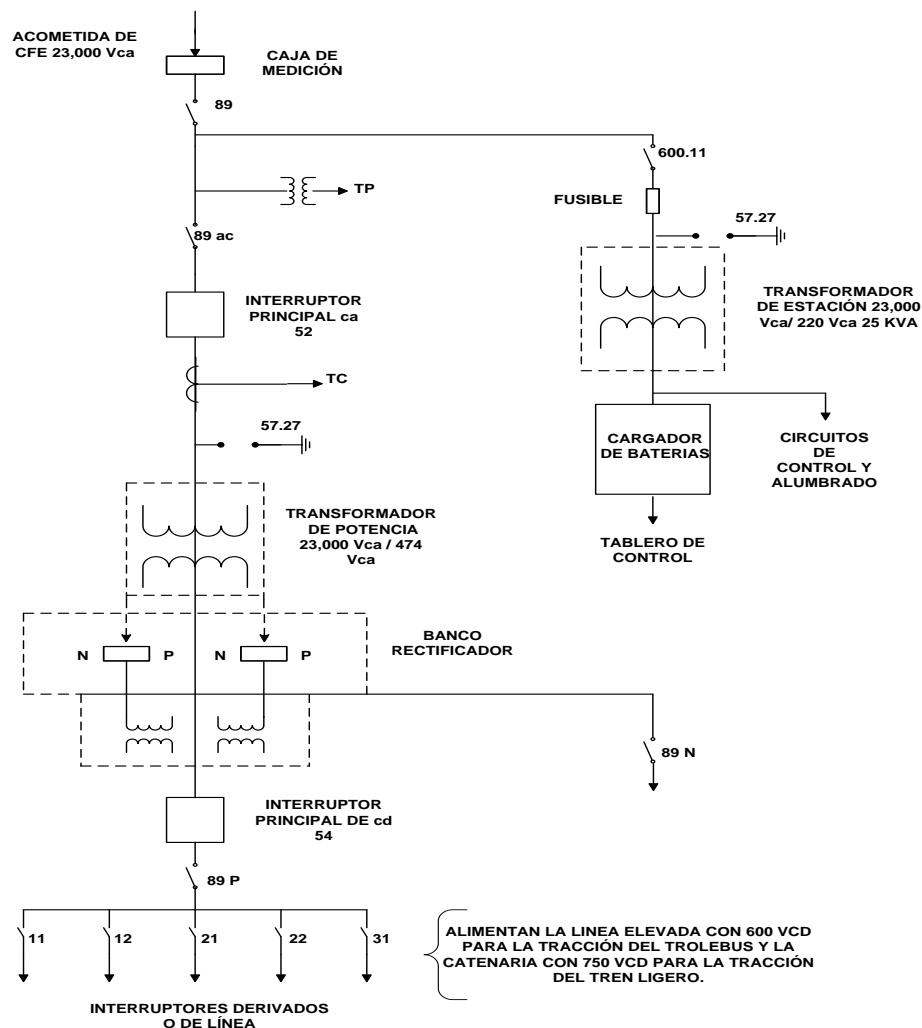


Figura. 3-12 Diagrama Unifilar de una Subestación Rectificadora para Trolebús y Tren Ligero.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### Protecciones en el Rectificador

El equipo rectificador, incluirá dispositivos protectores que limiten los picos de voltaje inverso, debido a fenómenos transitorios en los voltajes de C.A. ó C.D.

Las subestaciones con las que opera el Servicio de Transportes Eléctricos del DF cuentan también con las siguientes protecciones para condiciones anormales:

- a) Sobrecargas.
- b) Sobre temperatura en el transformador principal.
- c) Bajo voltaje, fases incorrectas, desequilibrio de fases en C.A.
- d) Falla en la refrigeración del rectificador.
- e) Falla de los diodos.
- f) Falla a tierra de los gabinetes.
- g) Descargas atmosféricas en el lado C.A y C.D.
- h) Presencia de gases en el transformador principal.
- i) Corto circuito en C.A.
- j) Apertura del gabinete que aloja al rectificador.

Los anteriores puntos son considerados como anormales ya que, son ocasionados por factores externos a la subestación, ya sea generado por alguna falla en la calle por el equipo rodante, o por factores humanos como en el caso de la apertura de los gabinetes sin antes desenergizar los equipos, esto para protección del personal.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### Corriente de Cortocircuito en un Punto de la Línea

Supongamos un cortocircuito producido a la salida de un transformador para baja tensión, es decir, el cortocircuito más desfavorable que puede producirse. Para determinar esta intensidad dispondremos de un método práctico basado en unas gráficas que representan las variaciones de la intensidad de cortocircuito en función de la potencia del transformador y de la resistencia de la línea intercalada hasta el lugar del cortocircuito. Basándonos en estas gráficas, el procedimiento a seguir será el siguiente:

1. Se calcula la resistencia del conductor intercalado desde el transformador hasta el cortocircuito.
2. Al valor de resistencia que resulte deberá sumarse el valor del hilo neutro, cuando el cortocircuito sea entre fase y neutro, multiplicarlo cuando el cortocircuito sea entre dos fases.
3. El resultado obtenido se traslada al gráfico de la Figura. 3-13 donde en función de la potencia del transformador, se determinará el valor de la intensidad de cortocircuito en amperios. Mediante este procedimiento obtenemos la intensidad de cortocircuito en el punto elegido, y con él tendremos el poder de corte mínimo del fusible o interruptor automático que vayamos a colocar. El valor obtenido será en exceso ya que no tenemos en cuenta la reactancia de la línea.

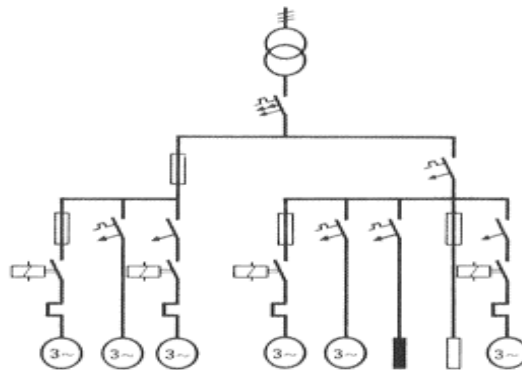


Figura. 3-13 Cortocircuito.

Así, según vemos en la figura anterior, inmediatamente después del transformador tenemos un interruptor automático, dividiéndose el circuito en dos ramales, con sendas derivaciones a motores y resistencias de calefacción. Hasta llegar a los receptores, existen una serie de protecciones selectivas y en cada uno de estos puntos deberemos calcular la intensidad de cortocircuito para poder dimensionar correctamente cada una de las protecciones.





## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### Esquemas de protección con relés

Los diseños y presentaciones específicas de los esquemas de protección varían según los requerimientos de aplicación, los detalles de construcción, así como con el ciclo de vida del equipo utilizado en particular. Originalmente, todos los relevadores de protección fueron del tipo electromagnético y electromecánico, los últimos siguen estando en gran uso, pero poco a poco están siendo desplazados o sustituidos por los diseños de estado sólido los cuales por su confiabilidad y seguridad están proliferando cada día más.

#### **Beneficios adicionales:**

Ahorro en el consumo de energía eléctrica, al corregir la ineficiencia del neutro de su instalación y disminuir el factor de pérdidas.

Atenuación de picos, transitorios, y demás fluctuaciones de energía eléctrica que dañan y destruye sus aparatos electrónicos.

Mayor vida útil para lámparas y focos, con el ahorro económico consecuente.

Seguridad y protección eléctrica para los seres vivos, contra descargas eléctricas y cortos circuitos.

Mayor calidad de vida, al disminuir peligrosos niveles de señales o ruido eléctrico y electromagnético que afectan la salud.

Mayor eficiencia y vida útil del cableado de su instalación eléctrica.

Menor riesgo de explosión de tanques de gas, al cancelar peligrosos gradientes de potencial entre tubería de cobre, tanques, motor de bombeo de agua y calentador.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



**4. Implementación de la Subestación Rectificadora “Doctor Pascua”**

Se busca mejorar el servicio que actualmente se da en el “Eje Central” y para esto se piensa en la incorporación de la subestación Doctor Pascua al Corredor Cero Emisiones “CCE”. Esto para reducir la longitud de las secciones y disminuir la carga que llevan las subestaciones Lázaro Cárdenas y Jaime Nunó. Debido a la localización de estas subestaciones generalmente tienen una gran demanda de corriente. Ya que sus secciones se encuentran en la zona centro. Sobre todo las de Lázaro Cárdenas que en horas pico se vuelven muy conflictivas. Por ello la necesidad de tener otra subestación en esta zona, para garantizar el suministro de energía a las unidades y así poder dar un mejor servicio.

**4.1. Antecedentes**

El Corredor Cero Emisiones cuenta con 7 Subestaciones para su operación y 5 Subestaciones que en caso de falta de corriente alterna por parte de CFE, mantenimientos o fallas en las líneas apoyan a estas. Tal es el caso de Culhuacan que apoya a Tasqueña, San Andrés Tetepilco que apoya a Panamá, San Borja que apoya a Xola, Centro Médico que apoya a Lázaro Cárdenas y de Politécnico que apoya a Potrero. Cabe mencionar que se pueden apoyar por telemando o bien hacer interconexiones entre las subestaciones para apoyarse entre sí.

Subestaciones del Corredor Cero Emisiones “Eje Central”		
Número	Subestación	Secciones
1	Tasqueña	114
		126
2	Panamá	109
		132
3	Xola	104 (Telemando)
		241 (Telemando)
		242 (Telemando)
4	Lázaro Cárdenas	195 (Telemando)
		196 (Telemando)
		198 (Telemando)
		104 (Telemando)
5	Jaime Nunó	170
		195 (Telemando)
		196 (Telemando)
		105 (Telemando)
6	Beethoven	248
		249
		105 (Telemando)
7	Potrero	112 (Telemando)
		113 (Telemando)
<b>Total:</b>	<b>7 Subestaciones</b>	<b>20 Secciones</b>

Tabla. 4-1 Subestaciones del Eje Central “CCE”.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



Apoyos de las Subestaciones Rectificadoras del Corredor Cero Emisiones “Eje Central”. El “Eje Central” cuenta con 5 Subestaciones Rectificadoras de apoyo.

<b>Subestaciones que apoyan al Corredor Cero Emisiones “Eje Central”</b>		
1	<b>Culhuacan</b>	136
2	<b>San Andrés Tetepilco</b>	107
		139
3	<b>San Borja</b>	143
		142
4	<b>Centro Médico</b>	237
5	<b>Politécnico</b>	165
		166
<b>Total:</b>	<b>5 Subestaciones</b>	<b>8 Secciones</b>

Tabla. 4-2 Subestaciones de apoyo al Eje Central “CCE”.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Subestación Potrero. Se muestra la longitud de sus secciones, la localización de las mismas, los Apoyos por Telemando y Amarres Manuales.

- Las líneas continuas son apoyos en primer término (telemando)
- Las líneas punteadas son apoyos en segundo término (amarre manual)

Subestación	Interruptor	Sección	Longitud	Localización	Línea
Politécnico	11	165 <i>secundaria</i>	2.41	De la Subestación, por Av. Othon de Mendizábal Norte., Eje Central Lázaro Cárdenas lado Poniente hasta Montevideo.	Circuito Politécnico
	12	166 <i>secundaria</i>	2.06	De de la Subestación por Av. Othon de Mendizábal Sur., Eje Central Lázaro Cárdenas lado Oriente. hasta Montevideo	Circuito Politécnico
	21	167	4.48	De la Subestación por Av. Juan de Dios Batiz lado Norte, Calle Manuel de Anda lado Oriente, Calle Wilfredo Massieu lado Sur hasta Eje Central Lázaro Cárdenas.	Circuito Politécnico
	22	168	4.13	De la Subestación por Av. Juan de Dios Batiz lado Sur, Calle Manuel de Anda lado Poniente, Calle Wilfredo Massieu lado Norte hasta Eje Central Lázaro Cárdenas.	Circuito Politécnico
	31	auxiliar			
Potrero	11	113 <i>primaria</i>	3.79	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado Poniente) desde Av. Montevideo hasta Av. Cuithahuac (frente a la Subestación Potrero)	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	111b	4.8	Desde la Av. Jardín Sobre Av. Cuithahuac hasta la Subestación Potrero.	Metro Boulevard Puerto Aéreo – Metro El Rosario
	21	117	6.3	Oriente 101, Noé Robles Domínguez, desde la Av. Congreso de la Unión hasta frente a la Subestación Potrero y por Eje Central, desde Insurgentes hasta Pte. 112 (ambos sentidos).	Metro Boulevard Puerto Aéreo – Metro El Rosario
	22	112 <i>primaria</i>	3.19	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado Oriente) desde poniente 112 hasta Av. Montevideo, incluye el retorno desde Av. fortuna hasta Montevideo.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	Auxiliar	----	-----	-----
Beethoven	11	247	2.5	Desde la calle de Beethoven, sobre la Calzada de Guadalupe y Paseo de la Reforma (lado Oriente).hasta la calle de Francisco González Bocanegra.	Metro Hidalgo – San Felipe de Jesús
	12	249	1.13	De la salida de la subestación, por la calle Beethoven hasta el Eje Central Lázaro Cárdenas (cables alimentadores).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	105 <i>secundaria</i>	1.8	De la calle Beethoven por El Eje Central Lázaro Cárdenas (lado Poniente) hasta frente la subestación Potrero, (Puente vehicular de Lázaro Cárdenas e Insurgentes)	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	248	1.70	Cables alimentadores positivo y negativo desde la Subestación Beethoven hasta el Eje Central 1 Km. aprox.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	246	2.5	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado Oriente) desde poniente 112 hasta Av. Montevideo, incluye el retorno desde Av. fortuna hasta Montevideo.	Metro Hidalgo – San Felipe de Jesús

Tabla. 4-3 Interconexiones de la Subestación Potrero.

- Secciones secundarias el interruptor se encuentra abierto.
- Secciones primarias el interruptor se encuentra cerrado.
- Amarre manual lo realiza Línea Elevada en la zona que se necesite.
- Apoyo por telemando se realiza desde el Puesto de Despacho de Carga.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Subestación Beethoven. Se muestra la longitud de sus secciones, la localización de las mismas, los Apoyos por Telemando y Amarres Manuales.

Subestación	Interruptor	Sección	Longitud	Localización	Línea
Potrero Apoyo	11	113 primaria	3.79	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado Poniente) desde Av. Montevideo hasta Av. Cuatlahuac (frente a la Subestación Potrero)	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	111b	4.8	Desde la Av. Jardín Sobre Av. Cuatlahuac hasta la Subestación Potrero.	Metro Boulevard Puerto Aéreo – Metro El Rosario
	21	117	6.3	Oriente 101, Noé Robles Domínguez, desde la Av. Congreso de la Unión hasta frente a la Subestación Potrero y por Eje Central, desde Insurgentes hasta Pte. 112 (ambos sentidos).	Metro Boulevard Puerto Aéreo – Metro El Rosario
	22	112 Primaria	3.19	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado Oriente) desde poniente 112 hasta Av. Montevideo, incluye el retorno desde Av. fortuna hasta Montevideo.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	Auxiliar	-----	-----	-----
Beethoven En licencia o falla	11	247	2.5	Desde la calle de Beethoven, sobre la Calzada de Guadalupe y Paseo de la Reforma (lado Oriente), hasta la calle de Francisco González Bocanegra.	Metro Hidalgo – San Felipe de Jesús
	12	249	1.13	De la salida de la subestación, por la calle Beethoven hasta el Eje Central Lázaro Cárdenas (cables alimentadores).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	105 secundaria	1.8	Eje Central Lázaro Cárdenas lado Poniente, desde la entrada del puente vehicular del Eje 1 Nte. y Paseo de la Reforma, hasta Beethoven.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	248	1.70	Cables alimentadores positivo y negativo desde la Subestación Beethoven has el Eje Central 1 Km. aprox.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	246	2.5	Desde la calle de Beethoven, sobre la Calzada de los Misterios y Paseo de la Reforma (lado Poniente), hasta la calle de Allende.	Metro Hidalgo – San Felipe de Jesús
Jaime Nunó Apoyo	11	170	2.17	Eje Central Lázaro Cárdenas lado Oriente, desde la entrada del puente vehicular del Eje 1 Nte. y Paseo de la Reforma, hasta Beethoven.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	195 secundaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	196 secundaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado oriente)	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	226	3.3	Frente a la Subestación Jaime Nuno por Reforma hasta el Metro Hidalgo (ambos sentidos) incluyendo Valerio Trujano y Av. Hidalgo.	San Felipe de Jesús Metro Hidalgo
	31	105 primaria	2.17	Eje Central Lázaro Cárdenas lado Poniente, desde la entrada del puente vehicular del Eje 1 Nte. y Paseo de la Reforma, hasta Beethoven.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"

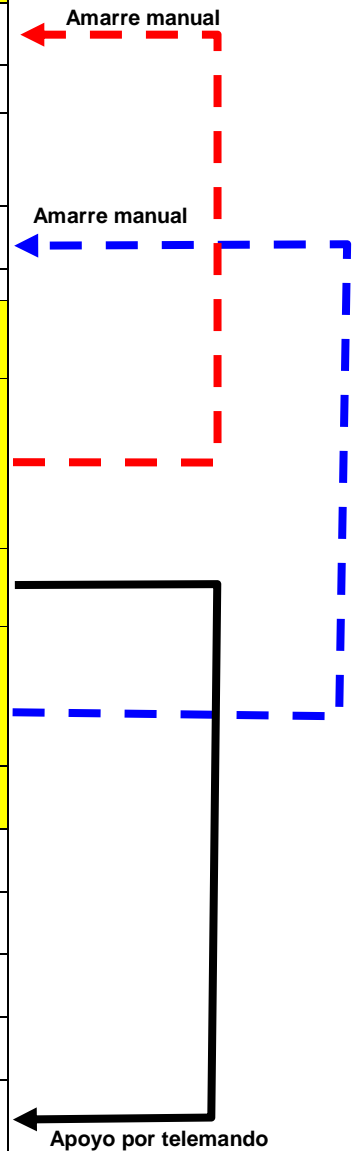


Tabla. 4-4 Interconexiones de la Subestación Beethoven.

- Secciones secundarias el interruptor se encuentra abierto.
- Secciones primarias el interruptor se encuentra cerrado.
- Amarre manual lo realiza Línea Elevada en la zona que se necesite.
- Apoyo por telemando se realiza desde el Puesto de Despacho de Carga.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Subestación Jaime Nunó. Se muestra la longitud de sus secciones, la localización de las mismas, los Apoyos por Telemando y Amarres Manuales.

Subestación	Interruptor	Sección	Longitud	Localización	Línea
Beethoven Apoyo	11	247	2.5	Desde la calle de Beethoven, sobre la Calzada de Guadalupe y Paseo de la Reforma (lado Oriente) hasta la calle de Francisco González Bocanegra.	Metro Hidalgo – San Felipe de Jesús
	12	249	1.13	De la salida de la subestación, por la calle Beethoven hasta el Eje Central Lázaro Cárdenas (cables alimentadores).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	<b>105</b> secundaria	1.8	Eje Central Lázaro Cárdenas lado Poniente, desde la entrada del puente vehicular del Eje 1 Nte. y Paseo de la Reforma, hasta Beethoven.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	248	1.70	Cables alimentadores positivo y negativo desde la Subestación Beethoven hasta el Eje Central 1 Km. aprox. Eje Central Lázaro Cárdenas (lado Oriente) desde poniente 112 hasta Av. Montevideo, incluye el retorno desde Av. fortuna hasta Montevideo.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	246	2.5	Desde la calle de Beethoven, sobre la Calzada de los Misterios y Paseo de la Reforma (lado Poniente) hasta la calle de Allende.	Metro Hidalgo – San Felipe de Jesús
Jaime Nunó En licencia o falla	11	170	2.17	Eje Central Lázaro Cárdenas lado Oriente, desde la entrada del puente vehicular del Eje 1 Nte. y Paseo de la Reforma, hasta Beethoven.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	<b>195</b> secundaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	<b>196</b> secundaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado oriente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	226	3.3	Frente a la Subestación Jaime Nuno por Reforma hasta el Metro Hidalgo (ambos sentidos) incluyendo Valerio Trujano y Av. Hidalgo.	San Felipe de Jesús Metro Hidalgo
	31	<b>105</b> primaria	2.17	Eje Central Lázaro Cárdenas lado Poniente, desde la entrada del puente vehicular del Eje 1 Nte. y Paseo de la Reforma, hasta Beethoven.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
Lázaro Cárdenas Apoyo	11	<b>195</b> primaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	<b>196</b> primaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado oriente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	<b>104</b> secundaria	2.5	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Manuel J. Othon, hasta Xola ( lado oriente). Glorieta Tío Sam. (lado oriente)	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	<b>198</b> primaria	2.5	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta Xola (lado poniente). Glorieta Tío Sam. (lado poniente)	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	auxiliar	-----	-----	-----

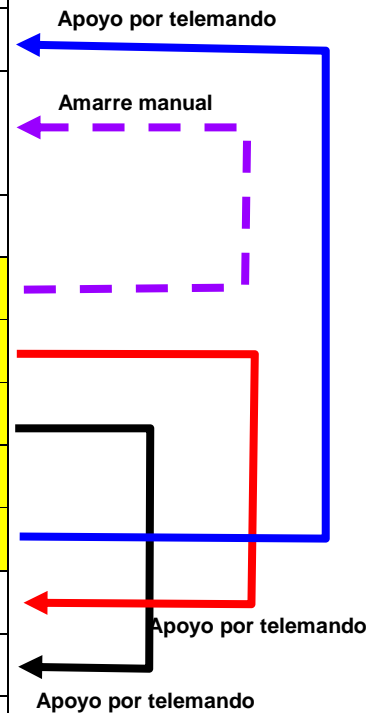


Tabla. 4-5 Interconexiones de la Subestación Jaime Nunó.

- Secciones secundarias el interruptor se encuentra abierto.
- Secciones primarias el interruptor se encuentra cerrado.
- Amarre manual lo realiza Línea Elevada en la zona que se necesite.
- Apoyo por telemando se realiza desde el Puesto de Despacho de Carga.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Subestación Lázaro Cárdenas. Se muestra la longitud de sus secciones, la localización de las mismas, los Apoyos por Telemando y Amarres Manuales.

Subestación	Interruptor	Sección	Longitud	Localización	Línea
<b>Jaime Nunó</b> <b>Apoyo</b>	11	170	2.17	Eje Central Lázaro Cárdenas lado Oriente, desde la entrada del puente vehicular del Eje 1 Nte. y Paseo de la Reforma, hasta Beethoven.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	195 secundaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	196 secundaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado oriente)	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	226	3.3	Frente a la Subestación Jaime Nunó por Reforma hasta el Metro Hidalgo (ambos sentidos) incluyendo Valero Trujano y Av. Hidalgo.	San Felipe de Jesús Metro Hidalgo
	31	105 primaria	2.17	Eje Central Lázaro Cárdenas lado Poniente, desde la entrada del puente vehicular del Eje 1 Nte. y Paseo de la Reforma, hasta Beethoven.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
<b>Lázaro Cárdenas</b> <b>En licencia o falla</b>	11	195 primaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	196 primaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado oriente)	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	104 secundaria	2.5	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Manuel J. Othon, hasta Xola ( lado oriente). <i>Glorieta Tío Sam. (lado oriente)</i>	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	198 primaria	2.5	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta Xola ( lado poniente). <i>Glorieta Tío Sam. (lado poniente)</i>	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	auxiliar	-----	-----	-----
<b>Xola</b> <b>Apoyo</b>	11	104 primaria	2.5	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Manuel J. Othon, hasta Xola (lado oriente). <i>Glorieta Tío Sam. (lado oriente)</i>	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	-----	-----	-----	-----
	21	-----	-----	-----	-----
	22	242 primaria	2.73	La Quemada, Xola, Eje Central Lázaro Cárdenas hasta Calz. Santa Cruz (lado oriente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	241 primaria	2.73	La Quemada, Xola, Eje Central Lázaro Cárdenas hasta Miguel Laurent (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"

Tabla. 4-6 Interconexiones de la Subestación Lázaro Cárdenas.

- Secciones secundarias el interruptor se encuentra abierto.
- Secciones primarias el interruptor se encuentra cerrado.
- Amarre manual lo realiza Línea Elevada en la zona que se necesite.
- Apoyo por telemando se realiza desde el Puesto de Despacho de Carga.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**

Subestación Xola. Se muestra la longitud de sus secciones, la localización de las mismas, los Apoyos por Telemando y Amarres Manuales.

Subestación	Interruptor	Sección	Longitud	Localización	Línea
<b>Lázaro Cárdenas</b>  <b>Apoyo</b>	11	<b>195</b> primaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	<b>196</b> primaria	3.3	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta el puente del Eje 1 Nte. y Reforma en la entrada del puente vehicular. (lado oriente)	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	<b>104</b> secundaria	2.5	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Manuel J. Othon, hasta Xola (lado oriente). <i>Glorieta Tío Sam. (lado oriente)</i>	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	<b>198</b> primaria	2.5	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Olvera hasta Xola (lado poniente). <i>Glorieta Tío Sam. (lado poniente)</i>	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	auxiliar	-----	-----	-----
<b>Xola</b>  <b>En licencia o falla</b>	11	<b>104</b> primaria	2.5	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Manuel J. Othon, hasta Xola (lado oriente). <i>Glorieta Tío Sam. (lado oriente)</i>	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	-----	-----	-----	-----
	21	-----	-----	-----	-----
	22	<b>242</b> primaria	2.73	La Quemada, Xola, Eje Central Lázaro Cárdenas hasta Calz. Santa Cruz (lado oriente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	<b>241</b> primaria	2.73	La Quemada, Xola, Eje Central Lázaro Cárdenas hasta Miguel Laurent (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
<b>San Borja</b>  <b>Apoyo</b>	11	auxiliar	-----	-----	-----
	12	-----	-----	-----	-----
	21	<b>143</b> secundaria	Únicamente cabe alimentador 1km.	Cable alimentador: desde la subestación San. Borja por Cuauhtemoc, Eugenia hasta el Eje Central lado Poniente.	Apoyo AL Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	<b>142</b> secundaria	Únicamente cabe alimentador 1km.	Cable alimentador: desde la subestación San. Borja por Cuauhtemoc, Ángel Urraza, Independencia hasta Eje Central lado Oriente.	Apoyo Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	-----	-----	-----	-----

Tabla. 4-7 Interconexiones de la Subestación Xola.

- Secciones secundarias el interruptor se encuentra abierto.
- Secciones primarias el interruptor se encuentra cerrado.
- Amarre manual lo realiza Línea Elevada en la zona que se necesite.
- Apoyo por telemando se realiza desde el Puesto de Despacho de Carga.





## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Subestación Panamá. Se muestra la longitud de sus secciones, la localización de las mismas, los Apoyos por Telemando y Amarres Manuales.

Subestación	Interruptor	Sección	Longitud	Localización	Línea
Xola Apoyo	11	104 primaria	2.5	Eje Central Lázaro Cárdenas, desde Dr. Manuel J. Othon, hasta Xola (lado oriente). <i>Glorieta Tío Sam. (lado oriente)</i>	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	-----	-----	-----	-----
	21	-----	-----	-----	-----
	22	242 primaria	2.73	La Quemada, Xola, Eje Central Lázaro Cárdenas hasta Calz. Santa Cruz (lado oriente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	241 primaria	2.73	La Quemada, Xola, Eje Central Lázaro Cárdenas hasta Miguel Laurent (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
Panamá En licencia o falla	11	132	2.63	Eje Central, desde Calz. Santa Cruz hasta Churubusco y División del Norte, hasta Av. Gral. Pedro Anaya. (lado Oriente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	116 secundaria	4.5	Av. Popocatepetl, desde la A.V. Cuauhtemoc hasta la Calz. De Tlalpan ambos sentidos.	Eje 8 Sur
	21	102 secundaria	3.2	Por Av. Municipio Libre, desde Av. México hasta Sur 73.	Eje 7 - 7 A Sur
	22	109	2.63	Eje Central, desde Miguel Laurent hasta Churubusco y División del Norte, hasta Av. Gral. Pedro Anaya. (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	auxiliar	-----	-----	-----
Tasqueña Apoyo	11	Auxiliar	----	-----	-----
	12	130	5.2	Av. Miguel Ángel de Quevedo, desde la Av. División del Norte hasta la calle de la Escondida por ambos lados.	UACM – Ciudad Universitaria
	21	126	2.4	Av. Tasqueña, Miguel Ángel de Quevedo y Av. División del Norte, desde Cerro Zacayuca, hasta la calle General Anaya (lado oriente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	136 secundaria	6.6	Desde la calle Cerro Zacayuca por la Av. Tasqueña hasta frente a la Subestación Culhuacan. Ambos sentidos.	UACM – Ciudad Universitaria
	31	114	2.4	Av. Tasqueña, Miguel Ángel de Quevedo y Av. División del Norte, desde Cerro Zacayuca, hasta la calle General Anaya (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"

Tabla. 4-8 Interconexiones de la Subestación Panamá.

- Secciones secundarias el interruptor se encuentra abierto.
- Secciones primarias el interruptor se encuentra cerrado.
- Amarre manual lo realiza Línea Elevada en la zona que se necesite.
- Apoyo por telemando se realiza desde el Puesto de Despacho de Carga.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Subestación Tasqueña. Se muestra la longitud de sus secciones, la localización de las mismas, los Apoyos por Telemando y Amarres Manuales.

Subestación	Interruptor	Sección	Longitud	Localización	Línea
Panamá Apoyo	11	132	2.63	Eje Central, desde Calz. Santa Cruz hasta Churubusco y División del Norte, hasta Av. Gral. Pedro Anaya. (lado Oriente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	116 <i>secundaria</i>	4.5	Av. Popocatepetl, desde la Av. Cuauhtémoc hasta la Calz. De Tlalpan ambos sentidos.	Eje 8 Sur
	21	102 <i>secundaria</i>	3.2	Por Av. Municipio Libre, desde Av. México hasta Sur 73.	Eje 7 – 7 A Sur
	22	109	2.63	Eje Central, desde Miguel Laurent hasta Churubusco y División del Norte, hasta Av. Gral. Pedro Anaya. (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	auxiliar	-----	-----	-----
Tasqueña <b>En licencia o falla</b>	11	Auxiliar	-----	-----	-----
	12	130	5.2	Av. Miguel Angel de Quevedo, desde la Av. División del Norte hasta la calle de la Escondida por ambos lados.	UACM – Ciudad Universitaria
	21	126	2.4	Av. Tasqueña, Miguel Ángel de Quevedo y Av. División del Norte, desde Cerro Zacayuca, hasta la calle General Anaya (lado oriente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	136 <i>secundaria</i>	6.6	Desde la calle Cerro Zacayuca por la Av. Tasqueña hasta frente a la Subestación Culhuacan. Ambos sentidos.	UACM – Ciudad Universitaria
	31	114	2.4	Av. Tasqueña, Miguel Ángel de Quevedo y Av. División del Norte, desde Cerro Zacayuca, hasta la calle General Anaya (lado poniente).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
Culhuacan Apoyo	11	136 <i>primaria</i>	6.6	Desde la calle Cerro Zacayuca por la Av. Tasqueña hasta frente a la Subestación Culhuacan. Ambos sentidos.	UACM – Ciudad Universitaria
	12	138	4.4	Av. Tasqueña, Calzada Tulyehualco, desde frente a la Subestación Culhuacan, hasta el callejón de Granada, en ambos sentidos.	UACM – Ciudad Universitaria
	21	189	2.6	Eje 3 Oriente desde Av. Tasqueña hasta Av. Santa Ana (ambos sentidos).	Metro Moctezuma UHCTM y Metro Moctezuma – Villa Coapa
	22	190	2.3	Eje 3 Ote. desde la Av. Tasqueña hasta la Calzada Ermita Iztapalapa (ambos sentidos).	Metro Moctezuma UHCTM y Metro Moctezuma – Villa Coapa
	31	Auxiliar	-----	-----	-----

Tabla. 4-9 Interconexiones de la Subestación Tasqueña.

- Secciones secundarias el interruptor se encuentra abierto.
- Secciones primarias el interruptor se encuentra cerrado.
- Amarre manual lo realiza Línea Elevada en la zona que se necesite.
- Apoyo por telemando se realiza desde el Puesto de Despacho de Carga.

Todos estos tipos de amarres manuales y apoyos por telemando son con el fin de lograr un mejor servicio y así tener un mínimo de interrupciones posibles. Pero si estas se presentan que tengan un tiempo de afectación muy corto. Para poder dar un mejor servicio al usuario.

#### 4.1.1. Corredor Cero Emisiones

El Gobierno del Distrito Federal, consciente de la problemática que en materia de transporte aqueja al Eje Central, una de las vialidades más importantes de la Ciudad de México, ha decidido convertir al Eje Central "Lázaro Cárdenas" en un "Corredor Cero Emisiones" con el objetivo de proporcionar, en forma exclusiva, mediante trolebuses con alto nivel de fiabilidad, el servicio de transportación de pasajeros sobre carriles confinados en el Eje Central, coadyuvando así con la política del Gobierno de la Ciudad para construir un corredor ecológico que genere beneficios tangibles para toda persona que circule sobre esta vialidad.



Figura. 4-1 Corredor Cero Emisiones.

El servicio de trolebús, es una opción de transporte limpio, económico y no contaminante, que ofrece la garantía de viajar en uno de los transportes más seguros, debido a las condiciones operativas bajo las cuales se presta el servicio, así como al diseño de las unidades. El Corredor Eje Central, ha sido operado por trolebuses desde el año de 1954, satisfaciendo la demanda de transporte, de la Central de Autobuses del Norte, a la Central de Autobuses del Sur, con personal operativo experimentado en la atención de usuarios y en la conducción de este tipo de unidades.



**Características del Servicio:**

Terminal Norte:	Central de Autobuses del Norte
Terminal Centro:	Dr. Pascua
Terminal Sur:	Central de Autobuses del Sur
Longitud de Operación:	36.6 km.
Puntos de Ascenso - Descenso:	86 (incluidas las tres terminales)
Velocidad Comercial:	18 Km/hr
Intervalo de Servicio:	2.5 minutos
Tiempo de Ciclo:	122 minutos
Flota Vehicular:	120 trolebuses
Horario de Servicio:	05:00 hrs. - 00:30 hrs.
Correspondencia con:	Líneas 1, 2, 3, 5, 6, 8, y 9 del STC-METRO Línea 2 del Metrobús Línea del Tren Ligero

Figura. 4-2 Características del Servicio.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



El Corredor Cero Emisiones del trolebús de la ciudad de México recorre la ciudad de norte a sur y viceversa sobre el Eje Central Lázaro Cárdenas, sobre Av. División del Norte, sobre Av. Miguel Ángel de Quevedo y sobre Calzada Tasqueña, usando únicamente trolebuses como medio de transporte. Tiene por origen la Terminal Central de Autobuses del Norte y como destino la Terminal "Dr. Pascua" y la Terminal Central de Autobuses del Sur, con un total de 33 paradas, y presta servicio a las delegaciones Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc y Gustavo A. Madero, en una ruta de 36.6 km. En contraflujo, la línea recorre: desde la avenida Ferrocarril Industrial hasta el Circuito Interior Río Churubusco y, en carril confinado, en el resto de la ruta y en sentido opuesto. El color distintivo de esta línea es verde pasto. Como parte de las obras del Corredor Cero Emisiones, se prohibió el acceso al Eje Central a los camiones de carga, como se hizo en el Centro Histórico de la ciudad. Las obras para la rehabilitación del Eje Central iniciaron el 30 de marzo del 2009 y se inauguró el 1 de agosto del 2009.

A diferencia de las otras líneas de trolebuses de la ciudad, este corredor tiene un símbolo distintivo para cada estación, al igual que lo tienen los otros sistemas de transporte capitalino (Metro, Metrobús, Ferrocarril Suburbano y Tren Ligero) y al igual que este último, los símbolos del Corredor Cero Emisiones están encerrados en un círculo. La tarifa es de \$4.00 MXN, a diferencia de la tarifa del resto del sistema, que es de MXN \$2.00.


"TROLEBUS UTILIZADO EN EL CORREDOR CERO EMISIONES"				
SERIE	MARCA	CANTIDAD	FECHA DE FABRICACIÓN	TECNOLOGÍA DEL SISTEMA DE TRACCIÓN
 9700 Y 9800	MITSUBISHI	189	1997 Y 1998	INVERSOR VVVF-C.A con IGTB

Tabla. 4-10 Tipos de Trolebuses del "CCE".

**Beneficios para la Ciudad:**

- **Mejoramiento** de la vialidad para transporte público de pasajeros y automóviles privados.
- **Reducción** del ruido y la contaminación.
- **Reducción** en los tiempos de traslado durante el viaje.
- **Interconexión** con otros modos de transporte.
- **Mejoramiento** del entorno urbano sobre el Corredor Eje Central.
- **Incremento** en la Seguridad de los usuarios y peatones.
- **Reducción** del nivel de estrés.
- **Fortalecimiento** en la confianza de la ciudadanía hacia el uso del transporte eléctrico.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 4.2. La Red Eléctrica del Distrito Federal

Esta constituida por dos redes de distribución principales, una de ellas es la red de distribución VERÓNICA. La cual a su vez esta compuesta de otras como lo son: Aragón, Aurora, Azcapotzalco, Condesa, Cuauhtémoc, Contadero, Huasteca, Indianilla, Insurgentes, Jamaica, Kilometro Cero, Magdalena, Merced, Moctezuma, Morales, Naucalpan, Netzahualcóyotl, Pantitlan, Pensador Mexicano, Peralvillo, Tacuba, Tecamachalco, Verónica, Vertíz y Polanco. También se cuenta con cargas en bancos y alimentadores de 6(kV) para la factibilidad de nuevos servicios, estas son: Condesa, Indianilla, Jamaica, Nonoalco y San Lázaro.

### Subgerencia de Operación de Redes de Distribución Verónica Cargas en Bancos

S.E.	DATOS DE BANCOS					DATOS DE ALIMENTADORES					
	ARREGLO	BANCO	MVA	CARGA MAX	CARGA POR TRANSFER	TOTAL	ALIMENTADOR	CARGA MAX	CARGA POR TRANSFER	TOTAL	
KILOMETRO CERO	ANILLO	221-A	60	730	30	760	KCR-21	290	30	320	
							KCR-23	110	0	110	
							KCR-25	250	0	250	
		221-B	60	555	91	646	KCR-27	160	0	160	
							KCR-22	280	14	294	
							KCR-24	100	0	100	
	221-C	60	630	50	680	KCR-26	10	91	101		
						KCR-28	165	20	185		
						KCR-21X	330	10	340		
	MERCED	DOBLE BARRA DOBLE INTERRUPTOR	221-A	60	416	50	466	KCR-23X	280	0	280
								KCR-25X	5	10	15
								KCR-27X	30	50	80
221-B			60	1157	86	1243	MER-21	70	50	120	
							MER-21X	46	5	51	
							MER-23	228	0	228	
							MER-25	47	0	47	
							MER-27	55	30	85	
							MER-29	54	20	74	
221-C		60	552	130	682	MER-22	266	0	266		
						MER-22X	171	0	171		
						MER-24	39	86	125		
PERALVILLO		DOBLE BARRA CON DOBLE INTERRUPTOR	221-A	60	442	10	452	MER-24X	283	0	283
								MER-26	149	0	149
								MER-28	316	30	346
			221-B	60	987	25	1012	MER-21Y	72	40	112
								MER-23X	185	0	185
								MER-23Y	65	130	195
	MER-25X							150	0	150	
	MER-27X							114	0	114	
	MER-29X							53	71	124	
VERTIZ	DOBLE BARRA DOBLE INTERRUPTOR	221-A	60	1366	100	1466	PEV-21X	21	10	31	
							PEV-23	312	0	312	
							PEV-29	205	0	205	
							PEV-22	55	25	80	
							PEV-22X	251	0	251	
							PEV-24	221	0	221	
		221-B	60	1184	150	1334	PEV-24X	358	0	358	
							PEV-28	197	20	217	
							VER-21	144	18	162	
							VER-23	208	100	308	
							VER-27	105	0	105	
							VER-25	321	20	341	
221-C	60				VER-21X	140	0	140			
					VER-23X	281	0	281			
					VER-29	277	50	327			
					VER-22	94	0	94			
					VER-22X	111	150	261			
					VER-24	289	12	301			
					VER-24X	88	40	128			
					VER-26	286	0	286			
					VER-28	391	50	441			

Tabla. 4-11 Subestaciones de Distribución Red Verónica.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



La otra red de distribución es PEDREGAL. La cual a su vez también esta formada por otras como lo son: Agua Viva, Águilas, Ayotla, Chalco, Coapa, Contreras, Coyoacán, Cuajimalpa, Covadonga, **Narvarte**, Iztapalapa, Ixtapaluca, Los Reyes, La Paz, Odón de Buen, Olivar, Reforma, Parres, San Andrés, San Ángel, Santa Cruz, Tacubaya, **Taxqueña** y Xochimilco. A continuación se muestran las subestaciones y los alimentadores de CFE, que suministran la energía a las subestaciones del Corredor Cero Emisiones “Eje Central”.

**Subgerencia de Operación de Redes de Distribución Pedregal  
Cargas en Bancos**

DATOS DE BANCOS							DATOS DE ALIMENTADORES			
S.E.	ARREGLO	BANCO	MVA	DEMANDA MAXIMA COINCIDENTE	CARGA POR TRANSFER	TOTAL	ALIMENTADOR	CARGA MAXIMA	CARGA POR TRANSFER	TOTAL
NARVARTE	BARRA SENCILLA C/CUCHILLAS DE ENLACE	82-A	30	630	0	630	NAR-21	200	0	200
							NAR-22	120	0	120
							NAR-23	200	0	200
							NAR-24	140	0	140
TAXQUEÑA	DOBLE BARRA CON DOBLE INTERRUPTOR	82-A	30	656	35	691	TAX-22X	340	35	375
							URSULA	330	0	330
		82B	30	624	25	649	EDUCACION	380	0	380
							ESTUDIOS	30	25	55
							TENORIO BLANCA	220	0	220
		82-C	30	695	0	695	TAX-21X	140	0	140
							TAX-23X	210	0	210
							TAX-25X	370	0	370
		82-D (MOVIL)	30	670	35	705	TAX-24X	100	0	100
							TENORIO NEGRA	40	0	40
							TAX-26X	350	35	385
									TAX-28X	240

Tabla. 4-12 Subestaciones de Distribución Red Pedregal.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



Subestaciones de Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Alimentadores que proporcionan la energía eléctrica a las Subestaciones del Servicio de Transportes Eléctricos del D.F. (STE). Corredor Cero Emisiones “Eje Central”.

SUBESTACIÓN DE (CFE)	ALIMENTADOR DE (CFE)	SUBESTACIÓN DE STE	TENSIÓN DE ENTRADA Vca	TENSIÓN DE SALIDA Vcd	CAPACIDAD (kW)	MARCA
<u>TAXQUEÑA</u>	TENORIO BLANCA	<u>TASQUEÑA</u>	23,000	600	2,000	JEUMONT SCHNEIDER
<u>NARVARTE</u>	NAR-24	<u>PANAMA</u>	23,000	600	2,000	ENGLISH ELECTRIC
<u>VERTÍZ</u>	VER-29	<u>XOLA</u>	23,000	600	2,000	ENGLISH ELECTRIC
<u>VERTÍZ</u>	VER-21	<u>LÁZARO CÁRDENAS</u>	23,000	600	2,000	JEUMONT SCHNEIDER
<u>MERCED</u>	MER-22	<u>DOCTOR PASCUA</u>	23,000	600	2,000	JEUMONT SCHNEIDER
<u>KILOMETRO CERO</u>	KCR-21X	<u>JAIME NUNÓ</u>	23,000	600	2,000	JEUMONT SCHNEIDER
<u>PERALVILLO</u>	PEV-28	<u>BEETHOVEN</u>	23,000	600	2,000	JEUMONT SCHNEIDER
<u>KILOMETRO CERO</u>	KCR-25	<u>POTRERO</u>	23,000	600	2,000	ENGLISH ELECTRIC

Tabla. 4-13 Subestaciones y Alimentadores de CFE.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 4.3. Acometidas Principales de C.F.E.

Se cuenta con subestaciones eléctricas las cuales tienen cargas en bancos y alimentadores para dar servicios especiales a los diferentes establecimientos, industrias, comercios, hospitales, etc. Que así lo demanden.

#### Servicios Especiales, Alimentadores, Bancos y Cargas de la Subestación Eléctrica Pantitlán.

S.E.	ALIM	BCO	CARGA (A)	MVA	MW	US	L(KM)	SERVICIOS IMPORTANTES	COLONIAS IMPORTANTES	MUNICIPIO	OBSERVACIONES	TRANSFERS EMERG
PANTITLAN	ESCUZIA	82-A	200	7.96	7.90	17428	31.10	POZO AGUAS NEGRAS 2000, BOMBEO AGUA POTABLE, CARCAMO CHIMALHUACAN 1, TORRE DE CONTROL AEROPUERTO (E), BOMBA S/N.	PANTITLAN, SAN JUAN PANTITLAN, PORVENIR, NETZAHUALCOYOTL, MARAVILLAS, EL BARCO, EL ARENAL 1a SECC, PALMAS VOLCANES, JUAREZ PANTITLAN.	IZTACALCO, NETZAHUALCOYOTL		
PANTITLAN	PAVON	82-C	342	13.61	13.59	16496	43.80	CLINICA 25 IMSS, POZOS 8 Y 1, BOMBAS 1, JUAN ESCUTIA Y ESTIAJE.	RUIL ROMERO FUENTES, MEXICO 1, JUAN ESCUTIA, U.H. LA VALENCIANA, METROPOLITANA 3a SECC., SAN LORENZO XICOTENCATL, VOCEADORES.	IZTAPALAPA, NETZAHUALCOYOTL		
PANTITLAN	PERLA	82-C	169	6.72	6.72	1	0.10	CAB. PANTITLAN (P), S.R. TALLERES GRAFICOS (E), S.R. AVIACION CIVIL (P), S.R. AGRICOLA ORIENTAL (E), S.R. SAN JUAN (P), S.R. TEPALCATES (E), S.R. JUAN ESCUTIA (P).	EXCLUSIVO S.T.C. METRO.	IZTACALCO, IZTAPALAPA	EXCLUSIVO S.T.C. METRO	
PANTITLAN	PNT-26	82-A	130	5.17	5.13	1	4.80	S.R. PANTITLAN (P), S.R. HANGARES (E), CAB. PANTITLAN (E).	EXCLUSIVO S.T.C. METRO.	VENUSTIANO CARRANZA	EXCLUSIVO S.T.C. METRO	
PANTITLAN	PNT-26Z	82-A	100	3.98	3.66	1	5.40	CAB. PANTITLAN (P), S.R. PANTITLAN (E).	EXCLUSIVO S.T.C. METRO	VENUSTIANO CARRANZA	EXCLUSIVO S.T.C. METRO	
PANTITLAN	PNT-28	82-D	125	4.97	4.92	1	3.60	S.R. PANTITLAN (E), S.R. PABLO FIERRO (P).	EXCLUSIVO S.T.C. METRO.	VENUSTIANO CARRANZA	EXCLUSIVO S.T.C. METRO	
PANTITLAN	PNT-28Z	82-D	132	5.25	5.20	1	2.00	S.R. GUELATAO (P), S.R. PEÑON VIEJO (P), S.R. XICOTENCATL (E), S.R. LA VENTA (E), S.R. ACATITLA (P).	EXCLUSIVO S.T.C. METRO.	IZTAPALAPA	EXCLUSIVO S.T.C. METRO	
PANTITLAN	RIVAPALACIO	82-B	370	14.72	14.58	15608	38.60	TANQUE REBOMBEO	RUIL ROMERO FUENTES, METROPOLITANA 1a. SECC., PORFIRIO DIAZ, ATLACOMULCO, AGUA AZUL, MEXICO 1a y 2a. SECC.	NETZAHUALCOYOTL		
PANTITLAN	TEPALCATES	82-D	235	9.35	9.26	18726	18.70	HOSPITAL GENERAL IGNACIO ZARAGOZA ISSSTE, RADIO ALEMAN, RADIO SCOP, BOMBAS G.E.M., ENEP ZARAGOZA, IMSS, TELMEX	JUAN ESCUTIA, TEPALCATES, U.H. 6 DE OCTUBRE, C.H. ZARAGOZA, U.H. CABEZA DE JUAREZ, U.H. EJERITO DE ORIENTE, VOCEADORES, AGRICOLA ORIENTAL.	IZTACALCO, IZTAPALAPA		
S.E. PANTITLAN					70.86							

Tabla. 4-14 Subestación Eléctrica Pantitlan Servicios Especiales.

#### Servicios Especiales, Alimentadores, Bancos y Cargas de la Subestación Eléctrica Iztapalapa.

S.E.	ALIM	BCO	CARGA (A)	MVA	MW	US	L(KM)	SERVICIOS IMPORTANTES	COLONIAS IMPORTANTES	MUNICIPIO	OBSERVACIONES	TRANSFERS EMERG
IZTAPALAPA	IZT-21	221-A	313	12.45	12.21							
IZTAPALAPA	IZT-25	221-A	437	17.39	17.04							
IZTAPALAPA	IZT-27	221-A	472	18.78	18.41							
IZTAPALAPA	IZT-24	221-B	403	16.04	15.71							
IZTAPALAPA	IZT-26	221-B	302	12.02	11.78							
IZTAPALAPA	IZT-28	221-B	490	19.50	19.11							
IZTAPALAPA	IZT-23X	221-C	468	18.62	18.25							
IZTAPALAPA	IZT-25X	221-C	498	19.82	19.42							
IZTAPALAPA	IZT-27X	221-C	468	18.62	18.25							
S.E. IZTAPALAPA					150.2							

Tabla. 4-15 Subestación Eléctrica Iztapalapa Servicios Especiales.





## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### Servicios Especiales, Alimentadores, Bancos y Cargas de la Subestación Eléctrica Aurora.

S.E.	ALIM	BCO	CARGA (A)	MVA	MW	US	L(KM)	SERVICIOS IMPORTANTES	COLONIAS IMPORTANTES	MUNICIPIO	OBSERVACIONES	TRANSFER EMERG
AURORA	AUR-21	221-A	289	11.50	11.27	14650	21.40	COMISION ESTATAL DEL AGUA, ENVASES DE VIDRIO, LAMINADOS TECNICOS Y IFE.	SAN AGUSTIN ATLAPULCO, FRACC. IZCALLI NETZAHUALCOYOTL, PARQUE INDUSTRIAL NETZAHUALCOYOTL, LA ESPERANZA, EJIDO SAN AGUSTIN, AMP. LAS AGUILAS, AMPL. LAS AGUILAS.	NETZAHUALCOYOTL		
AURORA	AUR-23	221-A	319	12.69	12.44	8999	18.30	CARCAMO VII ESPERANZA, CLINICA ISSSTE, HOSPITAL GRAL. PERLA, MEXICANA DE RESINAS Y CONALEP.	LA PERLA, LA ESPERANZA, BENITO JUAREZ, U.H. REY NEZA.	NETZAHUALCOYOTL		
AURORA	AUR-25	221-A	203	8.08	8.00	11203	6.20	CEAS	XALTIPAC, FILIBERTO GOMEZ.	CHIMALHUACAN		
AURORA	AUR-27	221-A	293	11.66	11.54	16496	9.00	CARCAMOS AGUAS NEGRAS Y BOMBEO SAN AGUSTIN, CLINICA 96 IMSS, POZO 6, BACHILLERES Y BOMBA ADOPAS, ESC TECNICA.	FRACC. LOS OLIVOS, ISRAEL, JARDINES SAN AGUSTIN, U.H. ERMITA ZARAGOZA, LOMA BONITA, NUEVA SANTA MARTHA, SAN AGUSTIN ATLAPULCO, FRACC. FLORESTA, MANANTIALES, JARDINES DE SAN AGUSTIN.	CHIMALHUACAN, NETZAHUALCOYOTL		
AURORA	AUR-22	221-B	369	14.68	14.39	8755	1.00	POZO DE AGUA C.A.E. 3. BOMBA XOCHIACA.	SAN LORENZO, XALTIPAC, BARRIOS TLATELCO, SARAPEROS, ORFEBRES TALABARTEROS, JUGUETEROS, NVA, GUADALUPE, PLATEROS Y CANTEROS.	CHIMALHUACAN	EN SERVICIO 15/SEP/2000	
AURORA	AUR-24	221-B	345	13.73	13.45	5116	2.00	POZO GUADALUPE C.E.A.S. POZO 307TX, BOMBA SIN, POZO SAN AGUSTIN, BOMBA DE AGUA, BACHILLERES	VILLAS SAN AGUSTIN, BUENOS AIRES, SAN AGUSTIN, LA COPALERA, LOMAS DE TOTOLCO, FRANCISCO VILLA, EJERCITO DEL TRABAJO, GUADALUPE, SANTA MARIA NATIVITAS, SANTO DOMINGO, 17 DE MARZO, LOS OLIVOS, PUEBLO SAN AGUSTIN, LAS PALOMAS.	CHIMALHUACAN, LA PAZ	EN SERVICIO 15/SEP/2000	
AURORA	AUR-21X	221-C	195	7.76	7.60	5977	7.00	POZOS LOS NARANJOS, LOS PATOS, Y SAN PEDRO Y NATIVITAS, AGUSTIN	VILLAS SAN LORENZO, XALTIPAC, AMP SAN LORENZO, SAN PEDRO, LOMAS DE CHIMALHUACAN, XOCHIACA, TLATIXCO, BARRIOS SAN PABLO, ARTESANOS, SAN ANDRES Y HERREROS	CHIMALHUACAN		
AURORA	AUR-23X	221-C	292	11.62	11.39	9159	9.00	CARCAMO 8 LOS REYES, POZOS 307TX, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 320 Y DE AGUA POTABLE, RADIO XEABC, TOLTECA.	EL SALADO, ANCON, EL ARENAL, LA MAGDALENA, XALTIPAC, JARDINES DE SAN AGUSTIN, PBO, SAN SEBASTIAN CHIMALPA, AMP. SAN SEBASTIAN, MARAVILLAS, ATENCO, LAS ALAMEDAS, REFORMA, ALTIPAC.	CHIMALHUACAN, LA PAZ		
AURORA	AUR-25X	221-C	110	4.38	4.29	6974					EN SERVICIO 27/JUL/2008	
S.E. AURORA					94.37							
<b>TOTAL Subestaciones Pantitlán, Iztapalapa y Aurora (MW)</b>					<b>315.4</b>							

Tabla. 4-16 Subestación Eléctrica Aurora Servicios Especiales.

### Servicios Especiales, Alimentadores, Bancos y Cargas de la Subestación Eléctrica Los Reyes.

S.E.	ALIM	BCO	CARGA (A)	MVA	MW	US	L(KM)	SERVICIOS IMPORTANTES	COLONIAS IMPORTANTES	MUNICIPIO	OBSERVACIONES	TRANSFER EMERG
LOS REYES	RES-22X	82 D	100	3.98	3.90	1	1.00	SR. SANTA MARTHA (P), SR. ACATITLAN (E), SR. LA VENTA (P), SR. PEÑON VIEJO (E), SR. XICOTENCATL (P), SR. GUELATAO (E)	EXCLUSIVO METRO L-A		EXCLUSIVO METRO L-A	
LOS REYES	RES-25	82-A	200	7.96	7.80							
LOS REYES	RES-26	82-B	290	11.54	11.31							
LOS REYES	RES-21X	82-C	280	11.14	10.92							
LOS REYES	RES-23X	82-C	40	1.59	1.56							
LOS REYES	RES-25X	82-C	390	15.52	15.21							
LOS REYES	RES-28X	82-D	410	16.31	15.99							
S.E. LOS REYES					66.68							

Tabla. 4-17 Subestación Eléctrica Los Reyes Servicios Especiales.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### Servicios Especiales, Alimentadores, Bancos y Cargas de la Subestación Eléctrica Magdalena.

S.E.	ALIM	BCO	CARGA (A)	MVA	MW	US	L(KM)	SERVICIOS IMPORTANTES	COLONIAS IMPORTANTES	MUNICIPIO	OBSERVACIONES	TRANSFERS EMERG
MAGDALENA	MAG-22	82-B	270	10.74	10.53	14324	13.30	TESORERIA DEL DDF PREPARATORIA No. 2; AJRREIRA; SARH; MADERAS UTILES; PLASTIMAC; PLASTICOS METAL; TEMPOPLASTIC; SERVIPROM; PECES ALIMENTICIOS; INDUSTRIAS MAPER; GLAVANO; FTO INDUSTRIAS; JACK JOE; MUELERA MONY; ARTEFACTOS DE VIDRIO; IND. TERMOS; LAMINAS DE MEXICO; IND. AUTOMOTRIZ; MOLD PLASTIC; INMOB. CANELA; MYLON SA; SINDICATO DE SALUBRIDAD; INMOB. AMEL; IND. CORINDZA; COLCHAS DE MEXICO; MAGNO PLASTICA; SPP EDIFICIO; IND. MOVAN; IND. CASETERO; IND. PICOLI S.A.; BANAMEX; PRODUCTOS PANAM; SINTETICOS DE MEXICO; LABORATORIOS PANOAMERICANA; IND. TEXTIL CORBATERA; ODISEA INTIMA; TELMEX; SANBORNS; IND. SUPERCAN	PICOS DE IZTACALCO, JUVENTINO ROSAS, U. MARIO MORENO, PASEOS DE CHURUBUSCO, CARLOS ZAPATA VELA, SAN JOSE ACULCO, GRANJAS MEXICO, JUVENTINO ROSAS, U. HAB. IZTACALCO, U. HAB. INPI, RAMOS MILLAN	IZTACALCO		
MAGDALENA	MAG-23	82-A	192	7.64	7.61	20668	21.00	DTA DE MEXICO; ENTE SA; CERPLAS; SANAIRE; INMOB. SANTA LUCIA; PERFILES TERMOPLAST; CAMAS LAMAS; ARMHER DE MEXICO; SILCO; PALITAN; ARGO S.A.; BENOTTO; TUBOS Y DERIVADOS; JUMANIS; POLITON; SEDO; DULCES Y CHOCOLATES LA TORRE; NIPPON; PERFILES FONCAR; FUNDIDORA HIERRO Y METALES; MERLY; MERINO; YAMASA; ITZA S.A.; ALFER; CATALUÑA; CINTA SEDA; ALVEY CONVEYO; O. SERDAN; INMOB. MONI; ALAM DE MEXICO; PLYNOX; AMANCO MEXICO; PLASTICAS OMEGA UNIVERSAL; SINDICATO DE AUTOTRANSPORTES; PROVEDORRA DE MONOFILAMENTOS; ALAMBRES DE MEXICO; CONTROL DE FORMAS MEXICO; FABRICA DE HIELOS POPO; NUM.66; SANAIRE; VISTA HERMOSA; BIOTERIO DE MEXICO; PROTTSA; PLASTIC IMPRESOS; ALUMBRADO PUBLICO.	PASEOS DE CHURUBUSCO, I. ZARAGOZA, C.H. CARDENAS, EL RODEO, AGRICOLA ORIENTAL, CUCHILLA AGRICOLA ORIENTAL,	IZTAPALAPA		1
MAGDALENA	MAG-23X	82-A	278	11.06	10.83	12791	1.00	BOMBAS 4 AGUA POTABLE, LUMBRERA 2, POLICEL (E), POLYENVASES DE MEXICO (E), SISTEMA DE BOMBEO (E), CARCAMO CODEUR, CARCAMO FUNCIONAL; BOMBA DE AGUAS NEGRAS, RECICLABLE PAPER, Y CARTON; PROEMPASA; BOMBA 5 DE AGUA POTABLE; AGRICOLA ORIENTAL, BOVEDA 4; LUMBRERA 2; COMERCIAL MEXICANA; INMOB. COSTA RADA; ELASTICOS ABOGADOS SA; PLAY NUNEL SA; S.R.T.P.; YAMAHA; NUEVO MUNDO; NOVA; SAN FELIPE DE MEXICO; IMP. POLI; ALUMBRADO PUBLICO; CODONES; INFRACOMI GASOLINERA; MOTEL CENTRAL INN; HYCOPLASTIC DE MEXICO; ALDA COLOR; SERAFIN GONZALEZ; INDUSTRIA AGRIOCARREDANA; TELMEX; INDUSTRIA CARREDA; S.C.C.; VW; CASA LA CARNE; PLASTI ENVASES COREA; PROC. EMBOLOGICOS; MECANICA IND. GAMA; FIBRAS DE PLASTICO; CREM PANEC; BAHILLERES No. 7; WEN KLER; PERFILES METALICOS Y PLASTICOS; JURIFLEX; COMERCIAL MEXICANA; FIVIDES; U. HAB. CUCHILLA DEL MORAL II-	PASEOS DE CHURUBUSCO, VICENTINA, REAL DEL MORAL, CENTRAL DE ABASTOS, LEVES DE REFORMA, DR. ALFONSO ORTIZ TIRADO, GUADALUPE DEL MORAL.	IZTACALCO, IZTAPALAPA		1
MAGDALENA	MAG-24	82-B	282	11.22	11.00	12490	9.10	BOMBAS SIN ADEMAS 27 ACOMETIDAS EN 23 KV, OFICINAS GENERALES CENTRAL DE ABASTOS, PRODUCTORA METALICA; PASTELERIA FRANCESA; TEXTIL GOLONDRINA, GAVALDOR; GARCIA ACEROS; PIEDAD SEGURA; TURMIPACK; INSOPLAST; ESPIGA; HILOS CAMPANA; ALEXANDER Y MARY; SCHARADER; FIBRA SONI; ACROMAR; R.G.S. PLATS; RANGALI; GERARDO, ALGELATZA; GELART; BOMBA; BALWIN; TOLVEC; BOMBA; PLASTI INYECTORES; HILOS SELECTOS; ANTENAS TORRES; ERIMEVA, D.Y.M.; CERIGRAFIA INDUSTRIAL; GRAFICOS INTEGRADOS; DTLOS MEXRS; RICK MAR; TURMIPACK; BOMBA DE AGUA; PLATINUM; CONSTRUCCIONES DE SILVA; REFACCIONES DE MOLINO; IND. MAN; IND. MANUT; TEX UNITEK; CIA SERVICIOS SIGMA; CIA. IMPERIO; FABRICA DE ALGODONES; CONDOMINIOS ZAGAGA; PRODUCTOS ADEK; BODEGAS DE DESCUENTO; FLEX CODA; VIPS; OSO NEGRO; SABLON; LAPICERA MEXICO; PROGRACUM; FABRICA HULERA; ESTMET; INMOBILIARIA INMOB. TANQUE GARZA; LAMAS; BODEGA AURRERA; FROCECEL; ARCOMETAL; AVTUR; AGME JANEL; TAPAS Y CIERRES DE ALUMINIO; MACMA; SELLO PRINT; MANUFACTURAS ITALIANAS; FABRICA DE CINTAS METALICAS; AMERICAN PRODUCT; REFRIGERACION; PREVULTEC; TEXLEGA; ALCA; ZARA DE MEXICO; POLICROMO; BOTONES Y EBILAS; CENTRAL DE MARISCOS LA NUEVA VIGA.	SAN JACINTO, LOS CIPRESES, SAN JOSE ACULCO, BARRIO SANTA BARBARA, GRANJAS SAN ANTONIO BARRIO SANTA LUCAS, SANTA ISABEL INDUSTRIAL, BARRIO SAN IGNACIO	IZTAPALAPA		
MAGDALENA	MAG-26	82-D	145	5.77	5.65	1	7.10	CENTRAL DE ABASTOS,		IZTAPALAPA	EXCLUSIVO	
MAGDALENA	MAG-26X	82-D	245	9.75	9.67	17060	12.10	U.M.F., BOMBA PUERTA 7, RADIO ACIR, JMSS No. 45, LA REMOLACHA, PROMOTORA CHURUBUSCO, MC DONALDS, DELEGACION IZTACALCO, CAMPO DEPORTIVO RAMOS MILLAN, ALUMBRADO PUBLICO, ESC. SECUNDARIA; AVON COSMETIC; BOMBA; I.P.N; PROTEIN; MAXCEL HIT; SEM Y SERV; SEP; ESC. NACIONAL DE ENTRENADORES; CASA CUERVO; RADIO ACIR; CHEROL MEX; PUERTA 6, SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO; IMMO. MO; LA PACIEGA; DEPORTIVO BAHIA, LA PACIEGA.	PASEOS DE CHURUBUSCO, CARLOS ZAPATA VEGA, RAMOS MILLAN, EL RECREO, GRANJAS MEXICO, CHUCHILLA AGRICOLA ORIENTAL, VALENTIN GOMEZ FARIAS, CUATRO ARBOLES, IGNACIO ZARAGOZA.	IZTACALCO		
MAGDALENA	MAG-27X	82-C	203	8.08	8.02	15892	26.50	BOMBA 7 AGRICOLA ORIENTAL, PLANTA POTABILIZADORA	ALFONSO ORTIZ TIRADO, AGRICOLA ORIENTAL, SANTA MONICA, PASOS DE CHURUBUSCO.	IZTACALCO		1
MAGDALENA	MAG-28	82-D	350	13.93	13.63	15553	31.20	RADIO METROPOLITANA, RADIO TRANSMISORA XEPM, XELA, RADIO ECO, XHAL FM, XED, BOMBAS SIN, SAN JUANICO Y IZTACALCO.	PICOS IZTACALCO, NUEVA ROSITA, CAMPAMENTO 2 DE OCTUBRE, IZTACALCO, LA PURISIMA, ZAPOTLA, LA MAGDALENA ATLAZOLPA.	IZTACALCO, IZTAPALAPA		
S.E. MAGDALENA					76.94							

Tabla. 4-18 Subestación Eléctrica Magdalena Servicios Especiales.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### Servicios Especiales, Alimentadores, Bancos y Cargas de la Subestación Eléctrica Netzahualcóyotl.

S.E.	ALIM	BCO	CARGA (A)	MVA	MW	US	L(KM)	SERVICIOS IMPORTANTES	COLONIAS IMPORTANTES	MUNICIPIO	OBSERVACIONES	TRANSFERS EMERG
NETZAHUALCOYOTL	NET-21	82-A	352	14.01	13.73	16053	38.30	POZO No. 4; ALLUMBRADO PÚBLICO, AVIA; HDA, CTO. DE SERVICIOS ADMINISTRATIVOS DEL GOB. DEL ESTADO DE MEXICO, SSA; GELATINAS ARISBEY, CONALEP; CONASUPO, JUUDMA, BODEGA AURRERA, MOLINO EL CONQUISTADOR; CENTRO DE SALUD, MOLINO DE NIXTAMAL; VIPS	BENITO JUAREZ, AMPL. VICENTE VILLADA, EVOLUCION, METROPOLITANA 3a SECC, REVOLUCION	NETZAHUALCOYOTL		
NETZAHUALCOYOTL	NET-22	82-B	254	10.11	9.90	11935	37.30	CARCAMO 6; BACHILLERES #12, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA, PLAZA NEZA, AURIS, ESTADIO NEZA, CARCAMO 3, AUDIS INDUSTRIA 3, CARCAMO S/N, CARCAMO 6, CARCAMO DE AGUAS NEGRAS, CONALEP.	BENITO JUAREZ, LA ESPERANZA	NETZAHUALCOYOTL		
NETZAHUALCOYOTL	NET-23	82-A	332	13.21	13.20	14711	26.40	SARH; BOMBA 3; EMPRESA JAVIER ROJAS OLVERA; INDUSTRIA MANUFACTURERA BAMBINO; TRAB. PLA; GRUPO MARVI; TELMEX; PERFORADORA Y CORTADORA; CONALEP IZTACALCO; PLAY MART; ESTACION DE BOMBEO; INTERDISEÑO; PROMEX; GIGANTE; TOKS.	BENITO JUAREZ, LAS AGUILAS VICENTE VILLADA SANTA MARTHA ACATITLA, U. HAB. SOLIDARIDAD U. HAB. EL SALADO U. HAB. LA CONCORDIA CONJUNTO HAB. LA COLMENA	NETZAHUALCOYOTL		
NETZAHUALCOYOTL	NET-24	82-B	320	12.73	12.46	13731	41.20	G.E.M. AGUAS NEGRAS, HOSPITAL GENERAL DE ZONA GUSTAVO BAZ PRADA, RECLUSORIO (E), CARCAMOS III CENTRAL, IV SOR JUANA Y II MARAVILLAS, CENTRO DE SALUD, SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y OBRAS PUBLICAS, HOSPITAL GRAL. DE ZONA GUSTAVO BAZ PRADA, RECLUSORIO (E); TRIBUNAL SUPERIOR DE JUSTICIA, CARCAMO III CARCAMO II, CENTRO DE SALUD, GASOLINERA, CONALEP; MATC. DIGITAL	BENITO JUAREZ BENITO JUAREZ 2A SECC LAS FLORES, ESTADO DE MEXICO	NETZAHUALCOYOTL		1
NETZAHUALCOYOTL	NET-26	82-D	250	9.95	9.82	12930	18.80	CLINICA 78 IMSS, MOLINO DE NIXTAMAL ADELITA CENTRO DE SALUD, AURRERA, BOMBA DE AGUA, JUGETERIA	AURORA SECCION SUR, AMPLIACION VILLADA, VICENTE VILLADA, CD. NEZAHUALCOYOTL, BENITO JUAREZ	NETZAHUALCOYOTL		
NETZAHUALCOYOTL	NET-27	82-C	324	12.89	12.88	16029	59.00	GEM AGUAS NEGRAS, MATC DIGITAL, CONALEP	DEL SOL	NETZAHUALCOYOTL	PEND. REDISTRIBUCION DE CARGA	
NETZAHUALCOYOTL	NET-28	82-D	290	11.54	11.31	14711	20.80	RECLUSORIO (P), CLINICA 75 IMSS, PALACIO MUNICIPAL NETZAHUALCOYOTL, TELMEX	AURORA, LAS FLORES, EL PALMAR, LAS VIRGENCITAS, AURORA SUR, BENITO JUAREZ	NETZAHUALCOYOTL		
S.E. NETZAHUALCÓYOTL					83.29							
<b>TOTAL Subestaciones Los Reyes, Magdalena y Netzahualcóyotl (MW)</b>					<b>226.9</b>							

Tabla. 4-19 Subestaciones Eléctrica Netzahualcóyotl Servicios Especiales.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 4.4. Capacidad Instalada en el D.F

CFE cuenta con diferentes tipos de Subestaciones para la Distribución y Transmisión de la energía eléctrica alrededor y en el DF. Se cuenta con 21 Subestaciones de Distribución con una demanda total de 1096.8 MW.

Número	Subestaciones de Distribución	Demanda en S.E. en (MW)
1	S.E. ARAGON (ARA)	55.7
2	S.E. HUASTECA (HTC)	37.9
3	S.E. CONDESA (CDS)	30.5
4	S.E. VERONICA (VRN)	52.8
5	S.E. NONOALCO (NON)	9.2
6	S.E. MORALES (MOS)	58.7
7	S.E. TACUBA (TAC)	59.3
8	S.E. INDIANILLA (INN)	24.1
9	S.E. NARVARTE (NAR)	21.6
10	S.E. PANTITLAN (PNT)	70.7
11	S.E. LOS REYES (RES)	65.7
12	S.E. SAN LAZARO (LAZ)	0.9
13	S.E. NETZAHUATLCOYOTL (NET)	81.5
14	S.E. MOCTEZUMA (MZA)	82.1
15	S.E. SAN ANDRES (ANS)	68.6
16	S.E. IXTAPALUCA (IXL)	64.1
17	S.E. AGUA VIVA (AGV)	39.1
18	S.E. LA PAZ (LAP)	68.1
19	S.E. COVADONGA (CVD)	31.2
20	S.E. LOS REYES (RES)	78.3
21	S.E. CHALCO (CHA)	96.7
TOTAL		1096.8

Tabla. 4-20 Subestaciones de Distribución y su demanda en (MW).

También se tienen 12 Subestaciones de Transmisión con una demanda total de 780.7 MW.

Numero	Subestaciones de Transmisión	Demanda en S.E. en (MW)
1	S.E. PENSADOR MEXICANO (PEN)	59.0
2	S.E. KILOMETRO CERO (KCR)	70.9
3	S.E. CHAPINGO (CPG)	146.1
4	S.E. PERALVILLO (PEV)	39.4
5	S.E. SAN ANGEL (SNG)	68.7
6	S.E. OLIVAR (OLI)	54.7
7	S.E. VERTIS (VER)	60.9
8	S.E. MAGDALENA (MAG)	79.3
9	S.E. MERCED (MER)	61.0
10	S.E. JAMAICA (JAM)	39.6
11	S.E. POLANCO (POL)	5.8
12	S.E. AURORA (AUR)	95.4
TOTAL		780.7

Tabla. 4-21 Subestaciones de Transmisión y su demanda en (MW).



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 4.4.1. Situación del Consumo Energético en el G.D.F

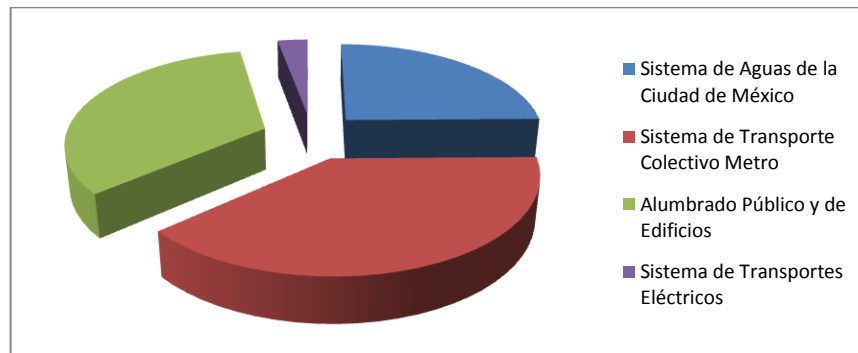
Se pueden observar las diferentes Dependencias o Entidades y el consumo de energía anual en el GDF en la siguiente tabla. Donde Sistema de Transportes Eléctricos es la que menos consumo de energía eléctrica tiene.

CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA ANUAL EN EL GDF 2007			
Dependencia o entidad	Facturación/pesos	Consumo en KW/h	%
Sistema de Aguas de la Ciudad de México	859,526,566	701,538,533	25
Sistema de Transporte Colectivo Metro	1,343,749,924	935,366,090	39
Alumbrado Público y de Edificios	1,163,312,682	542,281,512	34
Sistema de Transportes Eléctricos	99,749,022	58,978,342	3
Total pago de energía GDF	3,466,338,194	2,238,164,477	100

Fuente: Información presentada por las dependencias o entidades del GDF

Tabla. 4-22 Consumo de Energía Eléctrica Anual en el GDF 2007.

En la Grafica se observa la participación por dependencia del consumo de energía eléctrica que cada una tuvo. Donde Sistema de Transportes Eléctricos solo tuvo el 3% de consumo de energía eléctrica.



Grafica. 4-1 Consumo de Energía Eléctrica de los diferentes organismos del GDF.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



**4.5. Capacidad solicitada al proyecto “Corredor Cero Emisiones”**

Se cuenta con 7 Subestaciones Rectificadoras de media tensión trifásicas. Instaladas adecuadamente a lo largo de todo el Corredor Cero Emisiones. Las cuales tienen una capacidad de 2000 kW cada subestación. Lo cual nos da una demanda total de 14000 kW.

SUBESTACIÓN	UBICACIÓN	AÑO (PUESTA EN SERVICIO)	ESTADO ACTUAL	TENSIÓN DE ENTRADA Vca	TENSIÓN DE SALIDA Vcd	CAPACIDAD (kW)	MARCA
<b>TASQUEÑA</b>	Av. Miguel Ángel de Quevedo, Calzada de Tlalpan lado poniente bajo el puente. Colonia: Atlántida Delación: Coyoacán	1981	En servicio	23,000	600	2,000	JEUMONT SCHNEIDER
<b>PANAMÁ</b>	Eje Central Lázaro Cárdenas, Esquina Miguel Laurent No. 106. Colonia: Letrán Valle Delación: Benito Juárez	1979	En servicio	23,000	600	2,000	ENGLISH ELECTRIC
<b>XOLA</b>	Xola, Esquina la Quemada. Colonia: Narvarte Delación: Benito Juárez	1979	En servicio	23,000	600	2,000	ENGLISH ELECTRIC
<b>LÁZARO CÁRDENAS</b>	Dr. Salvador Aceves S/N., casi esquina Eje Central Lázaro Cárdena Colonia: Obrera, Delegación: Cuauhtémoc.	1987	En servicio	23,000	600	2,000	JEUMONT SCHNEIDER
<b>JAIME NUNÓ</b>	Jaime Nunó No. 119, (Cerrada de Allende) entre Allende y Libertad. Colonia: Peralvillo. Delación: Cuauhtémoc	1986	En servicio	23,000	600	2,000	JEUMONT SCHNEIDER
<b>BEETHOVEN</b>	Calzada de los Misterios N° 117, esquina Beethoven, Colonia: Peralvillo, Delegación: Cuauhtémoc.	1996	En servicio	23,000	600	2,000	JEUMONT SCHNEIDER
<b>POTRERO</b>	Eje Central Lázaro Cárdenas Casi esquina con la Av. Cuitláhuac No. 4520. Colonia: Defensores de la República (Nueva Santa María) Delegación: Gustavo A. Madero.	1978	En servicio	23,000	600	2,000	ENGLISH ELECTRIC

Tabla. 4-23 Subestaciones del Eje Central y su capacidad en (kW).



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Y por ultimo faltaría la incorporación de la Subestación Rectificadora Doctor Pascua de media tensión trifásica, con una capacidad de 2000 (kW). Con lo cual nos daría una demanda total de 16000 kW, para el Eje Central “Corredor Cero Emisiones”.

SUBESTACIÓN	UBICACIÓN	AÑO (PUESTA EN SERVICIO)	ESTADO ACTUAL	TENSIÓN DE ENTRADA Vca	TENSIÓN DE SALIDA Vcd	CAPACIDAD (kW)	MARCA
DR. PASCUA	Eje Central y Dr. Pascua Colonia: Doctores Delegación: Cuauhtémoc.	2011	En Servicio	23,000	600	2,000	JEUMONT SCHNEIDER

Tabla. 4-24 Subestación Dr. Pascua, para el Eje Central “CCE”.

Subestación Doctor Pascua. Transportación coloca una Terminal en este sitio, para la inyección de Trolebuses tanto para el Sur como para el Norte según se requiera.



Figura. 4-3 Subestación Dr. Pascua, vista desde arriba.

El Departamento de Subestaciones realizo pruebas para el correcto funcionamiento de la subestación Doctor Pascua en todos sus equipos así como el Departamento de Mando Centralizado.



Figura. 4-4 Subestación Dr. Pascua, vista desde dentro.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



**4.6. Importancia de la Subestación Rectificadora “Doctor Pascua”**

La incorporación de la Subestación Rectificadora Dr. Pascua al Eje Central “Corredor Cero Emisiones” vendría a disminuir la carga de subestaciones como Lázaro Cárdenas y Jaime Nunó, esto debido a la reducción de sus secciones. Todos los días se realiza la revisión de telemedidas de todas las subestaciones del organismo (Tensión y Corriente) en los tres turnos del Puesto de Despacho de Carga (PDC). Siendo Lázaro Cárdenas y Jaime Nunó las que presentan más demanda de corriente. Es por esto que se ha pensado en la incorporación de una subestación que minimice la carga que estas llevan. Y así poder brindar un servicio de calidad al público usuario sin interrupciones. Debido a que las secciones se abren frecuentemente por sobre carga.

Propuesta					
Subestación	Interruptor	Sección	Longitud aproximada en (Kms)	Recorrido	Línea que Alimenta
Dr. Pascua	11	317 secundaria	1.8	(Cables alimentadores desde la subestación Dr. Pascua hasta calle victoria). Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente), desde Francisco González Bocanegra hasta Victoria.	Corredor Cero Emisiones “Eje Central”
	12	316	1.8	(Cables alimentadores desde la subestación Dr. Pascua hasta calle victoria). Eje Central Lázaro Cárdenas (lado oriente), desde República de Uruguay hasta Francisco González Bocanegra.	Corredor Cero Emisiones “Eje Central”
	21	315	1.5	(Cables alimentadores desde la subestación Dr. Pascua hasta Dr. Claudio Bernard). Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente), desde Victoria hasta Dr. Claudio Bernard.	Corredor Cero Emisiones “Eje Central”
	22	314	1.5	(Cables alimentadores desde la subestación Dr. Pascua hasta Dr. Claudio Bernard). Eje Central Lázaro Cárdenas (lado oriente), desde Diag. 20 de Noviembre hasta República de Uruguay.	Corredor Cero Emisiones “Eje Central”
	31	313 secundaria	1.0	(Cable alimentador desde la subestación Dr. Pascua a la subestación Lázaro Cárdenas) Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente) desde Dr. Pascua hasta Dr. Olvera.	Corredor Cero Emisiones “Eje Central”

Tabla. 4-25 Propuesta de Subestación Dr. Pascua para el Eje Central “CCE”.

**Los cambios se observan en las áreas o textos sombreados.**

- Las secciones 314, 315, 316 y 317 se incorporan al Corredor Cero Emisiones “Eje Central”. La sección 313 es de apoyo entre las subestaciones Pascua y Lázaro Cárdenas.





**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



Estado actual de la Subestación Lázaro Cárdenas, sus secciones y longitud aproximada de las mismas.

Estado Actual					
Subestación	Interruptor	Sección	Longitud aproximada en (Kms)	Recorrido	Línea que Alimenta
Lázaro Cárdenas	11	195	3.5	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente), desde Mosqueta (Eje 1 Norte) hasta Dr. Olvera.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	196	3.5	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado oriente), desde Manuel José Othon hasta Rayón (Eje 1 Norte).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	104 secundaria	2.4	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado oriente), desde Xola hasta Manuel José Othon.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	198	2.4	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente), desde Dr. Olvera hasta Xola.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	Aux.	-----	-----	-----

Tabla. 4-26 Subestación Lázaro Cárdenas (estado actual).

Propuesta de la Subestación Lázaro Cárdenas, sus secciones y longitud aproximada de las mismas.

Propuesta					
Subestación	Interruptor	Sección	Longitud aproximada en (Kms)	Recorrido	Línea que Alimenta
Lázaro Cárdenas	11	195	1.5	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente), desde Dr. Claudio Bernard hasta Dr. Ignacio Morones Prieto.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	196	1.5	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado oriente), desde José Peón Contreras hasta Diag. 20 de Noviembre.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	104 secundaria	1.4	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado oriente), desde Xola hasta José Peón Contreras.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	198	1.4	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente), desde Dr. Ignacio Morones Prieto hasta Xola.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	31	313	1.0	(Cable alimentador desde la subestación Dr. Pascua a la subestación Lázaro Cárdenas) Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente) desde Dr. Pascua hasta Dr. Olvera.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"

Tabla. 4-27 Subestación Lázaro Cárdenas (propuesta).

**Los cambios se observan en las áreas o textos sombreados.**

- Las secciones 195, 196, 104 y 198 disminuyen su longitud. La sección 313 es de apoyo entre las subestaciones Pascua y Lázaro Cárdenas.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



Estado actual de la Subestación Jaime Nunó, sus secciones y longitud aproximada de las mismas.

Estado Actual					
Subestación	Interruptor	Sección	Longitud aproximada (Kms)	Recorrido	Línea que Alimenta
Jaime Nunó	11	170	2.1	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado oriente), desde Rayón (Eje 1 Norte) hasta Beethoven.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	195 secundaria	3.5	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente), desde Mosqueta (Eje 1 Norte) hasta Dr. Olvera.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	196 secundaria	3.5	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado oriente), desde Manuel José Othon hasta Rayón.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	226	4.6	Frente a la subestación Jaime Nuno por Reforma hasta el metro Hidalgo (ambos sentidos) incluyendo Valerio Trujano y Avenida Hidalgo.	San Felipe de Jesús - Metro Hidalgo
	31	105	2.1	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente), desde Beethoven hasta Mosqueta (Eje 1 Norte).	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"

Tabla. 4-28 Subestación Jaime Nunó (estado actual).

Propuesta de la Subestación Jaime Nunó, sus secciones y longitud aproximada de las mismas.

Propuesta					
Subestación	Interruptor	Sección	Longitud aproximada en (Kms)	Recorrido	Línea que Alimenta
Jaime Nunó	11	170	1.8	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado oriente), desde Francisco González Bocanegra hasta Beethoven.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	12	317	1.8	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente), desde Francisco González Bocanegra hasta calle Victoria.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	21	316 secundaria	1.8	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado oriente), desde República de Uruguay hasta Francisco González Bocanegra.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"
	22	226	4.5	Frente a la subestación Jaime Nuno por Reforma hasta el metro Hidalgo (ambos sentidos) incluyendo Valerio Trujano y Avenida Hidalgo.	San Felipe de Jesús - Metro Hidalgo
	31	105	1.8	Eje Central Lázaro Cárdenas (lado poniente), desde Beethoven hasta Francisco González Bocanegra.	Corredor Cero Emisiones "Eje Central"

Tabla. 4-29 Subestación Jaime Nunó (propuesta).

**Los cambios se observan en las áreas o textos sombreados.**

- Las secciones 316 y 317 se incorporan al Corredor Cero Emisiones "Eje Central". Las secciones 170 y 105 disminuyen su longitud.



# ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



## “Estado actual del Corredor Cero Emisiones (Eje Central)”

Estado actual de las secciones 105, 170, 195, 196, 198 y 104 (6 secciones en total). Con una distancia aproximada de 8 km. Las cuales son energizadas por 2 subestaciones Jaime Nunó y Lázaro Cárdenas.

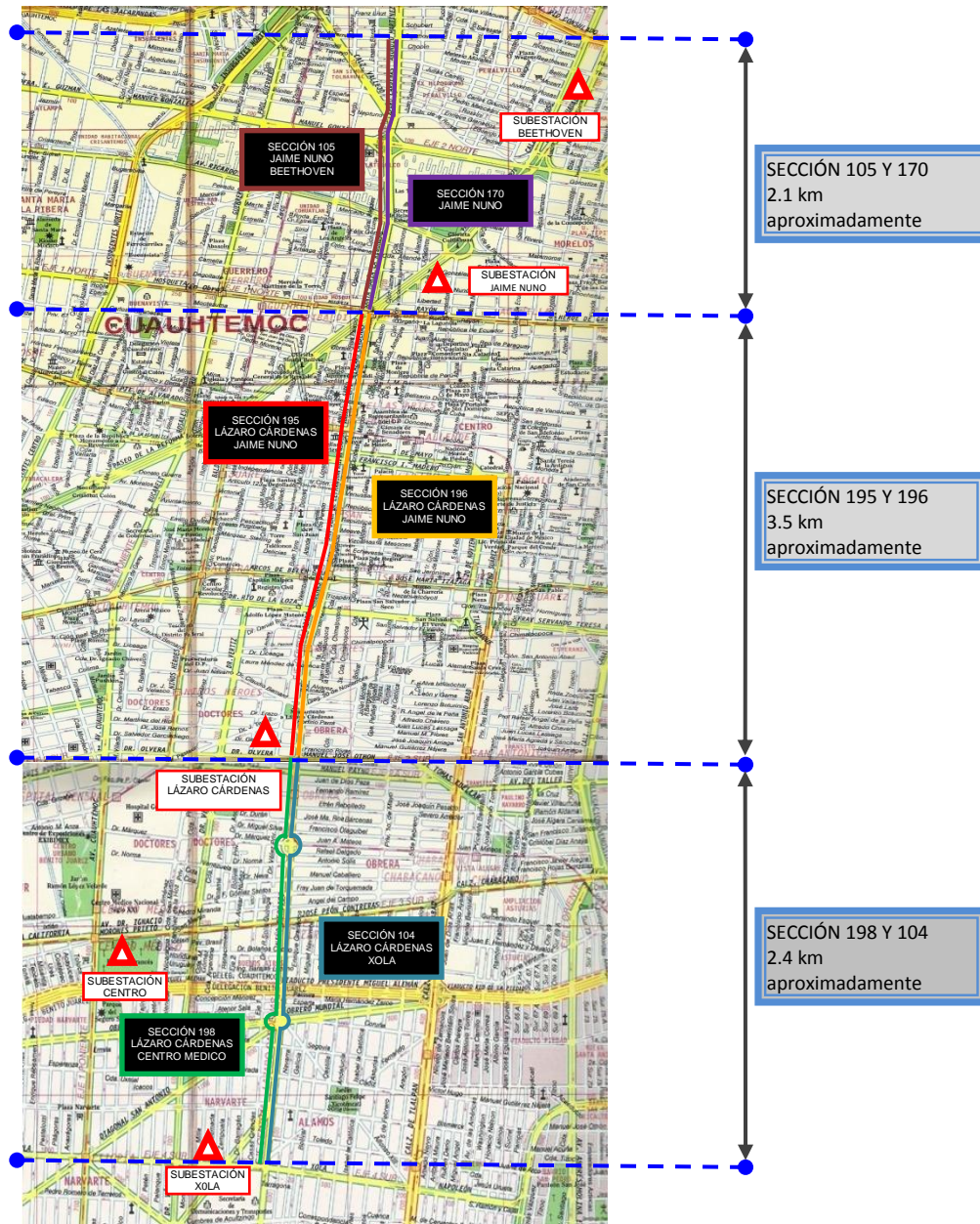


Figura. 4-5 Estado Actual del Corredor Cero Emisiones “Eje Central”.

## “Propuesta del Corredor Cero Emisiones (Eje Central)”

Propuesta de las secciones 105, 170, 317, 316, 315, 314, 195, 196, 198 y 104. (10 secciones en total). Con una distancia aproximada de 8 km. Las cuales serán energizadas por 3 subestaciones Jaime Nunó, Doctor Pascua y Lázaro Cárdenas.

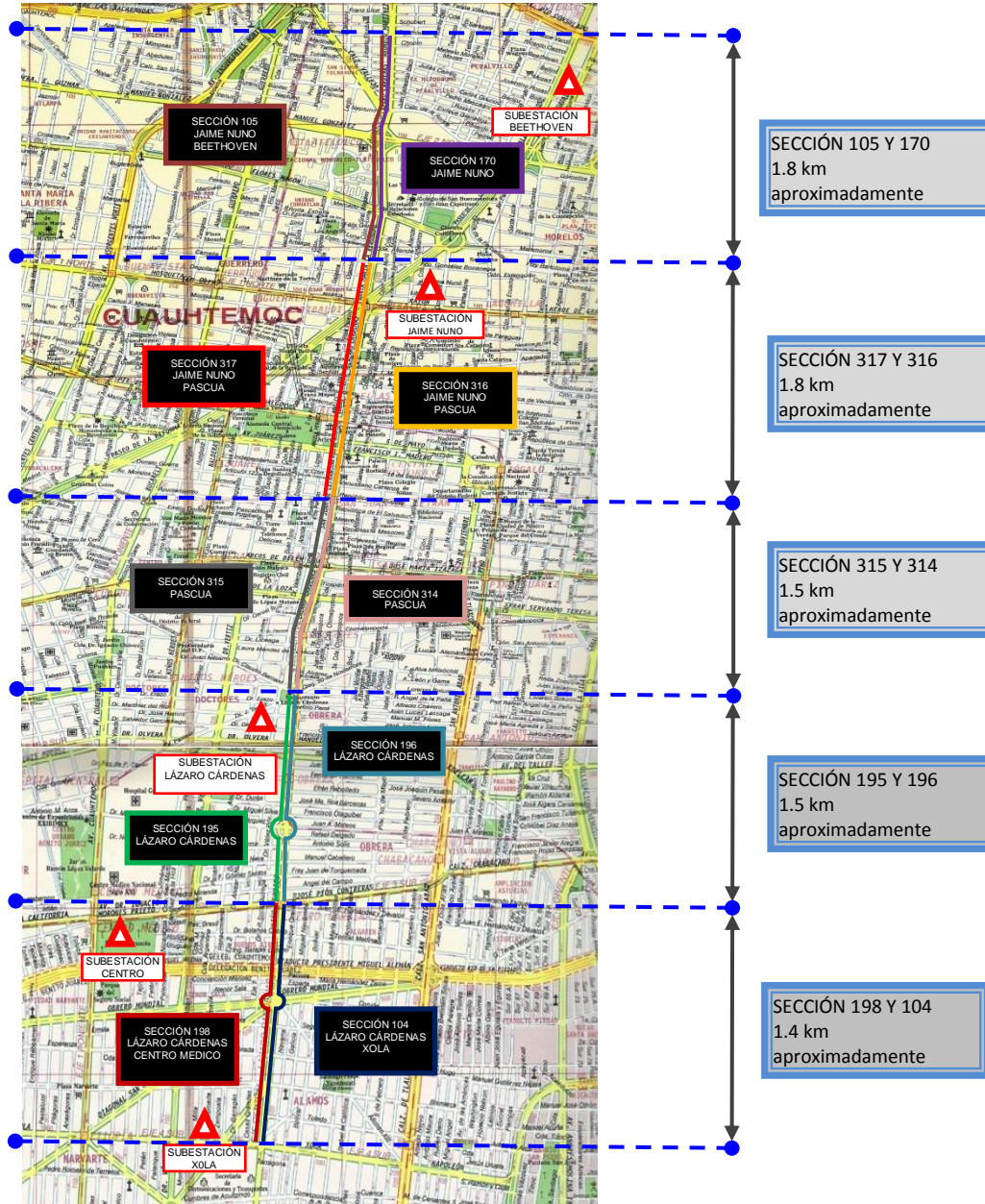


Figura. 4-6 Propuesta del Corredor Cero Emisiones “Eje Central”.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### 5. Resultados

Como consecuencia de la incorporación de la Subestación Rectificadora “Doctor Pascua” se tendrá un reforzamiento de la alimentación eléctrica en el Corredor Cero Emisiones, previniendo de esta forma la afectación en el servicio de Transporte Público. Estas fallas serán evitadas al obtener secciones de menor longitud en las cuales circularan un número menor de unidades, por lo tanto se tendrá una demanda de corriente inferior a las actuales. Con esto se podrá garantizar el servicio en el Corredor Cero Emisiones del Eje Central.

#### 5.1. Socioeconómicos

Debido al rápido crecimiento en la población en el D.F., la demanda de medios de Transporte en nuestra ciudad, se ha desarrollado de una manera exponencial por lo que el Gobierno del D.F. ha puesto en marcha programas como el Corredor Cero Emisiones Lázaro Cárdenas para dar un servicio más eficiente, confiable y limpio.

El 1 de Agosto del 2009 se puso en marcha el Corredor Cero Emisiones Lázaro Cárdenas donde el medio de transporte son trolebuses eléctricos, los cual en su recorrido unen el sur con el norte de la Ciudad, comunicando desde la terminal de autobuses del sur y metro Tasqueña con la terminal de autobuses del norte, en su recorrido beneficia a 39 colonias de cuatro delegaciones como son: Coyoacán, Benito Juárez, Cuauhtémoc y Gustavo A. Madero.

Para poder proporcionar este servicio de la manera más eficiente se realizo un reordenamiento vial en el Eje Central Lázaro Cárdenas, confinando 2 carriles para el transito exclusivo de los trolebuses por lo que el recorrido de norte a sur se realiza en un tiempo aproximado de una hora, de igual manera se implementaron dos circuitos, el principal que corre de la terminal del norte hacia la terminal del sur, el segundo circuito se conforma con unidades que se incorporan a partir de “Dr. Pascua” hacia la terminal del norte, asegurando de esta manera el flujo continuo de unidades, por lo que no se queda sin servicio por un periodo largo la ruta hacia el norte de la ciudad, permitiendo realizar este recorrido de manera más rápida.

Es importante mencionar que en operación se tienen 70 trolebuses en servicio, divididos estos en los dos circuitos antes mencionados, aquí la importancia de la implementación de ésta Subestación ya que en el momento en que se puso en marcha se aseguro, principalmente la alimentación ininterrumpida de energía eléctrica para la tracción de los Trolebuses. Evitando así el retraso en el trayecto, también parte de los beneficios de esa subestación es el permitir el aumento se unidades en hora pico permitiendo la movilización de mayor cantidad de usuarios en menor tiempo.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 5.2. Técnicos

Realizaremos los cálculos necesarios para asegurar el buen funcionamiento de nuestros trolebuses en las secciones de la subestación Doctor Pascua.

### 5.3. Datos de la Subestación Rectificadora

Las subestaciones cuentan con un voltaje de entrada de 23 kVca. El cual es suministrado por CFE.

$$V_{in} = 23 \text{ kVca} \quad (5-01)$$

También cuentan con un Transformador de Potencia (T.Pot.) y un Transformador de Estación (T.E.). Los cuales tienen la potencia siguiente.

$$P_{T.Pot.} = 2,225 \text{ kVA} \quad (5-02)$$

$$P_{T.E.} = 25 \text{ kVA} \quad (5-03)$$

Lo que nos da una Potencia Total de los Transformadores (P.T.T) en cada subestación de 2,250kVA.

$$P.T.T. = 2,225 \text{ kVA} + 25 \text{ kVA} = 2,250 \text{ kVA} \quad (5-04)$$

Al Transformador de Potencia se le suministran 23 kVca ( $V_{in_{T.Pot.}}$ ) en el primario y entrega 474 Vca ( $V_{out_{T.Pot.}}$ ) en el secundario.

$$V_{in_{T.Pot.}} = 23 \text{ kVca} \quad (5-05)$$

$$V_{out_{T.Pot.}} = 474 \text{ Vca} \quad (5-06)$$

Por lo que tenemos una corriente de entrada ( $I_{in_{T.Pot.}}$ ) de 55.85 A y una corriente de salida ( $I_{out_{T.Pot.}}$ ) de 2,710.14 A en el Transformador de Potencia.

$$I_{in_{T.Pot.}} = \frac{P_{T.Pot.}}{V_{in_{T.Pot.}} \sqrt{3}} = \frac{2,225 \text{ kVA}}{23 \text{ kV} \sqrt{3}} = 55.85 \text{ A} \quad (5-07)$$

$$I_{out_{T.Pot.}} = \frac{P_{T.Pot.}}{V_{out_{T.Pot.}} \sqrt{3}} = \frac{2,225 \text{ kVA}}{474 \text{ V} \sqrt{3}} = 2,710.14 \text{ A} \quad (5-08)$$



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



Cada subestación cuenta con un Rectificador, el cual tiene una Potencia de Rectificación ( $P_R$ ) de 2000 kW y un Voltaje de Salida de 600 Vcd ( $V_{out_R}$ ), en el caso de los Trolebuses.

$$P_R = 2,000 \text{ kW} \tag{5-09}$$

$$V_{out_R} = 600 \text{ Vcd} \tag{5-10}$$

Por lo que tenemos una Corriente de Salida del Rectificador ( $I_{out_R}$ ) de 3,333.33 A.

$$I_{out_R} = \frac{P_R}{V_{out_R}} = \frac{2000 \text{ kW}}{600 \text{ V}} = 3,333.33 \text{ A} \tag{5-11}$$

**5.4. Los 5 Casos Diferentes de los Interruptores Derivados**

Cada subestación cuenta con 5 Interruptores Derivados (Int.Der.), por lo que tendremos cinco casos diferentes.

**Caso 1.** Cuando tenemos 5 interruptores derivados y una corriente de 666.66 A por interruptor.

Interruptores Derivados	Amperaje (A)
Interruptor 11	666.66
Interruptor 12	666.66
Interruptor 21	666.66
Interruptor 22	666.66
Interruptor 31	666.66
<b>Total</b>	<b>3,333.33 A</b>

Tabla. 5-1 Amperaje con 5 interruptores derivados.

$$I_{Int.Der.} = \frac{I_{out_R}}{Int.Der.} = \frac{3,333.33}{5} = 666.66 \text{ A} \tag{5-12}$$

**Caso 2.** Cuando tenemos 4 interruptores derivados y una corriente de 833.3325A por interruptor. Normalmente solo se manejan 4 interruptores derivados por subestación como máximo y se deja un interruptor como auxiliar, en caso de falla de algún interruptor, este tomara su lugar.

Interruptores Derivados	Amperaje (A)
Interruptor 11	833.3325
Interruptor 12	833.3325
Interruptor 21	833.3325
Interruptor 22	833.3325
Interruptor 31	0.0
<b>Total</b>	<b>3,333.33 A</b>

Tabla. 5-2 Amperaje con 4 interruptores derivados.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



$$I_{Int.Der.} = \frac{3,333.33}{4} = 833.3325 \text{ A} \quad (5-13)$$

**Caso 3.** Cuando tenemos 3 interruptores derivados y una corriente de 1,111.11 A por interruptor.

Interruptores Derivados	Amperaje (A)
Interruptor 11	1,111.11
Interruptor 12	1,111.11
Interruptor 21	1,111.11
Interruptor 22	0.0
Interruptor 31	0.0
<b>Total</b>	<b>3,333.33 A</b>

Tabla. 5-3 Amperaje con 3 interruptores derivados.

$$I_{Int.Der.} = \frac{I_{outR}}{Int.Der.} = \frac{3,333.33}{3} = 1,111.11 \text{ A} \quad (5-14)$$

**Caso 4.** Cuando tenemos 2 interruptores derivados y una corriente de 1,666.665 A por interruptor.

Interruptores Derivados	Amperaje (A)
Interruptor 11	1,666.665
Interruptor 12	1,666.665
Interruptor 21	0.0
Interruptor 22	0.0
Interruptor 31	0.0
<b>Total</b>	<b>3,333.33 A</b>

Tabla. 5-4 Amperaje con 2 interruptores derivados.

$$I_{Int.Der.} = \frac{I_{outR}}{Int.Der.} = \frac{3,333.33}{2} = 1,666.665 \text{ A} \quad (5-15)$$

**Caso 5.** Cuando tenemos 1 interruptor derivado y una corriente de 3,333.33 A.

Interruptores Derivados	Amperaje (A)
Interruptor 11	3,333.33
Interruptor 12	0.0
Interruptor 21	0.0
Interruptor 22	0.0
Interruptor 31	0.0
<b>Total</b>	<b>3,333.33 A</b>

Tabla. 5-5 Amperaje con 1 interruptor derivado.

$$I_{Int.Der.} = \frac{I_{outR}}{Int.Der.} = \frac{3,333.33}{1} = 3,333.33 \text{ A} \quad (5-16)$$





**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



Cada Interruptor Derivado tiene un dispositivo de seguridad que detecta las sobrecorrientes llamado RMA (Relevador Multiplicador 1200 de Corriente). El cual se opera cuando es superado su amperaje de calibración y se abre el interruptor para proteger la subestación. Tenemos ocho calibraciones posibles en cada RMA.

<b>Interruptor Derivado</b>		
<b>RMA</b>	<b>Calibración</b>	<b>Amperaje que soporta el RMA</b>
1	1	1200
2	1.1	1320
3	1.2	1440
4	1.3	1560
5	1.4	1680
6	1.5	1800
7	1.6	1920
8	1.7	2040

Tabla. 5-6 Calibración del RMA.

Normalmente se calibran a 1.3 para que soporten una corriente máxima de 1560 amperes por Interruptor Derivado. Su máxima calibración es 1.7 y se puede calibrar hasta este rango de ser necesario, esto dependerá de las necesidades de la subestación. Generalmente en la Zona Centro la demanda es mayor, por lo que el RMA tiene una calibración mayor a 1.3. Esto nos ayuda a garantizar el suministro de energía eléctrica y evitar retrasos en el servicio, ya que con una calibración menor el interruptor tiende abrirse y cerrarse automáticamente, si la demanda de corriente excede el amperaje al cual esta calibrado el RMA. Estas interrupciones al servicio generalmente duran segundos, pero las aperturas y cierres que realiza el interruptor de forma continua tienden a dañar al mismo. Otro caso es cuando el interruptor se abre y así se mantiene, lo que provoca retrasos en el servicio. Ya que el procedimiento a seguir es el siguiente, Puesto de Despacho de Carga informa a Centro de Comunicaciones que a su vez informa a un Supervisor Operativo y este revisa la sección afectada en cuestión y de no haber desperfectos en la línea o algún otro inconveniente solicita un cierre de dicha sección al Puesto de Despacho de Carga. Lo que generalmente lleva alrededor de 20 a 30 minutos, lo que provoca un gran retraso en el servicio. Y estas aperturas que se presentan en la Zona Centro normalmente son provocadas por Sobre-Carga, es decir por exceso de unidades en una misma sección.



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**



**5.5. Consumo de los Trolebuses en el Corredor Cero Emisiones “Eje Central”**

Consumo en Amperes de los Trolebuses suponiendo 6 unidades por sección y diferentes casos de arranque.

Subestación	Sección Eléctrica	Cantidad de Trolebuses por Sección	Consumo Nominal del Trolebús al Arranque (amp.)	Unidades Arrancando al 100% (amp.)	Unidades Arrancando al 75 % (amp.)	Unidades Arrancando al 50 % (amp.)	Unidades Arrancando al 25 % (amp.)	Amperaje de Salida del Interruptor Calibrado a 1.3 (amp.)
Tasqueña	sección 114	6	250	1500	1125	750	375	1560
Tasqueña	sección 126	6	250	1500	1125	750	375	1560
Panamá	sección 132	6	250	1500	1125	750	375	1560
Panamá	sección 109	6	250	1500	1125	750	375	1560
Xola	sección 242	6	250	1500	1125	750	375	1560
Xola	sección 241	6	250	1500	1125	750	375	1560
Xola	sección 104	6	250	1500	1125	750	375	1560
Lázaro Cárdenas	sección 195	6	250	1500	1125	750	375	1560
Lázaro Cárdenas	sección 196	6	250	1500	1125	750	375	1560
Lázaro Cárdenas	sección 198	6	250	1500	1125	750	375	1560
Doctor Pascua	sección 316	6	250	1500	1125	750	375	1560
Doctor Pascua	sección 315	6	250	1500	1125	750	375	1560
Doctor Pascua	sección 314	6	250	1500	1125	750	375	1560
Jaime Nunó	sección 317	6	250	1500	1125	750	375	1560
Jaime Nunó	sección 170	6	250	1500	1125	750	375	1560
Jaime Nunó	sección 105	6	250	1500	1125	750	375	1560
Beethoven	sección 249	6	250	1500	1125	750	375	1560
Beethoven	sección 248	6	250	1500	1125	750	375	1560
Potrero	sección 112	6	250	1500	1125	750	375	1560
Potrero	sección 113	6	250	1500	1125	750	375	1560

Tabla. 5-7 Subestaciones, secciones y consumo del Corredor Cero Emisiones.

Lo que nos da un total de 8 subestaciones, 20 secciones y 120 trolebuses en todo el Corredor Cero Emisiones “Eje Central”. La distancia entre trolebuses es de 300 metros, de acuerdo a la Dirección de Transportación. Y la demanda máxima que soportan los interruptores de salida serán de 4,680 A en el caso de tener 3 secciones funcionando por subestación y 6 Trolebuses por sección arrancando al mismo tiempo. El consumo máximo será de 4500 A por parte de los trolebuses en el caso de tener 3 secciones funcionando por subestación y 6 Trolebuses por sección arrancando al mismo tiempo. Por lo que nuestros interruptores no tendrán problemas si se llega a presentar dicho caso.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



### 5.6. Caída de Tensión en el Cable Alimentador de 500 kCM

Datos de cable alimentador de 500 kCM, utilizando las ecuaciones (5-10) y (5-13). Doctor Pascua trabajara con 4 interruptores por lo tanto tenemos:

$$V_{out_R} = 600 V_{cd}$$

$$I_{Int.Der.} = \frac{I_{out_R}}{Int.Der.} = \frac{3,333.33}{4} = 833.3325 A$$

También necesitaremos la longitud de las secciones:  $L_1=1800m$  (secciones 317,316) y  $L_2=1500m$  (secciones 315,314). Así como la sección transversal (S) del cable alimentador de 500 kCM.

$$L_1 = 1800 m \quad (5-17)$$

$$L_2 = 1500 m \quad (5-18)$$

$$S = 253.35 \text{ mm}^2 \quad (5-19)$$

La caída de tensión en el cable alimentador (e) la podemos calcular utilizando la formula siguiente:

$$e_1 \% = \frac{4L_1 I}{VS} = \frac{4(1800m)(833.3325A)}{(600V)(253.35\text{mm}^2)} = 39.47\% \quad (5-20)$$

$$e_2 \% = \frac{4L_2 I}{VS} = \frac{4(1500m)(833.3325A)}{(600V)(253.35\text{mm}^2)} = 32.89\% \quad (5-21)$$

Otra opción para poder determinar la caída de tensión es utilizando la resistencia (R) del cable alimentador de 500 kCM, conforme a la tabla 10-8 de la Nom-001-Sede-2005 [ 1 ].

$$R = 0.0846\Omega/km \quad (5-22)$$

Convertimos la resistencia de  $\Omega/km$  a  $\Omega$  y tenemos:

$$\text{Para } L_1: R_1 = \frac{0.0846\Omega}{1000m} 1800m = 0.15228\Omega \quad (5-23)$$



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**

---



$$\text{Para } L_2: R_2 = \frac{0.0846\Omega}{1000m} 1500m = 0.1269 \Omega \quad (5-24)$$

La caída de tensión en el cable alimentador la podemos calcular con la siguiente fórmula:

$$e_1 = R_1 I = (0.15228\Omega)(833.3325A) = 126.899 \text{ Vcd} \quad (5-25)$$

$$e_2 = R_2 I = (0.1269\Omega)(833.3325A) = 105.749 \text{ Vcd} \quad (5-26)$$

La caída de tensión en el cable alimentador la podemos representar en porcentaje con la siguiente fórmula:

$$e_1 \% = \frac{e_1}{V} = \frac{126.899Vcd}{600Vcd} (100) = 21.14\% \quad (5-27)$$

$$e_2 \% = \frac{e_2}{V} = \frac{105.749Vcd}{600Vcd} (100) = 17.62\% \quad (5-28)$$

### 5.7. Caída de Tensión en el Cable Alimentador de 1000 kCM

Datos de cable alimentador de 1000 kCM, utilizando las ecuaciones (5-10) y (5-13). Doctor Pascua trabajara con 4 interruptores por lo tanto tenemos:

$$V_{out_R} = 600 \text{ Vcd}$$

$$I_{Int.Der.} = \frac{I_{out_R}}{Int.Der.} = \frac{3,333.33}{4} = 833.3325 \text{ A}$$

También necesitaremos la longitud de las secciones:  $L_1=1800m$  (secciones 317,316),  $L_2=1500m$  (secciones 315,314) y las ecuaciones (5-17) y (5-18). Así como la sección transversal (S) del cable alimentador de 1000 kCM.

$$L_1 = 1800m$$

$$L_2 = 1500m$$

$$S = 507mm^2 \quad (5-29)$$



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



La caída de tensión en el cable alimentador (e) la podemos calcular utilizando la formula siguiente:

$$e_1 \% = \frac{4L_1 I}{VS} = \frac{4(1800m)(833.3325A)}{(600V)(507mm^2)} = 19.72\% \quad (5-30)$$

$$e_2 \% = \frac{4L_2 I}{VS} = \frac{4(1500m)(833.3325A)}{(600V)(507mm^2)} = 16.43\% \quad (5-31)$$

Otra opción para poder determinar la caída de tensión es utilizando la resistencia (R) del cable alimentador de 1000 kCM, conforme a la tabla 10-8 de la Nom-001-Sede-2005 [ 1 ].

$$R = 0.0423\Omega/km \quad (5-32)$$

Convertimos la resistencia de  $\Omega/km$  a  $\Omega$  y tenemos:

$$\text{Para } L_1: R_1 = \frac{0.0423\Omega}{1000m} 1800 m = 0.07614 \Omega \quad (5-33)$$

$$\text{Para } L_2: R_2 = \frac{0.0423\Omega}{1000m} 1500 m = 0.06345 \Omega \quad (5-34)$$

La caída de tensión en el cable la podemos calcular con la siguiente fórmula:

$$e_1 = R_1 I = (0.07614 \Omega)(833.3325 A) = 63.44 Vcd \quad (5-35)$$

$$e_2 = R_2 I = (0.06345 \Omega)(833.3325 A) = 52.87 Vcd \quad (5-36)$$

La caída de tensión en el cable la podemos representar en porcentaje con la siguiente formula:

$$e_1 \% = \frac{e_1}{V} = \frac{63.44Vcd}{600Vcd} (100) = 10.57\% \quad (5-37)$$

$$e_2 \% = \frac{e_2}{V} = \frac{52.87Vcd}{600Vcd} (100) = 8.81\% \quad (5-38)$$

### 5.8. Caída de Tensión en el Hilo de Contacto de 2/0 AWG

Considerando la caída de tensión en el cable alimentador de 1000 kCM, con una longitud de  $L_1=1800 m$  y  $L_2=1500$ . Tenemos una caída de tensión eléctrica en el hilo de contacto de  $e_1=63.44 Vcd$  y  $e_2=52.87 Vcd$ .



**ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA  
DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA  
PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.**

---



$$V_{1cd} = 600 V_{cd} - 63.44 V_{cd} = 536.56 V_{cd} \cong 537 V_{cd} \quad (5-39)$$

$$V_{2cd} = 600 V_{cd} - 52.87 V_{cd} = 547.13 V_{cd} \cong 547 V_{cd} \quad (5-40)$$

$$I_{Int.Der.} = \frac{I_{outR}}{Int.Der.} = \frac{3,333.33}{4} = 833.3325 A \quad (5-13)$$

$$L_3 = 120 m \quad (5-41)$$

$$S = 67.4 mm^2 \quad (5-42)$$

La caída de tensión en el cable alimentador (e) la podemos calcular utilizando la formula siguiente:

$$e_1 \% = \frac{4L_3 I}{V_1 S} = \frac{4(120m)(833.3325A)}{(537V)(67.4mm^2)} = 11.05\% \quad (5-43)$$

$$e_2 \% = \frac{4L_3 I}{V_2 S} = \frac{4(120m)(833.3325A)}{(547V)(67.4mm^2)} = 10.84\% \quad (5-44)$$

Otra opción para poder determinar la caída de tensión es utilizando la resistencia (R) del hilo de contacto de 2/0 AWG, conforme a la tabla 10-8 de la Nom-001-Sede-2005 [ 1 ].

$$R = 0.317 \Omega/km \quad (5-45)$$

Convertimos la resistencia de  $\Omega/km$  a  $\Omega$  y tenemos:

$$\text{Para } L_3: R_3 = \frac{0.317\Omega}{1000m} 120m = 0.03804 \Omega \quad (5-46)$$

La caída de tensión en el cable la podemos calcular con la siguiente fórmula:

$$e_3 = R_3 I = (0.03804 \Omega)(833.3325 A) = 31.69 V_{cd} \quad (5-47)$$

La caída de tensión en el cable la podemos representar en porcentaje con la siguiente fórmula:

$$e_1 \% = \frac{e_3}{V_1} = \frac{31.69V_{cd}}{537V_{cd}} (100) = 5.9\% \quad (5-48)$$

$$e_2 \% = \frac{e_3}{V_2} = \frac{31.69V_{cd}}{547V_{cd}} (100) = 5.7\% \quad (5-49)$$



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.



Por lo tanto tendremos una caída de tensión en el cable alimentador de 1000kCM [ $e_1$ , ecuación (5-35) ;  $e_2$ , ecuación (5-36)] y el hilo de contacto de 2/0 AWG [ $e_3$ , ecuación (5-47)] de:

$$e_4 = e_3 + e_1 = (31.69 Vcd) + (63.44 Vcd) = 95.13 Vcd \quad (5-50)$$

$$e_5 = e_3 + e_2 = (31.69 Vcd) + (52.87 Vcd) = 84.56 Vcd \quad (5-51)$$

Por lo que tendremos una caída de tensión máxima ( $e_4$ ) de 95.13 Vcd, en la frontera de la sección, si utilizamos cable alimentador de 1000 kCM y una longitud de 1800 m. Y una caída de tensión máxima ( $e_5$ ) de 84.56 Vcd en la frontera de la sección, si utilizamos cable alimentador de 1000 kCM y una longitud de 1500 m. La tensión mínima normal en el extremo de la línea deberá de ser de 500 Vcd, para que los trolebuses trabajen normalmente. Los rectificadores trabajan a una tensión máxima de 660 Vcd, lo que nos da un rango de caída de tensión de 160 Vcd. En la cual los trolebuses tendrán una tracción correcta y nuestra caída de tensión máxima es de 95.13 Vcd y 84.56 Vcd. Por lo tanto estamos dentro del rango y con una muy buena diferencia para ambos casos.

Cabe mencionar que los rectificadores y los transformadores empleados para el Corredor Cero Emisiones “Eje Central” soportan una Sobre-Carga del 50% durante 15 minutos. Y cuando se presentan estas normalmente duran solo algunos minutos. Por lo que podemos garantizar que la subestación tiene la capacidad necesaria para alimentar de forma correcta la energía eléctrica que nuestras secciones demanden, debido al consumo de los trolebuses que se encuentren en dichas secciones. Actualmente Doctor Pascua además de apoyar a las subestaciones existentes en el Corredor Cero Emisiones, sirve como Terminal intermedia entre las Terminales del Sur y del Norte. Con esta incorporación se pueden inyectar trolebuses a la hora pico para movilizar mayor cantidad de gente en menos tiempo y de esta forma agilizar el servicio. Actualmente el Corredor Cero Emisiones trabaja con 70 trolebuses solamente, con la incorporación de la subestación Doctor Pascua se logro disminuir las secciones y el número de trolebuses que en ellas circulan. El Puesto de Despacho de Carga monitorea las subestaciones así como las secciones de toda la red, observado una disminución considerable en la demanda de corriente de las subestaciones de la Zona Centro, Lázaro Cárdenas y Jaime Nunó. Por lo que podemos concluir que la incorporación de la subestación Doctor Pascua cumplió con los objetivos propuestos en un principio y además logro agilizar el servicio en la Zona Centro.

### REFERENCIA:

[ 1 ] DIARIO OFICIAL (Tercera Sección) Lunes 13 de marzo de 2006, **SECRETARIA DE ENERGIA**, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2005, INSTALACIONES ELECTRICAS (UTILIZACION), APROBADA EN LA CUARTA SESION ORDINARIA DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE INSTALACIONES ELECTRICAS, CELEBRADA EL 8 DE NOVIEMBRE DE 2005. <http://bricos.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/04/001sede.pdf> Consultado el 9 de Diciembre del 2011, Pagina 777.



## CONCLUSIONES

---



### Conclusiones.

Como hemos visto a lo largo del tiempo, la presencia de los trolebuses, en el desarrollo de la urbe ha sido de mucha importancia, desde el cambio de tracción animal por la eléctrica, los estudios que se realizaron para ver la factibilidad para adoptar este medio de transporte fueron positivos para el crecimiento y eficiencia del servicio, así el público estaría mucho mejor comunicado y con mayor rapidez.

En los inicios de este medio de transporte fue considerado como un medio de transporte de punta pues estaba a la vanguardia tecnológica, con los equipos más modernos de la época, el Sistema de Transportes Eléctricos del D.F. ha buscado mantener este tipo de tecnología por lo que desde los años cincuentas un primer esfuerzo para poner a tono el nivel de los transportes de tracción eléctrica fue la adquisición de un nuevo tipo de tranvía denominado PCC, era notablemente más cómodo y silencioso que los tranvías convencionales, para los años ochentas se construyeron los primeros trolebuses nuevos fabricados en México por Mexicana de Autobuses, S.A. (MASA) y es altamente satisfactorio.

Por otro lado el desarrollo tecnológico de la Electrónica de Potencia ha sido realmente notable, no solo el hecho de haber sustituido en un tiempo relativamente corto a los Tubos Electrónicos, mejor conocidos como *Bulbos* por los Dispositivos Semiconductores, si no por extender la capacidad de los mismos a rangos de potencia que se creían inalcanzables, por lo que los Bulbos fueron sustituidos rápidamente de sus múltiples aplicaciones como las de Rectificación, Control de Velocidad de Motores, Osciladores, etc. Así es como entran de lleno los Dispositivos Semiconductores o de Estado Sólido en la Electrónica de Potencia.

El circuito rectificador trifásico tiene el más alto valor de utilidad de transformador, por lo tanto requiere menor potencia alterna para obtener los valores deseados de tensión y corriente directa.

El Corredor Cero Emisiones “Eje Central Lázaro Cárdenas”, cuenta para su alimentación con dos tipos de Subestaciones, una de manufactura inglesa las cuales se conocen como English Electric, y una de manufactura Francesa denominadas Jeumont Schneider. En el caso de las Francesas o Jeumont tenemos las subestaciones TASQUEÑA puesta en servicio en 1981, JAIME NUNO en 1986, LÁZARO CÁRDENAS en 1987, BEETHOVEN en 1996 y por último la subestación Dr. PASCUA la cual se incorpora al Corredor Cero Emisiones en el año 2011, la cual vino a solucionar grandes problemas que se tenían en esta zona. Para estas subestaciones, las refacciones aun se consiguen con cierta facilidad.





## CONCLUSIONES

---



Con la incorporación de la subestación Dr. PASCUA, se logro mejorar el servicio que actualmente se da en el Corredor Cero Emisiones “Eje Central Lázaro Cárdenas”. Esto porque se logro la reducción de la longitud de las secciones y la disminución de la carga que llevan las subestaciones LÁZARO CÁRDENAS y JAIME NUNO. Debido a la localización de estas subestaciones generalmente se tenía una gran demanda de corriente, lo que ocasionaba la apertura automática de sus secciones de forma constante, así como fallas en los interruptores debido a las constantes aperturas y cierres del equipo. Debido a que estas subestaciones se encuentran en la zona centro o primer cuadro de la ciudad. Las cuales en horas pico resultaban muy conflictivas. Por ello la necesidad de tener en servicio la subestación Dr. PASCUA en esta zona, así podemos garantizar el suministro de energía a las unidades y poder seguir dando un mejor servicio al público usuario y sin contratiempos.

Las Subestaciones Eléctricas Rectificadoras del Servicio de Transportes Eléctricos del D.F., han demostrado ser uno de los sistemas de rectificación de alta potencia que tienen una gran eficiencia y confiabilidad, esto se debe en gran parte al personal de Subestaciones y de Mando Centralizado los cuales dan mantenimiento preventivo a las subestaciones, periódicamente y mantenimiento correctivo, los cuales se realizan cuando se presenta alguna falla en los diferentes dispositivos que conforman a la subestación rectificadora.

La Subestación Eléctrica Rectificadora “Dr. Pascua” es de tipo móvil, se instalo entre las subestaciones Lázaro Cárdenas (cuyas secciones eran de 2,400 y 3,500 metros de longitud) y Jaime Nuno (cuyas secciones eran de 2,100 y 3,500 metros de longitud) para reforzar la alimentación del Corredor Cero Emisiones “Eje Central” y disminuir así la longitud de las secciones con las que cuentan estas Subestaciones, quedando secciones de 1,500 y 1,800 metros de longitud, por tal motivo la sobrecarga que se presentaba en estas subestaciones disminuyo considerablemente, con esto se logra proporcionar un servicio más fluido y con menor número de interrupciones.

La distancia entre trolebuses aproximadamente debería de ser de 300 metros esto de acuerdo a la información proporcionada por la Dirección de Transportación, la corriente máxima demandada en una Subestación será de 4,500 A. Esto en caso de tener 3 secciones y 6 trolebuses circulando por sección, arrancando al mismo tiempo. Por lo tanto tenemos en total 8 Subestaciones, 20 Secciones, 120 Trolebuses y 36.6 kilómetros de Longitud de Operación en todo el Corredor Cero Emisiones “Eje Central”.

(36,600m/120 unidades=305 m/unidad)

La distancia entre trolebuses será de 305 metros/unidad. Y la demanda máxima será de 4,500 A en el caso de tener por Subestación 3 secciones y 6 Trolebuses por sección arrancando al mismo tiempo. Cabe mencionar que los rectificadores y los transformadores empleados para el Corredor Cero Emisiones “Eje Central” soportan una sobre carga del 50% durante 15 minutos.



## CONCLUSIONES

---



Y que nuestras secciones tienen el calibre necesario para soportar la carga demandada por nuestros trolebuses. Que la caída de tensión al final de la sección no sea factor. Gracias a las modificaciones realizadas a las secciones de dichas subestaciones.

La conclusión más importante de este trabajo es quizá el conocimiento práctico y teórico adquirido al participar activamente en el armado y puesta en marcha de esta subestación, ya que con esto se conocen todos los puntos que la conforman, así como los funcionamientos de cada uno de los equipos de control, distribución y comunicación.

Es importante también tomar en cuenta todos los beneficios generados al poner en funcionamiento esta subestación, no se debe ver como una subestación aislada sino el trabajo que realiza en conjunto con las otras dos, el tiempo de interrupción por falta de corriente alterna en cualquiera de las otras subestaciones se reduce, los retrasos por sobrecarga se ven disminuidos al reforzar el voltaje de alimentación, y el trabajo generado en su instalación y puesta en servicio.



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



### Bibliografía

Servicio de Transportes Eléctricos del D.F. Municipio Libre 402 Ote, 3er. Piso, Colonia San Andrés Tetepilco, C.P. 09440, Iztapalapa, D.F. Consultado el 4 de Diciembre del 2011.  
<http://www.ste.df.gob.mx/servicios/ficha.html> (Capítulo 1)

Manual de Subestación Rectificadora del S.T.E.D.F.  
Ing. Cruz Díaz Castañeda  
Subjefe de Departamento de Subestaciones  
S.T.E.D.F. (Capítulo 1)

Electrónica de Potencia Circuitos, dispositivos y aplicaciones.  
Segunda edición  
Muhammad H. Rashid (Capítulo 2)

Estado actual y tendencias en la transmisión de la energía eléctrica con C.D. y alta tensión HVDC.  
Gines Trinidad Ricardo (Capítulo 2)

Recepción y distribución de la energía eléctrica en la línea A del Sistema de Transporte Colectivo (S.T.C.) Metro y un análisis de la infraestructura de un tren suspendido magnéticamente.  
Madrigal Cendejas José (Capítulo 2)

Distancia y potencia optima para la distribución de las subestaciones de rectificación de una línea del S.T.C. "Metro".  
Romero Cortes Jaqueline (Capítulo 2)

Servicio de Transportes Eléctricos del D.F. Municipio Libre 402 Ote, 3er. Piso, Colonia San Andrés Tetepilco, C.P. 09440, Iztapalapa, D.F. Consultado el 4 de Diciembre del 2011.  
<http://www.ste.df.gob.mx/servicios/ficha.html> (Capítulo 2)

Manual de utilización EPS 2000 (Ondulador de alimentación estática ininterrumpida).  
Merlin Gerin 38050 Grenoble cedex  
France (Capítulo 2)

Manual de Subestación Rectificadora del S.T.E.D.F.  
Ing. Cruz Díaz Castañeda  
Subjefe de Departamento de Subestaciones  
S.T.E.D.F. (Capítulo 2)

---



## ANÁLISIS TÉCNICO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN RECTIFICADORA PARA EL CORREDOR CERO EMISIONES DEL D.F.

---



Especificaciones técnicas, transformador de potencial, Facultad de ciencias físicas y matemáticas de la universidad de chile, grupos.emagister.com/debate/taps\_transformadores. Consultado el 4 de Diciembre del 2011.

<http://www.tuobra.unam.mx/publicadas/010919020336-OBJETIVO.html> (Capítulo 3)

Protecciones Eléctricas

Notas de clase

Guillermo Carrillo (Capítulo 3)

Servicio de Transportes Eléctricos del D.F. Municipio Libre 402 Ote, 3er. Piso, Colonia San Andrés Tetepilco, C.P. 09440, Iztapalapa, D.F. Consultado el 4 de Diciembre del 2011.

<http://www.ste.df.gob.mx/servicios/ficha.html><http://www.ste.df.gob.mx/> (Capítulo 4)

Wikipedia Jimmy Wales y Larry Sanger, 20 de mayo de 2001(versión en Español), Licencia Creative Commons-Atribución-Compartir Igual 3.0 (CC-BY-SA) y Licencia de documentación libre de GNU (GFDL). Consultado el 4 de Diciembre del 2011.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Trolebus\\_\(Ciudad\\_de\\_México\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Trolebus_(Ciudad_de_México)) (Capítulo 4)

Directorio de Subestaciones de CFE

Ing. Juan José López Márquez

CFE (Capítulo 4)

Manual de Subestación Rectificadora del S.T.E.D.F.

Ing. Cruz Díaz Castañeda

Subjefe de Departamento de Subestaciones

S.T.E.D.F. (Capítulo 4)

Manual del Puesto de Despacho de Carga del S.T.E.D.F.

Ing. Manuel Mayén Saucedo

Subjefe del Departamento del Puesto de Despacho de Carga

S.T.E.D.F. (Capítulo 4)

Aspectos Mecánicos y Eléctricos del Trolebús

1955

Billerbeck Fricke Carlos (Capítulo 5)

Manual del Puesto de Despacho de Carga del S.T.E.D.F.

Ing. Manuel Mayén Saucedo

Subjefe del Departamento del Puesto de Despacho de Carga

S.T.E.D.F. (Capítulo 5)

---