



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**DESARROLLO DEL SISTEMA DE
TRANSPORTE ELÉCTRICO DE ALTA
VELOCIDAD PARA COMUNICAR 3 DE LAS
CIUDADES MÁS IMPORTANTES DE MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
PRESENTA:**

ALFONSO ARREOLA DEL POZO

ASESOR: ING. AQUILES REYES FLORES

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



U. N. A. M.
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
 PRESENTE

DEPARTAMENTO DE
 EXÁMENES PROFESIONALES

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos LA TESIS:

“Desarrollo del Sistema de Transporte Eléctrico de Alta Velocidad para Comunicar 3 de las Ciudades más importantes de México”

Que presenta el pasante: Alfonso Arreola del Pozo
 Con número de cuenta: 30079816-6 para obtener el Título de: Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 “POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”
 Cuautitlán Izcallí, Méx. a 3 de Noviembre de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Aquiles Reyes Flores	
VOCAL	Ing. Casildo Rodríguez Arciniega	
SECRETARIO	M.A. Diana Fabiola Arce Zaragoza	
1er SUPLENTE	Ing. Fernando Fierro Téllez	
2do SUPLENTE	Ing Angel Isaías Lima Gómez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
 HHA/pm

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Primero quiero agradecer a Dios y a la Virgen Morena porque siempre han estado a mi lado y porque con su bendición he ido aprendiendo cada una de las etapas de la vida, como lo fue esta maravillosa etapa Universitaria.

Te agradezco a ti Universidad Nacional Autónoma de México, nuestra máxima casa de estudios, porque desde Preparatoria me haz permitido absorber la savia de la vida y del conocimiento, con tu infinito apoyo académico, económico y cultural. Es un honor para mí haber pertenecido a esta ilustre y más grande Institución.

Gracias por brindarme a mí y a México la fuente de la enseñanza y sobre todo por la gran hermandad que llevaré siempre en mi corazón azul y piel dorada.

Agradezco a mi Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan Campus 4 y en especial a la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por el honor de haber conocido a los mejores Ingenieros, Maestros y Doctores, que como Profesores nos obligaron a emprender los primeros pasos de esta rama de Ingeniería.

Mis más sinceros agradecimientos

Al Ing. Aquiles Reyes Flores por su constante asesoramiento dentro de la carrera y durante el largo proceso de la elaboración de esta Tesis. Le agradezco por compartir su tiempo con sus enseñanzas, conocimientos, anécdotas y sobre todo su amistad.

Al jurado revisor de esta Tesis, integrado por el Ing. Casildo Rodríguez Arciniega, M.A. Diana Fabiola Arce Zaragoza, Ing. Fernando Fierro Téllez, e Ing. Ángel Isaías Lima Gómez. Por su constante apoyo y enseñanza durante la carrera, como también formando parte de este jurado.

DEDICO ESTA TESIS

A mis padres Salvador Arreola Álvarez y la Lic. Araceli Del Pozo Escalante, quienes siempre han sido para mis hermanos y un servidor la base de nuestros éxitos, de nuestra educación y nuestro carácter. Son mis padres los únicos dueños de todos y cada uno de mis logros que he tenido en mi vida. Son la luz que Dios me brindó para conocer el largo y complicado camino. A ustedes con todo mi corazón, les dedico este trabajo final de mi carrera universitaria.

A mis abuelos Teodolinda Álvarez y Ángel Arreola, por haber sido siempre fruto de sabiduría, apoyo incondicional para cada una de nuestras necesidades hacia mis padres y mis hermanos. Les agradezco su infinito apoyo y que mejor poder honrarlos, con cada uno de mis logros.

A mis abuelos Alfonso Del Pozo y Ernestina Escalante, seguirán siendo la base sólida de mi familia, a quien agradezco su apoyo incondicional a nuestras necesidades, tanto a mis padres y mis hermanos. Aún los llevo siempre en mi corazón en todo momento.

A mi tía Martha Del Pozo que aún vive en mi corazón y en mi mente, le dedico este trabajo.

A mi hermana Lic. Lorena Arreola quien siempre ha creído en mí y mostrado su ayuda incondicional en todos los aspectos y necesidades, con sus buenos consejos y alentándome todos los días. Gracias Abogada por ser la fuerza principal de la familia y más aún por el valioso y hermoso legado que has traído a la familia, mi sobrina Valeria.

Al Lic. Miguel Ángel García por su constante apoyo a lo largo de ya una década, donde siempre ha sido mi gran amigo, un gran hermano y también un excelente consejero. Te lo agradezco por siempre.

A mi hermano Cesar Salvador Arreola, quien es mi gran amigo y en quien confío totalmente. Espero ser la parte alentadora para que también pertenezca muy pronto a esta maravillosa área de Ingeniería, por que sin lugar dudas tiene el talento natural y la capacidad para ser un próximo Ingeniero.

A mi Tía Adriana Del Pozo y mi Tío Ángel Arturo Miranda, a quienes he considerado también como Padres. Y siempre me han sabido guiar con sus conocimientos a lo largo de mi vida. Son ustedes sin lugar a dudas, quienes han inyectado la fuerza en su totalidad y la confianza para los objetivos y metas que deseamos alcanzar.

A mi Tía Gabriela Del Pozo que siempre me ha cuidado y protegido con sus recomendaciones y buenos consejos. A mi primo Gabriel Tena, quien considero mi hermano y confidente desde siempre y al Ing. Daniel Tena, donde juntos han sido mis hermanos de toda la vida.

A la Familia Arriola, donde mi Tío el Ing. Ángel Arriola Álvarez fue quien sembró una generación de Ingenieros en nuestra familia y a quien agradezco mucho sus buenos consejos y enseñanzas que nos dejó como legado. En especial agradecimiento a mi Tía Reina y mis primos Ing. Miguel Arriola, Lic. David y Lic. Gerardo.

A toda la Familia Sedeño Arreola en especial a mi Tía Consuelo, a quien le dedico este trabajo, por todas sus enseñanzas, consejos y grandes momentos que pase desde que era un niño.

A toda la Familia Soto Arreola en especial a mi Tía Aida y mi Tío Héctor, por su apoyo incondicional hacia a mi y a toda mi familia. A sí también a todos mis primos, por todos los buenos momentos que hemos pasado juntos, les dedico este trabajo.

A mi Tío José Arreola, a quien le dedico este trabajo, por todos sus excelentes consejos, por compartirme grandes enseñanzas y anécdotas y por pasar grandes momentos juntos.

A la Familia Bravo Gutiérrez, en especial a María Eugenia Gutiérrez y a sus hijos, por ser una fuente de sabiduría, enseñanzas, amistad y constante apoyo en todos sus aspectos, desde que tuve el honor de conocerlos. Les agradezco su cálido recibimiento que me han tenido siempre en su preciada familia. Muchas gracias Juan Ramón, Mauricio, María Eugenia, Antonio y Gerardo.

A Iñaki Eguiarte Gutiérrez, mi mejor amigo, quien me ha apoyado toda la vida y nunca ha dejado de darme buenos consejos y enseñanzas que he aplicado siempre. Hermano pues este pequeño logro te lo dedico con todo mi corazón.

Al Ing. Rodolfo Antonio García Rábago, por ser un gran amigo y su apoyo constante en el transcurso de la elaboración de esta Tesis, así también por sus consejos y asesoría en la misma.

Al Ing. Norberto Zarate Cruz, por ser un gran amigo y por su siempre incondicional apoyo.

Al Ing. Mario Alberto Ávila Ramírez, por ser uno de mis mejores amigos y siempre contar con él en todo momento y a lo largo de toda mi carrera.

Y por supuesto a todos mis hermanos de la generación 30 de Ingeniería Mecánica Eléctrica, y más aún a todos los del Área de Electrónica, quienes vivimos durante mas de 5 años como una hermandad. Donde juntos pudimos esquivar todos los contratiempos y sobre todos los obstáculos que nos hicieron cada día más fuertes. A todos y cada uno de ustedes les dedico mi Tesis, como símbolo de una fuerte amistad que dure toda la vida.

Les deseo a todos y cada uno de ustedes lo mejor en su nueva etapa laboral y que nunca los voy a olvidar.

ÍNDICE

1. Introducción	1
1.1 Justificación.....	2
2. Objetivos	2

CAPÍTULO I - CARACTERÍSTICAS Y PARTES DE UNA LOCOMOTORA

1.1 Generalidades del Ferrocarril.....	3
1.2 La locomotora de vapor.....	4
1.2.1 Elementos de una locomotora de vapor.....	5
1.3 Características generales de la locomotora Diesel.....	6
1.3.1 Ventajas, desventajas y aplicaciones.....	7
1.3.2 Propulsión turbo-eléctrica.....	9
1.3.3 Propulsión diesel-eléctrica.....	13
1.4 Generalidades del Tren Eléctrico.....	15
1.4.1 La Tracción Eléctrica.....	16
1.5 Tipos de Tracción.....	17
1.6 Teoría del Movimiento (Resistencias, Esfuerzos y Longitudes virtuales).....	21
1.7 Componentes.....	25
1.7.1 Parte Mecánica.....	26
1.7.2 Parte Eléctrica.....	27
1.8 Equipo de toda Locomotora Eléctrica.....	30
1.8.1 La Catenaria.....	31
1.8.2 El Pantógrafo.....	34
1.8.3 Ejemplo de características de un tren eléctrico.....	37
1.9 Tercer Carril.....	38
1.10 El Tranvía.....	40
1.10.1 Elementos del tranvía.....	40
1.11 El Trolebús.....	43
1.11.1 Características de un Trolebús.....	44
1.12 El Metro.....	47
1.12.1 Generalidades del Metro.....	48

1.12.2 Características generales del Metro.....	49
1.12.3 Sistema de Control.....	56
1.13 Tren Ligero.....	56
1.14 Tren Suburbano.....	58
1.15 Cronología General.....	59

CAPÍTULO II – TIPOS Y CLASIFICACIONES DE LOS TRENES DE ALTA VELOCIDAD

2.1 Generalidades del Tren de Alta Velocidad (TAV).....	67
2.2 Trenes de Alta Velocidad.....	67
2.2.1 Tecnología de alta velocidad.....	69
2.2.2 La Tecnología de los rieles y los frenos.....	70
2.2.3 Creación del tren Shinkansen.....	73
2.2.4 Tecnología del tren Shinkansen.....	75
2.2.5 Sistema de trenes de alta velocidad en Europa.....	77
2.3 El Train á Grande Vitesse (TGV).....	79
2.3.1 El TGV se extiende.....	80
2.3.1.2 La Transmisión de Trípede del TGV.....	82
2.3.2 La tecnología TGV.....	83
2.4 El tren InterCity Express (ICE).....	87
2.4.1 La tecnología del ICE.....	88
2.5 El tren AVE de la RENFE.....	90
2.5.1 Simulación del Curso RENFE, trenes de alta velocidad AVE, España.....	94
2.5.2 Características especiales de la Serie 100 RENFE, AVE.....	104
2.6 Trenes pendulares.....	105
2.6.1 Más sobre los trenes pendulares.....	107
2.6.2 Características de un tren pendular.....	109
2.7 El tren ACELA.....	109
2.8 Los trenes de alta velocidad: MAGLEV.....	111
2.8.1 Principios de Levitación Magnética.....	112
2.8.2 El Transrapid.....	121

2.8.3 Shangai Maglev.....	122
2.8.4 Maglev Japonés.....	125
2.8.5 Controversias del Tren Maglev.....	129

CAPÍTULO III – ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA MEXICANA Y SU TRANSPORTE ELÉCTRICO

3.1 Características del país.....	132
3.2 México con características tanto rentables y confiables para ser un posible candidato para un proyecto de trenes de alta velocidad.....	136
3.3 Economía mexicana.....	140
3.3.1 Algunos indicadores de la economía mexicana.....	142
3.3.2. Estadísticas de los estados mexicanos con mayor economía.....	149
3.4 Ferrocarriles mexicanos.....	152
3.4.1 Ferromex.....	155
3.5 Transporte eléctrico mexicano.....	157

CAPÍTULO IV - DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE ELÉCTRICO DE ALTA VELOCIDAD PARA COMUNICAR 3 DE LAS CIUDADES MÁS IMPORTANTES DE MÉXICO

4.1 Generalidades del proyecto.....	163
4.1.1 Planos generales de la ruta.....	163
4.1.2 Primer diseño de ruta y enlaces de estaciones.....	166
4.1.3 Simbología empleada en el primer diseño del plano de la ruta.....	168
4.2 Mapa final de la ruta.....	169
4.2.1 Diseño de primer plano de enlaces de estaciones para ruta directa.....	173
4.2.2 Plano general de las estaciones y sus enlaces.....	176
4.2.3 Línea general de estaciones T.A.V.....	182
4.3 Diagrama general eléctrico del sistema.....	183
4.3.1 Ejemplo de electrificación del primer enlace.....	184
4.3.2 Estructura básica de un subestación central de tracción.....	188
4.4 Desarrollo de la electrificación del sistema.....	190
4.4.1 Mapa de las plantas generadoras en México.....	194
4.4.2 Plantas generadoras para el desarrollo del proyecto.....	200
4.5 Elementos principales del sistema de T.A.V.....	207

4.5.1 Subestación de tracción de corriente alterna.....	207
4.5.2 Los Feeders de alimentación.....	210
4.5.3 La Configuración de la catenaria.....	212
4.5.4 Parámetros básicos del sistema de la catenaria.....	213
4.5.5 Características del motor asíncrono.....	225
4.5.6 Ficha de datos técnicos del tren de alta velocidad.....	231
4.5.7 Planos de la vía.....	237
4.6 Datos generales sobre la ruta.....	241
4.7 Detalle de costos para un T.A.V. (tren bala).....	245
4.7.1 Detalles de costos para un T.A.V. (tren de levitación magnética).....	247
4.7.2 Beneficios a nivel población.....	248
4.7.3 Beneficio estimado para la ruta de alta velocidad.....	251
4.7.3.1 Tabla general “Costo – Beneficio”.....	256
4.7.4 Detalles sobre la rentabilidad.....	258
4.7.5 Detalles sobre financiamiento y tasas de amortización.....	260
4.7.6 Beneficios con respecto a contaminantes en los T.A.V.....	269
4.8 Ventajas y desventajas en el desarrollo de un T.A.V.....	269
3. Conclusiones.....	273
4. Bibliografía.....	278

INDICE DE FIGURAS

1.1 Principio de una locomotora.....	4
1.1.1 Partes de una locomotora de vapor.....	5
1.2 Diagrama eléctrico de un propulsión turbo-eléctrica.....	12
1.2.1 Diagrama eléctrico de una propulsión eléctrica Diesel-eléctrica.....	15
1.3 Primer tren eléctrico.....	17
1.4 Diagrama de bloques de una locomotora con motores de corriente alterna.....	19
1.5 Elementos del mecanismo de tracción de la locomotora S269-200 RENFE.....	20
1.6 Sistema de Suspensión de la locomotora S269-200 RENFE.....	26
1.7 Mecanismo basculante en doble relación de engranajes.....	27
1.8 Diagrama de potencia de la función auxiliar de una locomotora de corriente directa.....	29
1.9 Diagrama de potencia de la función auxiliar de una locomotora de corriente alterna.....	29
1.10 Curva y puntos de una catenaria.....	32
1.11 Partes de la fijación de una catenaria.....	33
1.12 Estructura del pantógrafo (asi tambien Fig. 1.12.1).....	35
1.13 Parte del pantógrafo.....	36
1.14 Alimentación por trole.....	36
1.15 Locomotora BB-200 Km/h.....	37
1.16 Tipos del tercer carril.....	38
1.17 Contacto del tercer carril en locomotora.....	39
1.18 Elemento del tranvía.....	40
1.19 Partes de un trolebús.....	44
1.20 Metro de la Ciudad de México, Línea 2 Taxqueña CAF/Bombardier NM-02.....	48
1.21 Diagrama general de alimentación de vía y rodamiento del metro.....	55
2.1 Partes de un bogie.....	70
2.2 Estructura de la vía de alta velocidad.....	71
2.3 Diagrama de una ferrovía de bloques gemelos en la que se usa el moderno sistema de losa.....	72
2.4 Actual mapa de rutas del Shinkansen.....	74
2.5 Trenes de alta velocidad en Europa.....	77
2.6 Vista superior de partes del TGV.....	82
2.7 Partes del bogie TGV.....	83
2.8 Corte en la cabina de un TGV.....	84
2.9 Dibujo detallado que muestra los componentes interiores de un tren TGV.....	85
2.10 Corte de un tren TGV articulado.....	85
2.11 Las líneas del TGV (mostradas en azul y rojo) y sus conexiones con el resto de redes de alta velocidad europeos.....	86
2.12 Cabina de conductor de un ICE-T (DB Class 411) (ICE basculante).....	89
2.13 Mapa de España con las líneas de ferrocarril de alta velocidad actualmente en servicio, en construcción, en proyecto o en estudio.....	
2.14 Longitud de la locomotora AVE.....	94
2.14.1 Longitudes de un vagón y distancia total del tren AVE.....	95

2.14.2 Señalización dentro del tren AVE y característica de interiores.....	96
2.14.3 Característica de interiores del tren AVE.....	97
2.14.4 Detalles de interiores del tren AVE.....	98
2.14.5 Inicio de trayectoria en simulación de línea del tren AVE.....	98
2.14.6 Suspensión hidráulica y detalles del ancho de vía.....	99
2.14.7 Llegada a estación.....	100
2.14.8 Detalles del viaducto AVE.....	100
2.14.9 Estructura de la estación de Zaragoza.....	101
2.14.10 Vista de capas o niveles en la estación de Zaragoza AVE.....	102
2.14.11 Vista del paradero y dirección a los andenes.....	103
2.14.12 Ruta de recorrido de la simulación del tren AVE.....	104
2.15 Ángulo de ejes del tren pendular.....	106
2.16 Vista de perfil del nuevo ETR.500 de voltaje múltiple.....	108
2.17 Detalles de ángulo de la suspensión en trenes pendulares.....	108
2.18 Suspensión EMS.....	113
2.19 Suspensión EDS.....	114
2.20 Principio de guía lateral.....	117
2.21 Corte de vía de un tren Maglev.....	117
2.22 Detalles del tren Maglev.....	118
2.23 Propulsión de un tren Maglev.....	118
2.24 Suministro de energía de la vía.....	119
2.25 Ascenso de pendientes.....	120
2.26 Mecanismo de frenado aerodinámico.....	120
2.27 El Transrapid, Emsland.....	122
2.28 La única vía urbana de trenes Maglev en el mundo, es la de Shanghai.....	122
2.29 Única ruta del Transrapid en uso.....	123
2.30 Diagrama del Maglev japonés.....	125
2.31 Plano general de la línea del Maglev japonés.....	126
2.32 Características de la vía.....	127
2.33 Subestación Maglev.....	127
2.34 Esquema de la guía del Maglev.....	128
2.35 Partes de la vía del Maglev.....	128
3.1 Mapa del relieve de los Estados Unidos Mexicanos.....	134
3.1.2 Mapa de México por densidad de población.....	134
3.2 Mapa de ferrocarriles mexicanos.....	138
3.3 Mapa con los estados con mayor número de unidades económicas de nuestra República.....	149
3.4 Crecimiento económico de la República Mexicana 1988-2003.....	151
4.1 Mapa de la unión de las 3 principales ciudades mexicanas.....	164
4.2 Mapa actual desarrollado en 2004, de las rutas y redes de Ferromex.....	165
4.3 Diagrama del primer diseño de ruta del TAV.....	166
4.3.1 Primer diseño de enlace Tacuba – Huehuetoca.....	167

4.3.2 Segundo y tercer diseño, enlace entre Guadalajara – Guanajuato – Monterrey	167
4.4 Cuadro de simbología	168
4.4.1 Primer diseño hacia el enlace a la Ciudad de Monterrey	168
4.5 Primer enlace Tacuba – Huehuetoca – Querétaro	170
4.5.1 Segundo enlace Querétaro – Irapuato – Guadalajara – Aguascalientes	170
4.5.2 Tercer enlace Aguascalientes – Laguna Seca	171
4.5.3 Cuarto enlace Laguna Seca – Monterrey	172
4.6 Plano estructural del proyecto a realizar uniendo las 3 principales ciudades	173
4.6.1 Plano de enlace de la 3 estaciones principales	174
4.6.2 Diseño de la estación Tacuba, Ciudad de México	175
4.6.3 Diseño de la estación Guadalajara, Jalisco	175
4.6.4. Diseño de la estación Monterrey, Nuevo León	176
4.7 Vista general de la estación Valladolid, T.A.V. español	177
4.7.1 Ejemplo de trazados de vía del país vasco a Bilbao RENFE	177
4.7.2 Vista general del sistema	178
4.7.3 Enlace 1 Ciudad de México y Edo. De México	178
4.7.4 Enlace 2 Edo. De México y Edo. De Querétaro	179
4.7.5 Enlace 3 Edo. De Querétaro y Guanajuato	179
4.7.6 Enlace 4 Irapuato, Guanajuato con el Edo. De Guadalajara y León, Gto	180
4.7.7. Enlace 5 Edo. De Guanajuato y Edo. De Aguascalientes	180
4.7.8 Enlace 6 Edo. De Aguascalientes y San Luis Potosí	181
4.7.9 Enlace 7 Edo. De San Luis Potosí y Nuevo León	181
4.8 Línea General de Estaciones del T.A.V.	182
4.9 Mapa del trazado de la ruta T.A.V.	182
4.10 Plano del sistema de distribución de la electrificación del T.A.V.	183
4.10.1 Sistema de distribución eléctrica	184
4.10.2 Sistema completo del primer enlace, desde la generación hasta la alimentación por parte de la subestación de tracción	184
4.10.3 Ejemplo de la alimentación del primer enlace	185
4.10.4 Parte del plano desde la generación hacia la subestación de tracción	185
4.10.5 Sistema de alimentación desde la subestación tracción	185
4.10.6 Red de distribución eléctrica general A	186
4.10.7 Red de distribución eléctrica general B	186
4.10.8 Parte del plano donde se puede observar completo el enlace 1	187
4.10.9 Cuadro de simbología	187
4.10.10 Esquema de tracción por parte de la empresa ADIF para la línea AVE	188
4.10.11 Plano general de la alimentación de un enlace	188
4.10.12 Plano general del enlace 1 Tacuba – Huehuetoca	189
4.10.13 Sistema de distribución eléctrica para el tren de alta velocidad	191
4.11 Mapa con todas las plantas generadoras del país y la ruta del T.A.V.	194
4.11.1 Mapa de algunas de las diferentes plantas generadoras del país	195
4.11.2 Planificación Plantas CFE 2005-2014	195

4.11.3 Mapa principal de la Red troncal de nuestro sistema eléctrico mexicano, CFE, 2006.....	196
4.11.4 Redes Zona Norte A, CFE, 2006.....	197
4.11.5 Redes Zona Norte B.....	197
4.11.6 Redes Zona Norte C.....	197
4.11.7 Redes Zona Central.....	198
4.11.8 Redes Zona Sur A.....	198
4.11.9 Redes Zona Sur B.....	198
4.11.10 Zona Central, Ciudad de México – Edo. De México para enlace 1 con el enlace 2.....	199
4.11.11 Redes para el enlace 3 Querétaro – Irapuato hacia el enlace 4 Irapuato – Ciudad de Guadalajara – León y enlace León – Aguascalientes.....	199
4.12 Redes para el enlace 5 y enlace 6.....	200
4.12.1 Última Red enlace 7.....	200
4.13 Esquema ABB de una vía de alta velocidad.....	207
4.13.1 Esquema general de una subestación de tracción ABB.....	208
4.14 Vista panorámica de la red de distribución Madrid – Sevilla.....	209
4.14.1 Línea de transmisión de 400Kv de la red de distribución llegando a subestación de tracción.....	210
4.14.2 La toma de la red de distribución hacia la subestación de tracción.....	210
4.14.3 El transformador de tracción.....	211
4.14.4 Imagen de salida de los feeders de la subestación de tracción hacia las catenarias.....	211
4.14.5 Salida de los feeders.....	211
4.14.6 Imagen de la conexión de los feeders a las catenarias.....	211
4.14.7 Esquema general de la alimentación hacia el tren desde la subestación de tracción.....	212
4.14.8 Imagen actual de la vía del tren AVE, con los principales elementos de la catenaria.....	213
4.14.9 Estructura principal del soporte.....	214
4.14.10 Elementos de compensación de una catenaria.....	214
4.14.11 Conectores.....	215
4.14.12 Péndolas.....	215
4.14.13 Esquema general de los elementos de la péndola.....	216
4.14.14 Conexiones.....	216
4.14.15 Grapas para subestación.....	216
4.14.16 Aisladores.....	217
4.14.17 Esquema general de transformadores tipo seco para subestación.....	221
4.14.18 Transformador de tracción de alta velocidad.....	221
4.14.20 Imagen de transformador ABB.....	224
4.15 Esquema de un motor asíncrono, jaula de ardilla.....	225
4.15.1 Estructura del rotor.....	226
4.15.2 Diagrama de conexión de un motor jaula de ardilla.....	229
4.15.3 Motor de tracción, marca Siemens.....	230

4.16 Plano de locomotora RENFE.....	231
4.16.1 Plano general de la instalación del carril.....	237
4.16.2 Plano de datos general del carril.....	237
4.16.3 Plano de datos general de vía.....	238
4.16.4 Plano general de las 2 secciones de la vía.....	238
4.16.5 Plano de detalle de alzado y drenaje de la vía.....	240
4.17 Diagrama final de estaciones de Alta Velocidad.....	242

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ficha técnica de las características eléctricas del trolebús.....	45-46
Tabla 2.1 Características de los trenes de alta velocidad en el mundo.....	78-79
Tabla 2.2 Características de la línea del TGV.....	86
Tabla 2.3 Comparativa de porcentajes del campo electromagnético producido por el sistema EMS con respecto algunos electrodomésticos.....	116
Tabla 3.1 Densidad de población por cada estado de la República Mexicana.....	135-136
Tabla 3.2 Porcentajes de exportaciones e importaciones.....	142
Tabla 3.3 Principal productos que exporta México (año 2005).....	144
Tabla 3.4 Principales países a los que exporta México (2005).....	145
Tabla 3.5 Productos principales que importa México (2005).....	146-147
Tabla 3.6 Lista de principales áreas metropolitanas de México, como se informa en el censo del 2005.....	148
Tabla 3.7 Características significativas del tren EMU.....	161
Tabla 4.1 Plantas generadoras de México.....	201
Tabla 4.2 Datos de un transformador para subestación de tracción.....	223
Tabla 4.3 Características de cada estación del T.A.V.....	242
Tabla 4.4 General de datos específicos de la red.....	244
Tabla 4.5 Propuesta general costo – beneficio de cada enlace.....	256-258
Tabla 4.6 Tabla general de financiamiento y amortizaciones a 15 años.....	261-268
Tabla 4.7 Consumo equivalente de combustible.....	270
Tabla 4.8 Ejemplo de consumo equivalente desde una estación de servicio AVE.....	270
Tabla 4.9 Comparativa en distancias.....	271
Tabla 4.10 Datos sobre el beneficio del transporte de alta velocidad RENFE.....	271

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Números de unidades económicas y personal según la entidad federativa.....	150
Grafica 2 Distribución de las unidades económicas según la entidad federativa.....	150
Gráfica 3 Principales entidades federativas en la generación de producto.....	151

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo consiste en el desarrollo de un proyecto analizando el uso de 2 sistemas de transporte eléctrico más importantes y más sofisticados que existen en el mundo. Actualmente los trenes eléctricos de alta velocidad son el sistema de transporte eléctrico que se está desarrollando, complementando y mejorando en los países de gran desarrollo.

Utilizando el avance del transporte eléctrico en México y estructurando una fuente de investigación con respecto a los trenes eléctricos de alta velocidad existentes, esta tesis tiene la intención de provocar una fusión informativa y analítica, de que sistema sería el más conveniente a desarrollar como un proyecto de ingeniería innovador, tecnológico, económico y social para nuestro país.

Haciendo la comparación de los 2 trenes eléctricos de alta velocidad actualmente utilizados en Europa y en Asia, tomando como ruta principal el tren bala o de alta velocidad y el tren de levitación magnética (MAGLEV). La metodología aplicada a este proyecto demuestra las características principales de los diseños ocupados para estos trenes y poder estructurar el diseño y proyección de una ruta que comunique 3 de las ciudades más importantes de México.

Analizando bajo métodos de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de suelos, estadísticos, sociales y económicos, esta tesis tiene como propósito el análisis de confiabilidad y rentabilidad para desarrollar un sistema de transporte eléctrico que complemente las vías de comunicación de México.

Se denomina transporte o transportación (del latín *trans*, "al otro lado", y *portare*, "llevar") al traslado de personas o bienes de un lugar a otro.

A lo largo de la historia los sistemas de transporte han jugado un papel crucial en todos los sentidos, principalmente la rápida comunicación entre un lugar con otro, el comercio, la economía, el avance tecnológico, avance bélico, entre otros usos. Es una actividad fundamental de la logística que consiste en colocar los productos de importancia en el momento preciso y en el destino deseado.

Es un consumidor importante de energía, la cual se obtiene transformando combustibles, mayoritariamente mediante motores de combustión o por medio de una fuente de energía eléctrica. Se tiene la necesidad en desarrollar un sistema de transporte de alta velocidad que conecte las 3 ciudades más desarrolladas de nuestro país, como lo es la Ciudad de México D.F., Ciudad de Guadalajara y Ciudad de Monterrey.

El enfoque principal de este trabajo es el poder encontrar una solución ingenieril al problema del desarrollo del país, una solución viable y tecnológica, en el que podamos corregir ese atraso uniendo las ciudades mas desarrolladas, obligando que sea una fuerza mayor tanto laboral y económica a corta distancia, usando los antecedentes de los sistemas de transporte ferroviario, eléctrico y tecnológico existentes en nuestro país y en el mundo.

1.1 Justificación

En la actualidad no existe un sistema de transporte eléctrico de alta velocidad en México y en toda Latinoamérica, el estudio de estos sistemas puede originar el desarrollo de nuevos proyectos, como la necesidad de mejoras en los sistemas eléctricos y en sus sistemas de transporte.

Un sistema de trenes MAGLEV o bala podrían garantizar una solución de ingeniería al problema del desarrollo del país y del continente Latinoamericano, una nueva alternativa de transporte y la importancia del uso de la generación de energía eléctrica como base principal hacia el desarrollo en nuestro continente.

2. OBJETIVO

Desarrollar de manera teórica un sistema de transporte eléctrico basado en el sistema de trenes de alta velocidad para comunicar 3 de las ciudades más importantes de México, basándose en esta tecnología, usando el tren eléctrico llamado tren bala, así como el tren de levitación magnética llamado Maglev y Transrapid, como punto de referencia del proyecto. Demostrando que México tiene las condiciones y características idóneas para desarrollar un sistema de trenes de alta velocidad.

CAPÍTULO I - CARACTERÍSTICAS Y PARTES DE UNA LOCOMOTORA

1.1 Generalidades del Ferrocarril

Para ubicar los trenes eléctricos de alta velocidad, es necesario conocer los sistemas de transporte ferroviario desde su inicio, como medios de transporte de mercancía y personas, que utilizan la energía obtenida por la combustión o energía eléctrica, tomada de un sistema de generación para transformarla en fuerza motriz.

Históricamente el descubrimiento de la locomotora y la electricidad y sus usos como fuerza motriz, coincide con la introducción de los primeros tranvías eléctricos.

En la segunda mitad del siglo pasado y el principio del presente, se introdujo el transporte eléctrico urbano, como sistema preponderante, en las grandes ciudades del mundo.

Considerando la situación presente sobre los energéticos, se puede anticipar que la forma generalizada de la energía en el futuro, será en forma de energía eléctrica, inclusive hoy en día ya vivimos en un mundo basado o diseñado gracias a la energía eléctrica en todos los sentidos.

Por esta y otras razones, hay que considerar los transportes de fuerza motriz eléctrica, como los transportes del futuro. Los sistemas de transporte eléctricos comprenden: trenes, tranvías, metros, trolebuses, bandas, escaleras, elevadores, etc.

En esencia, este trabajo está enfocado hacia la especialidad de Ingeniería Mecánica Eléctrica con respecto a los trenes eléctricos, sin embargo es muy importante saber cual es el origen de éste y su evolución tecnológica y social desde su invención.

1.2 La Locomotora de vapor

La historia de los primeros días de la locomotora está íntimamente relacionada con la del carruaje automático a vapor ideado para circular por carreteras y abandonado al desarrollarse el transporte sobre carriles. La idea de tender una vía especial para las ruedas de los vehículos de carga se remonta al tiempo de los romanos, que acostumbraban a pavimentar con bloques de piedra dispuestos en vías paralelas la porción de la carretera por donde pasaban las ruedas. El mismo método fue adoptado con frecuencia en los primeros tiempos de la explotación de los yacimientos de carbón de piedra en Inglaterra, donde dicho carbón era transportado desde las minas en carros tirados por caballerías, en el siglo XVIII, los trabajadores de diversas zonas mineras de Europa descubrieron que las vagonetas cargadas se desplazaban con más facilidad si las ruedas giraban guiadas por un carril hecho con planchas de metal, ya que de esa forma se reducía el rozamiento. Los carriles para las vagonetas sólo servían para trasladar los productos hasta el río más cercano, el que por entonces era la principal forma de transporte de grandes cargamentos.

Hacia el fin del siglo XVIII, la máquina de vapor había llegado a ser un factor real y positivo en la industria, y se habían hecho distintas tentativas para aplicarla a los vehículos de carretera. El mérito de llevar a cabo la construcción de la primera locomotora que marchó sobre carriles corresponde al ingeniero de minas inglés Richard Trevithick, quien el 24 de febrero de 1804 logró adaptar la máquina de vapor, que se utilizaba desde principios del siglo XVIII para bombear agua, para que tirara una máquina locomovible que hizo circular a una velocidad de 8 km/h arrastrando cinco vagones, cargados con 10 toneladas de acero y 70 hombres, sobre una vía de 15 km de la fundición de Pen-y-Darren, en Gales del Sur.

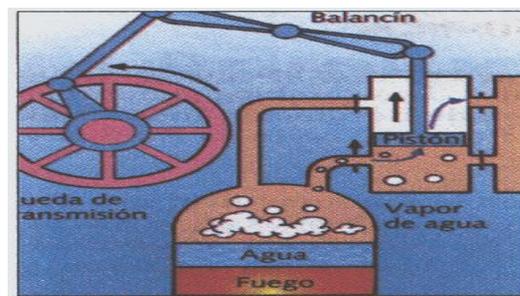


Figura 1.1 Principio de una locomotora

La caldera era de hierro colado con horno interior, y los productos de la combustión pasaban a una chimenea situada en el mismo extremo que la boca del horno. La máquina de vapor, es decir, el cilindro con el pistón, estaba dispuesta verticalmente. El vapor, después de haber operado, escapaba por la chimenea para aumentar el tiro, y en este sistema se dependía de la fricción de las ruedas motrices sobre los carriles para asegurar suficiente poder de tracción. La presión del vapor era de 40 libras por pulgada cuadrada; de forma que en rigor era una máquina de alta presión. La válvula de seguridad, impedía una presión excesiva en la caldera. Esta locomotora funcionó bien; pero sus resultados económicos no fueron satisfactorios.

1.2.1 Elementos de una locomotora de vapor

1. Hogar 2. Cenicero 3. Agua (interior de la caldera) 4. Caja de humos 5. Cabina 6. T tender 7. Domo del vapor 8. Válvula de seguridad 9. Regulador 10. Cabecera del recalentador en el conducto principal del vapor 11. Pistón 12. Tobera de salida del vapor 13. Mecanismo de accionamiento de la distribución 14. Palanca de accionamiento del regulador 15. Bastidor 16. Bisel posterior 17. Bisel anterior 18. Cojinete y eje de rueda motriz 19. Ballesta 20. Zapata de freno 21. Bomba para el freno de aire 22. Enganche 23. Silbato 24. Domo arenero

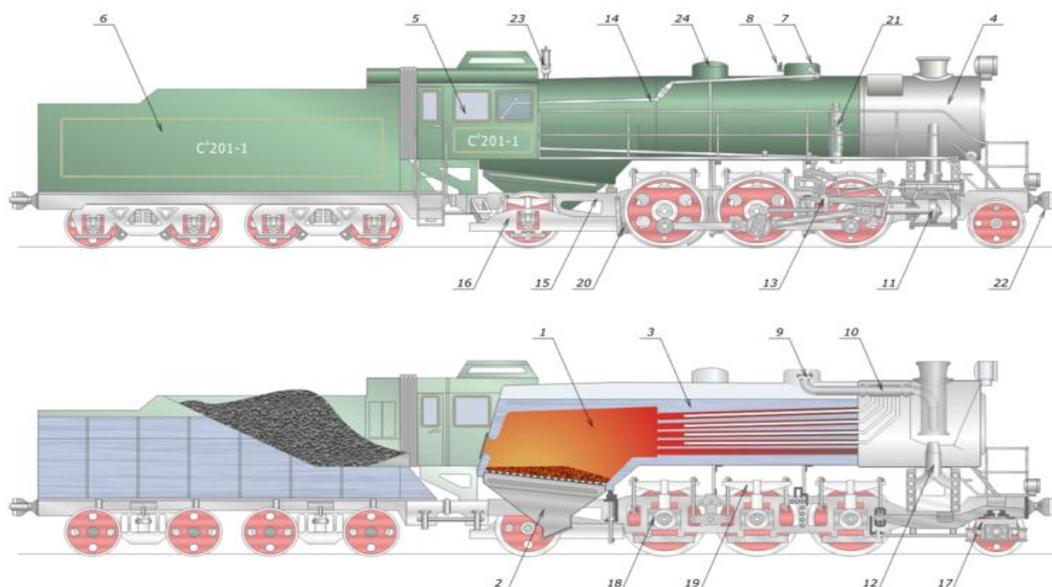


Figura 1.1.1 Partes de una locomotora de vapor

1.3 Características generales de la locomotora Diesel

La aparición de las locomotoras diésel-eléctricas en la primera parte del Siglo XX aceleró el final de las locomotoras de vapor, no obstante, se emplearon en América del Norte y Europa hasta mediados del siglo y continuaron siendo utilizadas en otros países hasta el final del Siglo XX.

Las locomotoras diésel-eléctricas consisten básicamente en dos componentes: un motor diésel que mueve un generador eléctrico, y varios motores eléctricos (conocidos como motores de tracción) que comunican a las ruedas (pares) la fuerza tractiva que mueve a la locomotora. Generalmente hay un motor de tracción por cada eje, siendo generalmente 4 o 6 en una locomotora típica. Los motores de tracción se alimentan con corriente eléctrica y luego, por medio de piñones, mueven las ruedas.

Locomotoras de diésel-hidráulicas utilizan un sistema de turbinas hidráulicas acopladas entre sí. El mecanismo permite hacer llegar la potencia de forma gradual desde el motor girando permanentemente hacia las ruedas que parten de parado.

El principal inconveniente de este sistema es la incapacidad de mover cargas muy grandes, por lo que se usa principalmente en automotores.

Existen locomotoras diésel arrastrando trenes de viajeros capaces de superar los 250 km/h, pero el medio más indicado para una locomotora diésel clásica son las condiciones adversas: temperaturas bajo cero, fuertes pendientes y trenes de gran tonelaje. En este tipo de tracción, los ejes motores, no son impulsados directamente por el motor diesel, sino que sobre ellos actúa un motor eléctrico de tracción que recibe la electricidad de un generador eléctrico acoplado directamente al motor diesel. Los motores más comunes empleados en locomotoras de estas características suelen tener del orden de entre 6 y 12 cilindros, cuya disposición puede ser en línea (puestos uno a continuación del otro), o en V (dispuestos en dos filas paralelas con un ángulo de 45° genialmente).

Estos motores, están acoplados a un generador eléctrico o alternador (dependiendo del tipo de corriente empleado, generador si es corriente continua, alternador si es alterna) principal y a un generador o alternador auxiliar, que proporciona la corriente para los servicios auxiliares (alumbrado y dispositivos de control tales como el compresor). Los motores de tracción, que son eléctricos, reciben la corriente del generador. Para regular la velocidad del motor de tracción, se varía la intensidad de la corriente que a él llega, pues el voltaje es siempre constante (comúnmente 600V). Para hacer esto, se hace variar el régimen de vueltas (velocidad) del motor diesel. Por ejemplo, si el motor diesel a 800 rpm hace que el generador suministre una intensidad de 75A, los motores eléctricos alcanzan una velocidad de 1200rpm, pero si se incrementa el régimen del diesel a 1200rpm, el generador suministra 112.5A, los motores de tracción desarrollarán una velocidad de 1800rpm.

El invento de Diesel se impuso muy rápidamente, y pronto dejó de tener competencia en el campo de los motores navales y estacionarios. Sin embargo, el motor diésel tenía el gran inconveniente de que le resultaba imposible alcanzar regímenes de revoluciones elevados.

1.3.1 Ventajas, desventajas y aplicaciones

La principal ventaja de los motores diésel comparados con los motores a gasolina estriba en su menor consumo de combustible. Debido a la constante ganancia de mercado de estos motores desde los años 1990 (en muchos países europeos ya supera la mitad), el precio del combustible tiende a acercarse a la gasolina debido al aumento de la demanda. Este hecho ha generado grandes problemas a los tradicionales consumidores de gasóleo como transportistas, agricultores o pescadores. En automoción, las desventajas iniciales de estos motores (principalmente precio, costos de mantenimiento y prestaciones) se están reduciendo debido a mejoras como la inyección electrónica y el turbocompresor.

No obstante, la adopción de la precámara para los motores de automoción, con la que se consiguen prestaciones semejantes a los motores de gasolina, presenta el inconveniente de incrementar el consumo, con lo que la principal ventaja de estos motores prácticamente desaparece.

Actualmente se está utilizando el sistema Common-rail en los vehículos automotores pequeños. Este sistema brinda una gran ventaja, ya que se consigue un menor consumo de combustible, mejores prestaciones del motor, menor ruido (característico de los motores diésel) y una menor emisión de gases contaminantes.

- Los motores mas utilizados son los de 4 tiempos (aspiración, compresión, combustión y escape).
- Los actuales llegan hasta los 3500kW (5000CV) y 750-1800r.p.m.
- En el arranque se necesita una fuente de energía independiente
- Sentido único de giro
- Son muy sensibles a variaciones muy bruscas

Ventajas de la tracción Diesel frente a la eléctrica

- No es tan costosa su instalación, al debido gaste que supone la electrificación de la línea.

Desventaja de la tracción Diesel frente a la eléctrica

- Mayor ruido en las locomotoras diesel, siendo necesario la implementación de silenciadores para disminuirla
- Las locomotoras desarrollan mayores potencias que las diesel (50 a 55kW/t frente a 20-23kW/t).
- Mejor prestación de las locomotoras eléctricas en el caso de las rampas pronunciadas en el trayecto.
- En túneles y tramos subterráneos, por razones de seguridad, son preferibles las locomotoras eléctricas.
- Mayor duración del motor eléctrico que el diesel.
- La locomotora eléctrica es capaz de realizar más kilómetros que la locomotora diesel, sin la necesidad de pasar por una revisión de mantenimiento.
- En el apartado ecológico es preferible la opción eléctrica, debido a que la generación eléctrica es mas limpia que la combustión del diesel.

Aplicaciones

- Maquinaria Agrícola (tractores, cosechadores, etc.)
- Propulsión Ferroviaria
- Propulsión Marina

- Automóvil y camiones
- Grupos generadores de energía eléctrica (centrales eléctricas y de emergencia)
- Accionamiento Industrial (bombas, compresores, etc. Especialmente de emergencia)
- Propulsión aérea

1.3.2 Propulsión turbo-eléctrica

En este sistema se utilizan electromotores para mover los ejes propulsores, la energía que los electromotores consumen proviene de generadores eléctricos movidos por turbinas de vapor que se acoplan a dichos generadores, directamente por medio de engranajes reductores. El sistema permite compaginar el rendimiento de las turbinas y de los motores propulsores al hacer que dichas turbinas puedan girar a un elevado número de revoluciones mientras los motores eléctricos lo hacen al régimen requerido por las hélices y a un número de revoluciones comprendido generalmente entre las 60 y 250 a 400 r.p.m.

Una instalación turbo-eléctrica, (y hasta el advenimiento de las turbinas de gas que ocurrió en 1951, momento en que se aplicó la propulsión turbo-eléctrica con generadores movidos por turbinas de gas) se compone esencialmente de: Generadores de vapor (calderas), turbinas de vapor, generadores eléctricos acoplados a las turbinas, motores eléctricos para mover los ejes y hélices, turbinas auxiliares que mueven los generadores de las excitaciones, cuadros de control y sistemas de ventilación de todas las máquinas eléctricas (generadores , motores eléctricos, generadores de las excitaciones, etc.

Las turbinas empleadas, tanto si son de vapor como si son de gas, tienen un régimen de giro comprendido entre 1500 y 3000 r.p.m., los generadores eléctricos son por regla general alternadores bipolares y normalmente trifásicos dando tensiones de entre 2000 y 6000 voltios y frecuencias comprendidas entre 30 y 80 ciclos/segundo (hertzios), se construyen de un número reducido de polos con objeto de obtener una adecuada reducción de velocidad entre alternador y motor, sin hacer excesivamente grande el número de polos de éste último.

La corriente de excitación es suministrada por dínamos acopladas por lo general a turbinas auxiliares independientes aunque en algunas ocasiones se acoplan al eje del propio alternador.

El empleo general de la corriente alterna en la propulsión turbo-eléctrica es debido a la mejor adaptación estructural de los alternadores a las grandes velocidades de giro de las turbinas, que no permiten el accionamiento directo de dínamos (generadores de corriente continua), obteniéndose además un mejor rendimiento en generadores y motores.

Los motores eléctricos empleados de un modo casi exclusivo son síncronos en razón a su mayor rendimiento, buena regulación y elevado factor de potencia, sin embargo tienen el inconveniente de su débil par de arranque, que suele corregirse incluyendo una bobina inductora de jaula en los polos del rotor, de ese modo el motor funciona en arranque como asíncrono y una vez en marcha y en régimen normal como un motor síncrono. Puede también utilizarse un motor asíncrono provisto de un compensador de fase con lo que se consiguen las ventajas de esta clase de motores y las inherentes a motores asíncronos de tener a la unidad como factor de potencia.

En lo referente al número de polos inductores depende de la reducción de velocidad que se pretenda obtener, por lo general el número máximo de polos es de 72, ya que un número superior es excesivo y hace a su vez que el diámetro de los motores sea muy grande y dado que en pequeñas potencias no es posible un motor con tan alto número de polos hay buques en los que se emplea una doble reducción, la primera eléctrica y la segunda mecánica en el segundo caso se acopla el motor al eje por medio de un reductor de engranajes. La velocidad de los motores que mueven los ejes (motores propulsores) se regula de 2 formas diferentes.

- 1) Cambiando el número de polos inductores.
- 2) Variando la frecuencia de la corriente producida mediante la apertura o cierre de la válvula que suministra vapor a la turbina que a su vez varía la velocidad de giro de dicha turbina.

Cuando se precisa una amplia gama de velocidades, se emplea un sistema mixto de los anteriores, esto es modificando el segundo sistema, donde se consiguen variaciones de velocidad intermedias para cada variación del primer sistema.

Para el caso de pequeñas variaciones de velocidades se actúa sobre los reóstatos de excitación, motor y alternador, éste sistema también se usa para no variar la frecuencia de la corriente cuando ésta se utiliza para alimentación de equipos auxiliares, pero que en cualquier caso resulta antieconómico especialmente cuando se trabaja con potencias elevadas. Para el cambio de giro basta con cambiar el sistema de conexiones de dos de las tres fases, paso que se sigue para cambiar el giro de cualquier motor eléctrico trifásico.

Todas estas maniobras se realizan desde un cuadro de control en el que se encuentran reunidos todos los mandos y aparatos de medida que controlan, voltaje, intensidad, potencia, etc., dicho cuadro puede estar situado dentro de la cámara de máquinas o en otro compartimento totalmente independiente. Por último debe de proveerse a todo el sistema de motores y generadores de una ventilación adecuada y cuya instalación más adecuada es aquella en la que se provee a cada motor y a cada generador de una ventilación independiente. El aire circulará en circuito cerrado y su refrigeración se llevará a cabo con agua salada en enfriadores instalados al efecto. La extinción de eventuales fuegos en generadores motores o instalaciones anexas está previsto un circuito de extinción alimentado por anhídrido carbónico cuya descarga sea lo más inmediata posible.

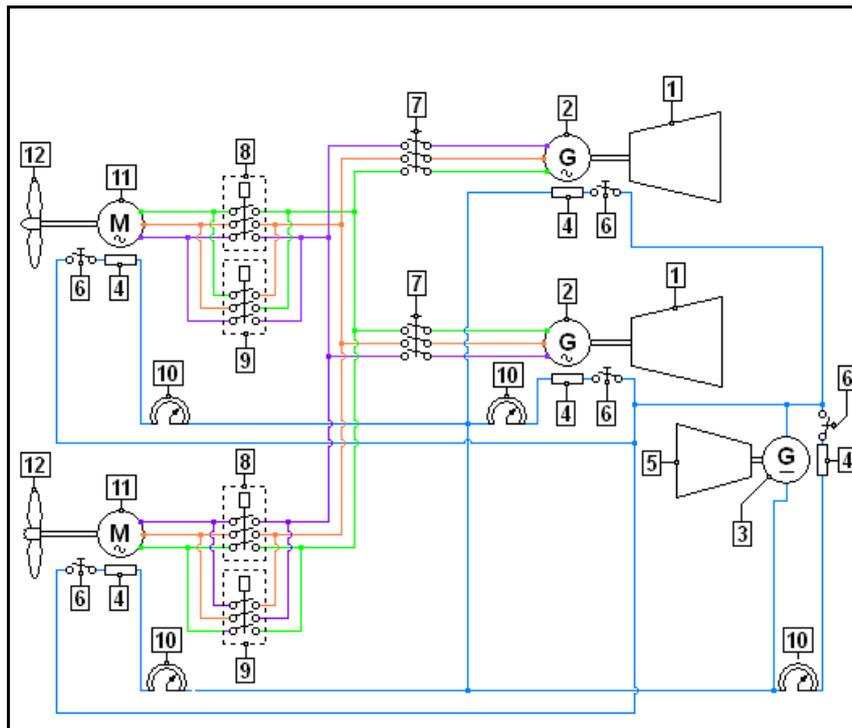


Figura 1.2 Diagrama eléctrico de una propulsión turbo-eléctrica

- 1.- Turbinas, 2.- Generadores de Corriente Alterna (A.C), 3.- Generador auxiliar de Corriente Continua (C.C), 4.- Excitaciones, 5.- Turbina auxiliar, 6.- interruptores de las excitaciones, 7.- Interruptores de los generadores (en caso de que uno de los dos generadores quede fuera de servicio por cualquier causa se acciona el interruptor para desconectar el generador correspondiente),
- 8.- Interruptores de marcha directa de los motores, 9.- Interruptor inversor para cambiar la marcha de directa a inversa, 10.- Reóstatos para regular la intensidad de campo de las excitaciones, 11.- Motores propulsores eléctricos, 12.- Hélices.

Ventajas e inconvenientes de la propulsión turbo-eléctrica respecto a las turbinas de engranajes

Ventajas

1) Simplificación de las máquinas térmicas. Esto es así porque las turbinas siempre giran en el mismo sentido y al no necesitar una máquina térmica, la construcción de las turbinas es más sencilla.

2) Disposición de toda la potencia en marcha atrás. El motor eléctrico al invertir la marcha y poner marcha atrás puede disponer de la misma potencia que tenía cuando iba avante.

3) Mayor libertad a la hora de disponer el emplazamiento de los grupos generadores y motores propulsores. Se ahorran ejes intermedios y tuberías de alimentación, se aprovecha mejor el espacio y se puede disponer de una subdivisión estanca más eficaz.

4) Posibilidad de utilizar los grupos generadores principales para suministrar energía a la propulsión y a los grupos auxiliares. Esto es posible tanto en el puerto como en el mar siempre que la velocidad del buque permanezca constante, en caso contrario se puede disponer de uno o varios grupos compuestos por un motor eléctrico alimentado por los alternadores principales que mueva a su vez una dínamo o alternador que también pueden ser accionadas por una turbina auxiliar que funciona de un modo automático en el momento que sea necesario.

5) Mayor reserva de potencia en caso de avería en un grupo generador. En éste caso el buque puede seguir navegando con todos los motores eléctricos propulsores que son alimentados por los generadores que siguen funcionando.

Desventajas

1) Mayor peso y por lo general mayor volumen. Motores eléctricos y generadores ocupan más espacio y suponen un mayor peso, necesitan instalaciones adicionales como ventilaciones, instalaciones de refrigeración, líneas eléctricas para alta potencia.

2) Mayor costo de la instalación. Los materiales empleados y la naturaleza de los sistemas resultan más caros.

3) Mayor consumo. Existe efectivamente un mayor consumo al tener que realizar una doble transformación de energía.

1.3.3 Propulsión Diesel-eléctrica

En éste tipo de propulsión la energía es suministrada por generadores eléctricos movidos por motores diesel que alimentan a los motores eléctricos acoplados a los ejes propulsores.

Una instalación Diesel-eléctrica consta de uno o más motores acoplados a igual número de generadores eléctricos que suministran la corriente al motor o motores eléctricos encargados de la propulsión.

Los motores Diesel son irreversibles, esto es giran siempre en el mismo sentido y por tanto de construcción sencilla. El régimen de giro se encuentra entre las 250 y 600 r.p.m. y la corriente empleada puede ser continua o alterna, en un principio y durante bastante tiempo fue usada de un modo casi exclusivo la corriente continua porque presentaba las ventajas, de fácil acoplamiento a las dínamos y una mayor facilidad en los cambios de régimen y maniobra.

En la actualidad se utilizan indistintamente corriente alterna o continua con mayor preferencia por la alterna para los casos de elevadas potencias debido a las dificultades de empleo de elevados voltajes con corriente continua.

La regulación de velocidad de los motores de propulsión, cuando son de corriente continua, se realiza actuando sobre la excitación de los generadores por medio de reóstatos girando dichos generadores a velocidad constante y en el caso de que varios generadores alimenten a un mismo motor se conectan sus excitaciones en paralelo con el objeto de unificar el mando.

Para la regulación de la velocidad con corriente alterna se procede de forma similar a lo ya explicado para la propulsión turbo-eléctrica.

La propulsión Diesel-eléctrica tiene las mismas ventajas e inconvenientes que las comentadas para la propulsión turbo-eléctrica y solo se puede añadir como ventaja adicional que la supresión de cambio de marcha, debida a que los diesel giran siempre en el mismo sentido, supone un menor dimensionado en la capacidad de las botellas de aire y de los compresores utilizados para rellenarlas.

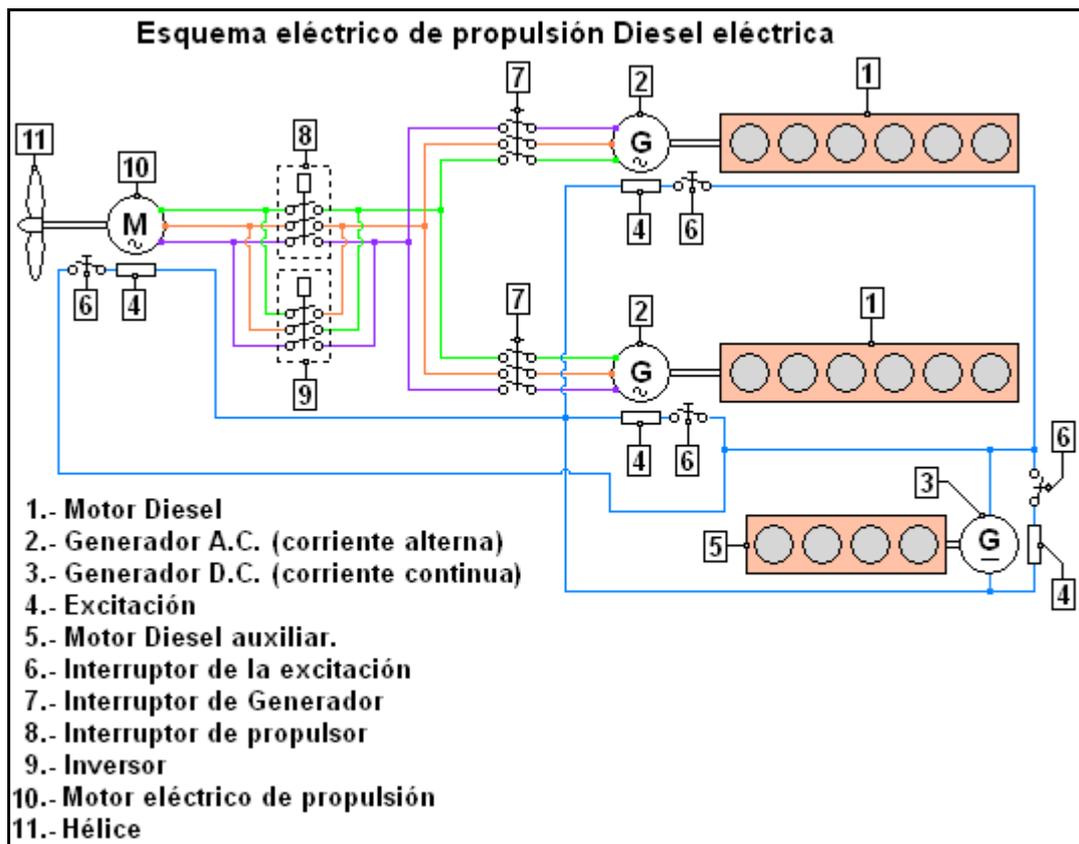


Figura 1.2.1 Diagrama eléctrico de propulsión Diesel-eléctrica, con motor diesel para el generador auxiliar

El funcionamiento de la propulsión Diesel eléctrica es similar a la propulsión turbo-eléctrica salvando las lógicas diferencias entre las turbinas y los motores Diesel.

1.4 Generalidades del Tren Eléctrico

Con el transcurso del tiempo, la locomotora de vapor fue reemplazada por la locomotora eléctrica y la locomotora diesel, que probaron ser más poderosas y rentables. Ya en 1842, el inventor escocés Davidson había construido la primera locomotora con un sistema de energía eléctrica. En 1879, Werner von Siemens desarrolló la primera locomotora con corriente directa, con una potencia de 3 caballos de fuerza.

La primera línea ferroviaria eléctrica fue finalmente inaugurada entre Baltimore y Ohio, en los Estados Unidos, en 1894. En 1908, el italiano Belluzo construyó la primera locomotora accionada por turbinas a gas. En 1912 le siguió la primera locomotora diesel, para ese entonces los trenes lograban los 1.000 caballos de fuerza.

1.4.1 La Tracción Eléctrica

La primera locomotora eléctrica hasta el día de hoy conocida, fue construida por el escocés Roberto Davidson de Aberdeen en 1837 accionada por celdas galvanicas (baterías). Davidson construyó más tarde una locomotora más grande llamada “Galvani” la cual fue exhibida en la “Royal Scottish Society of Arts” de 1841. Fue aprobada por el “Edinburgh and Glasgow Railway” en Septiembre de 1842 pero la limitada corriente eléctrica suministrada por las baterías impedían su uso general.

Robert Davidson construyó una locomotora eléctrica que alcanzó 6 km por hora. Entre 1832 y 1839 Robert Anderson inventó el primer auto propulsado por células eléctricas no recargables.

El primer tren Eléctrico fue presentado por Werner Von Siemens, al hablar de este personaje es recordar el inicio de la tracción eléctrica en el ferrocarril, que ahora celebra sus 130 años de existencia y que tiene la ciudad de Berlín como el escenario donde se dieron los pasos de lo que se reconoce como la primera máquina eléctrica de la historia. En aquellos años del último cuarto de siglo, el mapa ferroviario estaba casi completo, pero seguía dominado por la tracción de vapor, aunque con locomotoras cada vez mayores.

Hoy el vapor casi ha desaparecido, salvo para demostraciones nostálgicas, y las máquinas diesel y eléctricas compiten y comparten el mercado mundial, sin que por el momento se determine cuál de las dos va a ganar esta batalla.

Hasta finales del siglo XIX la energía eléctrica en los ferrocarriles pasaba casi desapercibida. La pila del italiano Volta tiene por esa época más de un siglo, y los experimentos del americano G. Henry y el francés Ampere en el campo del electromagnetismo habían sido coronados por el éxito.

Pasado el primer tercio, Faraday había comprobado la existencia de corrientes inducidas por el movimiento de un imán en una bobina. La ciencia estaba lista para aplicar la electricidad en lugar del vapor en la tracción ferroviaria. Hubo muchos intentos para llevarlo a la práctica.

Un inglés realizó los primeros ensayos, al construir una locomotora en la que los pistones eran maniobrados por cuatro electroimanes con atracción intermitente y sincronizada. Pero hubo que esperar hasta 1879 para que el ingeniero alemán Werner Von Siemens concibiera el primer tren eléctrico que estuvo funcionando durante cuatro meses en la Exposición Universal de Berlín. La sociedad Siemens y Halske construyó una pequeña locomotora eléctrica que arrastraba un tren de viajeros dentro del recinto de la exposición, que hacía un trayecto circular de 300 metros. Y recogía la corriente de un carril especial situado en el eje de la vía.



Figura 1.3 Primer tren eléctrico

1.5 Tipos de tracción

En todo proceso que hay que realizar una inversión, se busca una inversión mínima con unos beneficios máximos; en el caso del ferrocarril, visto desde el punto de vista de la tracción en el que hay que vencer unas resistencias y realizar un esfuerzo necesario para asegurar el remolque, se minimiza las potencias necesarias (dada una velocidad determinada) y por tanto los consumos energéticos.

Los diferentes tipos de tracción en las líneas de ferrocarril son:

- 1) Vapor
- 2) Eléctrica
- 3) Con motores térmicos: Los turbomotores

Características de los turbomotores:

- Se utiliza el gasoil como combustible.
- Su principio de funcionamiento es la producción de un par en un eje. Sus partes son:
 - Generador de gas (compresor + cámara de combustión).
 - Turbina.
 - Se necesita una fuente de energía exterior para el arranque.
 - Sentido único de giro.
 - Mayor zona de utilización respecto de la relación potencia-velocidad que los Diesel.
 - Rendimiento muy variable.

Los turbomotores se usan cuando tengamos poco peso en el eje y en servicios rápidos de viajeros.

Hay tres tipos de electrificación dentro de la tracción eléctrica:

I.- Con Corriente Continua:

Fue la que primero se utilizó; al no saberse cómo transformar la tensión se tenía la misma tensión de transporte sobre la línea de contacto que la que hacía funcionar a los motores: 700-3000 v -> Tensión muy baja -> dos consecuencias:

- 1- Intensidades de miles de amperios por las líneas de contacto para conseguir la potencia necesaria.
- 2- Catenaria de gran sección y subestaciones muy próximas (del orden de a 20 Km para una línea de 1500 v) para evitar las grandes caídas de tensión.

II.- Con Corriente Alterna Monofásica:

Hay dos tipos según la frecuencia utilizada:

1- De Frecuencia especial:

Se suele adoptar una corriente de frecuencia menor que la frecuencia normal (de 16Hz). Esta clase de tracción eléctrica se utiliza en el Centro Europa (Suiza, Alemania, Austria, Suecia y Noruega).

2- De Frecuencia industrial (a 50 Hz):

Surge con el objetivo de crear instalaciones ligeras e intentar integrar el ferrocarril en la red industrial.

III- Con Corriente Alterna Trifásica:

Al principio se dejó de lado este tipo de tracción ya que pese a usar motores trifásicos, que son robustos y baratos, presentaba dos inconvenientes:

- 1- Necesidad de instalar doble catenaria, con la vía como tercera fase.
- 2- Dificultad para regular la velocidad, al depender ésta directamente de la frecuencia ($n=60 \cdot f/p$).

Más adelante, unos setenta años después, fue retomada esta opción de tracción eléctrica debido al gran desarrollo tecnológico acaecido durante todos estos años, especialmente en el campo de la electrónica de potencia y los semiconductores.

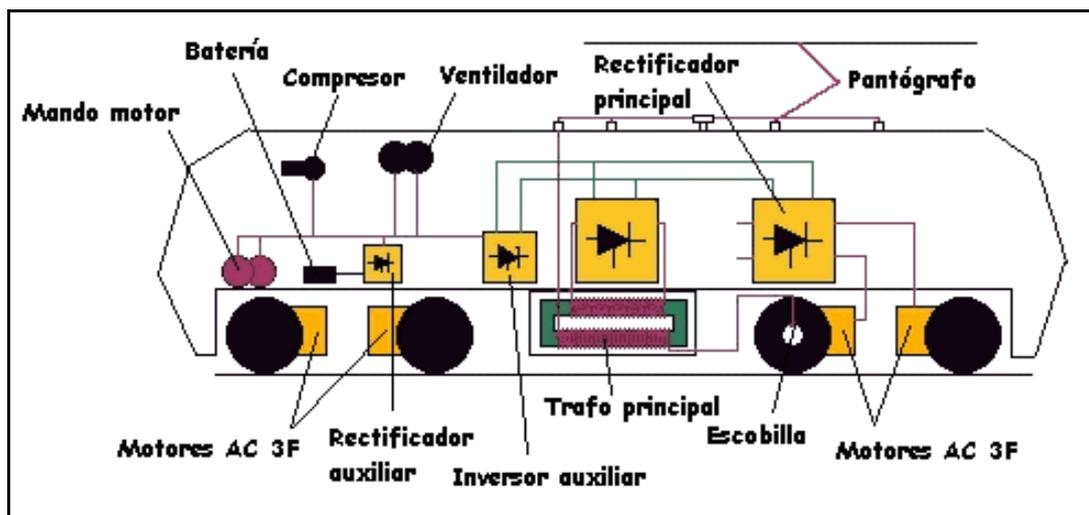
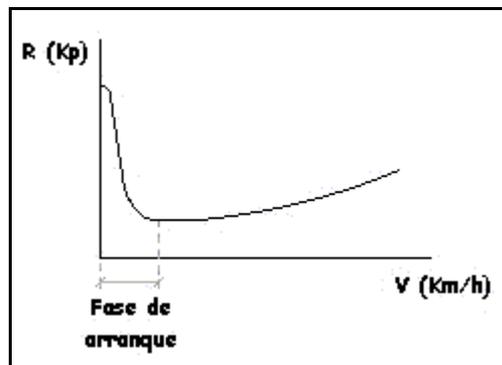


Figura 1.4 Diagrama de bloques de una locomotora con motores de corriente alterna.

La siguiente curva sirve para determinar la resistencia a vencer en el caso de remolcar un tren a una velocidad "v":



Hay que hacer notar que es al principio, durante el arranque, cuando mayor esfuerzo ha de realizar la locomotora (notar que la resistencia es mayor entonces).

Una figura aclarativa de todos los elementos integrantes del conjunto de tracción de una locomotora (S269-200) es la siguiente:

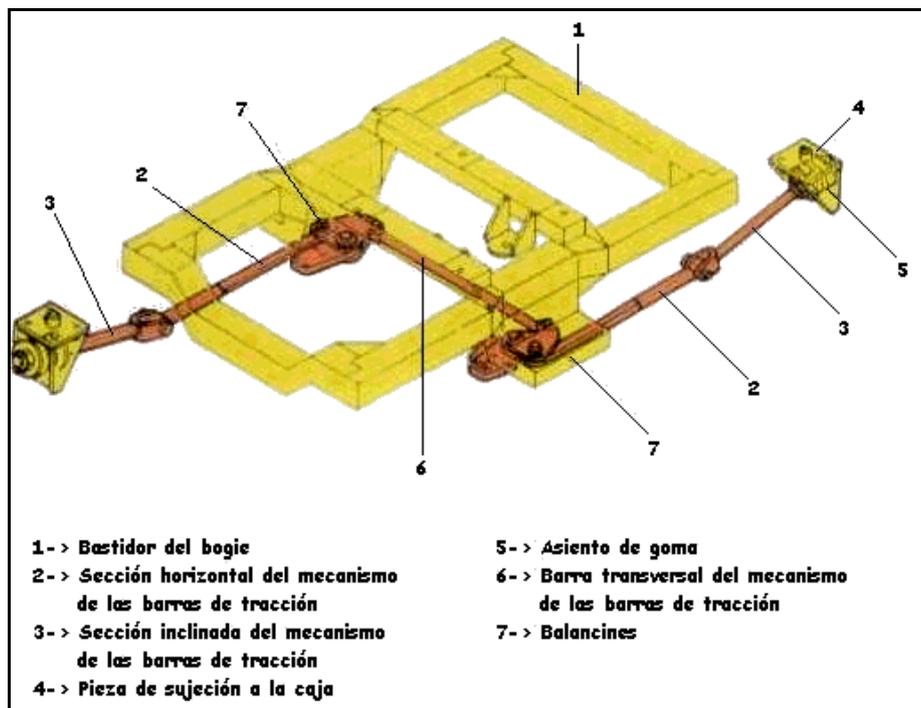


Figura 1.5 Elementos del mecanismo de tracción de la locomotora S269-200 de RENFE

La totalidad de los vehículos que comprenden un tren oponen una serie de resistencias a vencer y esfuerzos a realizar que son importantes conocer para el estudio del movimiento del tren.

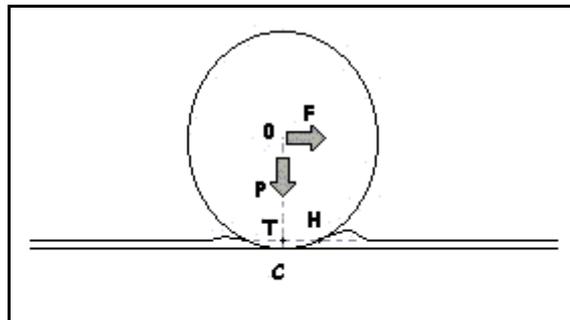
1. 6 Teoría del movimiento (Resistencias, Esfuerzos y Longitudes virtuales)

El conjunto de las resistencias a vencer y esfuerzos a realizar a la hora de remolcar un tren son los siguientes:

I.- Resistencias:

1.1 Resistencias en recta y horizontal:

1.1.1 Resistencia debida a la rodadura:



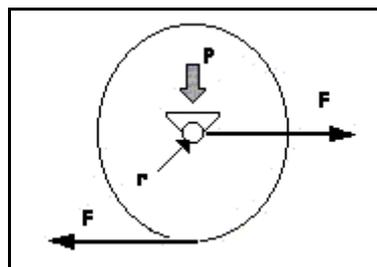
Se define “j”, coeficiente de resistencia a la rodadura, como:

$$j = \sqrt{\frac{2 \cdot \delta}{R}} \quad \text{Con } d = TC$$

De tal manera que el esfuerzo necesario para que la rueda avance, F, es:

$$F = P \cdot j$$

1.1.2. Resistencia en las cajas de grasa:



El esfuerzo en llanta necesario para vencer este rozamiento es:

$$F = P \cdot \psi \cdot \frac{r}{R}$$

Con $\psi = r/R$ como el coeficiente de resistencia debido a las cajas de grasa.

1.1.3 Resistencias debidas a los choques y pérdidas de energía:

En este apartado se incluyen:

- Las resistencias que se producen al paso de las juntas.
- Las debidas a la pérdida de energía.
- Las originadas por el rozamiento de las pestañas sobre los carriles.
- Las debidas a las pérdidas de energía en enganches y suspensiones.

1.1.4 Resistencias Aerodinámicas:

Debida a la resistencia que presenta el aire al desplazarse el tren. Esta resistencia es elevada y es la de mayor valor dentro de todas las resistencias en recta y horizontal que se está explicando.

1.1.5 Resistencias Globales:

Al conjunto de las resistencias explicadas con anterioridad se las denomina resistencias globales. Se suelen utilizar fórmulas experimentales que engloban todas las resistencias en recta y horizontal, siendo la más utilizada la siguiente:

$$R = A + B \cdot v + C \cdot v^2$$

A = representa la resistencia debida a la rodadura y la de las cajas de grasa.

$C \cdot v^2$ = expresa la resistencia que presenta el aire.

$B \cdot v$ = engloba las resistencias debidas a los choques y pérdidas de energía.

Según sea el tipo de tren los valores de estos coeficientes serán unos u otros.

1.2 Resistencia debida a las curvas:

Se expresa con la siguiente fórmula:

$$R_c = R_A + R_B = f \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{a}{R} + \frac{P \cdot f}{2 \cdot R} \sqrt{a^2 + b^2} = \frac{P \cdot f}{2 \cdot R} \left(a + \sqrt{a^2 + b^2} \right)$$

Donde:

R_A = resistencia debida al distinto desarrollo del carril exterior e interior -> -> se produce deslizamiento longitudinal -> sol: conicidad de las ruedas.

R_B = resistencia relacionada con el deslizamiento transversal, el cual es debido a la rigidez del bastidor; notar también que los ejes se mantienen paralelos entre sí constantemente.

a = ancho de la vía.

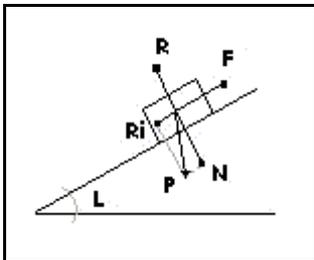
b = distancia entre ejes.

f = coeficiente de rozamiento.

R = radio de la curva.

P = peso de uno de los ejes.

1.3 Resistencia debida a las rampas:



La fórmula para esta resistencia es la siguiente:

$$R_i = P \cdot \frac{i}{1000} = P \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

1.4 Resistencia de inercia (si la velocidad no es constante):

Si se está en el caso de movimiento uniformemente acelerado con aceleración " a " cm/s^2 se tiene la siguiente resistencia:

$$R_a = P \cdot a \text{ (Kp)}$$

- Si se razona un poco se puede llegar a la conclusión de que el valor de esta resistencia es muy alto en el momento del arranque.

De todas las resistencias expuestas con anterioridad se puede decir que las resistencias totales a velocidad constante son:

$$R_t = R_a + R_c + R_i$$

II.- Esfuerzos:

2.1 Esfuerzo en gancho:

Este esfuerzo es el resultante de restar el que realiza la locomotora menos el esfuerzo necesario para vencer las resistencias que se oponen al movimiento de la locomotora.

2.2 Esfuerzo en llanta:

Se denomina así al par motor menos la suma de los pares de rozamiento producido en las cajas de grasa de la locomotora y los producidos por el rozamiento en los engranajes y transmisiones del motor y ejes.

2.3 Esfuerzo de Remolque:

Es el que se realiza si se toma como base los esfuerzos de tracción de la locomotora comparándolos con las diferentes posibilidades de trazado de la línea ferroviaria.

III. Longitudes Virtuales:

Se define longitud virtual como la longitud de un trayecto recto y horizontal equivalente a la longitud de una línea accidentada con rampas y curvas.

Las longitudes virtuales se pueden tratar desde dos puntos de vista:

- Desde el punto de vista del esfuerzo tractor necesario para vencer la resistencia al avance.
- Desde el punto de vista de la determinación de gastos totales que produce un determinado recorrido por su trazado en comparación con uno recto y horizontal.

Las resistencias que se consideran en el cálculo de la longitud virtual son:

- La resistencia a la vía
- La resistencia a la rampa
- La resistencia a la curva

Y así:

3.1 Longitud virtual en el caso de una rampa, viene determinada por la siguiente fórmula:

$$X = L \cdot \frac{r + i}{r}$$

Donde:

L = Longitud real de la vía en la rampa en Km.

i = Pendiente de la rampa en milésimas.

r = Esfuerzo en Kp/Tm

X = Longitud Virtual equivalente en Km.

3.2 Longitud virtual en el caso de una curva, determinada por:

$$y = \frac{L}{r} \cdot \left(r + \frac{800}{R} \right)$$

Con:

L = Longitud real de la vía en la curva en Km.

R = Radio de la curva en metros.

r = Esfuerzo en Kp/Tm

Y = Longitud virtual equivalente en Km.

3.3 Longitud virtual en el caso de tener curva y rampa a la vez, determinada por:

$$Z = 1 + \frac{i}{r} + \frac{800}{r \cdot R}$$

Donde:

R = Radio de la curva en metros

i = Pendiente de la rampa en milésimas

r = Esfuerzo en Kp/Tm

Z = Longitud virtual equivalente en Km.

NOTA: Para el cálculo de esta longitud virtual se toma como fija.

L = 1 Km. de vía en rampa y curva.

1.7 Componentes

Dentro de las locomotoras eléctricas hay que diferenciar la parte eléctrica de la mecánica, cada una de ellas comprende los siguientes puntos:

Parte Mecánica compuesta por:

1.1 La Caja

1.2 El Bastidor

1.3 El Tren de Rodadura

Parte Eléctrica compuesta por:

2.1 Función de Potencia

2.2 Función de Control

2.3 Función Auxiliar

1.7.1 Parte Mecánica

La parte mecánica de una locomotora se compone de caja, bastidor y tren de rodadura. A continuación se exponen estos elementos además de detallar algunos otros aspectos importantes de la parte mecánica de una locomotora:

El chasis, la caja y la suspensión:

- El chasis y la caja son las partes que encierran todos los elementos relativos al control en la locomotora.
- La suspensión es lo que soporta el peso de la máquina; está formada por resortes en los ejes que transmiten el peso a las cajas de grasa.

El tren de rodadura:

Se compone de los ejes que soportan el chasis y lo guían por la vía, más un sistema de suspensión apropiado.

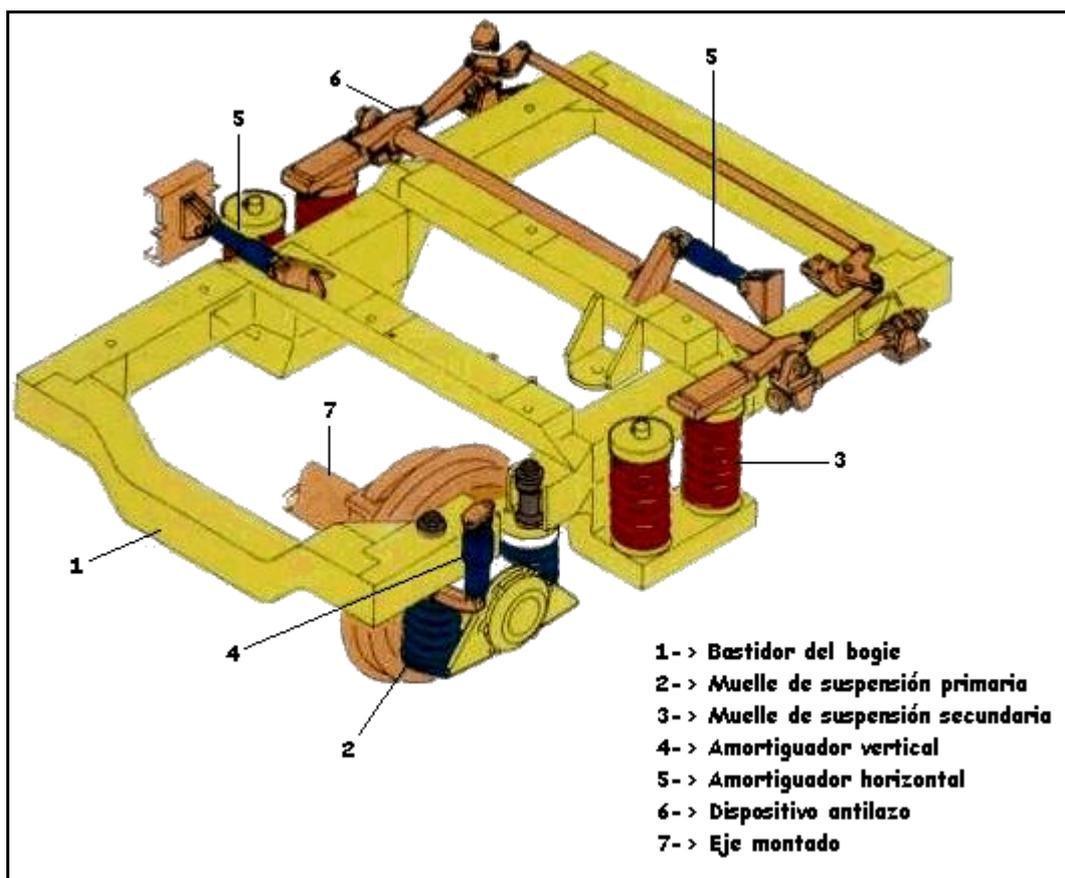


Figura 1.6 Sistema de suspensión de la locomotora S269-200 de RENFE

Transmisión del esfuerzo a las ruedas motrices:

El motor tiene su eje paralelo al eje (o ejes) de la locomotora y entre ellos el nexo de unión es un tren de engranajes.

- Los ejes, con sus ruedas y cajas de grasa reposan sobre la vía. Todo esto es la parte no suspendida.
- La caja y chasis de los bogies es la parte suspendida.

El motor se puede colocar de dos maneras:

- Semi-Suspendido: el motor reposa sobre tres puntos: dos de ellos directamente sobre el eje por medio de cojinetes, el tercer punto es sobre el bastidor del bogie.
- Suspendido: en el bastidor de los bogies, solidario a la parte suspendida de la locomotora. El par del motor se transmite a través de una rueda dentada calada al eje o un piñón de ataque solidario del motor.

La disposición de los motores en los bogies actualmente se realiza de la siguiente manera:

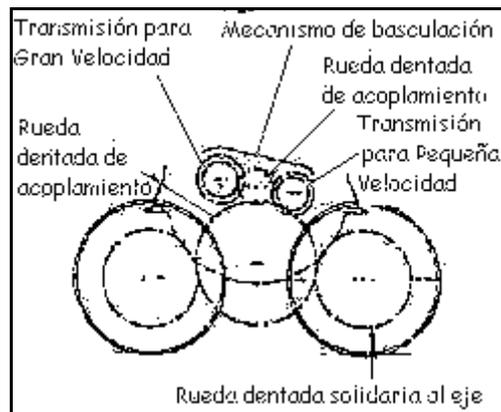


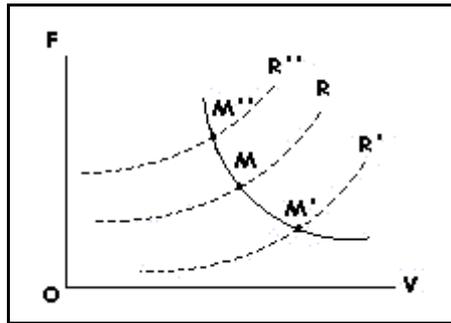
Figura 1.7 Mecanismo basculante en doble relación de engranajes

1.7.2 Parte Eléctrica

El equipo eléctrico de una locomotora debe de cubrir una serie de funciones:

1.- Función Potencia:

Tiene como objetivo el arranque y remolque del tren, el frenado y la inversión de marcha. La curva del motor siguiente, respecto al esfuerzo y velocidad a realizar, da una idea de las diferentes situaciones con que se puede encontrar:



Donde:

R = Curva de esfuerzo resistente sin pendiente, ni rampa.

R' = Curva de esfuerzo resistente con pendiente.

R'' = Curva de esfuerzo resistente con rampa.

M, M', M'' = Velocidad constante a la que se puede remolcar el tren en cada caso.

Todo equipo eléctrico debe tener un equipo de tracción que permita obtener una serie de características además de poder realizar el frenado reostático, de recuperación o la inversión de la marcha.

- Equipo de tracción en el caso de corriente monofásica:

Se hace variando la tensión de alimentación de los motores. Se realiza proveyendo de tomas regulables al transformador que se encarga de pasar de la tensión de la catenaria (15 ó 25 Kv) a la tensión normal de los motores de la locomotora (cientos de voltios).

- Equipo de tracción en el caso de corriente continua:

En este caso la variación de la tensión de alimentación de los motores se lleva a cabo de dos maneras:

- Por shuntado del motor.
- Por acoplamiento de motores.

2.- Función Control:

Sus objetivos son los siguientes:

- Arranque y regulación de la velocidad de la locomotora, frenar e inversión del sentido de la marcha. Se consigue todo esto por medio de contactos que se abren y cierran, dentro del circuito eléctrico de potencia, en la locomotora.
- Regulación, desde la cabina de una locomotora, de la marcha de varias locomotoras en el caso de estar acopladas entre sí.
- Conducción del tren desde la cabina del coche remolque extremo.
- Protección automatizada contra sobretensiones y sobre intensidades.

- Cubrir el apartado de la seguridad sin ningún fallo.
- Otros objetivos tales como solucionar la posibilidad de patinaje.

3.- Funciones Auxiliares:

Tales como ventilación, iluminación y calefacción de la locomotora, circuito de refrigeración, etc.

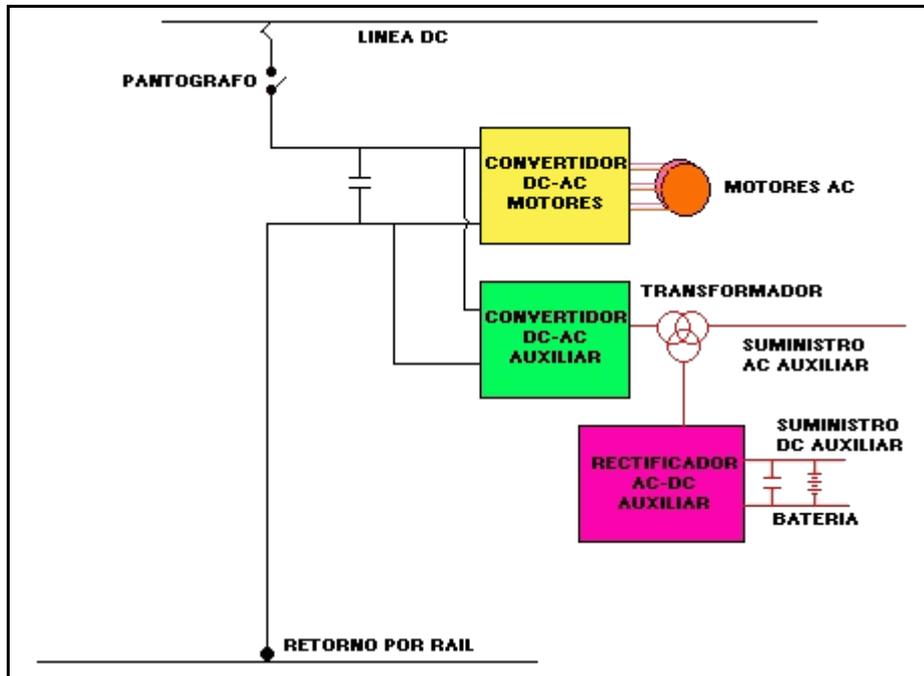


Figura 1.8 Diagrama de potencia de la función auxiliar de una locomotora de corriente continua

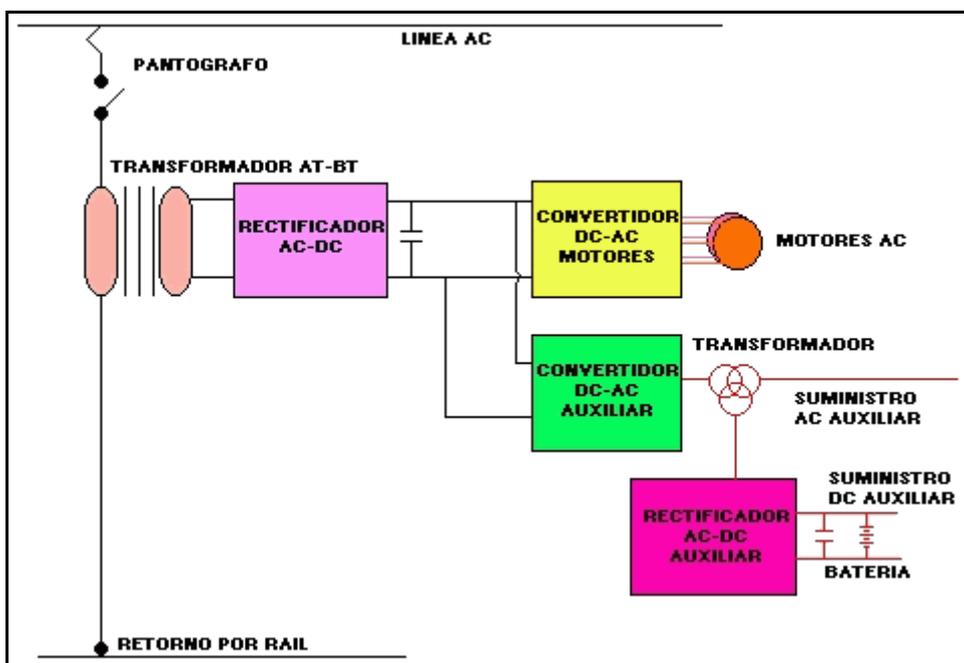


Figura 1.9 Diagrama de potencia de la función auxiliar de una locomotora de corriente alterna.

1.8 Equipo de toda Locomotora Eléctrica

Los equipos eléctricos que tiene toda locomotora son:

1.- El pantógrafo: es el aparato encargado de captar la corriente de línea. Su localización es el techo de la locomotora, aislado de ella mediante aisladores de porcelana. Sus partes son:

a) El bastidor: es el armazón que soporta el sistema articulado, los muelles y el pistón de aire comprimido del mecanismo de elevación del pantógrafo.

b) Sistema articulado: está constituido por una estructura tubular articulada de forma romboidal o semirromboidal.

c) Mesillas: son los elementos de captación directa de la corriente; constan de: zapata, frotadores y trocadores.

d) Mecanismo de elevación: formado por cilindro, muelles, resortes y válvulas que hacen ascender o descender las mesillas.

2.- Elementos de protección: son los pararrayos, fusibles, bobina voltimétrica y amperimétrica, relé e interruptor.

3.- Contactores: permiten, a voluntad del maquinista, realizar los diferentes acoplamientos entre motores.

4.- Electroválvulas y servomotores:

- Las electroválvulas son un dispositivo electromecánico que por acción de un circuito electromagnético establece o interrumpe un circuito neumático que permite el funcionamiento de un contactor o de un servomotor.
- El servomotor es un dispositivo de accionamiento mecánico, provisto de un cilindro y dos (o más) electroválvulas y pistones unidos entre sí, de forma que al desplazarse éstos dentro del cilindro accionan un árbol de levas que establecerá o interrumpirá circuitos eléctricos.

5.- Resistencias de arranque: se van eliminando conforme el motor adquiere la velocidad normal de giro.

6.- Elementos de mando y maniobra: el regulador principal, el regulador de rodillo, el regulador de árbol de levas, el combinador de motores y la inversión de la marcha.

7.- Dispositivos de seguridad:

- Dispositivo de hombre-muerto: es un dispositivo que obliga al maquinista a responder continuamente a una señal, ya que si no responde se produce el enfrenamiento automático de urgencia de la máquina y del tren.
- Sistema ASFA: sirve de ayuda al maquinista en condiciones de difícil conducción; provoca automáticamente el frenado de urgencia en caso de infracción de las normas de seguridad en circulación de trenes; disminuye el riesgo de accidente por fallo humano.
- Captador: instalado en la cabina de conducción, recoge y memoriza a bordo durante cierto tiempo las informaciones procedentes de las balizas.

1.8.1 La Catenaria

En primer lugar habría que señalar que la catenaria es una curva; esta curva surge al colgar un cable (hilo homogéneo, flexible e inextensible) entre dos puntos que no estén situados en la misma vertical. Esta curva describirá una trayectoria determinada dependiendo de las tensiones a la que esté sometida en sus extremos. El nombre de catenaria viene de cadena (catenarius, propio de la cadena).

Si consideramos los casos en que colgamos los extremos del material de distinta vertical, según lo dicho anteriormente la curva describirá una mayor o menor sima o panza.

La flecha es la mayor separación entre la recta que une los dos puntos de donde se cuelga el cable y la propia curva catenaria, que en caso de estar suspendida de la misma horizontal es exactamente el punto medio.

Un conductor de peso uniforme, sujeto entre 2 apoyos por los puntos A y B situados a la misma altura, forma una curva llamada catenaria. La distancia “f” entre el punto más bajo situado en el centro de la curva y la recta AB, que une los apoyos, recibe el nombre de flecha. Se llama vano a la distancia “a” entre los puntos de amarre A y B.

Para vanos de hasta 500 metros podemos equiparar la forma de la catenaria a la de una parábola, lo cual ahorra unos complejos cálculos matemáticos, obteniendo, sin embargo una exactitud más que suficiente.

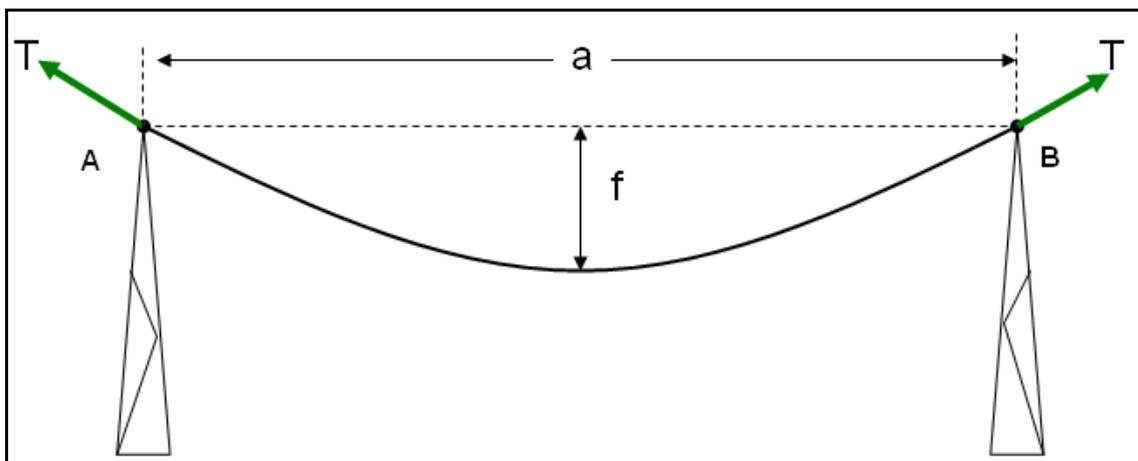


Figura 1.10 Curva y puntos de una catenaria

El estudio de la catenaria, tiene muchas aplicaciones, no solo en el suministro de la energía sino las propias torres de alta tensión, los funiculares, teleféricos, etc. Por “catenaria” entendemos también, y es lo que nos interesa aquí principalmente, el sistema de suspensión del cable conductor de la electricidad que posibilita un contacto permanente entre dicho cable y el dispositivo de toma de corriente de la locomotora (pantógrafo). Lo que se pretende conseguir es que esa línea de contacto sea lo más paralela posible a la vía y para conseguir eso precisamente es para lo que se utiliza, otra curva, la catenaria, que es la que va unida mediante una especie de sujetadores verticales llamados péndolas a la línea de contacto.

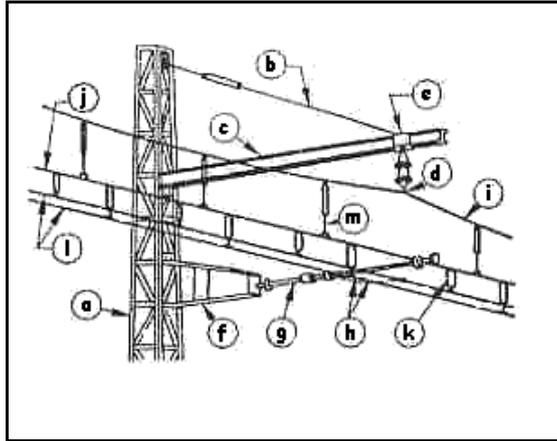


Figura 1.11 Partes de la fijación de una catenaria

- a) Poste
- b) Tirante
- c) Ménsula
- d) Cadena de Suspensión
- e) Pieza de Fijación
- f) Mensula de Atirantado
- g) Estabilizador
- h) Brazo atirantado
- i) Cable portador principal
- j) Cable portador auxiliar
- k) Péndola abrazadera
- l) Hilos de contacto
- m) Péndola deslizante

Como se sabe la toma de electricidad mediante catenaria es un sistema utilizado para dotar de movimiento a las locomotoras eléctricas, pero otro sería la toma directamente por la vía férrea, bien desde las propias vías, o también mediante la utilización de una tercera vía o carril

Volviendo al otro sistema, es decir, al que toma la electricidad desde arriba del tren, señalar que varios son las formas que adopta; La recepción mediante lo que se denomina “trolley” que utilizaron sobre todos los tranvías. (El mismo sistema que utilizaron igualmente algunos autobuses, que conocemos con el nombre precisamente de trolebuses) y después las catenarias. Después vendrían las mejoras a la misma.

Nos encontraríamos con la catenaria compensada que no es otra cosa que el mantener atirantamientos mediante pesas y contrapesas para lograr que la catenaria esté lo más tensa posible y ajena a las inclemencias meteorológicas. Y últimamente se ha añadido a la nómina de las catenarias la denominada rígida, que no es sino un perfil que aloja en su inferior el hilo de contacto y que es bastante frecuente en los sistemas de metro, etc. Hasta aquí vemos que sea trolley, catenaria simple o compensada la electricidad viene a ser recogida desde un solo hilo de contacto, pero hay un caso en que esa recepción se realiza desde dos puntos de contacto, (esto se produce cuando la línea se encuentra electrificada en corriente alterna trifásica).

Hablamos de corriente alterna trifásica y solo vemos dos fases; la tercera está situada en los raíles.

1.8.2 El Pantógrafo

La invención del pantógrafo se atribuye al gran Arquímedes en el año 250 a.C. desde esa fecha hasta el día de hoy, se utiliza para dibujar cualquier figura, ampliarla, o reducirla y también para escribir varios folios simultáneamente. Hasta el año 1957, no comenzó a dársele otra aplicación. Fue Japón y Rusia, quienes, ya en un sentido industrial, le llamaron Pantógrafo a una serie de brazos articulados y los situaron en el techo de las máquinas eléctricas para unirle hueco existente entre el techo de la máquina y el cable aéreo de alta tensión llamado (catenaria), nombre que también se le atribuye a Arquímedes, pues así el denominaba a la cuerda sustentada por dos extremos. Arquímedes desarrollo una definición de la catenaria, ésta sería el cálculo integral o cálculo del arreadle segmento parabólico, como suma del escalonamiento superior más el escalonamiento inferior de ese segmento, entre los limites extremos del mismo, denominados como a---b.

En la actualidad su aplicación ferroviaria consiste en tener un extremo o base apoyado en el techo de la máquina. Y en el otro extremo tiene la mesilla rectangular con sus extremos en forma de cuerno hacia abajo, siendo la parte superior de ésta la que contacta con la catenaria por medio de unas pletinas adosadas, que pueden ser de cobre o carbón grafito.

De esta mesilla se derivan unos cables, llamados trencillas, las cuales transmiten la corriente a los motores de tracción.

Pues si bien a la catenaria ferroviaria le da el nombre una curva geométrica al pantógrafo se lo da un instrumento formado por cuatro reglas que forma un paralelogramo. Este instrumento sirve para copiar, ampliar o reducir un plano o dibujo a escala. Pues bien este instrumento es el que le da el nombre al mecanismo que recoge la corriente desde la catenaria en locomotoras de tracción eléctrica.

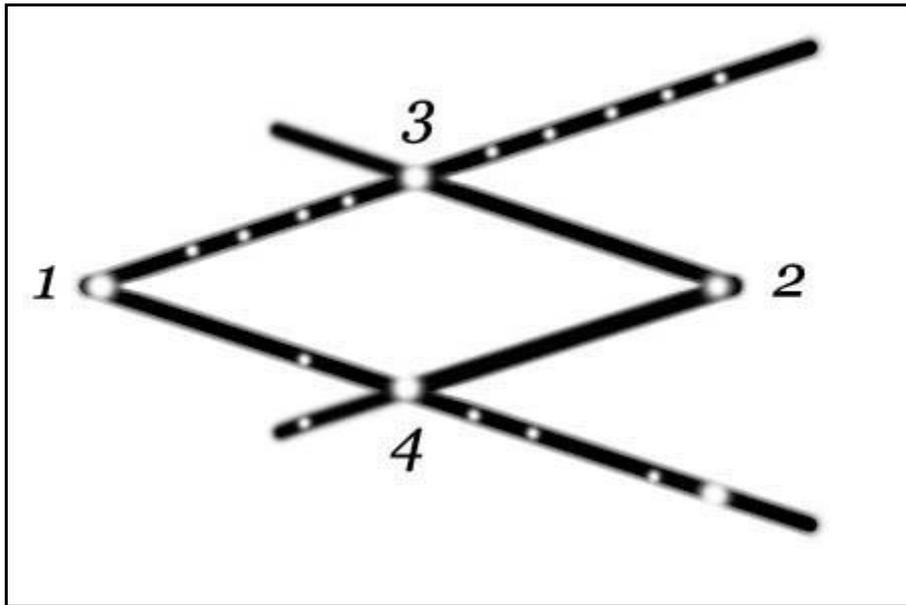
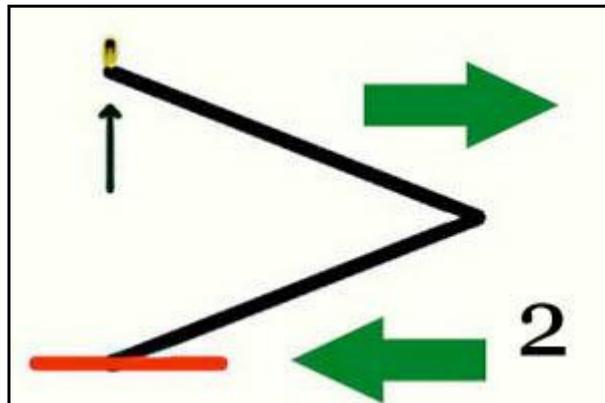


Figura 1.12



Figuras 1.12 y 1.12.1 Estructura del Pantógrafo

El pantógrafo de las locomotoras eléctricas dispone de unos resortes o muelles que le hacen estar continuamente tensionado hacia arriba para que el mecanismo que en concreto toma la corriente de la línea, el frotador, siempre intente estar en contacto con la catenaria.

Las partes sustanciales de todo pantógrafo son las siguientes:

1. Mesillas: Es la pieza que recoge la corriente eléctrica, en particular los frotadores.
2. Resorte: Mecanismo que hace que las mesillas y los frotadores en particular estén en contacto permanente con el hilo conductor.
3. Bastidor: Es lo que sujeta el pantógrafo a la locomotora, tranvía.

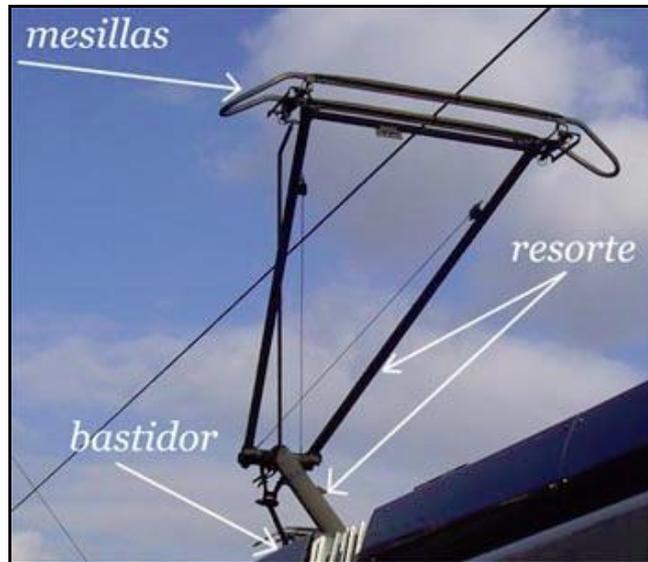


Figura 1.13 Partes del Pantógrafo

Trole: Conocemos por trole a la pértiga que desde el techo del vehículo en cuestión conectaba por una especie de resortes con la línea aérea que portaba la corriente eléctrica (trolley).



Figura 1.14 Alimentación por trole

1.8.3 Ejemplo de características de un tren eléctrico

Locomotora BB-200 Km/h



Figura 1.15 Locomotora BB-200 Km/h

Tipo de Locomotora:

Locomotora eléctrica para 3.000 C.D. (+600 V - 1.000 V) de tensión de catenaria, con potencia en régimen continua de 3.100kW.

Regulación continua por equipos chopper de los motores de tracción y del freno dinámico de mantenimiento del tren. Freno de aire comprimido para la locomotora y el tren. Control electrónico del freno conjugado y antibloqueo.

Disposición de ejes BB. Bogies de nuevo diseño, monorreductores, para servicio de viajeros a velocidad máxima de 200km/h.

Testeros aerodinámicos, caja de línea moderna, cabinas de conducción confortables con amplio espacio y visibilidad.

Características Principales:

- Ancho de vía: 1.668 mm
- Altura máxima (pantografos abatidos): 4.260 mm
- Ancho de la caja: 3.126 mm
- Longitud de la caja: 16.535 mm
- Longitud entre topes: 17.310 mm
- Distancia entre topes: 1.850 mm
- Distancia entre centro de bogies: 10.400 mm
- Empate del bogie: 2.500 mm
- Diámetro rueda nueva: 1.170 mm

- Diámetro rueda al límite de desgaste: 1.090 mm
- Radio mínimo inscripción en curva: 100 m
- Peso total: 86 Tm
- Peso de cada bogie: 21 Tm
- Potencia continua: 3.100 kw
- Velocidad en régimen continuo: 129,5 km/h
- Potencia unitaria: 3.240 kw
- Velocidad máxima de servicio: 200 km/h
- Esfuerzo tracción régimen continuo: 7.880 KN
- Relación engranes transmisión: 1,457

1.9 El Tercer Carril.

La línea de contacto puede adoptar dos sistemas: por tercer carril y por catenaria, el primero de estos sistemas consiste en utilizar un conductor en forma de perfil de acero laminado paralelo a la vía colocado sobre apoyos aislados, los cuales reposan en las traviesas de la vía.

Existe un brazo sobrepuesto en el tren eléctrico, que por contacto, cierra el circuito al estar el tercer carril en tensión con respecto a los carriles por los que rueda el tren.

Diferentes tipos de contacto en el tercer carril:

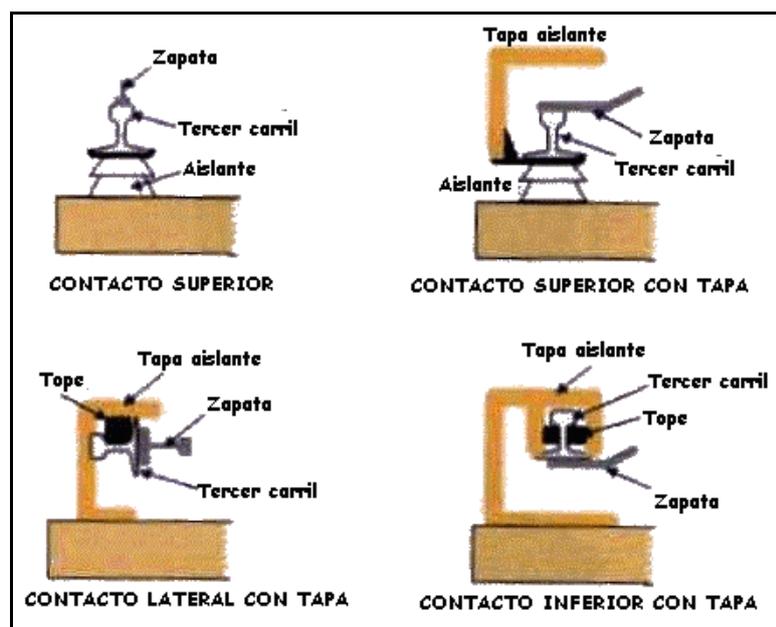


Figura 1.16 Tipos del tercer carril

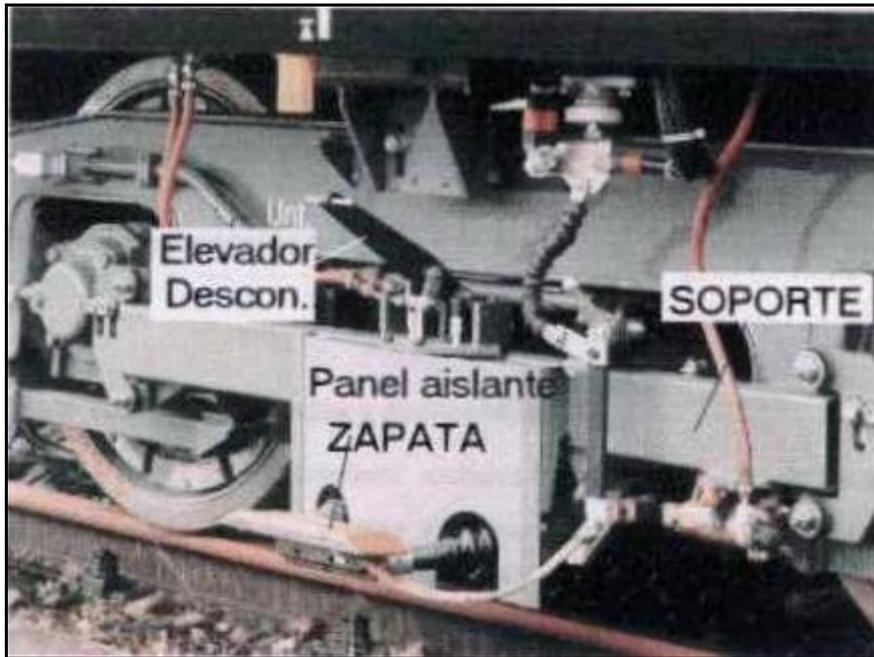


Figura 1.17 Contacto del tercer carril en locomotora

Ventajas del tercer carril:

- Su gran rigidez, que hace que no experimente deformaciones sensibles al paso del tiempo.
- Es un sistema más económico que el de la catenaria.

Inconvenientes del tercer carril:

- Riesgo de electrocución para las personas y animales.
- Estorbo en las estaciones.
- Necesidad de interrumpir el tercer carril en los pasos a nivel y aparatos de vía.
- La imposibilidad de aplicarlo al caso de corriente alterna.
- En el invierno le influyen agentes atmosféricos tales como la nieve y el hielo.

Debido a todos estos importantes inconvenientes el tercer carril ha caído en desuso, salvo en el caso de líneas metropolitanas.

1.10 El Tranvía

El Primer Tranvía Eléctrico fue puesto en servicio por Werner Von Siemens en Berlín en 1879. La energía eléctrica la toman de la línea aérea de contacto (la cual puede ser simplemente un alambre de cobre en suspensión simple ("hilo trolley") o por catenaria) mediante un trole de pértiga, un pantógrafo o un arco raspante. Existieron sistemas con dos troles (como los trolebuses) debido a que las ciudades en las que circulaban no permitían el retorno de la corriente por los rieles (Cincinnati y la Habana fueron las redes más grandes).

1.10.1 Elementos del Tranvía

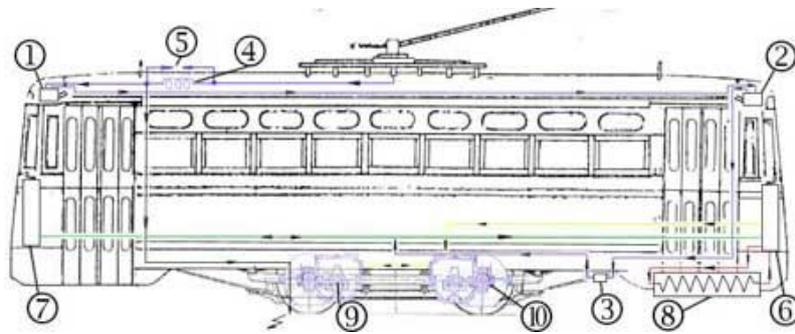


Figura 1.18 Elementos del tranvía

El diagrama, corresponde al último tranvía porteño que circuló en Buenos aires, el modelo FM, series TBA 3200-3400. Sin embargo esta disposición nunca varió. Paso a explicarles cada componente y el funcionamiento.

La alimentación, hecha por corriente continua entregada al tranvía por su pértiga o TROLE, la corriente, que en este caso es de 550 Voltios. La misma era suministrada por un generador, que primero fue de corriente continua y máquina de vapor, y luego fue paulatinamente reemplazándose por sistemas de distribución por alterna, rectificándose la corriente antes de ingresar a la red. La corriente volvía por su polo negativo (las vías), completándose el circuito por ese lado.

La corriente, que proviene del trole, pasa primeramente por las llaves electromagnéticas de protección (1) y (2), las cuales protegen a los motores de sobrecorrientes. La corriente pasa luego por el fusible (3), que provee protección en caso de cortocircuito. Se compone del pararrayos (5) y de la bobina de absorción (4).

La corriente inmensa del rayo era derivada a la vía, de tal forma de proteger a los dispositivos eléctricos y a los pasajeros en caso de lluvia.

Los cables indican que la corriente era luego derivada a los Controladores (6) y (7), inmensos reóstatos/combinadores mecánicos. La corriente, una vez administrada y regulada, pasaba por la caja de resistencias (8), que eran el complemento indispensable para que funcione nuestro tranvía, para dirigirse por último a los motores, (9) y (10), que eran los responsables de mover el coche.

En el bastidor en donde se colocaban los motores, la carrocería tenía su suspensión, y en donde se asentaba el sistema de frenos del coche.

La suspensión, como en cualquier rodado, poseía dos cuerpos de suspensión, siendo un juego de resortes que separaba los conjuntos de ejes del bastidor principal, compuesto por las barras laterales de suspensión y sus refuerzos. El segundo juego de resortes separaba este bastidor de la carrocería propiamente dicha. Para brindar una amortiguación mas o menos adecuada, se disponían en los extremos del vehículo sendos elásticos de suspensión, que brindaban cierta comodidad y hacían que el tranvía no se desestabilizara. La suspensión se completaba con las barras de suspensión de carrocería, que evitaban el pivoteo de la carrocería al frenar, además de brindar cierta amortiguación a la unidad.

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL TRANVIA:

- Fabricante: ALSTOM
- Ubicación de la fábrica: Barcelona.
- Modelo: CITADIS 302.
- Fecha de compra: 2004.
- Fecha de llegada a la isla: entre Diciembre de 2005 a Septiembre de 2006 (Vehículos de la Línea 1).
- Número de unidades: 20 para la línea 1 y 3 para la línea 2.
- Fecha de entrada en servicio de la Línea 1: 2 de Junio de 2007.
- Fecha de entrada en servicio de la Línea 2: 30 de mayo de 2009.
- Tipo de vehículo: Bi-Direccional, con piso bajo integral.
- Alimentación: 750 VCD.

- Toma de alimentación: Por Pantógrafo desde la catenaria.
- Ancho de vía: 1.435 mm.
- Largo: 32,50 m.
- Ancho: 2,40 m.
- Alto: 3,27 m.
- Composición: dotado de 5 módulos.
- Número de bogies: 3 (los tres motorizados).
- Sistema de tracción: Trifásica con motores asíncronos.
- Sistema de frenado: Eléctrico mixto reostático y regenerativo, neumático, hidráulico, de estacionamiento y patines electromagnéticos.
- Aceleración / Deceleración: 1,2 m/seg.
- Velocidad máxima: 70 km/h.
- Potencia: 6 x 120 Kw.
- Altura de Acceso: 320 mm.
- Altura de piso: 350 mm.
- Pasajeros sentados: 56.
- Pasajeros de pie (4/m²): 144.
- Capacidad total de pasajeros: 200.
- Ancho de las puertas (puertas simples): 800 mm.
- Ancho de las puertas (puertas dobles): 1.300 mm.
- Peso del tranvía: 39.122 Kg.
- Número de puertas: 6 por costado (4 dobles y 2 simples).
- Confort: Aire Acondicionado.
- Vigilancia: Sistema de vídeo para ayuda a la conducción.
- Otros sistemas: Fijaciones para el transporte de bicicletas.
- Otros sistemas: Conexión a Internet WIFI en 4 unidades.
- Sistemas de comunicación: Radioteléfonos, megafonía, interfono.

1.11 El Trolebús

El trolebús, también conocido como trolley o trole, es un autobús eléctrico alimentado por una catenaria de dos cables superiores desde donde se toma la energía eléctrica mediante 2 astas. El trolebús no hace uso de vías especiales o rieles en la calzada, por lo que es un sistema más flexible. Cuenta con neumáticos de caucho en vez de ruedas de acero en rieles, como en el caso de los tranvías.

Max Schiemann da un salto decisivo cuando el 10 de Julio de 1901 implanta la primera línea de trolebuses para transporte público en Bielathal (cerca de Dresde) en Alemania.

El trolebús comparte ventajas con el tranvía y el autobús pero también algunas desventajas. Si el trolebús se separa accidentalmente de la catenaria, se para. Por el mismo motivo, los recorridos posibles se limitan a los tramos con catenarias instaladas. Sin embargo, se puede incorporar una batería o un motor térmico convencional para permitir una mayor eficiencia. Los neumáticos producen más resistencia que las ruedas metálicas sobre los rieles y, por tanto, un mayor gasto de electricidad respecto a un tranvía.

Los trolebuses son de particular importancia para ciudades escarpadas o montañosas, donde la electricidad es más efectiva que el Diesel a la hora de subir colinas, y claro tienen mayor adherencia que los tranvías.

Los trolebuses, al igual que todos los vehículos eléctricos, suelen verse como un medio de transporte más compatible para el medio ambiente que los autobuses de combustión, que consumen hidrocarburos y emiten gases. La utilización de energía producida en centrales eléctricas tiene ventajas sobre los motores de explosión: es más eficiente, puede utilizar mayor variedad de combustibles, y es más conveniente para el control de la contaminación y se puede reutilizar el calor generado suministrando agua caliente para todo tipo de usos (industrias, hospitales, instalaciones deportivas), o generación de frío con equipos de absorción. En todo caso, también se puede utilizar la electricidad renovable.

Otra ventaja que rara vez está presente en otros vehículos (excepto algunos turismos híbridos) es que pueden generar energía eléctrica a partir de la energía cinética cuando frenan o van cuesta abajo en un proceso llamado frenado regenerativo.

Se ha sugerido que los trolebuses se volverán obsoletos en una economía de hidrógeno, que no acaba nunca de llegar. Sin embargo, la transmisión directa de electricidad, como la usada en el trolebús, es mucho más eficiente que la producción, el transporte, el almacenamiento y el aprovechamiento energético del hidrógeno en celdas de combustible en un factor 2,2 a 1, y mucho menos peligroso.

1.11.1 Características de un Trolebús

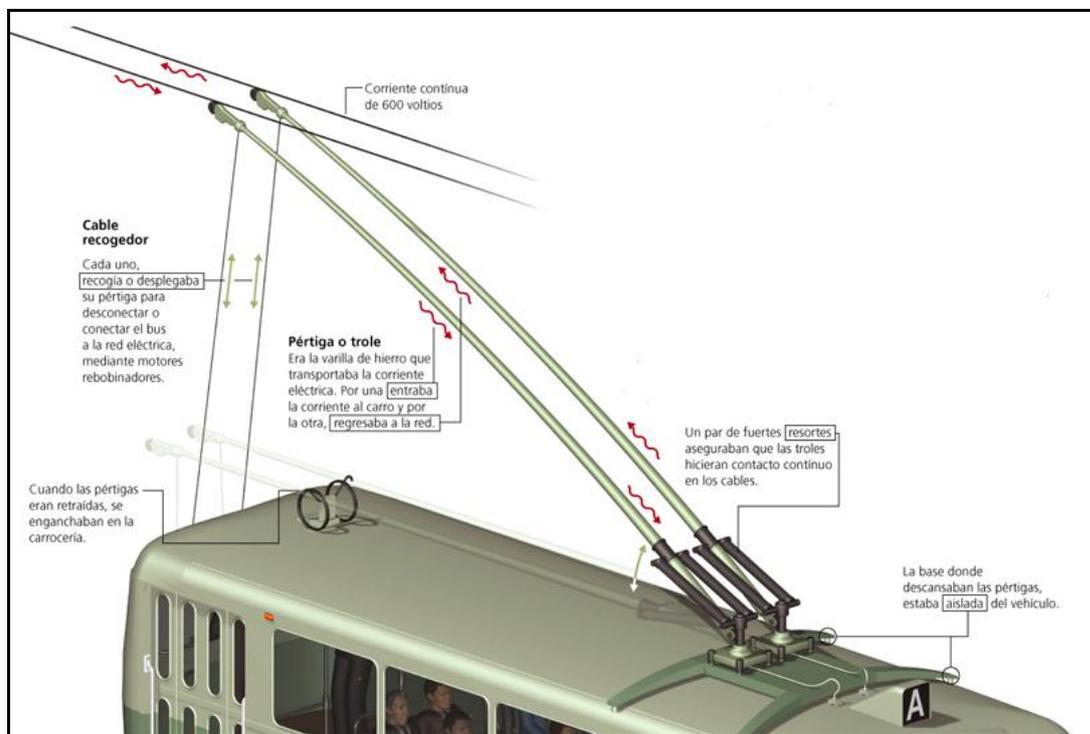


Figura 1.19 Partes de un Trolebús

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Tabla 1.1 Ficha técnica de las características eléctricas de un Trolebús

ELEMENTO	FLOTA 1 (54 unidades)	FLOTA2 (59 unidades)
Regulador de marcha:	EFB 142 Kiepe	EFB 154 kiepe Regulación velocidad máxima: 35 km/h
Convertidor de potencia:	DPU 305 Ondulador de pulsos tecnología GTO Enfriamiento: ventilación forzada	DPU 401 Ondulador de pulsos tecnología IGBT enfriamiento : ventilación forzada
Convertidor Estático:	SEPSA Potencia total 11KVA Salida trifásica 380 V (7.5 KVA) Salida continua 27.5 V (3.5 KVA)	Kiepe: BNU 409 Potencia total 11.5 KVA Salida trifásica 400 V / 230v (7.5 KVA) Salida continua 27.6 V (4 KVA)
Motor de tracción asíncrono trifásico:	4 polos ABB BAZU 4651/4 Potencia 230 kW Enfriamiento: ventilación forzada	4 polos Adtranz BAZU 4651/4 Potencia 230 kW Enfriamiento: ventilación forzada
Pantógrafo:	Trole tipo OSA 301 Tensión a hilo: 100 N Altura operación: 3200 mm a 5700 mm	Trole tipo OSA 305 Tensión a hilo: 100 N Altura operación: 3200 mm a 5700 mm Con dispositivo de reposición.
Chasis	O 405 G articulado	O 405 GT articulado
Suspensión:	Neumática	Neumática
Articulación:	Sistema antipandeo controlado electrónicamente	Sistema antipandeo controlado electrónicamente

Frenos:	<p>Freno de servicio: Neumático de doble circuito</p> <p>Freno parqueo: Freno de estacionamiento o de parqueo accionado por acumuladores de fuerza elástica</p> <p>Freno de parada: Accionado mediante su interruptor respectivo o con la apertura de puertas.</p>	<p>Freno de servicio: Neumático de doble circuito</p> <p>Freno parqueo: Freno de estacionamiento o de parqueo accionado por acumuladores de fuerza elástica</p> <p>Freno de parada: Accionado mediante su interruptor respectivo o con la apertura de puertas.</p>
Modelo:	O 447 h	O 447 hLA turbo intercooler
Potencia:	157 Kw (210 HP)	230 Kw (308 HP)
Tecnología:	Sistema de inyección mecánica, sistema de aceleración controlado electrónicamente	Sistema de inyección EDC
Ubicación:	Posterior - horizontal	Posterior – horizontal
Caja de cambios:		
Modelo	4HP500	5HP600
Tipo de caja:	automática con retardador hidráulico incorporado	automática con retardador hidráulico incorporado
Selector marchas:	3 posiciones: D o marcha adelante, el programa realiza 4 marchas hacia delante; N o neutro; R o reversa	3 posiciones: D o marcha adelante, el programa realiza 5 marchas hacia delante; N o neutro; R o reversa
Retardador:	Freno hidráulico que actúa directo sobre el eje motriz de la caja	Freno hidráulico que actúa directo sobre el eje motriz de la caja.
Carrocería:	Unida firmemente al chasis mediante soldadura, construida con perfiles estructurales de acero; Recubrimientos exteriores e interiores contruidos en lámina de aluminio.	Unida firmemente al chasis mediante soldadura, construida con perfiles estructurales de acero; Recubrimientos exteriores e interiores contruidos en lámina de aluminio.
Tanque de Combustible	Capacidad 40 gl.	Capacidad 50 gl.

1.12 El Metro

Se denomina metro (de ferrocarril metropolitano) o subterráneo (de ferrocarril subterráneo) a los sistemas ferroviarios de transporte masivo de pasajeros que operan en las grandes ciudades para unir diversas zonas de su término municipal y sus alrededores más próximos, con alta capacidad y frecuencia, y separados de otros sistemas de transporte. Las redes de metro se construyen frecuentemente soterradas (Madrid), Superficial (México) aunque a veces se disponen elevadas (Chicago) e incluso, en zonas normalmente alejadas del centro o de expansión urbana reciente, a nivel de calle pero con plataforma reservada (condición necesaria para ser considerado metro).

Estos sistemas operan sobre distintas líneas que componen una red, deteniéndose en estaciones no muy distanciadas entre sí y ubicadas a intervalos generalmente regulares.

El servicio es prestado por varias unidades de vagones eléctricos que circulan en una formación sobre rieles. Normalmente se integran con otros medios de transporte público y, a menudo, son operados por las mismas autoridades de transporte público.

El metro es un sistema de transporte más rápido y con mayor capacidad que el tranvía o el tren ligero, pero no es tan rápido, ni cubre distancias de largo alcance como el tren suburbano o de cercanías. Es indiscutible su capacidad para transportar grandes cantidades de personas en distancias cortas con rapidez, con un uso mínimo del suelo.

Pese a que la tendencia expansiva de las redes de metro de las grandes ciudades las ha llevado a conectar con otros núcleos de población periféricos del área metropolitana, el tipo de servicio que prestan sigue siendo perfectamente independiente y distinguible del que prestan otros sistemas de transporte ferroviarios.

El primer subterráneo o metro, fue el de Londres denominado “Metropolitan Railways” inaugurado en 1863 con 6 kilómetros de longitud. En años sucesivos fue extendiéndose, de forma que en 1884, formaba un anillo de aproximadamente 20 kilómetros.

A continuación se le añadieron líneas radiales, en parte a cielo abierto y en parte en túnel, para constituir el *Metropolitan and District Railway*. Las locomotoras eran de vapor.

Posteriormente se comenzó la excavación de túneles en forma de tubo y se electrificaron las líneas, de allí la denominación inglesa *Tube*.

El primer país Iberoamericano que construyó su sistema o su propia red de metro fue en Buenos Aires, Argentina.

1.12.1 Generalidades del Metro



Figura 1.20 Metro de la Ciudad de México, Línea 2 Taxqueña CAF/Bombardier NM-02

La composición consta de tres vehículos M-R-M y están preparados para la composición M-R-R-M y M-N-R-M, pudiendo circular dos composiciones acopladas con mando único mediante acoplamientos automáticos integrales. El modo de conducción es por velocidad prefijada o por esfuerzo.

En cada lateral de la composición se han dispuesto siete puertas, dos en cada coche motor y tres en el coche remolque intermedio de 1,2 m. de ancho libre.

Las puertas son del tipo encajable deslizante con dos hojas conjugadas de accionamiento eléctrico. La apertura es local y producida por el usuario y el cierre se efectúa desde la cabina de forma centralizada.

El espacio entre coche y andén es mínimo, lo que facilita el acceso a los vehículos de sillas de ruedas, cochecitos de niño, etc. Junto a las cabinas de conducción, se ha previsto un emplazamiento para ubicar sillas de ruedas de personas de movilidad reducida y dispone de un asidero con pulsador de advertencia al conductor de su presencia para vigilancia en la maniobra de puertas. Las unidades llevan instalado ATP y están preparadas para montar ATO.

1.12.2 Características generales del Metro

Dimensiones

Long, total de la

Composición.....45.000 mm.

Ancho de caja.....2.550 mm.

Altura total..4.000 mm.

Ancho de vía.....1, 000 mm.

Distancia entre pivotes.....9.500 mm.

Pesos

Tara.....97.000 kg.

Peso con carga normal.....129.550 kg.

Peso con carga máxima.....138.100 kg.

Potencia

Potencia continua.....1.312 kW

Potencia unihoraria.....1.360 kW

Esfuerzo en el arranque.....157 kN

Prestaciones

Velocidad máxima..... 80 km/h

Velocidad comercial en tramo

Exterior.....37,2 km/h

Velocidad comercial en túnel

(Línea 3).....28 km/h

Velocidad comercial en túnel

(Línea 5).....34 km/h

Aceleración media (6 personas/m²) de 0 a
 40 km/h.....1,1 m/s²
 Aceleración residual a
 80 km/h.....0,47 m/s²
 Deceleración en frenado máximo
 (8 personas/m²)..... 1,2 m/s',
 Deceleración en frenado de urgencia
 (8 personas/m²).....2 m/s²
Jer-k.....0,8 m/s

Capacidades

El número de plazas ha sido estudiado para conseguir la máxima optimización del espacio y, gracias al pasillo de ínter circulación entre coches, los viajeros pueden acomodarse a lo largo de los 45 m de la unidad.

Numero de plazas sentadas:

Coche motor32
 Coche remolque.....28
 Total de la composición.....92

Número de plazas de pie:

(6 personas/m²)
 Coche motor104
 Coche remolque.....134
 Total de la composición...342
 Total plazas (sentadas+de pie).....434

EQUIPOS ELECTRICOS

Equipo eléctrico de potencia

Alimentación eléctrica Mono corriente a 1.500 VCD, por pantógrafo de accionamiento eléctrico y disyuntor extrarrápido (Uno por motriz).

Sistema de tracción

Cada motriz dispone de un equipo de tracción mediante onduladores de tensión por GTO controlado por microprocesadores (Sistema AGATE), que le permite asegurar la tracción y el frenado eléctrico.

Equipo de tracción

Cada bogie motor dispone de dos motores de tracción asíncronos trifásicos, unidos entre sí mediante tornillos, formando un conjunto rígido, que se suspende por cuatro puntos al bastidor del bogie mediante elementos elásticos. Cada motor está unido a su correspondiente reductor mediante acoplamientos elásticos homocinéticos.

Transmisión eléctrica

Cada coche motor dispone de cuatro motores de tracción, asíncronos trifásicos, autoventilados, totalmente suspendidos y alimentados en paralelo por un ondulator de tensión directa por GTO.

Las características de estos motores en régimen continuo son las siguientes en régimen:

Potencia de cada motor.....164 kW.

Tensión simple.....563 V.

Intensidad.....120 A.

Velocidad de rotación.....1.761 r.p.m.

Par transmitido.....890 Nm.

Características máximas:

Par.....1.200 Nm.

Velocidad de rotación.....3.670 r.p.m.

Intensidad.....200 A.

Aislamiento:.....clase 200.

Equipo para servicios auxiliares

Cada motriz dispone de un convertidor estático de 1.500 V c.c. / 380 V c.a. 3 fases, 50 Hz /110 V c.c, de 120 kVA. El coche remolque dispone de:

Dos convertidores estáticos auxiliares de 110 V c.c. /380 V c.c. / 24 V c.c. de 6 kVA, que aseguran, desde la batería, la ventilación de emergencia en caso de fallo de los convertidores principales que alimentan los grupos de aire acondicionado y la alimentación de ciertos equipos a 24 VCD.

Una batería de níquel cadmio de 110 V de 175 Ah de capacidad, para la alimentación de los circuitos de seguridad; alumbrado de emergencia y de señalización.

Otros equipos eléctricos

La unidad cuenta, además, con:

- Central de detección de averías y ayuda al mantenimiento que informa al conductor ocurren durante el servicio, así como su actuación ante ellas registrando ciertos parámetros en caso de averías.

Indicadores de destino e información al viajero, acústicos y visuales.

- Equipo tren - tierra.
- Equipo de megafonía.
- Equipo ATP.

PRODUCCION DE AIRE

Se realiza mediante dos compresores de dos etapas de 1.500 l/min, a una presión nominal de 10 bar con secador de aire, instalados en el coche remolque. La Unidad tiene un sistema de aire acondicionado compuesto por:

- Una unidad acondicionadora para cada vehículo.
- Una unidad acondicionadora en cada cabina de conducción. La potencia es de 30.000 kcal /4.500 kcal, respectivamente, en condiciones exteriores de 36 °C 63 % de HR. Además, dispone de un sistema de ventilación de emergencia.

SISTEMAS DE FRENO

La Unidad posee los siguientes sistemas de freno:

- Freno eléctrico de recuperación/reostático.
- Freno neumático.
- Freno de estacionamiento accionado por muelle acumulador con aflojamiento neumático.
- Freno de urgencia electromagnético.
- El freno de servicio es combinado, eléctrico y neumático, y recupera energía

CAJA

Si la catenaria lo admite. En caso contrario, lo disipa en las resistencias instaladas sobre el techo de la Unidad. Esta tiene un sistema de ajuste automático del esfuerzo de tracción y frenado en función de la carga.

En su construcción se ha empleado acero inoxidable en perfiles, en chapas de revestimiento laterales y techo. El bastidor, compuesto de vigas en cajón, está construido en acero al cobre. Caja y bastidor (unidos mediante soldadura) forman la estructura autoportante, que se ajusta y cumple las normas UIC y las específicas del cliente. En el diseño se han utilizado sistemas de cálculo *de elementos finitos* "ANSYS" asistidos por ordenador. El testero del lado cabina de los coches motores está construido en fibra de vidrio y resina de poliéster. Las estructuras están protegidas por un revestimiento a base de resina epoxy y pintura de poliuretano.

BOGIES

Los bogies han sido desarrollados íntegramente por GEC Alsthom Transporte y cada unidad M-R-M consta de:

- Dos bogies bimotores por motriz.
- Dos bogies remolques en cada coche intermedio.

El bastidor del bogie está construido en forma de H y constituido por dos largueros unidos mediante dos traviesas tubulares, todo en acero laminado soldado y normalizado y protegido por pintura de resinas alcídicas. Todos los bogies están equipados con ruedas elásticas tipo V de 860 mm de diámetro (ruedas nuevas).

El enlace caja-bogie se realiza a través de la traviesa de carga, mediante corona giratoria a bolas.

Elementos de frenado

- Frenado mecánico por disco calado en los ejes (Uno por cada eje, en bogies motores y remolques).
- Freno de estacionamiento: Por muelle acumulador neumático incorporado en los cilindros del freno de disco (uno por bogie).

Todas las guarniciones están homologadas por la UIC.

- Freno electromagnético de emergencia; mediante patines alimentados por corriente de batería.

Equipo neumático

Comprende la instalación neumática para el control del freno y la suspensión neumática. Todos los conductos son de acero inoxidable y los flexibles, en caucho resistente al envejecimiento.

Sistema de suspensión

De dos etapas, primaria y secundaria compuestas:

- Suspensión primaria, mediante resortes del tipo campana, caucho - acero.
- Suspensión secundaria, compuesta en cada bogie por dos balonas neumáticas de altura y frecuencia constante, reguladas mediante una válvula de nivelación.

En el interior de cada balona existe un muelle de emergencia para el caso de una eventual descarga de aire por rotura. Esta etapa cuenta, además, con un sistema de detección de averías. El bogie lleva amortiguadores hidráulicos transversales. El equipo eléctrico de los bogies comprende la disposición de retornos de corriente, captadores de velocidad y antibloqueo así como el propio cableado.

Otros equipos

- Sistema de engrase de pestaña.
- Equipo de arenado.
- Antenas de los equipos ATP-ATO.
- 8 DYNA - N° 7 - Octubre 1995

Confort de marcha

El diseño de los bogies, con suspensiones neumáticas, y el sistema elástico de rodadura, confieren a los vehículos una gran comodidad de marcha, con un nivel sonoro muy reducido y ausencia total de vibraciones.

DISPOSICION INTERIOR

La distribución interior ha sido objeto de minuciosos estudios ergonómicos y de circulación de personas, previendo que el acceso y el desalojo de los trenes se produzcan con la máxima rapidez y sin perturbar a las personas que prosiguen su viaje. El revestimiento interior lo componen módulos de fibra de vidrio y poliéster. Los asientos se han dispuesto longitudinalmente y están compuestos de una armadura metálica fijada a los laterales y libre de apoyos en el suelo; los asientos y respaldos son de tejido acolchado con material antivandálico y fácilmente desmontables para su limpieza y mantenimiento.

- El suelo con piso de revestimiento anti- deslizante asegura una alta resistencia a la abrasión.

- El techo incorpora todos los elementos de iluminación compuesto de tubos fluorescentes empotrados.

Cabina de conducción

La conducción se realiza por un solo agente y todos los mandos de las funciones necesarias así como los instrumentos de control, están dispuestos en el pupitre al alcance del conductor en posición sentada. Además, dispone de:

- Dos puertas de acceso por cabina, una desde el andén y otra desde la zona de pasajeros.
- Retrovisores y parasol con accionamiento eléctrico.
- Unidad acondicionadora independiente.

COMUNICACIONES

- Entre conductor y viajeros, entre cabinas de conducción, y entre conductor y puesto de control.

Estas unidades han sido proyectadas y construidas teniendo en cuenta la calidad en la elección de los materiales empleados. Así cuenta con mejoras importantes, como aire acondicionado, megafonía interior, paneles luminosos de información al viajero (interiores y exteriores) y componentes electrónicos refrigerados con fluidos inofensivos para la capa de ozono.

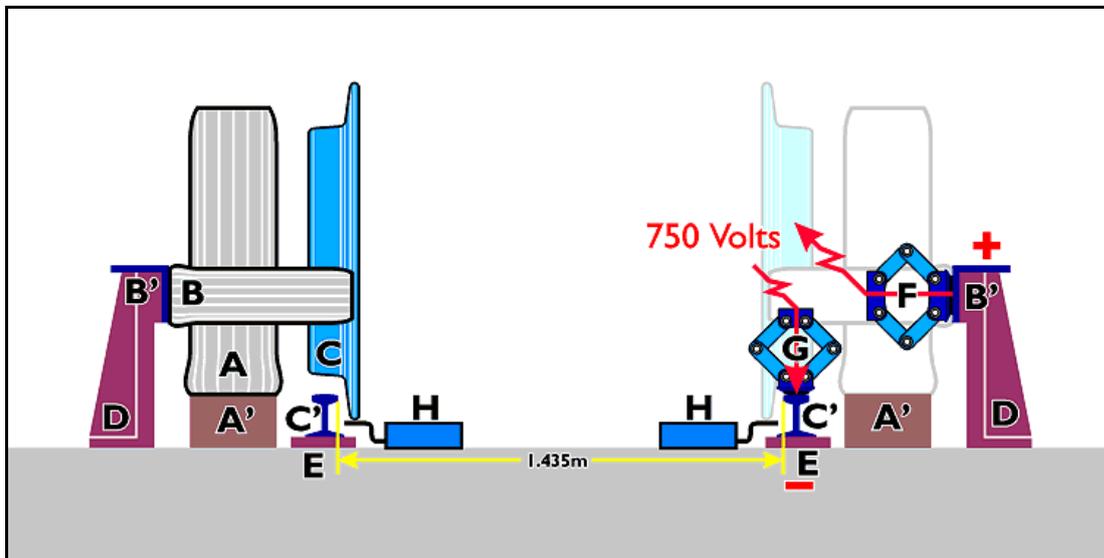


Figura 1.21 Diagrama general de alimentación de vía y rodamiento del metro.

1.12.3 Sistemas de Control

Las redes de metro tienen una gran frecuencia que obliga a instalar complejos sistemas de control, con los que se busca entre otros objetivos:

- Garantizar la seguridad de las líneas
- Organizar la circulación

Los sistemas de protección y control más frecuentes son:

- Protección puntual: el tren controla diversos aspectos (como no superar una determinada velocidad o que las señales siguientes no se encuentren en rojo) al pasar por una baliza.

Sistema FAP

Protección continua: el tren se encuentra en comunicación permanente con los sistemas situados en la vía, que le informan continuamente de las condiciones de la vía por delante del tren.

Sistema ATP

Conducción automática: el tren es capaz de mantener la marcha por sí mismo, y de acelerar y frenar cuando es necesario para mantener el itinerario, bajo la vigilancia de un conductor. Normalmente el sistema se utiliza simultáneamente a un sistema de protección.

Sistema ATO

Circulación sin conductor: en la actualidad muchas líneas son capaces de circular en servicio normal sin conductor.

Se pueden utilizar varios sistemas al mismo tiempo, por ejemplo, los metros que circulan con un sistema ATO de conducción automática suelen estar protegidos por un sistema ATP.

1.13 Tren Ligero

El tren que incluye segmentos parcial o totalmente segregado del tránsito vehicular, con carriles reservados, vías apartadas y en algunos casos por túneles en el centro de la ciudad construidos para las normas de tránsito rápido.

El sistema de transporte ferroviario de pasajeros del tren ligero es de capacidad media a escala regional y metropolitana, por lo general de menor capacidad que el transporte por tren y metro. El tren ligero permite la conexión entre zonas peatonales en núcleos urbanos y zonas rurales, creando además nuevos potenciales de desarrollo urbano.

El término Tren ligero, traducción no literal del inglés “Light rail”, o por sus siglas LRT, (procedente de Light rail transit), fue concebido por la US Urban Mass Transportation Administration (UMTA) - (actualmente FTA- Federal Transit Administration) en EE.UU. para describir las transformaciones que se estaban llevando a cabo en los Estados Unidos y Europa en materia tranviaria.

Algunas de sus ventajas:

- Los sistemas de trenes ligeros son generalmente más económicos en construir que el de trenes pesados, dado que la infraestructura es relativamente menos robusta, y por lo general no se requieren los túneles usados en la mayoría de los sistemas del metro. Además, la capacidad de recorrer curvas cerradas y pendientes escarpadas puede reducir el trabajo de construcción.
- Comparado con los autobuses, los sistemas de trenes ligeros tienen una capacidad más alta, contaminan menos, son silenciosos, cómodos, y en muchos casos más rápidos.
- Comparados con el metro, ahorran muchísima energía, puesto que no necesitan de iluminación de estaciones (andenes y pasillos), salvo por la noche.
- Muchos proyectos de trenes ligeros modernos usan viejas redes de ferrocarril abandonadas por donde antes circulaban trenes a vapor. Un ejemplo es el moderno Tren de la costa de Buenos Aires, Argentina o el FFCC Alicante-Denia en el tramo de Mercado a El Campello en España.
- Generalmente son más silenciosos que los ferrocarriles o los metros, y la mitigación del ruido es más fácil de diseñar.
- Armonizan con el entorno urbano si están bien diseñados.

Algunas de sus desventajas:

- Como todos los tipos de transportes de riel, los trenes ligeros tienden a ser más seguros cuando se desplazan de manera totalmente separada del tráfico rodado y el peatonal. Sin embargo, la segregación del sistema no es siempre viable económica o físicamente.
- Los defensores del monorraíl señalan, para mostrar las desventajas de los trenes ligeros y promover el monorraíl, que los trenes ligeros son más pesados en relación a la carga útil transportada que los trenes pesados o los monorraíles, debido a que deben ser diseñados para soportar colisiones con automóviles.

1.14 Tren Suburbano

Se denomina tren de cercanías, tren regional, tren urbano o tren suburbano al sistema de transporte de pasajeros de corta distancia que presta servicios entre el centro de una ciudad hacia las afueras de esta y sus suburbios u otras ciudades cercanas con un gran número de personas que viajan a diario. Los trenes operan de acuerdo a un horario, a velocidades que van desde 50 a 200 km/h.

El desarrollo de estos servicios de trenes esta creciendo hoy en día, junto con el aumento de la conciencia pública de la congestión, la dependencia de los combustibles fósiles y otras cuestiones ambientales, así como el aumento de los costos de la propiedad en el centro de las ciudades, constituyéndose en una alternativa a otros medios de transportes urbanos.

Estos trenes operan según un horario en lugar de intervalos fijos. Sirven a zonas con menor densidad de población, y a menudo comparten las vías del ferrocarril con los servicios interurbanos de trenes o con los de carga. Algunos servicios sólo funcionan durante las horas punta o pico. Los vagones de los mismos pueden ser individuales o de dos niveles, y tienen el objetivo de proporcionar asientos para todos aunque la cantidad de pasajeros no siempre garantiza esto. Sus promedios velocidad superior son considerables, pero las estaciones generalmente se encuentran a considerable distancia entre sí, por lo que sus usuarios muchas veces deben recurrir a otro sistema de transporte para llegar a las mismas.

En comparación con los trenes interurbanos, los trenes de cercanías tienen menos espacio, menos comodidades y muchas veces carecen de portaequipaje. Sus tarifas se fijan de acuerdo a las distancias a recorrer y solo prestan servicio en el área metropolitana de una ciudad.

Diferencias con otros sistemas de transporte

Este sistema de transporte se construye según las normas de un ferrocarril y se diferencia del metro y del tren ligero por las siguientes características:

- Poseen mayor número de vagones y estos son más grandes.
- Tienen una menor frecuencia en sus servicios.
- Operan según horarios fijos y no a intervalos fijos de tiempo.
- Sirven a zonas de la ciudad con menor densidad de población y suburbanas.
- Comparten su ruta con otros trenes de pasajeros y de carga.
- Poseen tarifas escalonadas de acuerdo a la distancia a recorrer.
- Más rápidos que los automóviles, particularmente en horas de embotellamientos.

Su capacidad para coexistir con el transporte de mercancías o servicios interurbanos en la misma vía férrea puede reducir drásticamente los costos de construcción del sistema. Sin embargo, con frecuencia se construyen pasos a desnivel en el mismo para evitar retrasos.

En algunos casos, se han creado sistemas híbridos entre un tren y un metro funcionando en túneles bajo la ciudad, en trincheras o en vías elevadas del suelo.

1.15 Cronología General

Es importante realizar esta cronología, para tenerla como referencia histórica del estudio realizado. Como además dar una especie de resumen general para comprender mejor el desarrollo de mi trabajo.

Hacia 1550- En las minas de carbon en Alemania, en vagones guiados un puerto fluvial.

1803.- El Británico Richard Trevithick construyó la primera locomotora de vapor. Se llamo “New Castle”, era lenta y pesada y solo se utilizo para transportar carga muy pesada.

1825.- Edward Pease, promotor de la empresa, le otorga a Stephenson el puesto de ingeniero jefe y fue así como el 27 de septiembre de 1825, la locomotora emprendía el viaje transportando ocho toneladas de peso a una velocidad de 25 kilómetros por hora. En esta época recuperaba San Juan de Ulua, último reducto español, 4 años después de la consumación de la Independencia.

1829.- George Stephenson y su hijo Robert alcanzan los 47km/h en su locomotora de vapor llamada “The Rocket”, cerca de Liverpool.

1830.- La línea Liverpool – Manchester inaugura el primer servicio de pasajeros. La línea, prueba la viabilidad del transporte por ferrocarril, dando comienzo en el Reino Unido a una masiva inversión de capital para la construcción de líneas férreas, siendo imitado poco después por el resto del mundo.

1832.-Primer tranvía en Nueva York, Estados Unidos.(Tracción animal)

1835.- Ingenieros empiezan a experimentar con electricidad, en lugar de vapor, para mover las locomotoras. El 5 de mayo de este mismo año, se abre en Bélgica la primera línea continental, entre Bruselas y Malinas.

1837 .- Primer ferrocarril español en la línea Güines–La Habana

1855.- El Ferrocarril de Panamá se convierte en la primera línea Transcontinental.

1858.-Se inauguran las primeras líneas de Tranvías por tracción animal en: México, La Habana y Santiago, adema de Rio de Janerio, Buenos Aires y Callao. México se convirtió en el primer país de Latinoamérica con su primera línea de tranvías (Catedral – Plaza México-Tacubaya).

1869.- En Promontory Utah, con la famosa ceremonia del “Golden Spike”, inauguran su primera línea Transcontinental en los Estados Unidos de Norteamérica.

1865 .- La empresa Pullman introduce el coche-cama en Estados Unidos.

1873.- Bajo el mandato de Sebastian Lerdo de Tejada, México inaugura su primera línea férrea, que comunicó a la capital de la Republica con el puerto de Veracruz.

1879.-La compañía alemana Siemens & Halske presentó la primera locomotora eléctrica funcional. Puso en servicio el primer tranvía eléctrico en Berlín.

1881 .- La primera línea electrificada del mundo se inaugura en Alemania.

En 1881 se inició el servicio público de electricidad en la ciudad de México, cuando la Compañía Knight instaló 40 lámparas eléctricas incandescentes, lo que desplazó hacia 1890 el alumbrado público a base de aceite de nabo, que estuvo en servicio justamente un siglo.

1890 .- La electricidad se introduce en el metro de Londres, permitiendo la construcción de grandes líneas subterráneas. En este mismo año el 12 de Marzo se inauguró el primer tranvía eléctrico que usó cable aéreo, fue una línea internacional entre la Ciudad de Tamaulipas, México y Nuevo Laredo, Texas, E.U.A. Fue el primer tranvía y ferrocarril eléctrico en todo Latinoamérica.

1891 .-Comienza la construcción del Transiberiano, finalizándose en 1904 con un recorrido de 9.313 km. México contaba con una red de 175km de vías, tanto para ferrocarril como para los tranvías de mulitas, había 55 locomotoras de vapor, 600 carros de pasajeros y 80 de carga y 300 tranvías de mulitas arrastrados por 3000 mulas y caballos.

1892.- El Ingeniero Rudolf Diesel patentó por primera vez la maquina diesel.

1896.- El 15 de Enero de este año, el Gobierno autorizó la electrificación del sistema de tranvías.

1897 .- Primer tranvía eléctrico en España: Tranvía de San Sebastián

1898.-En México se iniciaron las obras de cambio de vías y construcción de las redes eléctricas de corriente directa para dar servicio a la primera línea que corriera desde la Plaza de Armas, hasta Tacubaya. También se construyeron los Talleres y las plantas generadoras de Indianilla.

1903.- Primer récord mundial de velocidad con automotriz eléctrica Siemens. 210 Km/h (Alemania).

1905.- Túnel del Simplon en Suiza, con 19,49 Km, el más largo del mundo.

1912.-Se construyó para los ferrocarriles del estado de Prusia, la primera locomotora diesel del mundo, de gran potencia. Hasta ese momento inicia el constante desarrollo de la tracción diesel.

1913.-En Suecia entra en servicio el primer ferrocarril explotado con locomotoras diesel.

Años 1920 - Las empresas ferroviarias españolas entran en pérdidas, lo que conllevará en un primer momento subvenciones públicas y posteriormente la creación de RENFE. Primera línea electrificada en España, estaciones de Nacimiento y Almería en 1907, electrificada con corriente alterna trifásica a 6000V. Entre los años 1923 a 1926, se electrificó parte de este ferrocarril entre Esperanza y Orizaba México y posteriormente, se extendió a Paso del Macho, hasta los primeros años de la década de los 70's en que se retiraron las instalaciones y se pusieron fuera de servicio las locomotoras eléctricas, sustituyéndolas por diesel-eléctricas.

1927.-El problema de la tracción diesel, se solucionaría por medio de la transmisión Eléctrica al motor diesel propuesta por el profesor soviético Lomonosoff.

1934.- Primera locomotora diesel-eléctrica en Norteamérica, en la ciudad de Chicago.

1935.-El 21 de Septiembre, la oficina de patentes del Reich le otorga al Ingeniero Hermann Kemper la protección de un patente de un ferrocarril aereo con coches sin ruedas que se desplaza suspendido sobre carriles de hierro por efecto de campos magnéticos.

1938 .- Récord mundial de una locomotora a vapor en Inglaterra (LNER A-4 Mallard), alcanzando una velocidad de 203 Km/h.

1939.-General Motors crea una nueva locomotora diesel capaz de remolcar pesados trenes de mercancías, obteniendo un gran éxito.

1941.-24 de enero: Fundación de la Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (RENFE).

1960.-Diversos países introducen la alta velocidad para poder competir con el transporte aéreo y por carretera, que al quitarles cuotas de mercado hace que la mayoría de las líneas sean deficitarias y tengan que ser nacionalizadas.

1964.-En Japón entra en funcionamiento el Shinkansen o Tren bala entre Tokio y Osaka. La velocidad media es de 160 Km/h.

1969.- El Ministerio Federal de Transito lanza un proyecto de investigación y desarrollo de un tren de alta velocidad y potencia. El estudio para la creación de un tren de alta velocidad y potencia. El estudio para la creación de un tren de alta velocidad y potencia (Estudio HSB por sus siglas en alemán) de 1972 marca el comienzo del desarrollo del Tren Magnético de Alta Velocidad.

1975.- Desarrollo puesto en marcha (MAGLEV) y ensayo con primer piloto del primer equipo de conducción magnética con estator largo con la plataforma experimental HMB1 de Thyssen Henschel en Kassel.

1978.-Último récord mundial de velocidad con locomotora diesel-eléctrica. Talgo III: 230 Km/h, España. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes plantea la construcción del primer ferrocarril eléctrico mexicano de vía doble alimentado por catenaria Ciudad de México-Querétaro con la empresa General Electric.

1979.-Francia inaugura su tren de alta velocidad TGV con velocidad media de 213km/h. En este mismo año, presentación del primer tren magnético de alta velocidad para el transporte de pasajeros en la Feria Internacional de Transporte de Hamburgo.

1983.-La Secretaría de Comunicaciones y Transportes decide suspender el proyecto Ciudad de México-Querétaro debido a cambios en el trazo de las rutas y las políticas de operación.

1985.- Alemania desarrolla su tren de alta velocidad el ICE.

1987.-Récord mundial de tracción diesel en el Reino Unido (HST-125 de British Railways), alcanzando una velocidad de 238 km/h. En este mismo año, se dispone de un tramo de prueba de 31,5Km para el prototipo Transrapid Emsland de servicio continuo.

1988.- Thyssen Henschel desarrolla el Transrapid 07, que alcanza los 500Km/h.

1990.-Récord mundial de tracción eléctrica: la rama TGV-A 325 de TGV francés alcanza 515,3 Km/h.

1992.-Entra en funcionamiento en España la línea de alta velocidad entre Madrid y Sevilla.

1994.- El 14 de febrero de 1994 fueron inaugurados los viajes regulares entre las estaciones Buenavista (Ciudad de México)-Querétaro (Querétaro).

1996.-Ernesto Zedillo Ponce de León, Presidente de México de 1994 a 2000, desincorpora del estado a la empresa paraestatal Ferrocarriles Nacionales de México y se dan por finalizadas las operaciones de transporte de pasajeros en todo el país. En años posteriores a la privatización se crearon tres rutas de transporte de pasajeros para fines turísticos: Ferrocarril Chihuahua-Pacífico (chepe), Tequila Express, y el ExpresoMaya.

1997.-Primer servicio comercial del tren de alta velocidad Euromed, de Renfe, a 200 Km/h.

1999.- Se proyecta poner en funcionamiento en el tramo de prueba Emsland, la nueva generación Transrapid 08. En este mismo año, el MAGLEV japonés ideado por científicos americanos James Powell y Gordon Danby, logra el 14 de Abril un prototipo de MAGLEV de 5 vagones imponiendo un record mundial de velocidad de 345mph (555Km/h).

2001.- El 23 de Enero se firma el contrato para poner en marcha por primera vez el Transrapid en Shangai. Transrapid Shangai es un proyecto conjunto entre ThyssenKrupp, Siemens y la compañía Transrapid Internacional.

2002.-31 de diciembre de 2002: viaje inaugural del tren maglev Transrapid en su primera línea comercial en el mundo entre Shanghai Long Yang Road y el aeropuerto de Pudong. A bordo viajó el primer ministro chino Zhu Rongji, el Canciller alemán Gerhard Schröder y otras autoridades políticas y empresariales de ambos países.

2003.-En Abril comienza a funcionar el primer tren Transrapid con 5 secciones a una velocidad de 430Km/h. En este mismo año el MAGLEV Japonés pone el mayor record registrado hasta el día de hoy en velocidad de trenes con un logro de 581Km/h.

Tras una serie de discusiones y acuerdos entre el gobierno federal y los gobiernos locales del Distrito Federal y el Estado de México, se decide construir el primer sistema de ferrocarriles suburbanos basándose, en gran parte, en el proyecto de trenes radiales propuesto en 1998. El 11 de junio de 2003, en la antigua estación de trenes de Buenavista, Vicente Fox Quesada, Presidente de México de 2000 a 2006, asistió a la firma del convenio de colaboración suscrito entre Pedro Cerisola y Weber, Secretario de Comunicaciones y Transportes de 2000 a 2006; Andrés Manuel López Obrador, Jefe de Gobierno del Distrito Federal de 2000 a 2005 y Arturo Montiel Rojas, Gobernador del Estado de México de 1999 a 2005, para la construcción del proyecto Ferrocarril Suburbano de la Zona Metropolitana del Valle de México.

2004.-Comienza en Shangai el funcionamiento comercial del tren Transrapid. Se inicia el trámite de aprobación para el primer tramo comercial alemán desde la estación central de Munich hasta el aeropuerto, distante a unos 40Km.

2005.-El 26 de Noviembre Ferromex anuncia la compra de 1.448km de FERROTUR, convirtiéndose en el principal operador del país.

El arquitecto Pedro Cerisola y Weber, Secretario de Comunicaciones y Transportes, anunció el pasado 16 de noviembre en la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, que antes de que concluya el presente año, el Gobierno Federal prevé publicar la licitación para la construcción del tren de alta velocidad México-Guadalajara. De acuerdo a los resultados obtenidos por la empresa francesa Systra, la cual tuvo a su cargo la realización de los estudios para establecer las bases para la licitación del Tren Bala, el costo de este megaproyecto será de aproximadamente 12 mil millones de dólares, cuya convocatoria para su licitación será de carácter internacional. El trazo previsto para el tren de alta velocidad, también denominado “tren bala”, comprende una distancia de 600 kilómetros entre México-Querétaro-Irapuato-León-Guadalajara. El costo de los estudios de la empresa Systra, que incluyen su asesoría para la licitación, fue de dos millones de dólares.

2006.- 2 de septiembre: Récord mundial de locomotoras eléctricas en Alemania, en la NBS (Neu Bau Strecke) Nuremberg–Ingolstadt de 357 km/h con la ES-64U 1216-050 (Taurus).

15 de Agosto El proyecto del Tren Bala, con un recorrido previsto de México a Guadalajara, se detuvo porque no se justificó el costo-beneficio, reconoció el titular de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Pedro Cerisola y Weber. Explicó que luego de un análisis, la Secretaría de Hacienda determinó que el Gobierno habría tenido que erogar ocho millones de dólares por cada kilómetro, lo que significaría una inversión por casi cuatro mil 800 millones de dólares, lo cual no se justificaba y el proyecto se canceló.

2007.- 3 de abril: Récord mundial de tracción eléctrica en Francia con una rama modificada de TGV-POS (Paris Ostfrankreich-Süddeutschland) de 574,8 km/h en la línea de alta velocidad LGV Est européenne.

2008.- 27 de marzo: Se reúnen el Ministro Federal de Transporte Wolfgang Tiefensee con el Presidente de Baviera Günter Beckstein para discutir el futuro del proyecto del Transrapid entre Múnich y su aeropuerto. La reunión concluyó con un acuerdo para cancelar el proyecto puesto que el proyectado costo de construcción de 1,85 billones de EUR se había incrementado a más de 3 billones.

Un comunicado del Ministerio Federal de Transportes explicó que después de un estudio de los trabajos de movimiento de tierra y excavación de túneles para la construcción de la línea de 37 km necesitaba la casi duplicación de los fondos para comenzar con los trabajos. Un acuerdo para reducir el alcance del proyecto para no sobrepasar los fondos disponibles no pudo ser alcanzado. Ni Baviera ni el Gobierno Federal estaban interesados en volcar mas fondos al proyecto, habiendo ya asignado EUR 490 millones y 925 millones respectivamente.

10 de diciembre: el Ministro de Economía de Niedersachsen Walter Hirche anunció, después de una reunión con autoridades federales y representantes de la industria, que las pruebas en el circuito de Emsland iban a cesar el 30 de junio de 2009. El costo del desmantelamiento de las instalaciones tiene un costo de 40 millones de Euros.

En México el primer tramo Buenavista-Lechería, de 22 kilómetros y 5 estaciones, fue inaugurado el 7 de mayo de 2008 por Felipe Calderón Hinojosa, Presidente de México, el gobernador del Estado de México, Enrique Peña Nieto y el secretario de Comunicaciones y Transportes, Luis Téllez.

2009.- 24 de mayo: el circuito de pruebas de Emsland se abre nuevamente para viajes de prueba, después de que la organización certificadora TÜV y expertos del estado de Baja Sajonia comprobaran que no hay riesgos de seguridad. Solo se permitieron 20 pasajeros por viaje.

2010.- Se cancela proyecto Tranvía Eléctrico Bicentenario en la Ciudad de México, por la compañía Alstom en el Centro Histórico.

CAPÍTULO II – TIPOS Y CLASIFICACIONES DE LOS TRENES DE ALTA VELOCIDAD

2.1 Generalidades del Tren de Alta Velocidad (TAV)

Hasta esta parte de mi tesis, he tratado de darle el mejor enfoque a los antecedentes principales que dan paso al tema más importante a desarrollar, que es el de los trenes de alta velocidad. Tengo la intención de que el capítulo anterior forme una base sólida en el conocimiento de los sistemas de transporte eléctrico más usados en la historia y su misma evolución que han tenido a lo largo de esta, desde su principio hasta la actualidad.

Al obtener la información hasta este punto del desarrollo del transporte eléctrico, comienzo la introducción principal que permitirá el diseño del proyecto deseado, y así como el nombre del capítulo lo indica, mi interés primordial en esta parte es la del analizar profundamente el diseño de los trenes de alta velocidad, como demostrar su funcionamiento, sus características principales para así formar un criterio amplio para su posible desarrollo de proyecto.

2.2 Trenes de Alta Velocidad

Se denomina tren de alta velocidad (TAV) al medio de transporte que circula por una vía diseñada para él (línea de alta velocidad) y que alcanza, de manera estándar, velocidades más altas que un tren convencional.

Actualmente se utilizan trenes con una velocidad superior a 250 km/h, y con velocidad promedio (o velocidad comercial) también elevada, que les permite competir con el transporte aéreo para distancias medias, del orden de los cientos de kilómetros.

En todos los casos se trata de vehículos y vías férreas desarrolladas en forma unitaria, dado que las velocidades alcanzadas requieren de técnicas específicas.

El tren de alta velocidad, es el vehículo de transporte más seguro del mundo y el que menos víctimas mortales produce, superando incluso al avión. En los últimos 20 años solo a habido tres accidentes con víctimas mortales, siendo el más grave, el accidente de Eschede (Alemania, ICE 1998).

Se necesitó la ingeniería japonesa para que los ferrocarriles no perdieran por completo el transporte de pasajeros. En 1964 los japoneses presentaron el primer tren de alta velocidad, que sería conocido como el tren bala, por la forma de su punta que lo hacía semejar a una bala al avanzar velozmente. Este diseño redondeado y liso le permitía moverse más rápida y silenciosamente que trenes menos aerodinámicos.

El nombre japonés del tren bala, Shinkansen, que quiere decir “nueva red principal”, se debe a que fue necesario construir una red totalmente nueva de vías para permitir que los trenes se movieran a tanta velocidad. Cuando los trenes toman las curvas a altas velocidades, la gravedad empuja a los pasajeros contra las sillas. Para evitar este incómodo efecto, se tendieron rieles largos de acero, soldados entre sí, en líneas tan rectas como fuera posible.

El éxito del tren bala entre los viajeros japoneses fue inmediato. Hoy en día estos trenes recorren Japón entero y conectan entre sí todas las ciudades del país.

Más de 300 trenes viajan diariamente, transportando más de 300 millones de pasajeros cada año.

En los años 70, inspirados por el éxito japonés, los franceses iniciaron la construcción de su propia ferrovía de alta velocidad. Tras una década de pruebas, el Train à Grande Vitesse (TGV), o literalmente “tren de gran velocidad”, hizo su primer viaje de pasajeros en 1981 a una velocidad máxima de 168 mph (270km/h).

Muy pronto los trenes ultrarrápidos se extendieron por todo el mundo, proporcionando una alternativa por todo el mundo, proporcionando una alternativa al contaminante transporte por auto o avión.

Alemania, por ejemplo, tiene el InterCity Express (ICE), creado en los años 80 y alcanza velocidades de hasta 174mph (280km/h). Países como España, Suiza y los Estados Unidos cuentan también con trenes de alta velocidad. Y aunque no todos los países tienen, como Japón, Alemania y Francia, vías férreas dedicadas exclusivamente a los trenes ultrarrápidos, muchos han adaptado la tecnología de alta velocidad para uso en ferrovías estándar.

2.2.1 Tecnología de alta velocidad

Para que este equipo de trenes se pudiera utilizar sin riesgos fue necesario diseñar y construir equipo especial, desde los motores que los impulsan hasta los frenos que los detienen.

El primer paso fue producir una máquina más poderosa. Inicialmente el Shinkansen se movía con combustible diesel, pero, a fin de proteger el medio ambiente y disminuir el uso de petróleo, casi todos los trenes ultrarrápidos modernos utilizan energía eléctrica.

A fin de obtener la cantidad de electricidad necesaria para impulsar los trenes a grandes velocidades, los ingenieros instalaron motores eléctricos en cada eje. El eje, o barra alrededor de la cual giran las ruedas, está unido firmemente a dos ruedas, formando así el juego de ruedas. Dos juegos de ruedas se montan en un bogie, que es un marco rígido que las conecta y rodea. En un tren Shinkansen japonés, dos bogies motorizados impulsan hacia delante cada vagón individual, mientras que en el TGV francés los vagones están conectados y son impulsados por bogies motorizados compartidos.

Los motores eléctricos de los bogies reciben el suministro eléctrico de las máquinas que se encuentran en cada extremo de la mayoría de los trenes ultrarrápidos. En lugar de una máquina diesel que activa a un generador, un pantógrafo se conecta a un cable aéreo, llamado catenaria, que transporta la corriente eléctrica. La electricidad de la catenaria es de alto voltaje, de modo que pueda recorrer las distancias entre estaciones generadoras sin que se pierda mucha energía en el trayecto. Un transformador situado en la locomotora disminuye el voltaje que viene de la catenaria hasta igualarlo al que necesitan los motores eléctricos de los bogies. El transformador completa, además, el circuito con el suministro de energía, enviando la electricidad restante de regreso a los rieles a través de la escobilla del eje.

El voltaje apropiado se envía entonces desde el transformador hasta los motores individuales de los bogies. Esta electricidad acciona el motor, que hace girar el eje, el cual a su vez da vueltas a las ruedas y hace que el tren se desplace por los rieles. Con este sistema se han alcanzado velocidades de más de 300mph (483km/h).

Para que los trenes eléctricos alcancen velocidades realmente altas sin descarrilarse ni causar incomodidad a los pasajeros, han de tenderse nuevos rieles de manera tan recta como sea posible. Para ello se utilizan rieles largos de acero soldados entre sí. El suelo mismo a menudo debe ser aplanado, y la tierra desplazada a un costado, a fin de mantener los rieles rectos; cuando esto no es posible, se hace necesario construir puentes, túneles o viaductos.

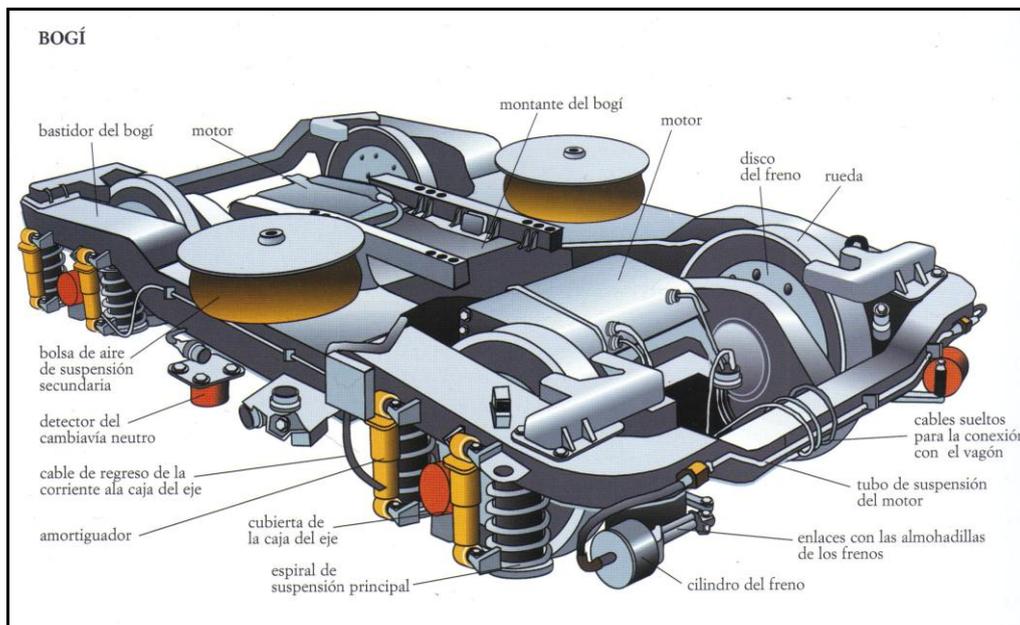


Figura 2.1 Partes de un bogie

Diagrama de un bogí moderno, que suministra electricidad a las ruedas y mueve el tren. El bogí, o bogie, o “camión” como se le llama en Estados Unidos, viene en muchas formas y tamaños, pero el modelo más moderno es el bogí con motor, para la locomotora diesel o eléctrica. Los bogíes con motor llevan los motores, los frenos y los sistemas de suspensión, todo dentro de un pequeño mecanismo. Están sujetos a tensiones enormes, especialmente en los trenes de alta velocidad.

2.2.2 La Tecnología de los rieles y los frenos

Los largos rieles se tienden sobre durmientes, o traviesas, de concreto y acero. A los rieles largos que descansan sobre traviesas de concreto se les llama vías férreas de losa, y permiten que el tren viaje a grandes velocidades sin que los pasajeros sientan movimiento alguno.

Un infortunado efecto de las traviesas de cemento es que reflejan todo el ruido de los trenes que pasan. El concreto es más duro y denso que la madera, y el sonido de los trenes rebota en él, produciendo un estruendo semejante al de las autopistas. El ruido puede ser muy alto, especialmente si se vive cerca de las vías del Shinkansen en Japón, donde los trenes pasan cada seis minutos.

Mientras los franceses utilizan bogíes compartidos a fin de unir los trenes de alta velocidad, en el resto del mundo se emplean acopladores para enganchar los vagones de los trenes. Dichos acopladores tienen forma de bisagra y se enlazan automáticamente entre sí cuando se empuja un vagón contra otro.

Fue además necesario instalar frenos especiales en los trenes de alta velocidad, de modo que pudieran detenerse sin dañar las ruedas ni los rieles. Los frenos de los trenes corrientes, en los que se presiona una almohadilla contra las ruedas, harían que los trenes de alta velocidad empezaran a patinar antes de detenerse. La mayoría de los trenes modernos de alta velocidad están equipados con frenos dinámicas.

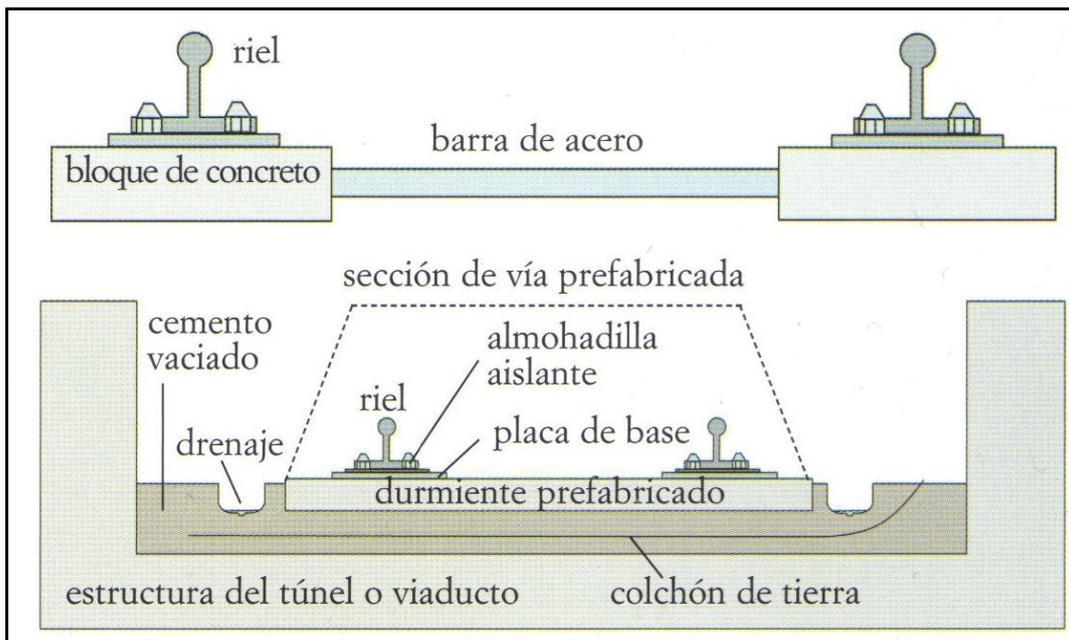


Figura 2.2 Estructura de la vía de alta velocidad

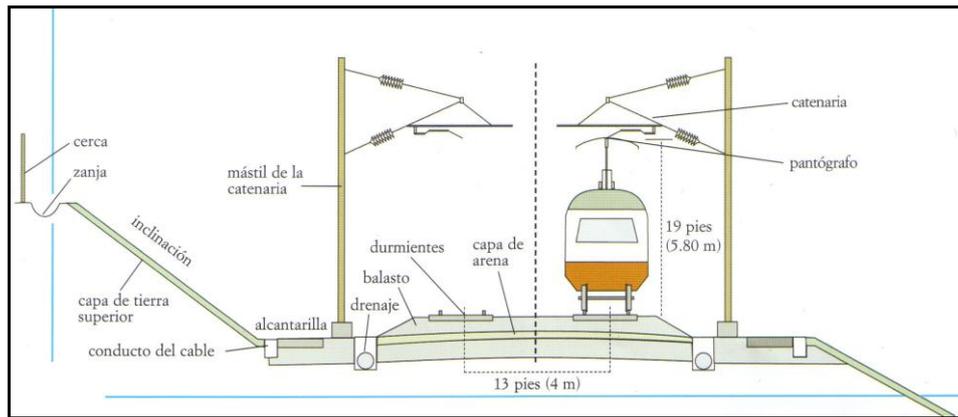


Figura 2.3 Diagrama de una ferrocarril de bloques gemelos en la que se usa el moderno sistema de losa.

Sistema moderno de vía férrea de losa. Las vías férreas de losa se usan en la mayoría de los trenes de alta velocidad debido a que aumentan la seguridad y disminuyen el mantenimiento. Las vías corrientes de balasto se dañan debido a la vibración del tren. Las vías férreas de losa eliminan este problema y proporcionan un viaje más suave.

Al aplicarse los frenos, los motores de tracción unidos a las ruedas dejan de moverse y el impulso del tren hacia delante comienza a moverlos en sentido contrario. Como le resulta difícil hacerlos girar, los mismos motores disminuyen la velocidad del tren.

Una vez que el tren disminuye de velocidad, se utilizan frenos neumáticos para detenerlo por completo. La energía producida por los motores de tracción durante el frenado puede convertirse en calor y ser irradiado por redes de distribución mediante ventiladores de enfriamiento. A esto se le llama frenado reostático.

También es posible enviar la energía de regreso al circuito y utilizarla cuando el tren vuelva a ponerse en movimiento. A esto se le llama frenado regenerativo. Los trenes de alta velocidad más modernos tienen la capacidad de usar el frenado reostático o el regenerativo, según la cantidad de electricidad que haya en ese momento en la catenaria. Como los trenes viajan a velocidades tan altas, al conductor le es imposible ver y responder al antiguo sistema de señalización lateral de la vía que le indicaba cuándo disminuir o aumentar la velocidad. La mayoría de los trenes de alta velocidad reciben, en cambio, señales eléctricas que una estación de control central les envía a través de las vías mismas. Esta computadora central, transmite las señales por los rieles; las computadoras del tren las recogen y las traducen en instrucciones para los conductores.

2.2.3 Creación del tren Shinkansen

En 1959 un panel del gobierno japonés, convencido por el testimonio experto de Shinji Sogo, entonces presidente de los Ferrocarriles Nacionales de Japón, decidió construir un sistema completamente nuevo de vía destinado a trenes de alta velocidad.

Las nuevas líneas Shinkansen se tenderían al lado de la antigua red ferroviaria de vía estrecha y en gran medida la reemplazarían. El primero de Octubre de 1964 se terminó de construir la vía Tokaido para el tren Shinkansen, entre Tokio y Osaka.

Los japoneses decidieron construir la nueva línea de alta velocidad entre estas dos ciudades a fin de disminuir la congestión que existía en las autopistas. La megalópolis de Tokaido se extiende desde Tokio hasta Osaka e incluye las ciudades de Yokohama, Kawasaki, Kyoto y Nagoya. En ella viven más de 50 millones de personas, esto es, 40% de la población total del Japón. Aunque el primer ferrocarril japonés había sido construido en esta misma región en 1872, todavía en 1960 la duración más corta del viaje entre Tokio y Osaka era de 6 horas y 30 minutos.

Los japoneses diseñaron la vía Shinkansen de Tokaido para acortar dicho viaje. Primero se tendió una nueva vía sin curvas pronunciadas, con rieles largos de acero que permitirían a los trenes alcanzaran velocidades de 150 mph (241 km/h). A fin de que los carriles quedaran rectos como fuera posible, la vía Shinkansen de Tokaido requirió la construcción de más de 40 millas (63km) de túneles, 11 millas (18km) de puentes y 28 millas (45km) de viaductos. Para reducir la vibración de los trenes, los rieles se tendieron sobre traviesas de cemento.

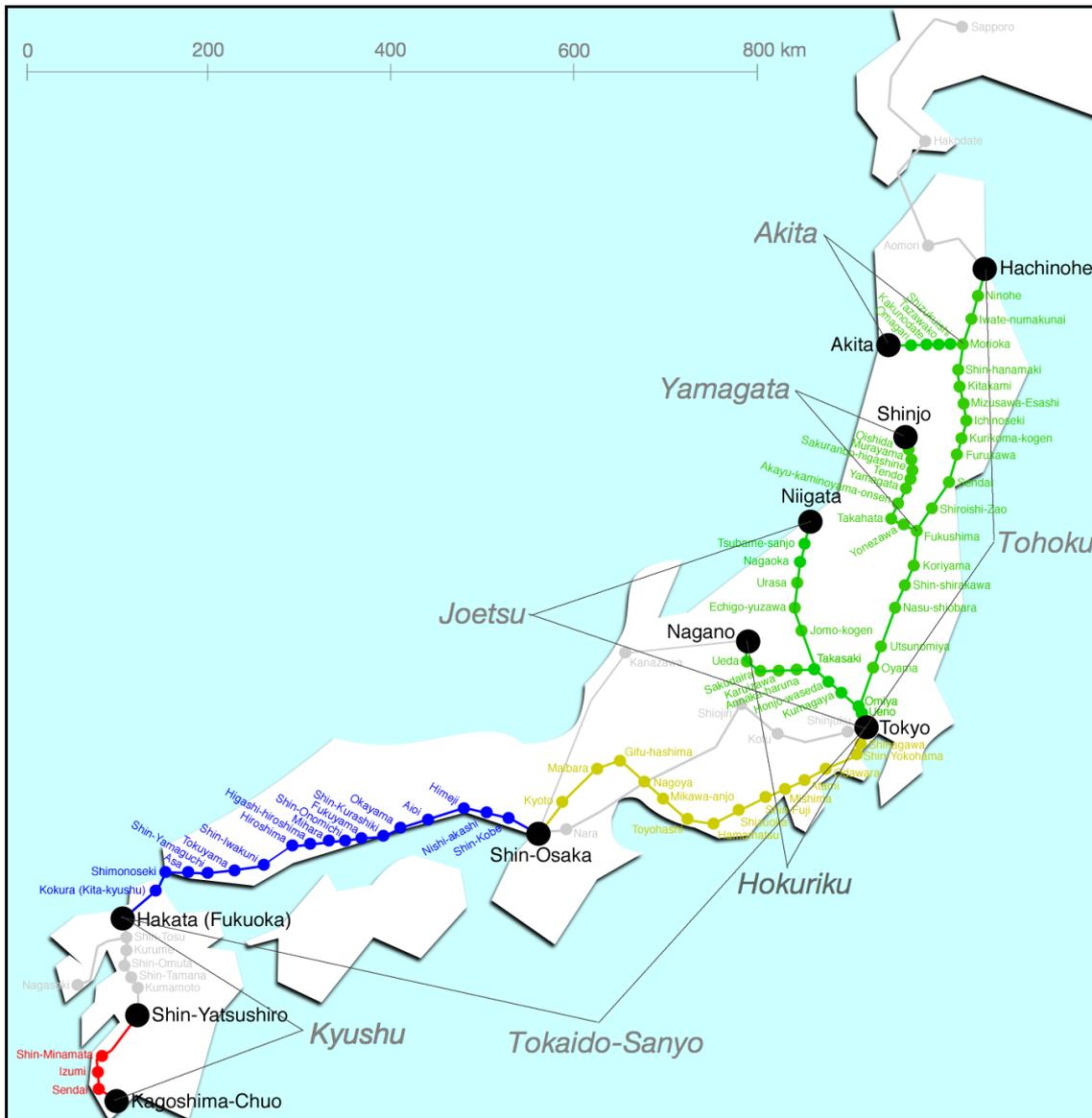


Figura 2.4 Actual mapa de las rutas del Shinkansen

Diagrama de la red Shinkansen.

Líneas en **verde**: Concesión de la JR East

Líneas en **amarillo**: Concesión de la JR Tōkai

Líneas en **azul**: Concesión de la JR West

Líneas en **rojo**: Concesión de la JR Kyūshū

Líneas en **gris**: En proyecto

2.2.4 Tecnología del tren Shinkansen

Mientras se construía la vía, los ingenieros ensayaban con diferentes prototipos de trenes, en vías de prueba. El 30 de Marzo de 1963 uno de los trenes prototipo alcanzó las 160mph (257km/h), estableciendo así una marca mundial de velocidad de trenes. El tren bala estaba listo para entrar en servicio.

Los primeros trenes Shinkansen tenían 12 vagones. A diferencia de los trenes de corrientes, que son tirados por una locomotora en un extremo, los Shinkansen tenían 4 ejes en cada vagón, cada uno equipado con un motor eléctrico. El tren en su totalidad producía 6,624 caballos de fuerza (HP). Originalmente una máquina diesel movía el generador que suministraba electricidad a los motores. Muy pronto, sin embargo, se tendieron catenarias a lo largo de las vías. Pantógrafos instalados en vagones alternos tocaban la catenaria para recibir el suministro eléctrico de los motores. Las locomotoras situadas en los extremos del tren sólo llevaban ahora los transformadores que adaptaban la electricidad de la catenaria al voltaje necesario para hacer funcionar los motores de cada eje. El tren sin pasajeros pesaba 672 toneladas.

Desde el inicio los trenes Shinkansen incluyeron un sistema de control automático que presentaba al conductor las señales de control de frenado. Dichas señales viajan por los rieles mismos y provienen del Centro General de Control, en Tokio.

Los controladores deciden cuándo, dónde y a qué velocidad ha de viajar cada tren en momento dado. Cada tren está equipado, además, con un sistema radiotelefónico de respaldo.

Todos los trenes Shinkansen tienen aire acondicionado y ventanas selladas, de modo que no puedan abrirse. Como los trenes se desplazan tan rápido se instaló un sistema especial de ventilación que garantiza que la presión en el interior del tren se mantenga uniforme durante el viaje. Esto es particularmente importante al pasar el tren por túneles, cuando el cambio de presión del aire puede hacer que los pasajeros sientan incomodidad en los oídos.

Los primeros trenes Shinkansen se hicieron populares de inmediato debido a que se disminuían el tiempo de viaje entre Osaka y Tokio de 6 a 3 horas. Inicialmente sólo 2 trenes, uno expreso y otro local que hacia las 16 paradas viajaban cada hora, pero la fuerte demanda hizo que la frecuencia de los viajes aumentara cada año. Inicialmente solo se construyeron y usaron 360 vagones Shinkansen, pero rápidamente se encargaron más, al aumentar su popularidad.

La única desventaja de estos trenes era el ruido que producía. Debido a sus grandes velocidades y a las traviesas especiales de cemento que reflectaban el sonido, los Shinkansen eran muy ruidosos. Para reducir el problema se construyeron muros antirruído a lo largo de las vías y se han diseñado catenarias más pesadas y pantógrafos aerodinámicos. Aun así el Shinkansen sigue siendo muy ruidoso. Se siguen llevando a cabo investigaciones para encontrar maneras de disminuir el problema.

Animados por el éxito del Shinkansen de Tokaido, los funcionarios ferroviarios japoneses planearon todas las líneas. En 1975 el Shinkansen de Sanyo conectó a Osaka y Hakata con el occidente. La velocidad máxima para esta vía se planificó en 160mph (257km/h), de modo que fue necesario reducir todavía más las curvas. Al inaugurarse la línea, los pasajeros podían recorrer las casi 700 millas (1.127Km/h) que hay entre Tokio y Hakata en menos de 7 horas.

En 1982 entró en servicio el Shinkansen de Tohoku, que viaja de las afueras de Tokio a Morioka, en el extremo norte del Japón. Esta línea tiene 116 túneles, y el 55 por ciento de ella está construida sobre viaductos, pues atraviesa una región muy montañosa y quebrada. La línea pasa, además, por regiones muy nevadas, por lo que los trenes que la recorren han sido diseñados para el frío y la nieve.

Dispositivos de aire caliente, aspersores automáticos de limpieza de nieve y chorros de agua caliente se instalaron a lo largo de la vía para mantenerla libre de nieve y hielo. Además se construyeron cobertizos sobre las vías expuestas para protegerlas de avalanchas.

2.2.5 Sistema de trenes de alta velocidad en Europa



Figura 2.5 Trenes de alta velocidad en Europa

- 320–350 km/h
- 300 km/h
- 250–280 km/h
- 200–230 km/h

A los efectos de esta tabla, el tren de alta velocidad se define como el transporte de viajeros por ferrocarril funcionando a una velocidad máxima de 200 km/h (124 mph) o superior. Países con servicios regulares de 300 km/h o más, se destacan en color azul.

Tabla 2.1 Características de los trenes de Alta Velocidad en el mundo

País	Longitud total de la red (km)	Trenes programados	Prueba de velocidad récord
Austria	—	230 km/h	275 km/h
Bélgica	326	300, 250 km/h	347 km/h
China	6003	431 km/h maglev 350, 300, 250, 200 km/h conventional	502 km/h maglev 394 km/h conventional
Finlandia	60	220 km/h	255 km/h
Francia	1700	320, 300, 280, 210 km/h	574.8 km/h
Alemania	1290	300, 280, 250, 230 km/h (conventional)	550 km/h maglev 406 km/h conventional
Italia	1320	300, 260, 200 km/h	368 km/h
Japón	2459	300, 275, 260 km/h (conventional)	581 km/h maglev 443 km/h conventional
Países Bajos	100	300, 250, 140/160 km/h	336.2 km/h
Noruega	60	210 km/h	260 km/h
Portugal	314	220 km/h	275 km/h
Rusia	649,7	210 km/h	260 km/h
Corea del Sur	240,4	300, 240 km/h	355 km/h
España	1272,3	350, 300, 250 km/h	403.7 km/h
Suecia	—	200 km/h	303 km/h
Suiza	79	250, 200 km/h	280 km/h

Continuación de Tabla 2.1 Características de los trenes de Alta Velocidad en el mundo

Isla de Taiwán	335,5	300, 240 km/h	315 km/h
Turquía	245	250 km/h	303 km/h
Reino Unido	1400	186 mph (300 km/h), 125 mph (200 km/h),	208 mph (335 km/h)
Estados Unidos	—	150 mph (240 km/h), 125 mph (200 km/h),	164 mph (264 km/h)

2.3 El Train á Grande Vitesse (TGV)

Inspirados por los japoneses, en 1960 la Sociedad Nacional Ferroviaria Francesa (SNCF, según sus siglas en francés) comenzó a desarrollar una red para trenes de alta velocidad. El nombre Train á Grande Vitesse, o Tren de Alta Velocidad (TGV, según sus siglas en francés), no se refiere solamente a los trenes creados por la SNCF sino también a la tecnología de las vías y señales que les permiten viajar por el país.

Si bien los ingenieros de la SNCF utilizaron una forma aerodinámica y durmientes de cemento semejantes a los de los japoneses, también aportaron varias innovaciones. Desde el principio buscaron crear un tren ultrarrápido que pudiera viajar tanto en las vías antiguas como en las nuevas de alta velocidad. Esta decisión de usar el mismo ancho de las vías corrientes para las de alta velocidad permite a los trenes ultrarrápidos viajar por las vías nuevas y utilizar las antiguas para entrar y salir de las ciudades grandes a menor velocidad.

El primer prototipo, el TGV 001, comenzó a ensayarse a comienzos de los años 70. Impulsado por una turbina de gas, estableció un record mundial de velocidad en 1972 al alcanzar las 198mph (319Km/h). Al igual que los Shinkansen, todos sus ejes eran movidos por motores eléctricos, pero en este caso el suministro de energía para los motores lo proporcionaban turbinas de gas situadas en la locomotora, en lugar de una catenaria o una máquina diesel. Para las vías se usaron los mismos rieles largos, soldados entre sí y tendidos sobre traviesas de concreto y acero.

Pronto se hizo evidente, sin embargo, que suministrar energía eléctrica al TGV mediante gas resultaría demasiado costoso; de modo que, al igual que se hizo en el Shinkansen, se crearon locomotoras eléctricas.

A principios de 1981 TGV eléctrico alcanzó una velocidad máxima de 236mph (380Km/h). Este tren recibía la energía de una catenaria aérea. Un transformador situado en la máquina adaptaba la electricidad de la catenaria al voltaje necesario para alimentar los motores eléctricos de cada bogí.

La mayor diferencia entre los trenes bala TGV y los Shinkansen consisten en que los vagones del TGV no está realmente unidos unos a otros sino que descansan en bogíes compartidos de 2 ejes. Esto hace al tren más liviano, permitiéndole mayores velocidades, y además hace que el sonido que escuchan los pasajeros sea menor que el de los trenes corrientes.

El proyecto TGV buscaba llevar servicio de tren de alta velocidad a toda Francia. Su inmenso éxito pronto le permitió atravesar las fronteras y ahora su red llega a Bélgica, Alemania, Italia, Países Bajos, Luxemburgo, Suiza y el Reino Unido.

Esta ampliación considerable ocurrió en menos de 20 años, luego de la inauguración de la primera línea de alta velocidad entre París y Lyon en 1981.

2.3.1 El TGV se extiende

Las primeras vías francesas de alta velocidad se construyeron entre París y Lyon, a una distancia de 241 millas (388Km/h). A lo largo de la vía se extendieron las catenarias que transportan los 25 KV de electricidad necesarios para mover el tren.

Al igual que en el sistema Shinkansen, un centro de control, esta vez situado en París, transmitía todas las señales al conductor podía ver en pantalla la velocidad que debía mantener, así como otras instrucciones especiales. Se instaló además un sistema especial de seguridad para garantizar que el conductor ejecute todas las señales. Si no se siguen las señales o si se presentan algún peligro, el sistema aplica los frenos de manera automática.

El 27 de Septiembre de 1981, el primer TGV de pasajeros, el TGV Sudest (TGV- SE) viajó de París a Lyon, en el sur de Francia. Al igual que el Shinkansen de Tokaido, su éxito fue inmediato.

Hoy viajan diariamente 60 trenes en cada dirección, transportando un promedio de 53 mil pasajeros al día. El TGV-SE original sólo tenía capacidad para 386 pasajeros, mientras que los nuevos vagones de 2 pisos que entraron en servicio en 1997 le permitieron hoy transportar 545 personas a velocidades de hasta 186mph (299Km/h).

Tras el éxito del TGV-SE, se construyó una nueva línea entre París y ciudades de la costa atlántica francesa: la ruta TGV Atlantique (TGV-A). Como la región que recorría era más plana, podían alcanzarse velocidades aún mayores, y se construyeron trenes especiales, azul y color plata. Un nuevo sistema de suspensión neumática absorbía las vibraciones producidas al viajar a velocidades de más de 190mph (306Km/h). Los trenes se sellaban mediante un sistema especial de ventilación semejante al Shinkansen japonés, para que no se produjeran cambios de presión en el momento de pasar por los túneles. Cada tren estaba compuesto por 2 locomotoras en los extremos y 10 vagones de pasajeros con capacidad para 485 personas.

2.3.1.2 Transmisión de Trípedo del TGV

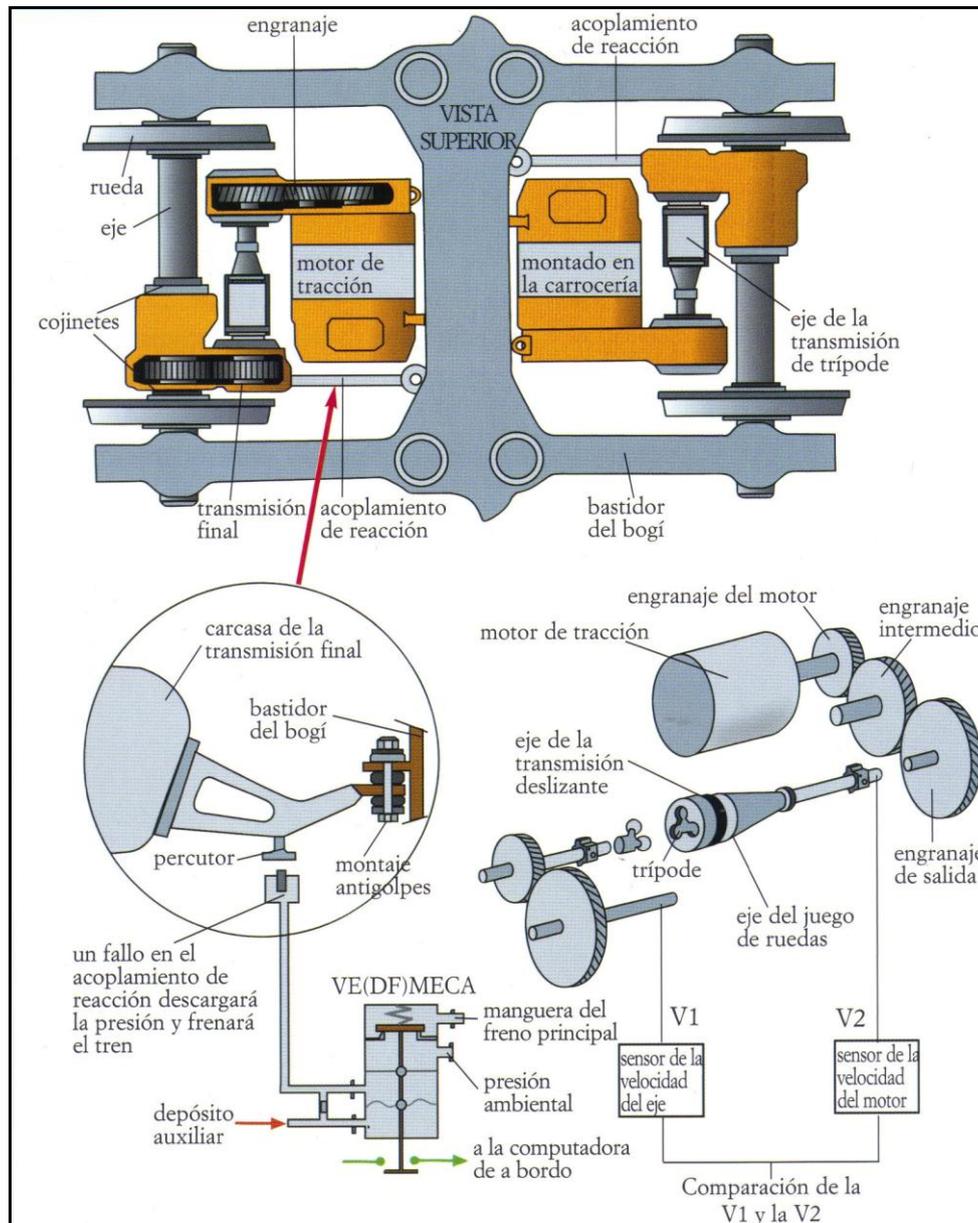


Figura 2.6 Vista superior de partes del bogie del TGV

La parte superior de este diagrama muestra la transmisión de trípedo de un TGV. La transmisión es el conjunto de piezas mediante el cual se transmite la fuerza al eje impulsor que se encargará de mover el tren. Aquí el eje propulsor del motor está conectado a la caja de engranajes del eje en la transmisión de trípedo mediante ejes deslizantes de acoplamiento universal, lo que permite un desacoplamiento total de la dinámica del motor y de las ruedas.

Desacoplamiento significa que la transmisión de fuerza entre 2 piezas queda interrumpida.

La transmisión final, que aparece en porción central del diagrama, es un juego de engranajes que va montado sobre el eje mismo y transfiere fuerza a las ruedas.

Un acoplamiento de reacción impide que el conjunto de esta transmisión final gire con el eje.

Cuenta con sensores que comparan continuamente la velocidad del motor con la del eje.

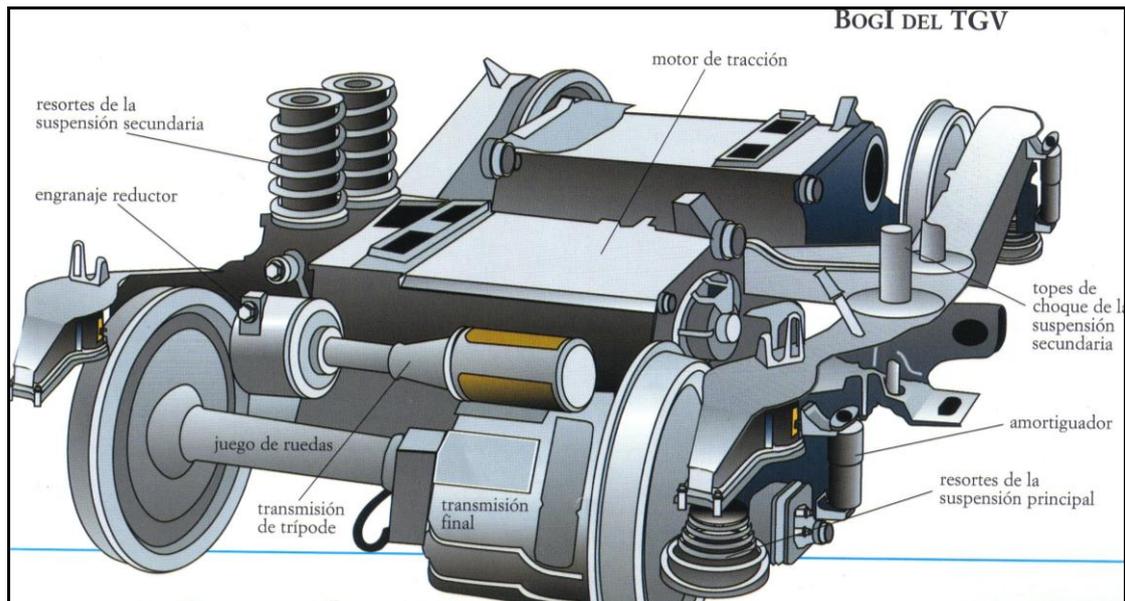


Figura 2.7 Partes del bogie del TGV

2.3.2 La Tecnología TGV

La locomotora de los TGV-A tiene un pantógrafo que va desde el techo hasta la catenaria y transporta 25KV de electricidad. El pantógrafo está conectado a un transformador de 7 toneladas, que convierte los 25KV en los 1.500 necesarios para activar los motores. A diferencia del Shinkansen japonés, los motores de los TGV están suspendidos de los vagones, en lugar de formar parte de los bogíes. Esto hace más livianos a los bogíes, permite que las ruedas se muevan a más velocidad sobre los rieles y den mayor estabilidad a los vagones.

Como todos los trenes modernos de alta velocidad, los TGV están equipados con frenos dinámicos y sensores que determinan si la energía que produce el frenado va a ser enviada otra vez a la catenaria o irradiada como calor.

El 18 de mayo de 1990 un tren TGV-A estableció una marca mundial de velocidad al alcanzar 321mph (517Km/h), que es aproximadamente la mitad de la velocidad de un avión. Si bien alcanzar tan altas velocidades es no sólo asombroso sino también útil, por la información que se obtiene al hacerlo, todavía no resulta práctico para el servicio corriente. No obstante, continúa el trabajo de creación de la tecnología para el TGV Nueva Generación (TGV-NG) que permitiría a los trenes de pasajeros moverse a velocidades de entre 218 y 249mph (351Km/h y 401Km/h).

Las líneas TGV se han extendido a Bélgica e Inglaterra, por el túnel conocido como “Chunnel”, que pasa debajo del Canal de la Mancha.

El tren belga rojo, Thalys, creado según el modelo TGV francés, cubre la ruta a Bélgica, y el tren Eurostar azul y amarillo conecta a Bruselas, Londres y París a velocidades de más de 190mph (306Km/h). La red vial TGV también se ha extendido para conectarse con vías de alta velocidad en España y Alemania. Y se planean todavía más líneas para el futuro.

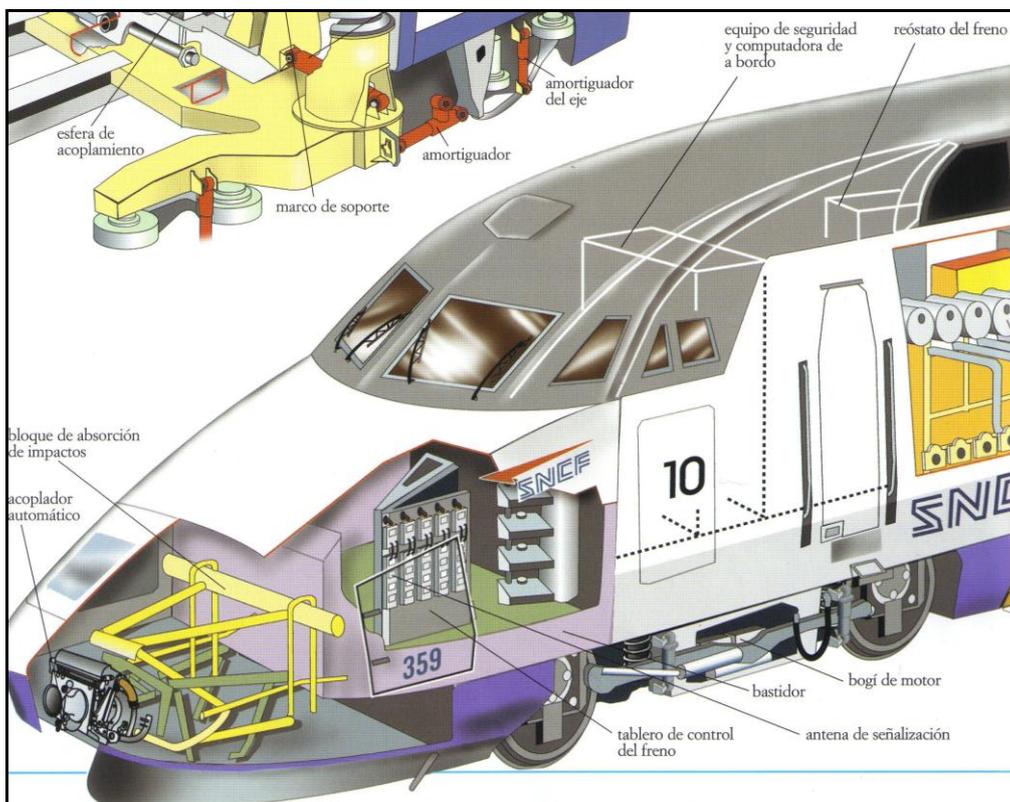


Figura 2.8 Corte en la cabina de un TGV

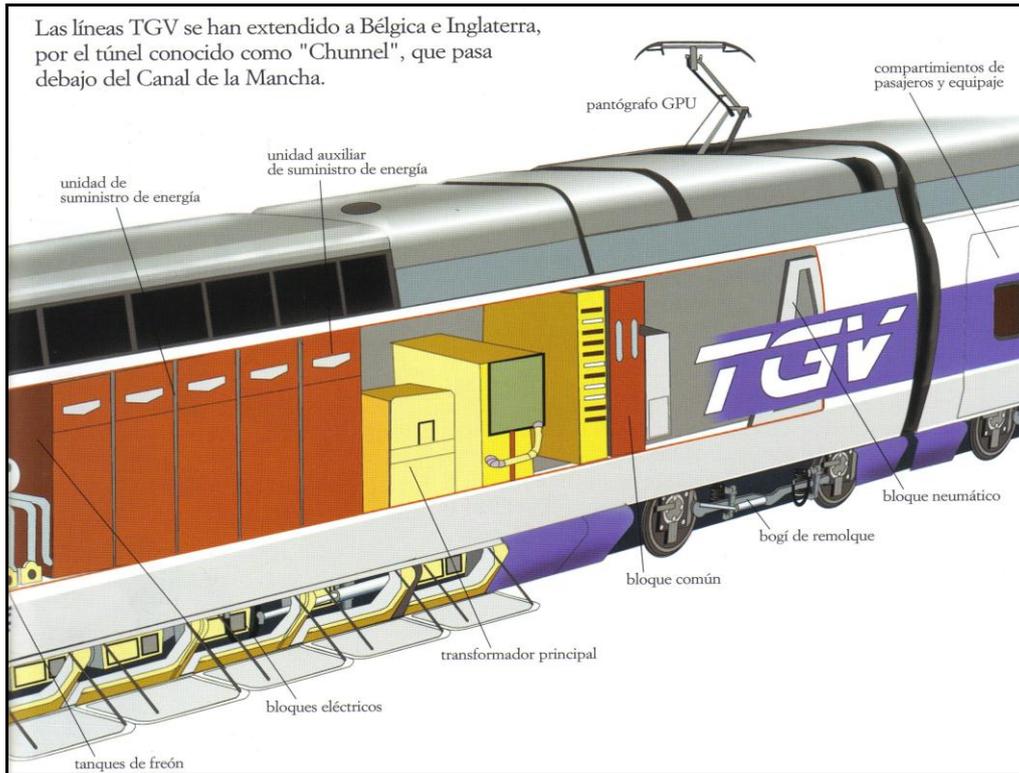


Figura 2.9 Dibujo detallado que muestra los componentes interiores de un tren TGV

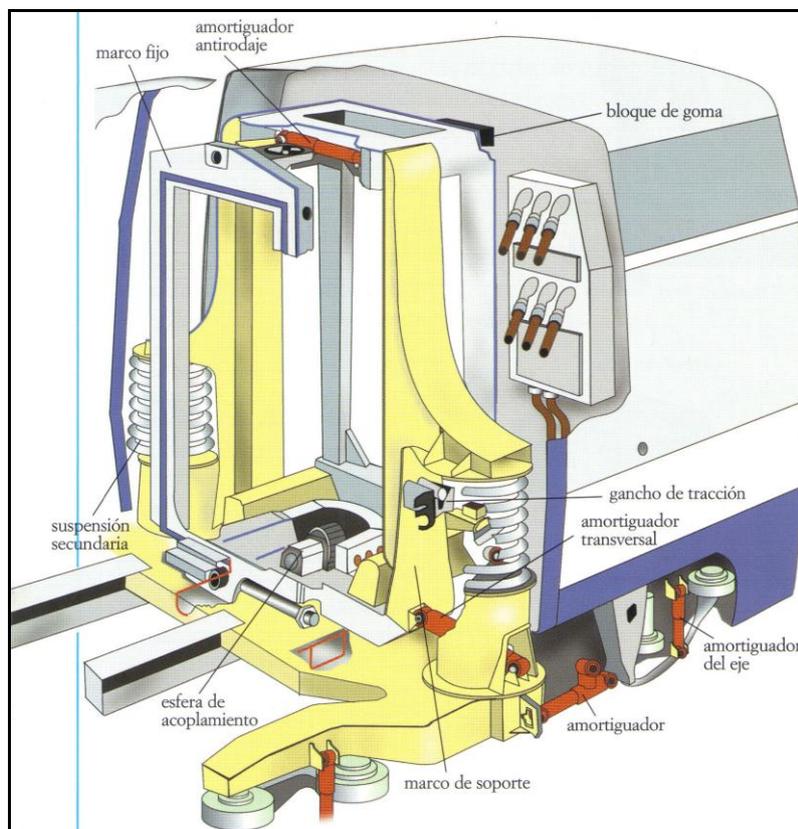


Figura 2.10 Corte de un tren TGV articulado

Tabla 2.2 Características de la línea de alta velocidad francesa TGV (Tren de Gran Velocidad, “Train a Grande Vitesse”)

Tipo de equipamiento	Velocidad máxima	Plazas sentadas	Longitud	Ancho	Peso(en vacío)	Potencia (a 25 kV)
TGV Sud-Est	270 <u>km/h</u> (168 <u>mph</u>) Rehabilitados a 300 km/h (186 mph)	345	200,2 <u>m</u> (657 <u>pies</u>)	2,81 m (9.2 ft)	385 <u>toneladas</u>	6.450 kW
TGV Atlantique	300 km/h (186 mph)	485	237,5 m (780 ft)	2,90 m (9.5 ft)	444 tm	8.800 kW
TGV Réseau	300 km/h (186 mph)	377	200 m (656 ft)	2,90 m (9.5 ft)	383 tm	8.800 kW
Eurostar Three Capitals	300 km/h (186 mph)	794	393,7 m (1,293 ft)	2,81 m (9.2 ft)	752 tm	12.240 kW
Eurostar North of London	300 km/h (186 mph)	596	318,9 m (1,033 ft)	2,81 m (9.2 ft)	665 tm	12.240 kW
TGV Duplex	320 km/h (199 mph)	512	200 m (656 ft)	2,90 m (9.5 ft)	380 ttm	8.800 kW
Thalys PBKA	300 km/h (186 mph)	377	200 m (656 ft)	2,90 m (9.5 ft)	385 tm	8.800 kW
TGV POS	320 km/h (199 mph)	361	200 m (656 ft)	2,90 m (9.5 ft)	383 tm	9.280 kW



Figura 2.11 Las líneas TGV (mostradas en azul y rojo) y sus conexiones con el resto de redes de alta velocidad europeas

2.4 El tren InterCity Express

En 1968, mientras los franceses plateaban su TGV, funcionarios de los Ferrocarriles de Alemania Occidental y algunas compañías privadas iniciaron un esfuerzo conjunto para investigar la viabilidad de los trenes de alta velocidad en ese país. Impresionados por la eficacia y seguridad del Shinkansen japonés, a los alemanes les atraía también la posibilidad de reducir la contaminación causada por los automóviles.

Hacia 1970 se habían tomado ya varias decisiones clave. Se tenderían nuevas vías de alta velocidad, pero éstas deberían servir tanto para trenes de carga como de pasajeros. Las nuevas líneas tendrían el mismo ancho de vía que las ya existentes, a fin de permitir que los trenes viajaran a las ciudades más pequeñas por las antiguas vías. Las nuevas líneas funcionarían con electricidad, y los trenes de alta velocidad alemanes seguirían el modelo japonés para el acoplamiento de los vagones y no el francés de bogíes compartidos. La idea básica era que los trenes tuvieran 2 veces la velocidad de un automóvil y la mitad de la de un avión, para atraer así a los pasajeros que acostumbraban hacer viajes ni demasiado cortos ni demasiado largos en avión o en auto. Los primeros planos contemplaban la modificación de las vías existentes y el tendido de nuevas vías entre Colonia y Francfort, Hanover y Wurzburg, Munich y Hamburgo. El costo proyectado fue de 12mil millones de marcos alemanes (casi 6 mil millones de dólares).

Al igual que en las vías japonesas y francesas, sobre traviesas de acero y concreto se tendieron rieles largos soldados entre sí. Se eliminaron las curvas tanto como fuera posible. A pesar de que los alemanes y los franceses empezaron a construir sus líneas al mismo tiempo, los alemanes trabajaban con mucha más lentitud debido a la geografía quebrada del país. Además, las vías en Alemania tenían que ser aptas también para trenes de carga. A diferencia de las líneas TGV francesas, por ejemplo, que son sólo de pasajeros, para las alemanas debieron construirse túneles en zonas montañosas, a fin de evitarle subidas demasiado pronunciadas a los más lentos y pesados trenes de carga.

Casi 20 años de investigaciones tomó la creación del tren InterCity Express (ICE). El gobierno de Alemania Occidental y compañías independientes, tales como Siemens y Krupp, respaldaron las investigaciones que llevaron a la invención de la forma ideal para la “nariz” del tren ICE, así como un sistema de diagnóstico a bordo que permite corregir con rapidez cualquier fallo de funcionamiento. En 1988 un tren ICE prototipo estableció una marca mundial de velocidad de 252mph (406Km/h), que fue quebrado posteriormente por el TGV francés.

2.4.1 La Tecnología del ICE

Una máquina ICE-1 estándar pesa 78 toneladas e incluye el transformador que suministra la corriente eléctrica a los motores, localizados en la máquina solamente. Las locomotoras, situadas en cada extremo del tren, producen 7.161 caballos de fuerza HP.

A diferencia de Japón y Francia, donde el sistema de señales se controla centralmente, en Alemania existen varios centros de control en diferentes ciudades, desde los cuales se envían señales a las locomotoras de todos los trenes ICE, permitiendo el frenado automático cuando resulte necesario. Debido a la ausencia de un control centralizado y a que diferentes tipos de trenes utilizan las vías en un momento determinado, a menudo los trenes ICE no pueden viajar a sus velocidades máximas.

El 2 de Junio de 1991 los primeros trenes ICE-1 empezaron a hacer el trayecto entre Munich y Hamburgo, con paradas en Stuttgart, Mannheim, Francfort, Fulda, Kassel y Hannover. Otras líneas se construyeron muy poco después, entre ellas las de la antigua Alemania Oriental. Estos trenes ICE han reducido drásticamente el tiempo de viaje entre ciudades.

Los trenes ICE-1 tienen dos máquinas y 12 vagones, transportando cómodamente a 636 pasajeros. Gracias a que los vagones están acoplados y no comparten bogíes como los TGV, pueden añadirse más vagones de ser necesario.

Al igual que los vagones de los trenes Shinkansen y TGV, los del ICE están sellados, a fin de prevenir cambios de presión del aire al pasar por los túneles.

En Junio del año 2000 los alemanes estrenaron su tren de alta velocidad más rápido y moderno, el ICE-3. Estos trenes, a los que se permite alcanzar velocidades de hasta 186mph (299Km/h), empezaron a prestar servicio entre Berlín y Hannover.

50 trenes ICE-3 de 8 vagones han sido encargados a un costo de 874 millones de dólares. En total hay ahora más de 216 trenes ICE-1, 2 y 3 en servicio.

A diferencia del ICE-1 y 2, el ICE-3 sigue la pauta francesa y japonesa de incluir motores en cada uno de los 2 ejes de cada vagón. Esto permite al tren alcanzar mayores velocidades y acelerar más rápidamente que los ICE anteriores, que son empujados por sus locomotoras.

La cantidad de energía necesaria para hacer funcionar el ICE-3 y el ruido que produce también han sido reducidos. El cambio más importante, sin embargo, es que el nuevo ICE-3 es capaz de funcionar con los 4 voltajes que se utilizan en las líneas de alta velocidad de los distintos países europeos. Por esta razón puede proporcionar servicio internacional.

El sistema de catenaria alemán, conduce 15KV de electricidad, está suspendido de mástiles de concreto, lo que reduce los costos de mantenimiento.

Aunque dicha energía es suficiente para que el tren viaje a 240mph (387Km/h), en la actualidad sólo se les permite viajar a 186mph (299Km/h) por razones de seguridad.



Figura 2.12 Cabina del conductor de un ICE-T (DB Class 411) (ICE basculante)

2.5 El tren AVE de la RENFE

Desde la aparición de la Alta Velocidad Española en 1992, la red ferroviaria de alta velocidad de España se ha visto incrementada notablemente con tres líneas en pleno funcionamiento y muchas otras en preparación o en proyecto. Con la consecuente modernización de las infraestructuras de transporte del país, este proyecto a largo plazo consigue revitalizar numerosas zonas tradicionalmente apartadas, como Andalucía. La inclusión de trenes de fabricación nacional y las constantes obras han supuesto un importante impulso en la economía española.

En junio de 1966, durante una serie de ensayos de la locomotora 2000-T de Talgo especial para remolcar el Talgo III, se alcanzan los 200 km/h en el trayecto entre Sevilla y Los Rosales: era la primera vez que en España se circulaba a esa velocidad, aunque tuvieron que pasar muchos años más para que la alta velocidad se consolidase, cosa que no ocurrió hasta la década de los 90.

Varios años después de este ensayo, en mayo de 1972, la locomotora 3005-T de Talgo-Krauss Maffei, bautizada como Virgen de la Bien Aparecida, alcanza los 222 km/h en la línea Madrid-Barcelona, entre las estaciones de Azuqueca de Henares (Guadalajara) y Meco (Madrid).

En 1976, se comenzó a investigar en España con un tren derivado del ETR-401 Pendolino italiano, enmarcado en España dentro de la serie 443 de Renfe, del que sólo se construyó una unidad que se preserva en Castejón (Navarra). Con este tren se llevó a cabo una serie de ensayos, siendo en uno de ellos, y ya en el año 1987, en el que se alcanzarían los 206 km/h entre los puntos kilométricos 220 y 221 de la línea de Madrid a A finales de la década de los años 80 se empezó a proyectar la construcción de una línea de alta velocidad, a inspiración de la realizada por SNCF en Francia (el TGV). Entre otros proyectos se realizó uno de un trayecto que uniese la meseta castellana con Andalucía sin pasar por Despeñaperros. Tras varios años de proyectos, se llegó a la conclusión de que una línea en ancho internacional sería acertada, ya que permitiría aprovechar trenes e instalaciones probadas en Europa, y se propuso la creación de la primera línea de alta velocidad (LAV) en España.

El proyecto de N.A.F.A. (Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía) se estaba estudiando como alternativa a la línea por Despeñaperros, dada la necesidad de revitalizar la estancada economía del sur del país. Tras varios años de obras, la primera línea se inaugura el 14 de abril de 1992, coincidiendo con la Expo 92 celebrada en Sevilla. En sus dos primeros años de funcionamiento, el AVE circulaba entre Madrid y la capital andaluza en 2 horas y 55 minutos, con paradas intermedias en Ciudad Real, Puertollano y Córdoba.

El 23 de abril de 1993 se alcanzó el récord de velocidad de los trenes AVE con 356,8 km/h, lo que permitió que en 1994 se iniciase la explotación comercial a 300 km/h en los trenes AVE de larga distancia, reduciéndose en 40 min la duración del trayecto entre Madrid y Sevilla.

Las diferencias de diseño que existen entre los trenes AVE de Renfe y los TGV Atlántico de la SNCF, dadas las diferentes condiciones de la explotación ferroviaria española, son las siguientes:

- Los trenes AVE tienen un diseño exterior e interior muy diferente del de los TGV-A. El coeficiente de penetración aerodinámica de éste es $C_x = 0.26$, no conociéndose la del modelo español.
- Composición del tren AVE de M - 8R - M, en vez de M-IOR - M (M = Coche Motor y R = Coche Remolque) de los trenes TGV-A, con grandes modificaciones en su distribución interior de asientos.
- Equipos eléctricos bitensión de 25 Kv a 50 Hz y 3 Kv de corriente continua en los trenes españoles, mientras que el TGV-A es bitensión a 25 Kv a 50 Hz y 1.5 Kv de corriente continua.
- Los equipos de aire acondicionado existentes en los trenes españoles poseen superiores características de enfriamiento que las de los TGV-A, debido a las mayores temperaturas ambiente medias de España.
- Igualmente, la ventilación forzada de los equipos de potencia españoles ha sido aumentada con respecto a los equipos de los TGV-A.

- La estanqueidad (aislamiento de la presión exterior de los coches con respecto a la presurización en el interior, que es la que soportan las personas en el interior) ha sido aumentada en los trenes españoles debido a la existencia de túneles, en las líneas españolas de alta velocidad, tanto en el Madrid-Sevilla como en las de futura construcción. Hay que señalar que en las líneas francesas de alta velocidad, o no existen túneles o son muy escasos.
- En el AVE existen equipos de video, visibles desde todas las plazas sentadas del tren, y equipos de audio con escucha individual en cada asiento.
- En el AVE, el freno de estacionamiento está reforzado para mantener frenado el tren, en pendientes de 30 milésimas por metro.
- Existencia de equipos denominados ASFA y LZB, propios de los sistemas de seguridad de trenes en España.
- Existencia del sistema de comunicaciones Tren - Tierra, adaptado a las condiciones españolas.

Pantógrafos adecuados a las características geométricas y eléctricas de la catenaria española (la del AVE es como la del tipo Re-250 de alta velocidad alemana de la DBAG).

Características técnicas de los trenes AVE de Renfe

Sus características básicas son las que se detallan seguidamente:

- Velocidad máxima normalizada: 300 Km/h.
- Ancho de vía internacional: 1.435 mm.
- Gálibo del tren: Internacional UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles).
- Masa máxima por eje: Muy similar a la del TGV-A.
- Tara del tren 393 Tm.
- Bitensión: 25 Kv-50 Hz/ 3 Kv de corriente continua.
- Potencia máxima del tren a 25 Kv: 8.800 Kw.
- Capacidad de mando múltiple: dos composiciones.
- Longitud de un tren: 200.144 mm.
- Composición del Tren M - 8R - M.
- Dos coches motores extremos.

- Ocho remolques intermedios articulados.
- Número de viajeros sentados por composición de tren: 329.

Se distribuyen en el tren, de forma siguiente:

- En el coche R1, 30 viajeros en Club y 8 en la Sala de Reuniones.
- En los coches R2 y R3, 78 viajeros en Preferente.
- En los coches R5, R6, R7 y R8, 213 viajeros en Turista.

La separación entre asientos es mayor que en los TGV-A, por lo que se ofrece un mayor confort al viajero. Las denominaciones Rx corresponden a los coches remolque, comenzando a numerarse por el coche motor más próximo a los coches de clase preferente. El coche R4 es la cafetería, en el cual no se consideran plazas sentadas a efectos de viaje.



Figura 2.13 Mapa de España con las líneas de ferrocarril de alta velocidad actualmente en servicio, en construcción, en proyecto o en estudio

2.5.1 Simulación del Curso RENFE, trenes de alta velocidad AVE, España

En esta parte de mi tesis, presento detalles e imágenes de uno de los cursos que pude tomar con respecto al desarrollo de los trenes de alta velocidad AVE, España. Donde pude obtener un mayor conocimiento sobre las dimensiones, como detalles y características del diseño del tren de alta velocidad español.

El curso tiene el nombre de Trenes de Alta Velocidad, es un tutorial gratuito en formato HTML, al que cualquiera puede inscribirse, directamente en la página de elmundoes.com.

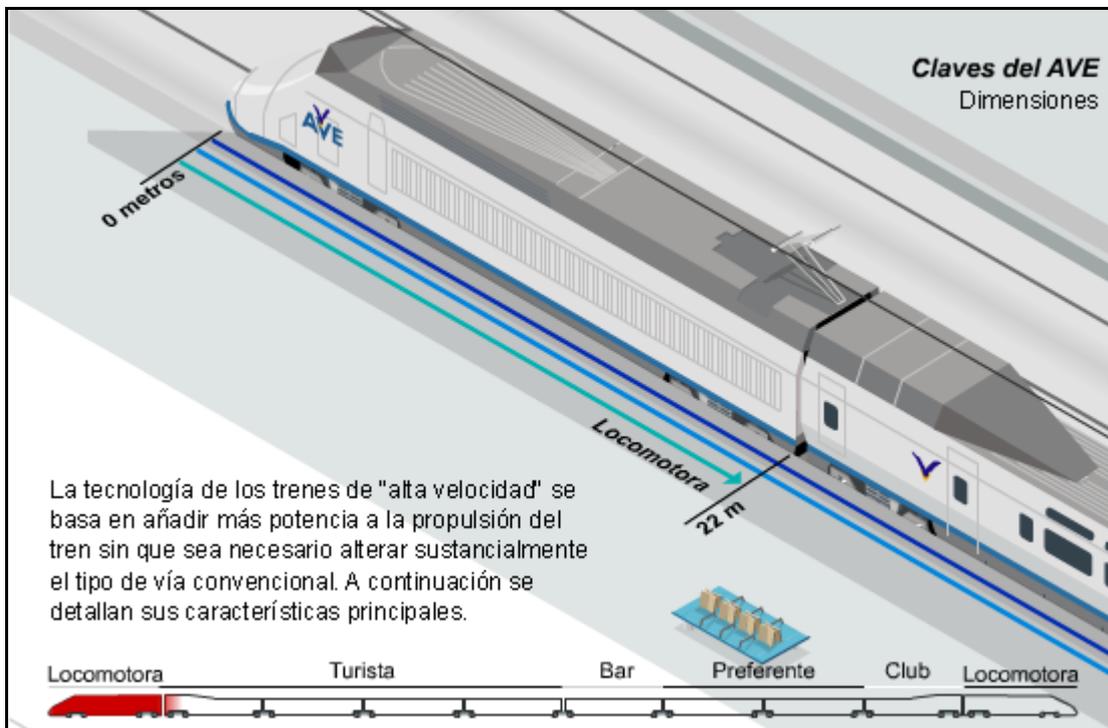


Figura 2.14 Longitud de locomotora AVE

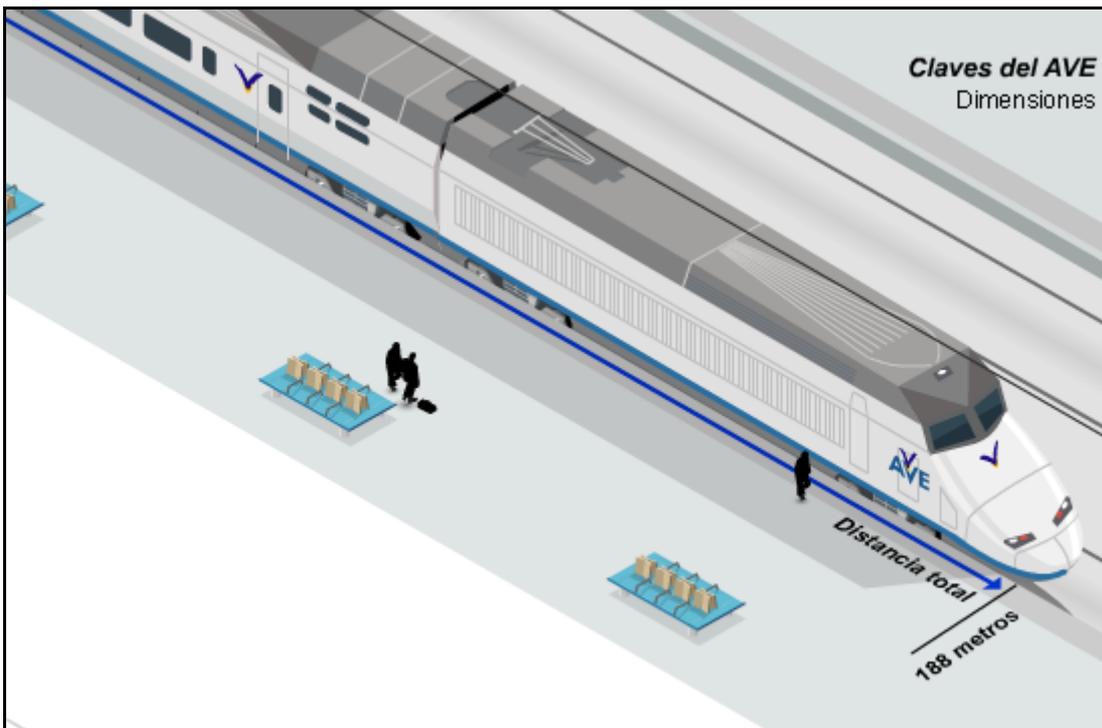
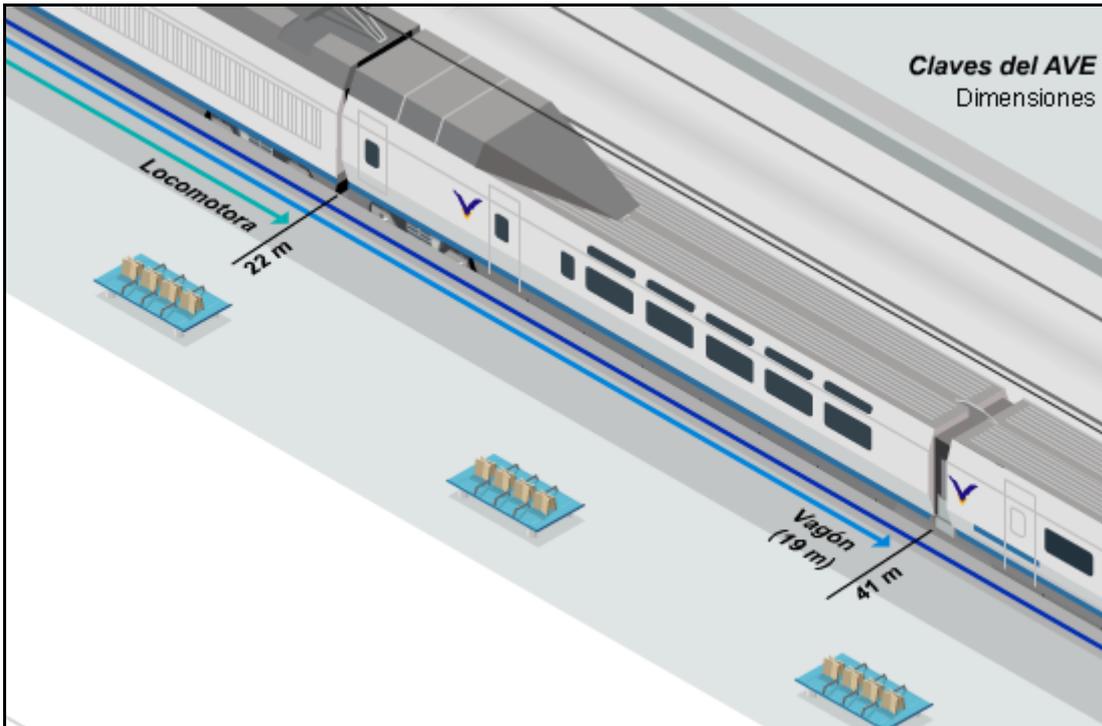


Figura 2.14.1 Longitud de un vagón y distancia total del tren AVE

Como se puede observar en las 3 imágenes anteriores tenemos las dimensiones del tren español, AVE.

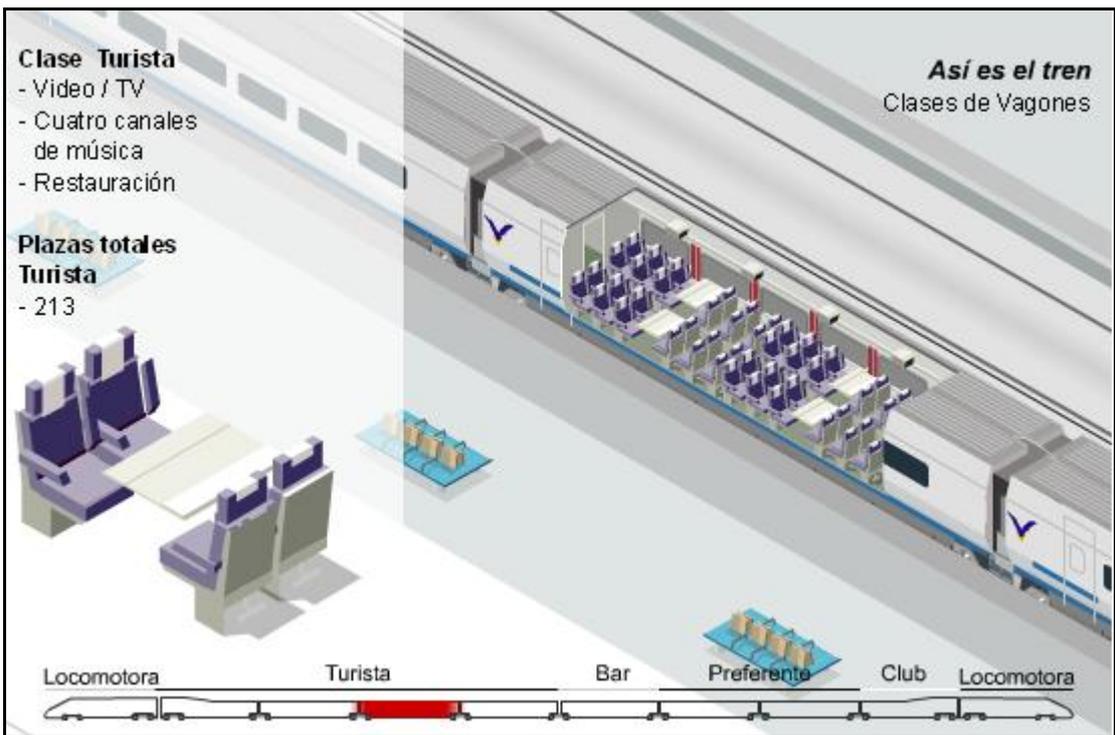
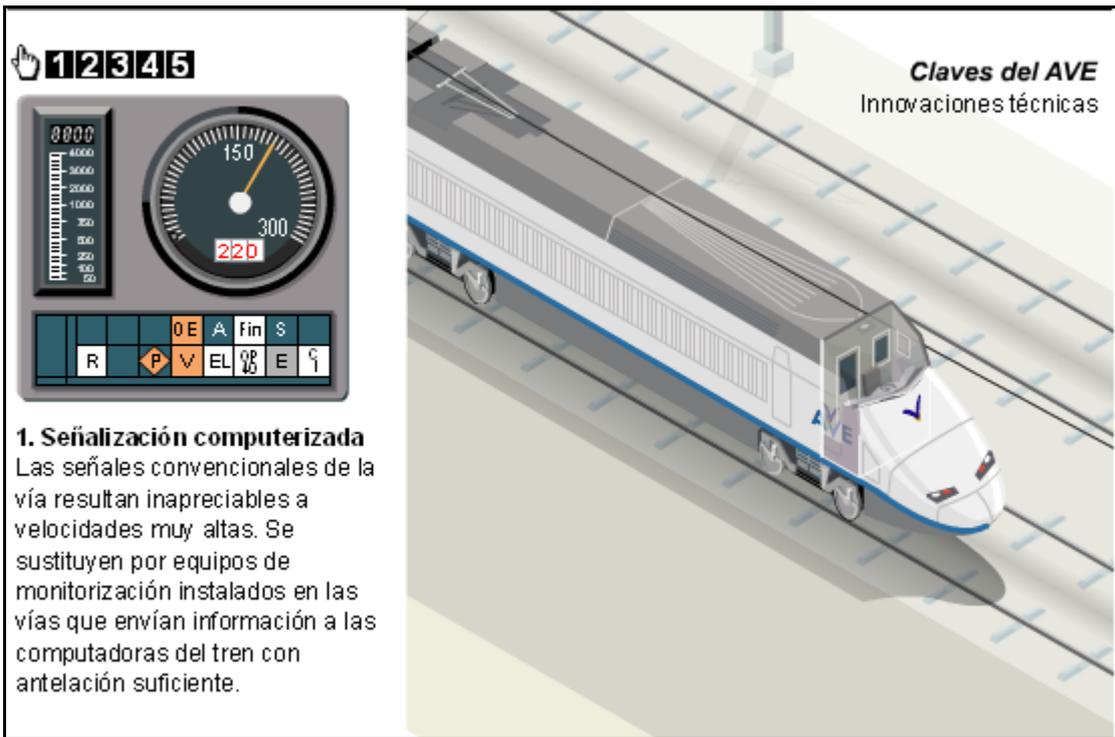


Figura 2.14.2 Señalización dentro del tren AVE y característica de interiores

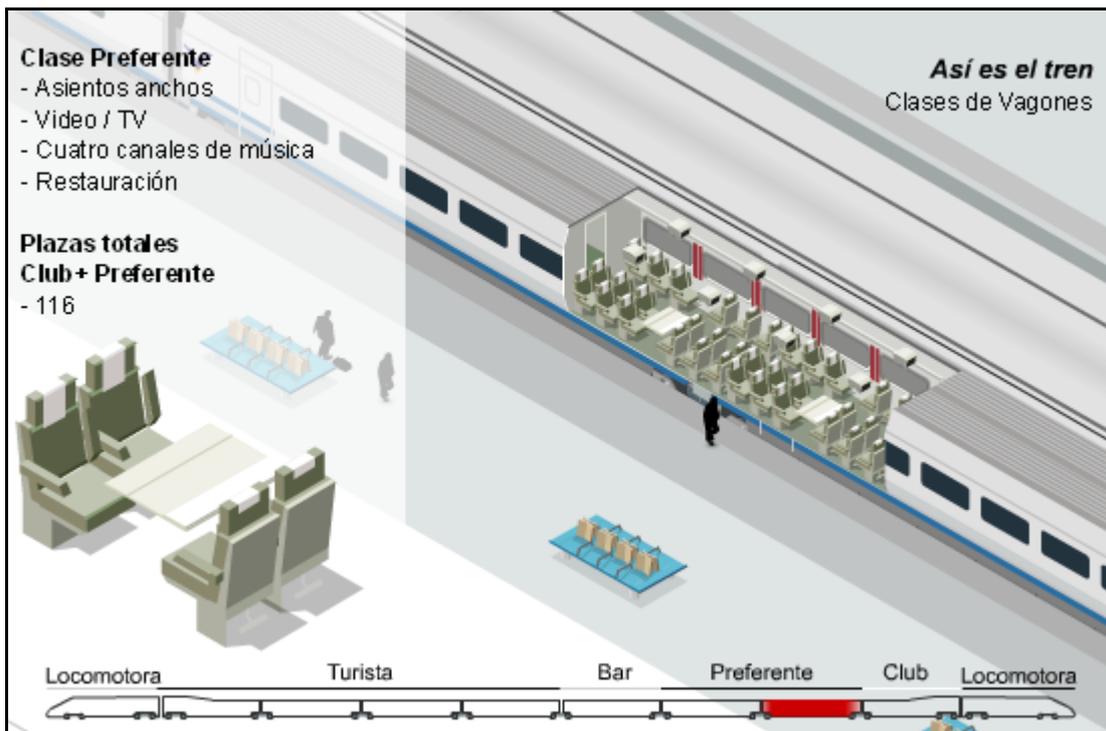
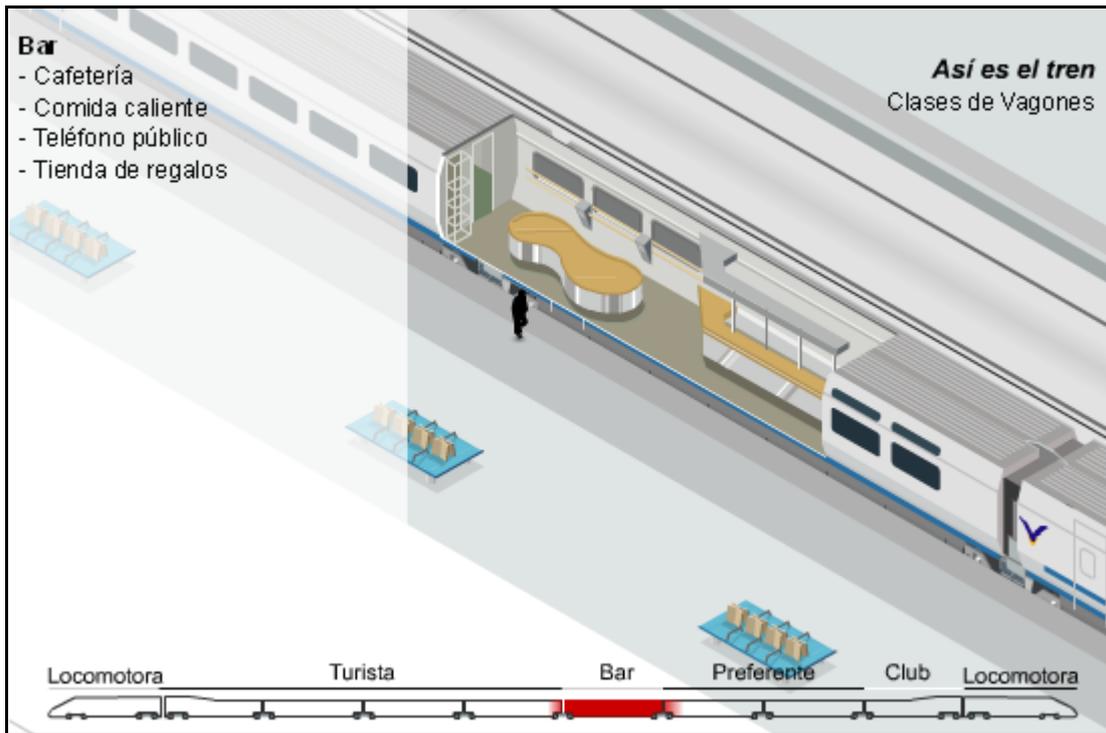


Figura 2.14.3 Características de interiores del tren AVE

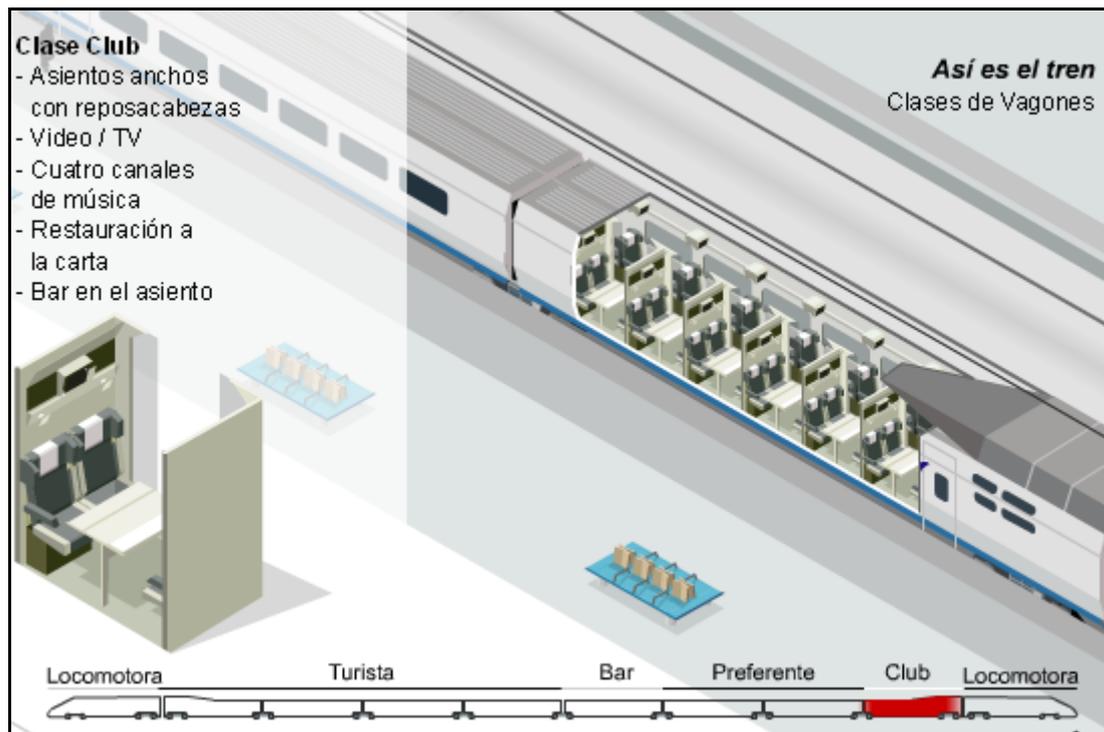


Figura 2.14.4 Detalles de interiores del tren AVE

Como se puede observar en las anteriores imágenes, tenemos una vista de cómo es el tren por dentro, y en que estructura funcional están sus vagones.

Como siguiente desarrollo del curso tenemos una simulación de una de las rutas que recorre el AVE:

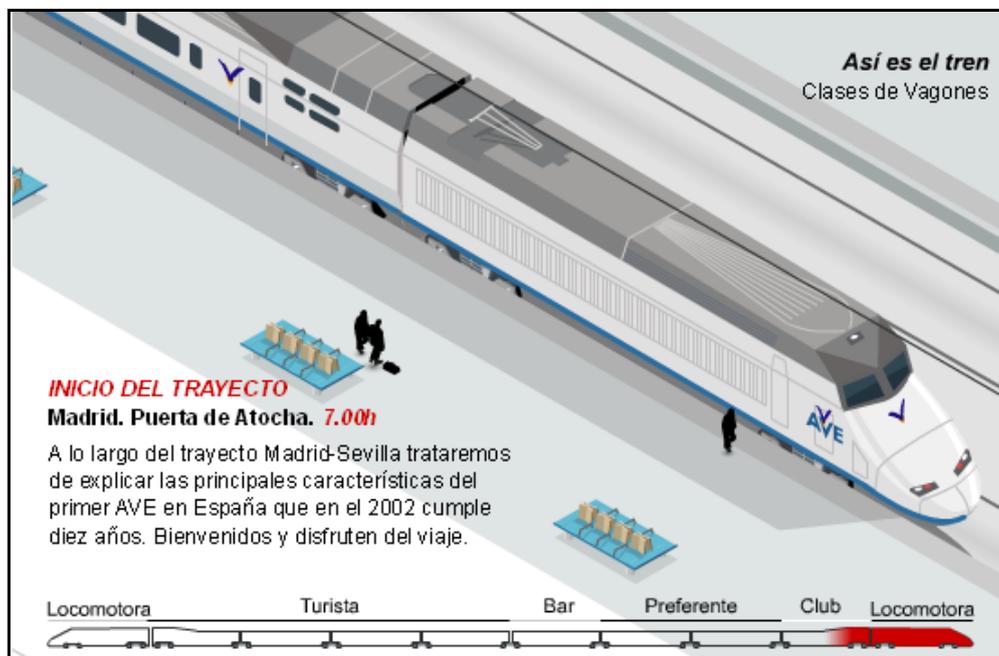


Figura 2.14.5 Inicio de trayectoria en simulación de línea del tren AVE

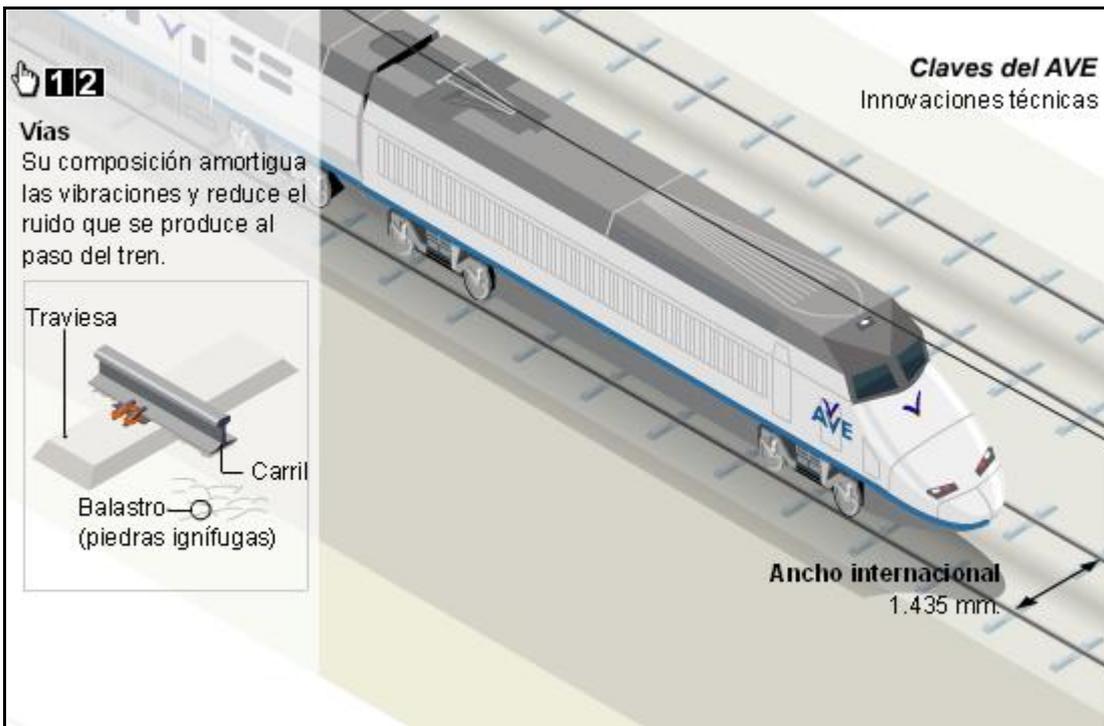
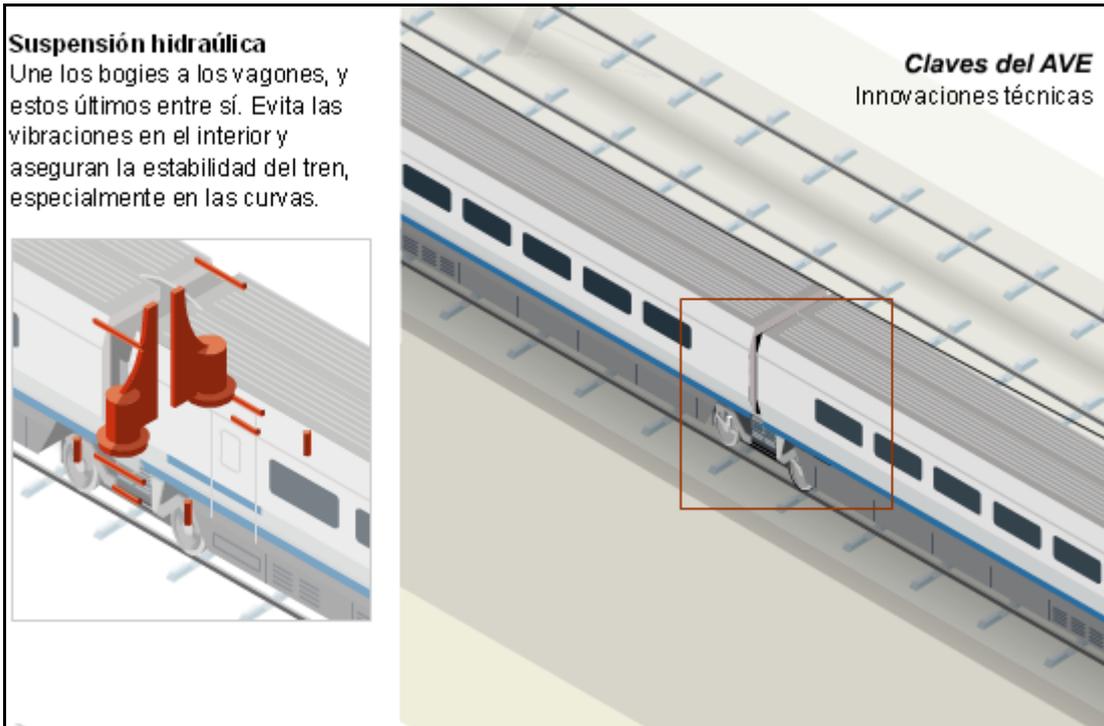


Figura 2.14.6 Suspensión hidráulica y detalles del ancho de vía

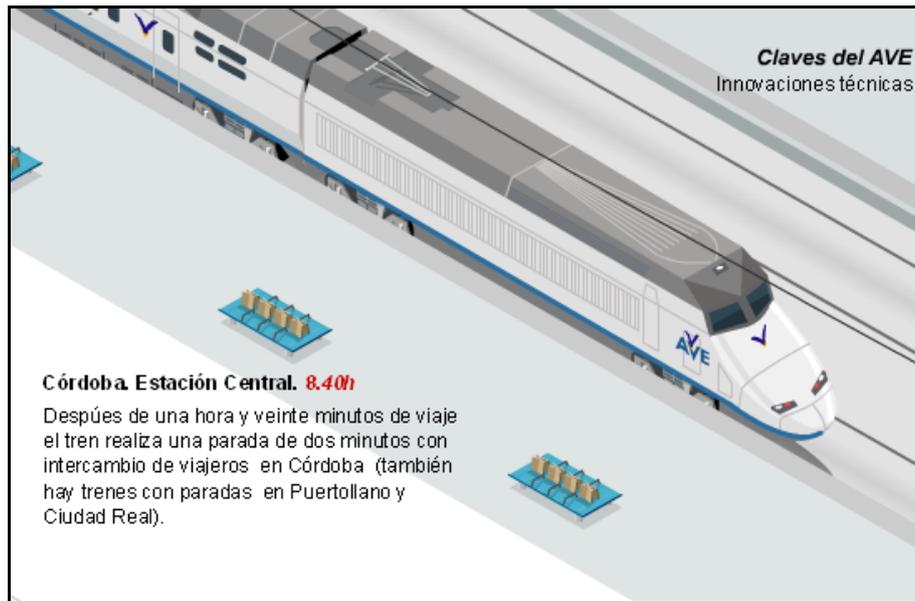


Figura 2.14.7 Llegada a estación

Así como se presentan detalles y características del tren AVE, también tenemos los siguientes complementos del tren.

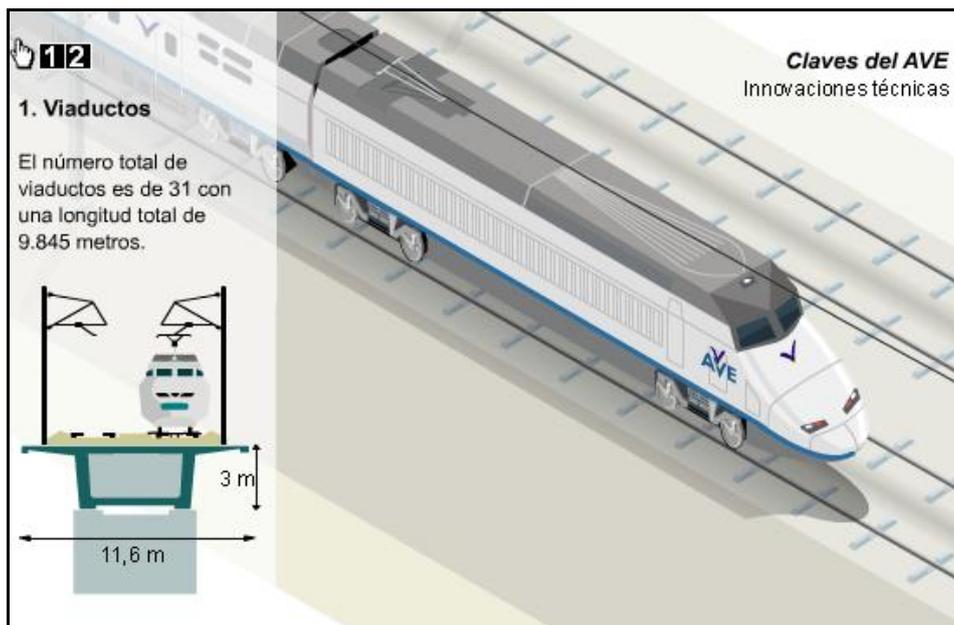


Figura 2.14.8 Detalles del viaducto AVE

A continuación se presenta el modelo de una de sus estaciones principales, Zaragoza, que es la estación central entre Madrid y Barcelona. Uno de los proyectos más importantes para los trenes de alta velocidad de España.

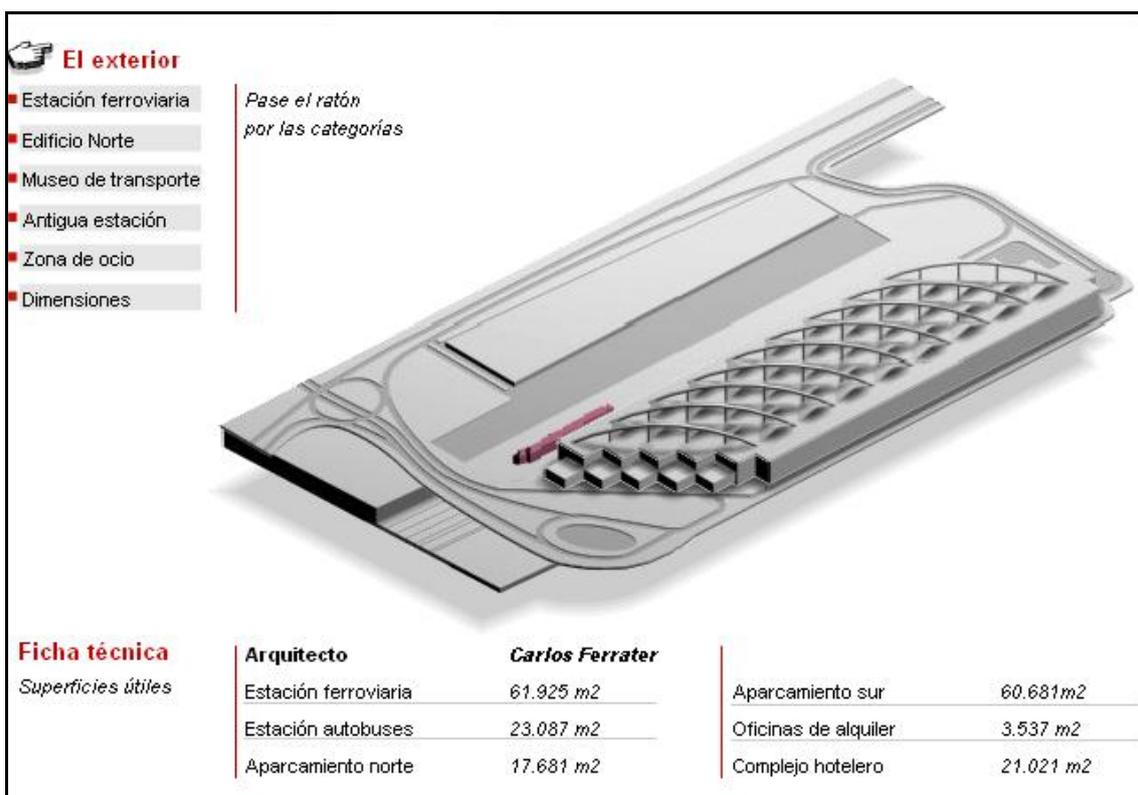
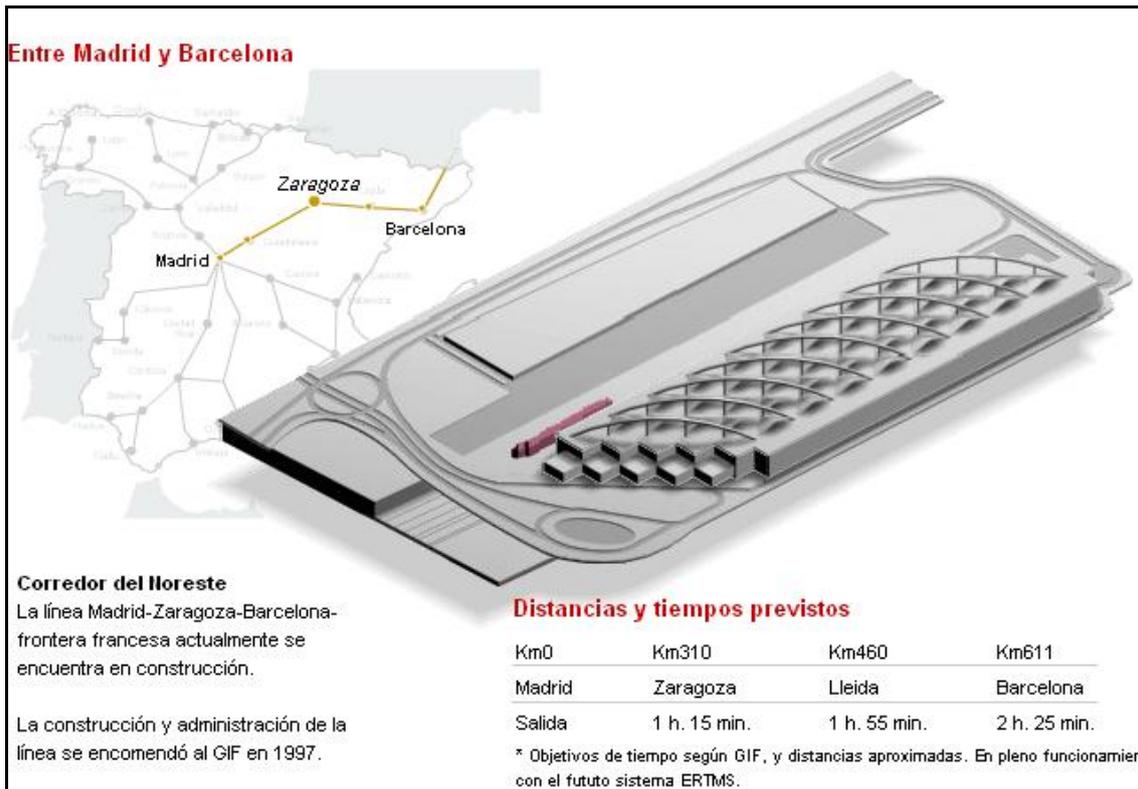


Figura 2.14.9 Estructura de la estación de Zaragoza

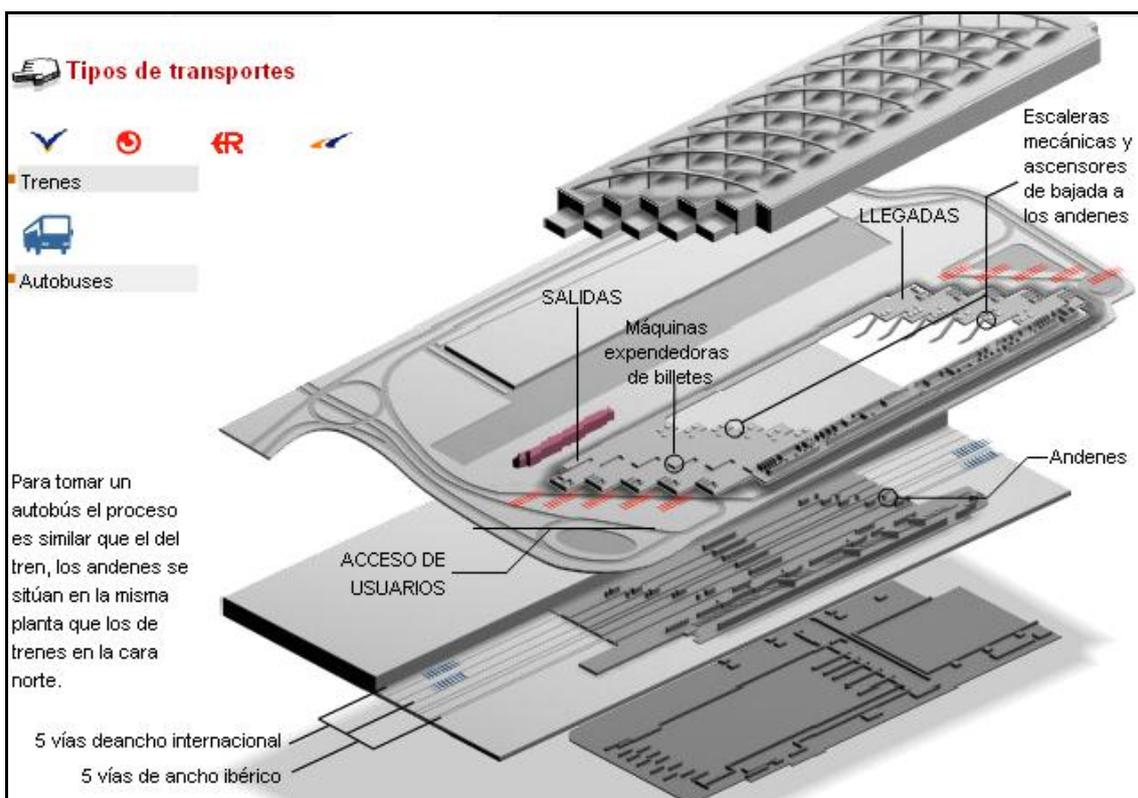
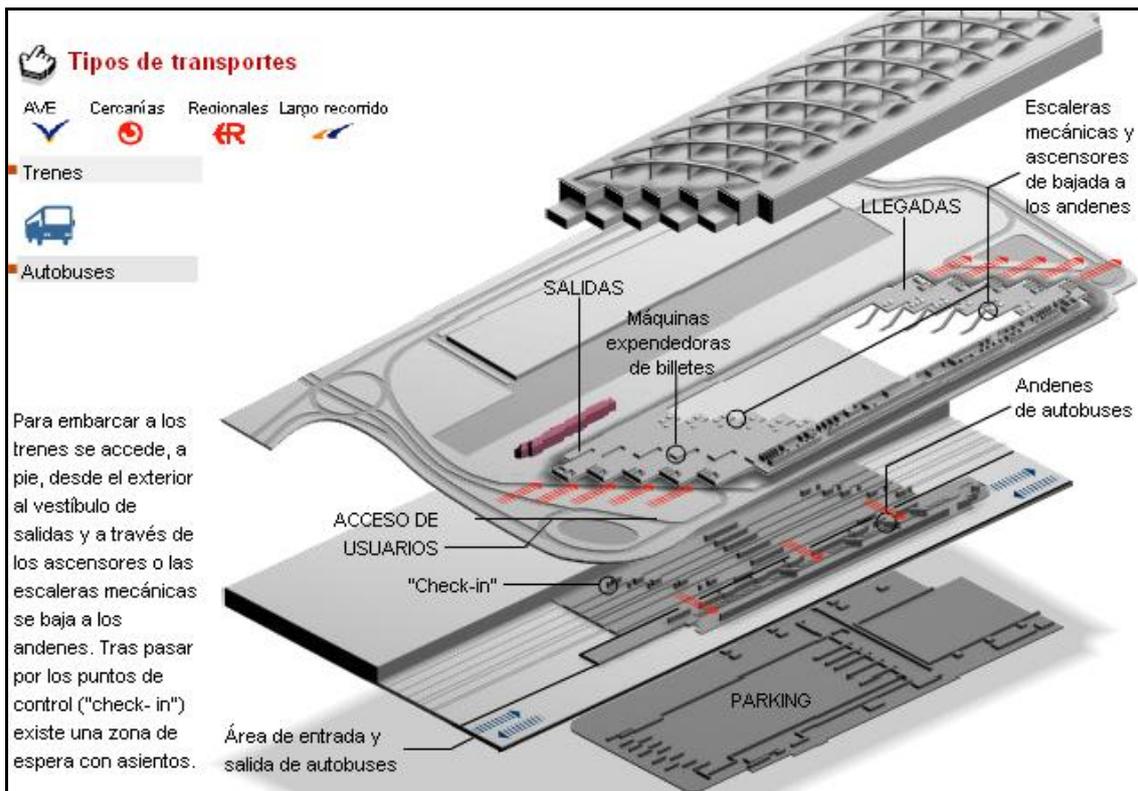


Figura 2.14.10 Vista de capas o niveles de la estación de Zaragoza AVE

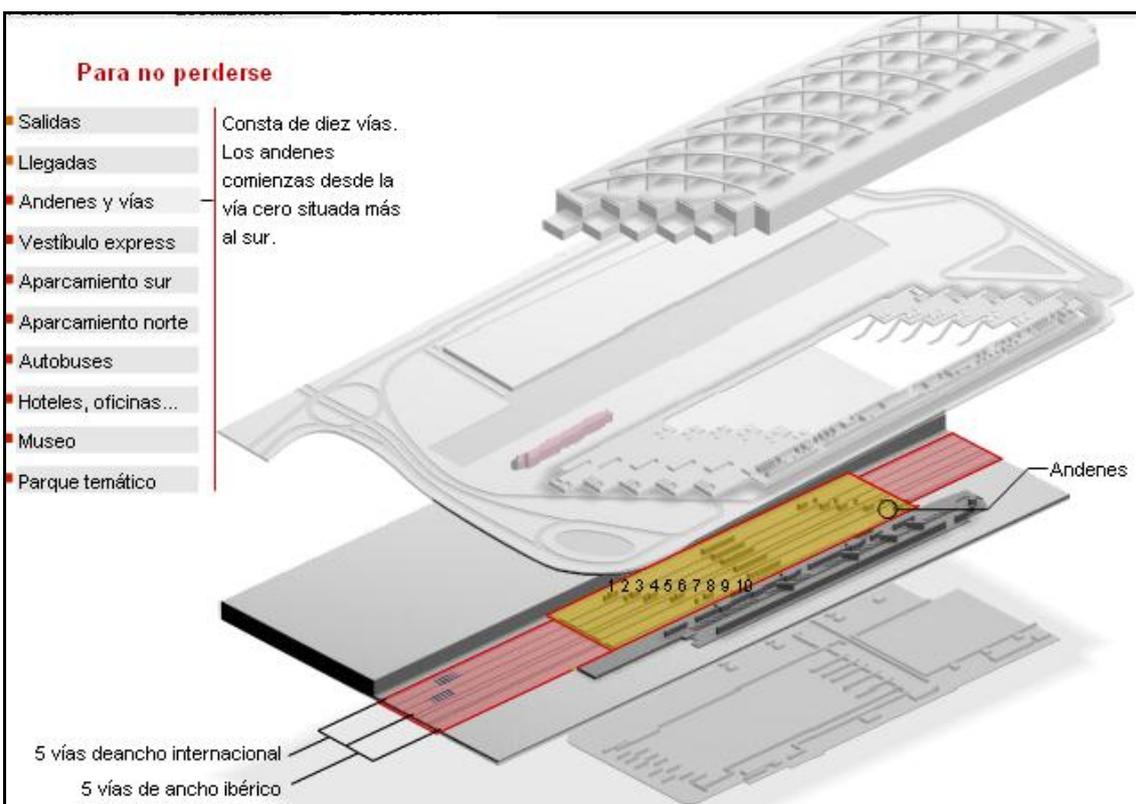
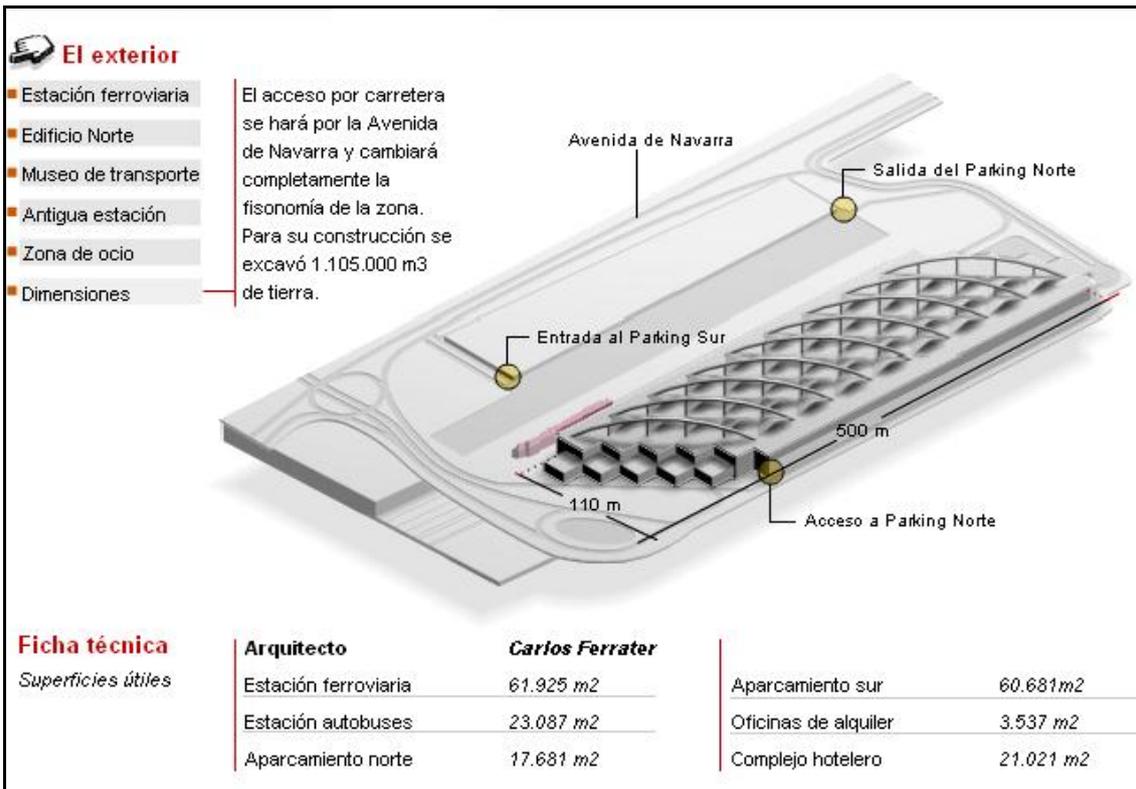


Figura 2.14.11 Vista del paradero y dirección a los andenes

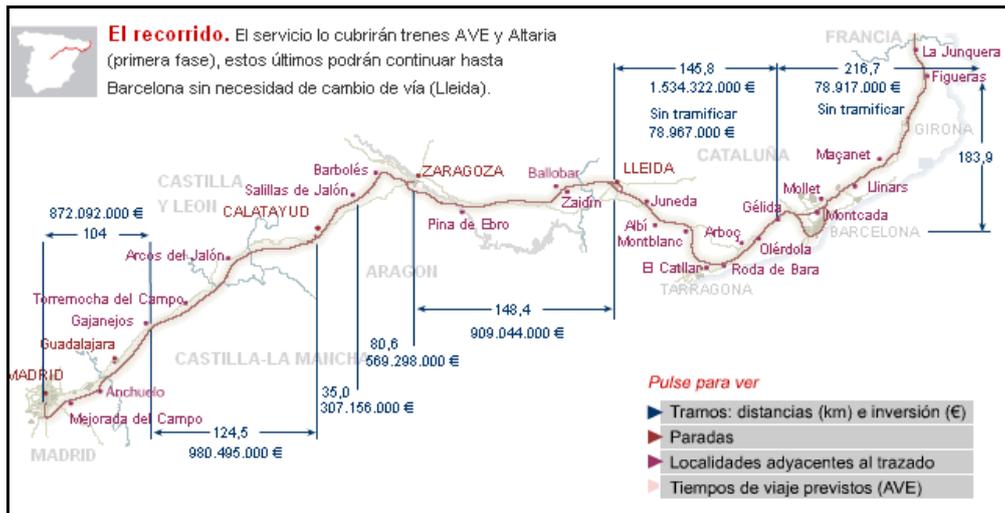


Figura 2.14.12 Ruta de recorrido de la simulación del tren AVE

Y finalmente tenemos el recorrido total de la ruta AVE.

2.5.2 Características especiales de la Serie 100 RENFE, AVE

Tipo de tren Tren de Alta Velocidad

Fabricantes Alstom, caf, Mtm, Meinfesa, SepSA, Stone Iberica, Alcatel y Faiveley

Año de fabricación 1992

Composición M-8R-M

Ejes según

Longitud 200,150 m

Anchura 2,904 m

Altura 4,28 m

Peso 392 t (en vacío)

Ancho de vía 1435 mm

Electrificación bitensión 25 kV 50 Hz (AC) / 3 kV (CC)

Velocidad comercial máxima 300 km/h

Potencia 8800 kW

Motores 8 Trifásicos síncronos autopilotados SM44-39-B de 1100 kW

Número de plazas 329

Sistemas de seguridad LZB, ASFA 200, ERTMS (algunas unidades)

Mando múltiple Si

2.6 Trenes pendulares

Los ingenieros en Japón, Francia y Alemania decidieron construir vías nuevas, tan rectas como fuera posible, pero en Italia, España y Suecia, donde las vías a menudo deben hacer curvas, los ingenieros descubrieron una manera de que los trenes viajen a altas velocidades sobre las vías curvas ya existentes. Estos ingenieros descubrieron que si se inclinaba el tren a fin de contrarrestar las fuerzas que de otro modo empujarían a los pasajeros no sentirían nada. Esto les permitió usar trenes pendulares y evitar así los costos, el daño ambiental y el tiempo que se necesitaba para construir una línea completamente nueva.

En 1971, ingenieros de la compañía Fiat, de Italia, crearon el primer tren pendular: El Pendolino o “pequeño péndulo”. Lo nombraron así porque al tomar las curvas se producía un movimiento de inclinación que lo hacía ir hacia adelante y hacia atrás como un péndulo. En 1974, un Pendolino prototipo, el ETR 401, realizó pruebas que al final alcanzarían las 137 mil millas (220,488Km).

Durante 6 años de ensayo el tren no tuvo nunca problemas al viajar por las vías curvas ya existentes. El Pendolino, como otros trenes de alta velocidad, se impulsaba mediante motores eléctricos situados en cada uno de los ejes de los vagones, pero se diferenciaban de ellos en que sus bogíes estaban equipados con un dispositivo hidráulico o electromecánico que inclinaba el vagón cuando un giroscopio detectaba la entrada del tren en las curvas, lo cual le permitía tomarlas a toda velocidad, 160mph (257Km/h), sin que los pasajeros sintieran incomodidad alguna.

Para que esta nueva tecnología funcionara sólo se necesitó hacer pequeños cambios en las vías ya existentes. Al riel exterior debió hacerse una rampa progresivamente alta, de modo que el giroscopio percibiera mejor las curvas, y fue necesario instalar un sistema central de señales, para garantizar que los conductores no sobrepasen las velocidades máximas en las curvas. Como los cambios son tan pequeños, el costo de construcción de los trenes pendulares es mucho menor que el de una red completamente nueva de vías más rectas para los otros tipos de trenes de alta velocidad.

En 1988, el Pendolino ETR 450 comenzó a cubrir la ruta entre Roma y Milán, a una distancia de 376 millas (650Km), en poco menos de 4 horas. Al igual que los trenes de alta velocidad alemanes y japoneses, este Pendolino estaba compuesto de vagones individuales acoplados.

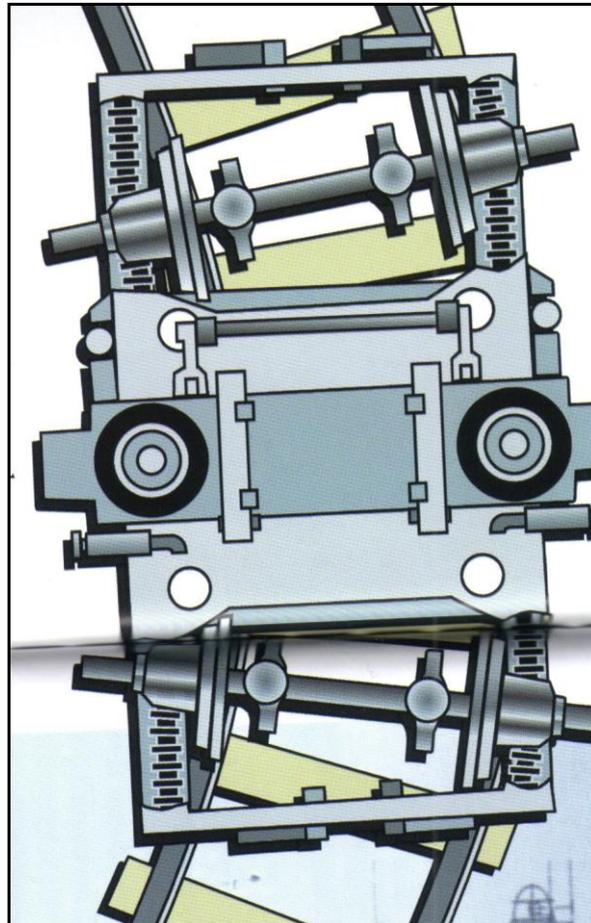


Figura 2.15 Ángulo de ejes del tren pendular

Obsérvese el ángulo que forman los ejes en este dibujo del bogie de un vagón pendular en el momento en que el tren toma una curva

2.6.1 Más sobre los trenes pendulares

Los Pendolino modernos tienen 9 vagones, 8 de ellos con motores eléctricos en sus ejes, y un vagón comedor no motorizado, con un total de 480 asientos. Los vagones están hechos de aluminio liviano y el tren en su totalidad pesa 403 toneladas. El tren de 9 vagones es capaz de producir 3,736 caballos de fuerza. El ETR 450 utiliza frenos neumáticos y regenerativos para disminuir la velocidad y detenerse, así como un freno electromagnético de emergencia.

Si bien el Pendolino se inclina al tomar las curvas, su pantógrafo no puede hacerlo pues debe mantenerse en contacto con la catenaria, que permanece inmóvil por encima del tren. Por eso se montó el pantógrafo en un marco flexible anclado en el piso del vagón, que le impide inclinarse con el resto del vagón. Mientras los italianos usaban dispositivos hidráulicos para inclinar el Pendolino, los ingenieros de la compañía española TALGO crearon en 1980 un tren que se inclinaba utilizando fuerzas que se producen naturalmente. Al elevar los vagones mediante resortes neumáticos, el tren TALGO se inclina en la dirección de la curva en el momento de pasar por ella. Los vagones TALGO comparten bogíes equipados con los mencionados resortes. El nuevo tren TALGO XXI, inaugurando en Barcelona en 1998, alcanza velocidades de hasta 140mph (225Km/h). Los vagones pueden equiparse con un sistema de ancho de vía variable, que permite al tren viajar por vías de diferente ancho en Francia y España. Aunque los trenes TALGO son impulsados actualmente por máquinas diesel-eléctrica, la compañía se ha unido a compañías francesas y alemanas para el desarrollo de máquinas eléctricas y vagones motorizados.

Los funcionarios ferroviarios suecos comprobaron también que no les sería posible construir nuevas vías rectas y comenzaron a construir un tren de alta velocidad pendular en los años 60. En 1975, un tren pendular prototipo, el X-15, alcanzó una velocidad máxima de 150mph (241Km/h).

En la década de los 80 los funcionarios suecos otorgaron el contrato de construcción de 20 trenes X-2000 de alta velocidad a la compañía ASEA BROWN BOVERI (ABB).

El tren X-2000 estándar tiene una locomotora de 4,400 caballos de fuerza en cada extremo y 5 vagones no motorizados entre las 2.

Los trenes pendulares se han vuelto muy populares en todo el mundo, especialmente en países con territorios difíciles. Incluso Japón, Francia y Alemania utilizan hoy la tecnología pendular para aumentar las velocidades de sus trenes en las vías curvas ya existentes o contemplan la posibilidad de hacerlo.

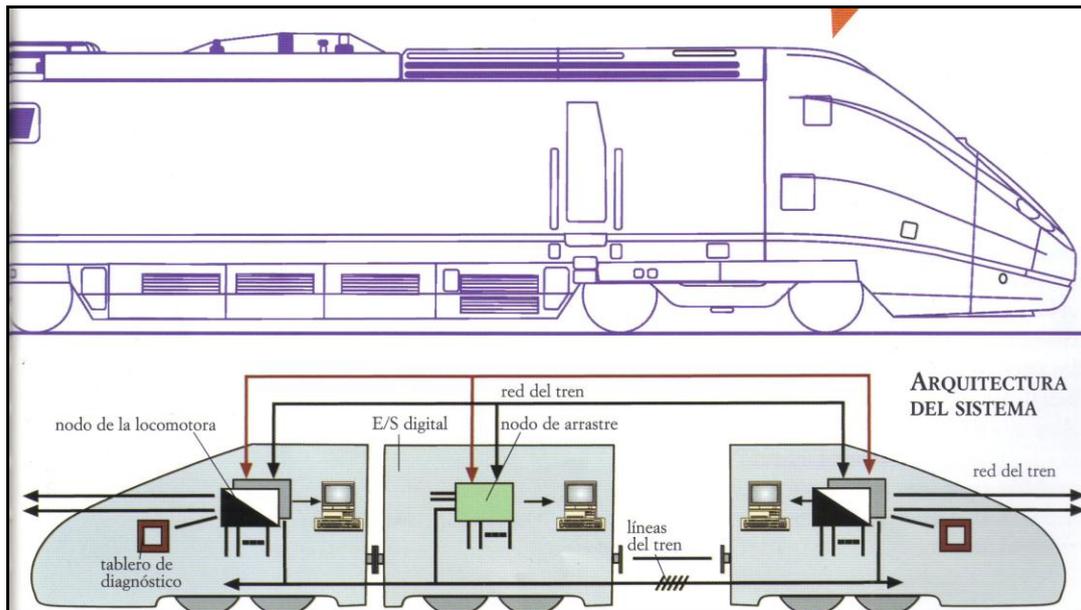


Figura 2.16 Vista de perfil del nuevo ETR-500 de voltaje múltiple

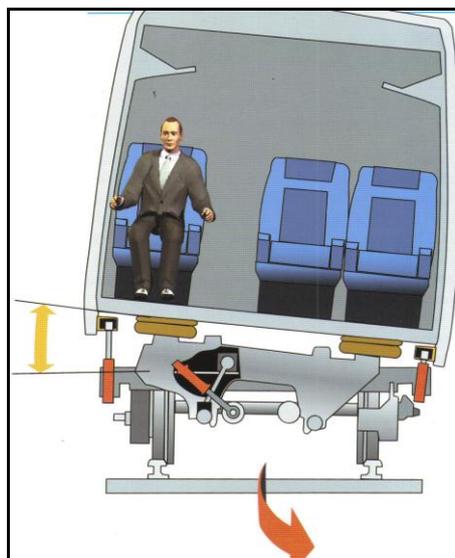


Figura 2.17 Detalles del ángulo de la suspensión en trenes pendulares

En los trenes suecos, un acelerómetro controla la inclinación. El acelerómetro mide la aceleración en las curvas y suministra dicha información a la computadora principal, situada en la máquina delantera.

La computadora principal calcula entonces el grado de inclinación necesario para que los pasajeros no sientan incomodidad alguna y envía la información a la computadora que controla el mecanismo de inclinación en cada vagón.

2.6.2 Características de un Tren Pendular

TREN PENDULAR X2000

-Características:

- Tipo: tren eléctrico de alta velocidad
- Ancho de vía: 1.435 mm
- Propulsión: corriente alterna a 15.000 v 16 2/3 Hz, con alimentación por catenaria, transformador reductor y sistema de control por tiristores; cuatro motores de tracción de 750 cv (100 Kw) , montados sobre el bastidor cada uno accionando un eje mediante transmisión flexible de árbol hueco.
- Peso adherente: 73.000 Kg
- Peso total: 365.000 Kg
- Carga máxima por eje: 18.250 Kg
- Longitud total: (automotor = no pendular) 17.600 mm
- Longitud total: (tren completo) 165 m
- Velocidad máxima: más de 210 Km/h

2.7 El tren ACELA

Mientras el resto del mundo creaba trenes de alta velocidad, los Estados Unidos estaban en el proceso de eliminar sus trenes de pasajeros. Desde la construcción de las autopistas interestatales en la década de los 50, en USA el uso de los trenes de pasajeros ha disminuido vertiginosamente.

Fue sólo hace muy poco que los funcionarios estadounidenses se dieron cuenta de que las ferrovías de alta velocidad en regiones densamente pobladas, como la que se extiende entre Washington, D.C. y Boston, ofrecen una alternativa más barata a los viajes en avión o automóvil. Además, los trenes son mucho menos nocivos para el medio ambiente, pues consume menos combustible, producen menor contaminación y transportan más pasajeros que los autos y los aviones.

Amtrak, la compañía de trenes de USA, espera volver a atraer a los pasajeros con la construcción de 20 nuevos trenes de alta velocidad que viajarán en el Corredor de Nordeste, que incluye Washington D.C., Baltimore, Filadelfia, Nueva York, Providence y Boston. Esta región es también conocida por las numerosas curvas de sus ferrovías. Entre Nueva York y Boston la vía hace el equivalente de once círculos completos. Por esta razón Amtrak eligió la tecnología pendular para su servicio de trenes de alta velocidad.

En 1996 comisionaron el diseño y la construcción del nuevo tren pendular de alta velocidad a un equipo formado por Bombardier, compañía fabricante de piezas para ferrocarriles, y Alstom, la creadora del TGV francés. El resultado fue el tren Acela, nombre formado con las palabras “aceleración y excelencia”. Los trenes Acela tienen 6 vagones y una máquina en cada extremo. Los vagones de pasajeros están equipados con un sistema hidráulico de inclinación en el que cada vagón se inclina de forma independiente y está provisto de un dispositivo de control y un sensor de inclinación. El tren tiene capacidad para 304 pasajeros y alcanza velocidades de hasta 150mph (241Km/h). Con el fin de ahorrar espacio, el transformador principal está montado debajo del piso.

Las máquinas cuentan con frenos ultramodernos, capaces de frenado regenerativo o reostático. Las señales relacionadas con la velocidad o la seguridad se envían al conductor directamente a través de los rieles. Un sistema de control automático del tren aplicará los frenos en caso de que no se obedezcan los límites de velocidad. Los trenes están también equipados con un dispositivo que monitorea la energía eléctrica, la inclinación y el frenado.

El Acela está equipado con una locomotora eléctrica moderna y no con una máquina diesel corriente. Para que estos trenes pudieran prestar servicio fue necesario adaptar las vías a la energía eléctrica.

2.8 Los trenes de alta velocidad: MAGLEV

Llamamos “levitación magnética” al fenómeno por el cual un dado material puede, literalmente, levitar gracias a la repulsión existente entre los polos iguales de dos imanes o bien debido a lo que se conoce como “Efecto Meissner”, propiedad inherente a los superconductores. La superconductividad es una característica de algunos compuestos, los cuales, por debajo de una cierta temperatura crítica, no oponen resistencia al paso de la corriente; es decir: son materiales que pueden alcanzar una resistencia nula. En estas condiciones de temperatura no solamente son capaces de transportar energía eléctrica sin ningún tipo de pérdidas, sino que además poseen la propiedad de rechazar las líneas de un campo magnético aplicado. Se denomina “Efecto Meissner” a esta capacidad de los superconductores de rechazar un campo magnético que intente penetrar en su interior; de manera que si acercamos un imán a un superconductor, se genera una fuerza magnética de repulsión la cual es capaz de contrarrestar el peso del imán produciendo así la levitación del mismo.

Hoy día el uso más extendido del fenómeno de levitación magnética se da en los trenes de levitación magnética.

Un tren de levitación magnética es un vehículo que utiliza las ondas magnéticas para suspenderse por encima del carril (algunos de estos trenes van a 1 cm por encima de la vía y otros pueden levitar hasta 15 cm) e impulsarse a lo largo de un carril-guía. Si bien existen otras aplicaciones como, por ejemplo, las montañas rusas de levitación magnética o, lo que en la actualidad se encuentra bajo investigación, la propulsión de naves espaciales mediante este mismo fenómeno (lo que se menciona más adelante), estas se basan en los mismos principios que los trenes tanto para mantenerse levitando como para impulsarse a lo largo de un carril-guía.

Por esta razón este trabajo se centrará en los trenes de levitación magnética y más aún, en el principio de funcionamiento de estos, dándole menos importancia a otros aspectos como: impacto ecológico, viabilidad económica (excepto en el caso de la propulsión de naves espaciales, donde se convierte en tema prioritario), confort, tendido estratégico de vías, diferentes diseños, etc.

2.8.1 Principios de Levitación Magnética

La levitación en un tren maglev, se consigue mediante la interacción de campos magnéticos que dan lugar a fuerzas de atracción o repulsión, dependiendo del diseño del vehículo, es decir, según si el tren utilice un sistema EMS (electromagnetic suspension o suspensión electromagnética) o EDS (electrdynamic suspension o suspensión electrodinámica).

La principal diferencia entre un sistema EMS y un EDS es que en el primero la levitación del tren es producida por la atracción entre las bobinas colocadas en el vehículo y la vía, y en el segundo se consigue la levitación gracias a fuerzas de repulsión entre estas.

EMS: Suspensión electromagnética

En el caso del EMS, la parte inferior del tren queda por debajo de una guía de material ferromagnético, que no posee magnetismo permanente.

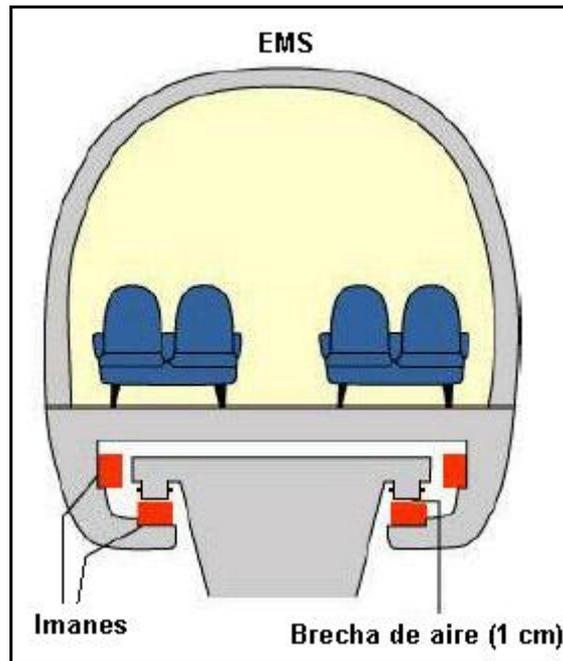


Figura 2.18 Suspensión EMS

Cuando se ponen en marcha los electroimanes situados sobre el vehículo, se genera una fuerza de atracción. Ya que el carril no puede moverse, son los electroimanes los que se mueven en dirección a éste elevando con ellos el tren completo. Sensores en el tren se encargan de regular la corriente circulante en las bobinas, como resultado el tren circulará a una distancia de aproximadamente un centímetro del carril guía. Unos electroimanes encargados de la guía lateral del vehículo serán colocados en los laterales del tren de manera que quede garantizado su centrado en la vía.

La principal ventaja de las suspensiones EMS es que usan electroimanes en vez de los complicados imanes superconductores que exige la suspensión EDS. Por no necesitar imanes superconductores, no son necesarios complicados y costosos sistemas de refrigeración. Aunque el consumo actual del EMS es inferior al del EDS, se espera que, con el avance de las investigaciones en superconductividad, los consumos de las suspensiones EDS bajen considerablemente.

Aún así los trenes de suspensión EMS sufren ciertas limitaciones, la principal es su inestabilidad. Cuando la distancia entre la guía y los electroimanes disminuye, la fuerza de atracción crece y, aunque la corriente eléctrica circulante en los electroimanes puede ser regulada inmediatamente existe el peligro de que aparezcan vibraciones o de que el tren toque la guía.

Otra de las limitaciones de este diseño es la enorme precisión necesaria en su construcción, lo cual encarece su producción. Una pequeña desviación de unos pocos milímetros a lo largo de la estructura del tren puede provocar un desastre. Además, con unas tolerancias tan pequeñas un simple terremoto podría destruir completamente todo un sistema de líneas maglev. Por otro lado la amplitud del hueco entre vehículo y guía no puede ampliarse porque el costo de esto haría al sistema prohibitivo.

EDS: Suspensión Electrodinámica

La levitación EDS se basa en la propiedad de ciertos materiales de rechazar cualquier campo magnético que intente penetrar en ellos. Esta propiedad se da en superconductores y es llamada Efecto Meissner, como se explicó con anterioridad. La suspensión, por tanto, consiste en que el superconductor rechazará las líneas de campo magnético de manera que no pasen por su interior, lo que provocará la elevación del tren. En diversos prototipos de suspensión EDS se ubica un material superconductor a los lados de la parte inferior del vehículo, tal como puede observarse en la figura:

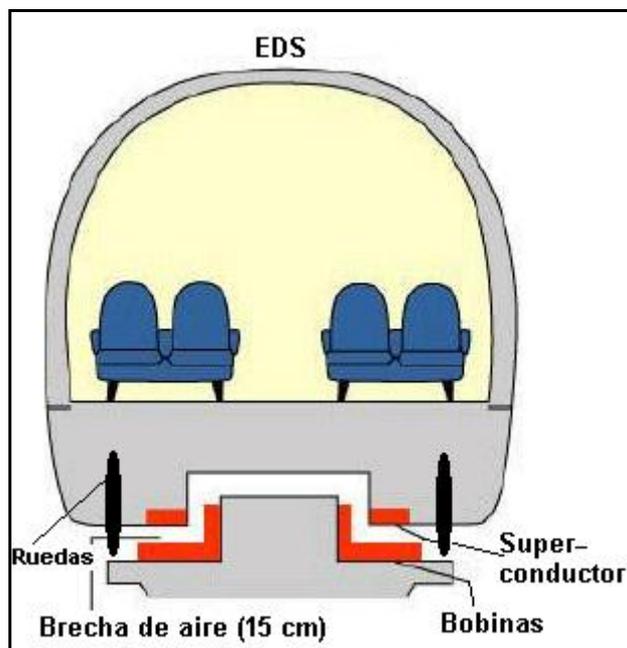


Figura 2.19 Suspensión EDS

Este pasa a unos centímetros de un conjunto de bobinas situadas sobre el carril guía. Al moverse el vehículo a lo largo del carril se inducirá una corriente en las bobinas de este, las cuales actuarán entonces como electroimanes.

Al interactuar con los superconductores montados en el tren, se producirá la levitación. Debido a esto, la fuerza de levitación será cero cuando el vehículo se encuentre parado; para esto el tren tiene incorporadas unas ruedas neumáticas. Estas funcionan de la siguiente manera: como la fuerza de levitación aumenta con la velocidad, cuando la velocidad alcanzada por el tren es la suficiente para que este se eleve, las ruedas quedan entonces “en el aire” y por lo tanto, inutilizadas. De la misma manera, cuando la velocidad empieza a disminuir, lo que hace que disminuya la fuerza repulsiva, el tren comienza a descender hasta que las ruedas quedan apoyadas, y así se detiene.

Este sistema permite levitaciones de hasta 15 cm, lo cual supera por mucho al sistema EMS. Esto permite hacer guías menos precisas para este tipo de Maglevs y los protege de los daños que pequeñas deformaciones en terremotos pudieran producir. Además, un tren con suspensión EDS se amolda a las curvas compensando la aceleración lateral inclinándose, de manera que ninguna perturbación es sentida dentro del vehículo.

Una desventaja de este sistema es que la utilización directa de superconductores provoca grandes campos magnéticos dentro del vehículo, o sea la zona donde se encuentran los pasajeros, por lo que se deben utilizar complejos sistemas de aislamiento de la radiación magnética (sobre los superconductores) para no perjudicar la salud de los pasajeros, ya que es sabido que una continua exposición a campos magnéticos muy intensos puede contribuir al desarrollo de ciertas enfermedades como el cáncer. Esto contrasta con el sistema EMS, en el cual el campo magnético usado para la levitación, guía y propulsión del tren, se concentra en la brecha entre el vehículo y el carril-guía.

Fuera de esta brecha, la intensidad del campo magnético disminuye de manera tal que en la cabina donde viajan los pasajeros su intensidad es comparable con la del campo magnético terrestre. Esto se muestra en la siguiente gráfica (datos del tren de levitación magnética alemán):

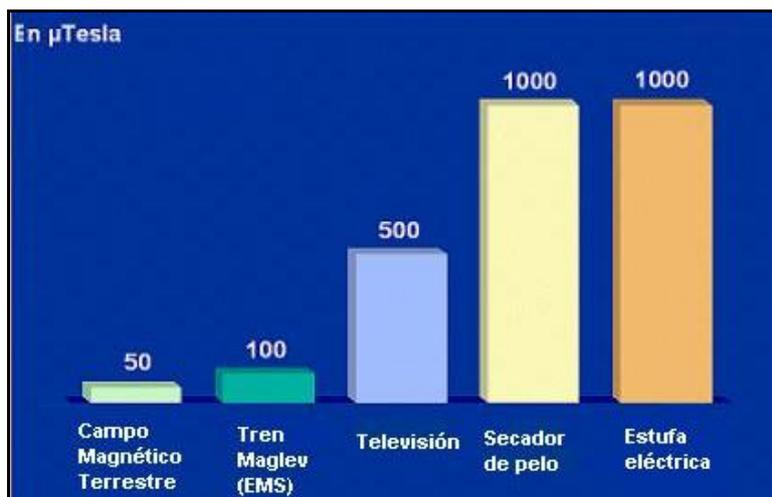


Tabla 2.3 Tabla comparativa de porcentajes del campo electromagnético producido por el sistema EMS con respecto algunos electrodomésticos

Otra desventaja son los grandes costos de los materiales superconductores y de los potentes sistemas de refrigeración necesarios para mantener a estos a una baja temperatura.

Principio de guía lateral

Los maglev necesitan, además del sistema de levitación magnética un sistema de guía lateral que asegure que el vehículo no roce el carril guía como consecuencia de perturbaciones externas que pueda sufrir.

En la suspensión EMS, se instalan unos imanes en los laterales del tren los cuales, a diferencia de los ubicados para permitir al tren levitar y moverse, solamente actuarán cuando este se desplace lateralmente, ejerciendo fuerzas de atracción del lado que más se aleje de la vía.

En el sistema EDS son los superconductores y las bobinas de levitación los encargados del guiado lateral del tren. Las bobinas de levitación están conectadas por debajo del carril-guía formando un lazo:

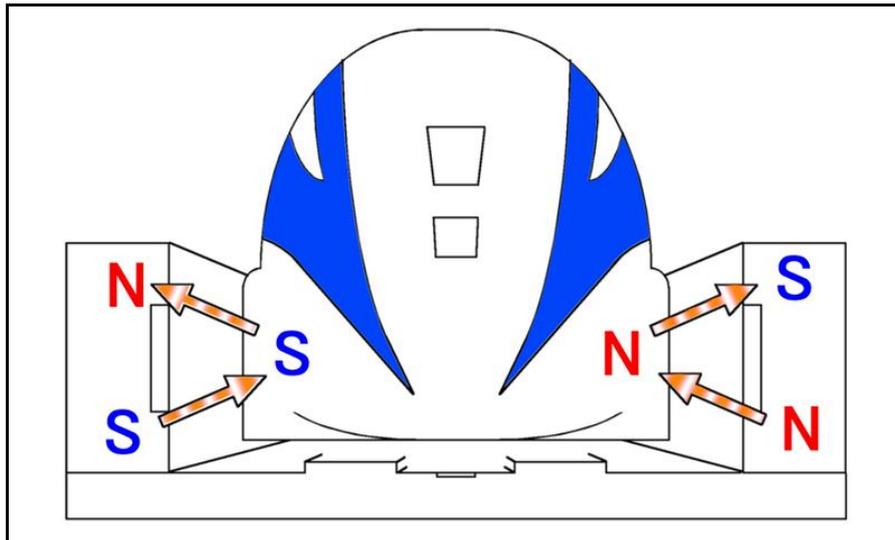


Figura 2.20 Principio de guía lateral

Así, cuando el vehículo se desplaza lateralmente, una corriente eléctrica es inducida en el lazo, lo que da como resultado una fuerza repulsiva del lado más cercano a las bobinas de levitación, obligando al vehículo a centrarse.

Si el tren por alguna causa se hundiese en el carril-guía este respondería con un aumento de la fuerza repulsiva, lo cual equilibraría este acercamiento; en contraste con el sistema EMS en el cual la fuerza atractiva aumenta si el vehículo se acerca a la guía.

Principio de propulsión

Un tren maglev es propulsado mediante un motor lineal. El funcionamiento de un motor lineal deriva de un motor eléctrico convencional donde el estator es abierto y “desenrollado” a lo largo del carril-guía en ambos lados, como se ve en la figura:



Figura 2.21 Corte de vía de un tren Maglev

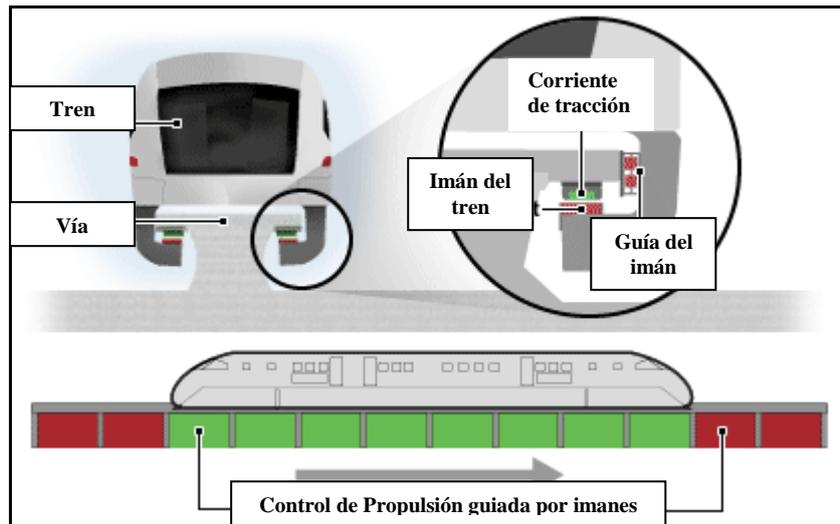


Figura 2.22 Detalles del tren Maglev

La propulsión, tanto en EDS como en EMS, se logra generalmente mediante la utilización del LSM, linear synchronous motor o motor lineal síncrono.

Motor Lineal Síncrono

Este sistema de propulsión utiliza como estator un circuito de bobinas sobre la vía, por el cual circula una corriente alterna trifásica controlada. El rotor está compuesto por los electroimanes del tren, en el caso de un EMS, o las bobinas superconductoras en un EDS. El campo magnético que crea la corriente alterna del estator interactúa con el rotor (electroimanes o bobinas superconductoras) creando una sucesión de polos norte y sur que empujarán y tirarán del vehículo hacia delante, como muestra la figura:

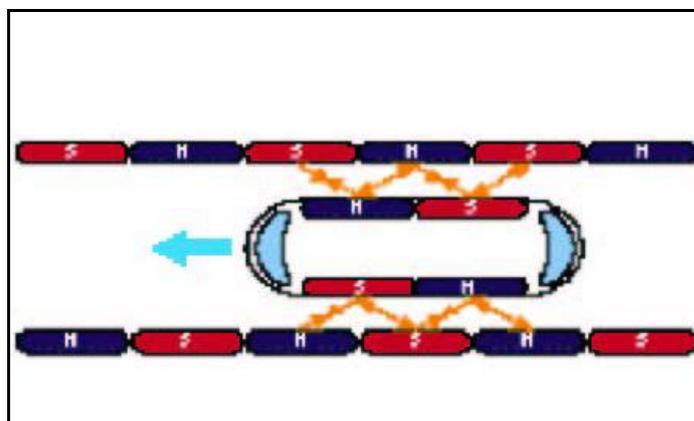


Figura 2.23 Propulsión de un tren Maglev

Este campo magnético (también llamado "onda magnética") viajará junto al tren a través del carril-guía, permitiéndole a este acelerar. Así, el rotor viajará a la misma velocidad que el campo magnético.

La regulación de la velocidad del tren se logra bien regulando la frecuencia de la onda magnética (o sea, variando la frecuencia de la corriente alterna) o bien variando el número de espiras por unidad de longitud en el estator y el rotor.

Una característica importante de este sistema es que la energía que mueve al tren no la provee el mismo tren, sino que esta es proveída por las vías. Esto permite evitar un malgasto de energía fraccionando la vía en secciones, de manera que cada una tenga su alimentación, de esta manera solamente estarán activos aquellos tramos de la vía por los que en ese momento esté transitando el tren.

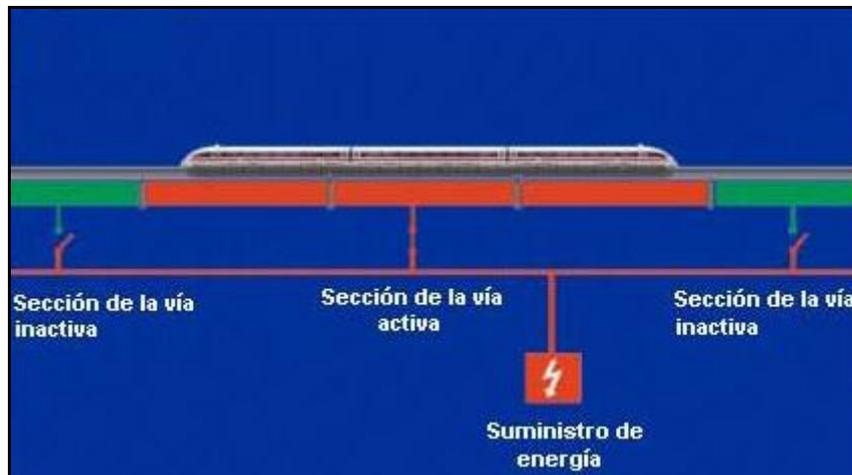


Figura 2.24 Suministro de energía a la vía

Los trenes maglev, gracias a su sistema de propulsión, son capaces de circular por desniveles de hasta 10 grados, en contraste con los trenes convencionales que sólo pueden circular por pendientes con desniveles de hasta 4 grados.

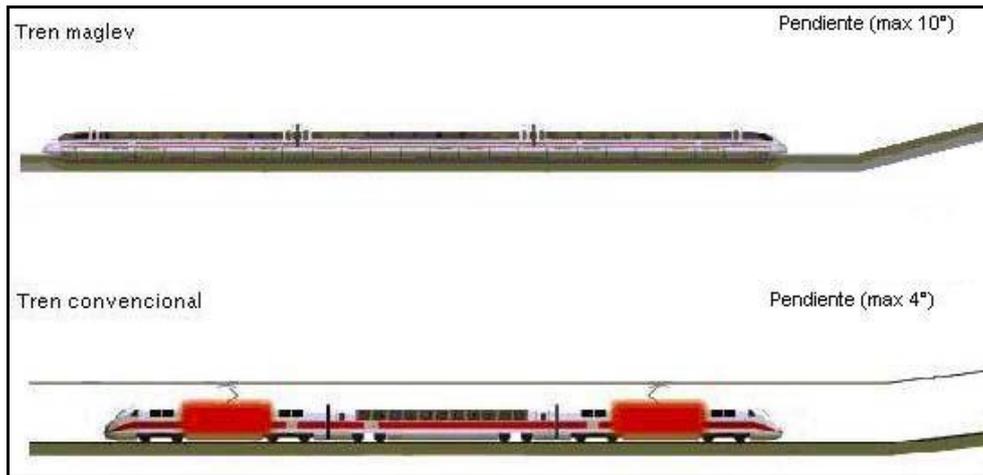


Figura 2.25 Ascenso de pendientes

Además la velocidad que alcanzan los trenes maglev es muy superior a la alcanzada por los trenes convencionales (inclusive los trenes eléctricos), llegando hasta 500 Km/h (hasta el momento) y su consumo es de solamente un 40 % del combustible usado por un automóvil por pasajero y milla, debido a la reducción del rozamiento con la vía.

Mecanismo de frenada

El frenado del tren maglev se consigue, como la propulsión, gracias al motor lineal. Esto se logra invirtiendo la polaridad de la corriente trifásica en la vía (estator) de manera que se cree una fuerza en sentido contrario al avance del tren. Bajo condiciones normales, la desaceleración límite sería la misma que la aceleración límite: 1,8 m/s² (este límite de aceleración se escoge de manera que no sea molesto para los pasajeros). En condiciones de emergencia, el motor lineal puede desacelerar al tren a 3,5 m/s² aproximadamente. Es posible aumentar aún la capacidad de frenada, en situaciones de extrema emergencia, mediante el uso de un sistema de frenado aerodinámico, el cual amplía la superficie frontal del tren, como se ve a continuación:



2.26 Mecanismo de frenado aerodinámico

Este sistema se reserva solamente para situaciones de extrema emergencia ya que la desaceleración producida es muy elevada (alrededor de 12 m/s^2), razón por la cual los pasajeros deberían ser avisados unos segundos antes de ser utilizado, cosa que no siempre sería posible. No obstante los frenos aerodinámicos también podrían ser utilizados en ocasiones donde no haría falta una gran desaceleración, simplemente para ayudar al motor de manera de no tener que forzarlo demasiado.

En un tren con EMS, en condiciones normales, este deja de levitar cuando su velocidad se aproxima a los 10 Km/h (esto se hace de manera voluntaria, ya que con suspensión EMS el tren puede mantenerse levitando aún estando parado). En ese momento se desprenden unos patines incorporados al tren, con un coeficiente de fricción determinado, que hacen que el tren se detenga por completo.

En un tren con EDS, el tren dejará de levitar también aproximadamente a unos 10 Km/h (aunque no de manera voluntaria), momento en que las ruedas neumáticas entran en funcionamiento y el tren utiliza entonces frenos hidráulicos para detenerse.

2.8.2 El Transrapid

El Transrapid es un tren de tecnología alemana que se desplaza mediante levitación magnética. El tren circula sobre una viga situada sobre pilares a varios metros de altura sobre el suelo. La vía está constituida por un caballete de hormigón que incorpora un sistema de levitación magnética que eleva el tren a 15 milímetros , de forma que no existe rozamiento. En ambos lados de la vía existen otros electroimanes, cuya función es la de guiar el tren y mantenerlo en la posición correcta.

La velocidad máxima comercial del Transrapid es de 430 km/h , con lo cual aventaja a los trenes convencionales de alta velocidad, que alcanzan una velocidad de 320 km/h . No obstante, no se obtienen prácticamente ventajas en cuanto a consumo de energía o ruido.

Sus principales desventajas son la imposibilidad de utilizar la red ferroviaria existente o de circular a nivel del suelo, la necesidad de túneles de mayor sección, estrictas demandas de gran limpieza de la vía y, además, la lentitud de operación de los cambios de vía (entre 1 minuto y 30 segundos contra 5 segundos o menos en el ferrocarril convencional). A lo largo de los 37 años de experimentación del Transrapid, según cifras de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC), se han inaugurado 9.400 km de líneas de alta velocidad con el sistema convencional rueda-riel y otros 8.295 km están en construcción.



2.27 El Transrapid, Emsland

2.8.2 Shangai Maglev

El Maglev de Shanghai o Shanghai transrapid (chino tradicional: 上海磁浮示范运营线, chino simplificado: 上海磁浮示范运营线, pinyin: *Shànghǎi Cífú Shìfàn*) constituye la primera línea comercial de alta velocidad mediante levitación magnética construida en el mundo.



Figura 2.28 La única vía urbana de trenes Maglev en el mundo, es la de Shangai.

Su construcción y puesta en marcha transcurren de 2001 a 2004, fecha esta última en la que se realiza el primer servicio comercial, siendo el coste aproximado del proyecto 1000 millones de euros, distribuidos en 2.5 años de línea trazada casi en su totalidad en un alzado de unos 8 metros sobre el nivel del resto de construcciones urbanas, y en el coste de la infraestructura motriz (locomotoras maglev), sistemas energéticos electromagnéticos de generación, distribución y redundancia, y facilidades de reparación.



Figura 2.29 Única ruta del Transrapid en uso

La línea completa una distancia total de 30 kilómetros entre la estación de metro de Longyang Road al Aeropuerto Internacional de Pudong, tardando aproximadamente 7 minutos y medio en completarse el recorrido, lo que establece una velocidad media aproximada de 240 km/h, adquiriendo su velocidad máxima de 431 km/h en aproximadamente 3 minutos y medio, a una aceleración y desaceleración bastante uniforme tanto a bajas como a altas velocidades de entre aproximadamente 0.7 m/s^2 y 0.9 m/s^2 .

Durante su primer periodo de operación el éxito de la línea no es excesivo, operando a aproximadamente un 20% de capacidad de línea, probablemente debido a la reducida longitud de la línea y a su bajo coeficiente de penetración en las áreas más pobladas de Shanghai. En 2006, se propone una extensión hacia Hangzhou y ampliación de la conexión al Aeropuerto Internacional de Hongqiao, con una ejecución aprobada y planeada para el 2010, pero suspendida por protestas públicas debido a temores acerca de posibles daños a la salud debido a la presencia de campos electromagnéticos en las áreas habitadas de proximidad.

Durante unas pruebas realizadas en noviembre de 2006, se establece en esta línea un nuevo record chino de velocidad sobre monorraíl, superandose los 500 km/h, record que no es aplicable de todos modos al resto del mundo en términos absolutos puesto que en pruebas no comerciales, el también maglev experimental *Shinkansen* japonés ha alcanzado velocidades próximas a los 600 km/h, y la base tecnológica de las locomotoras AVE españolas, el TGV francés, en sus evoluciones posteriores a la década de los 80, alcanzó en circuito los 550 km/h sobre rieles convencionales. Podría ser aplicable si las pruebas tuviesen lugar en un servicio comercial, dado que en su circulación comercial diaria se alcanzan los 430 km/h de velocidad crucero.

Operada actualmente por la compañía establecida al efecto, Shanghai Maglev Transportation Development Co., Ltd., entre las 06:45 y las 21:30 hora local, cada aproximadamente 15 minutos, un ticket ida cuesta unos 5 euros, algo menos por descuento si se muestra un ticket de vuelo, y algo más del doble en clase VIP, y dado que es un enlace al metro, puede salir algo más barato y más rápido desplazarse directamente en taxi al destino concreto desde el aeropuerto siempre que este no se encuentre en las proximidades del metro de Lonyang.

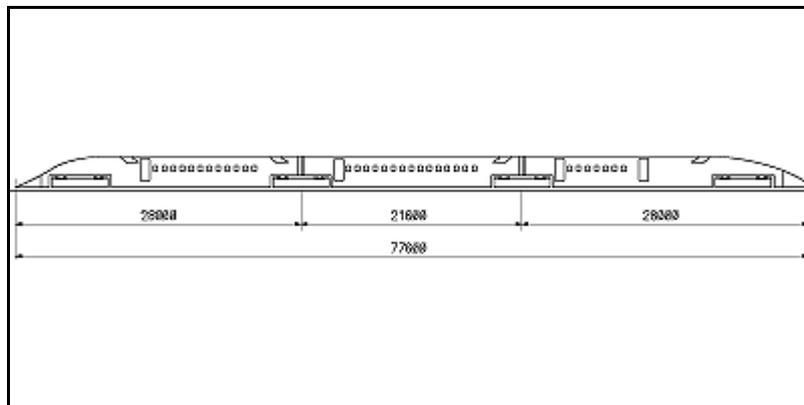
El 11 de agosto de 2006 se incendió un compartimento, sin víctimas ni heridos, su causa se estimó en un fallo de los sistemas eléctricos.

2.8.3 Maglev Japonés

El transporte de levitación magnética o Maglev, es un sistema de transporte que se suspende, guía y propulsa vehículos, principalmente trenes, utilizando un gran número de imanes para la sustentación y la propulsión usando levitación magnética.

Este método tiene el potencial de ser más rápido, silencioso y suave que los sistemas de transporte colectivo sobre ruedas. La tecnología tiene el potencial de superar 6.400 km/h (4.000 mph) si se despliega en un túnel al vacío. Al no utilizar un túnel al vacío la energía necesaria para la levitación no suele ser de una gran proporción y la mayoría de la energía necesaria se utiliza para superar la resistencia del aire, al igual que con cualquier otro tren de alta velocidad.

La mayor velocidad registrada de un tren maglev es de 581 km/h (361 mph), logrado en Japón en 2003, 6 km/h más rápido que el récord de velocidad del TGV convencional. Esto es más lento que un avión, ya que las aeronaves pueden volar a alturas mucho mayores donde la resistencia al aire es menor y por tanto las altas velocidades son más fáciles de alcanzar.



2.30 Diagrama del Maglev Japonés

Extensión de la Línea Yamanashi

La línea de Yamanashi se extiende 42.8 km entre Sakaigawa y Akiyama de Yamanashi. El Centro de Pruebas fue oficialmente abierto en Julio del 96, para empezar con el programa de pruebas de velocidad, y completar las actividades realizadas con respecto a la Levitación Magnética.

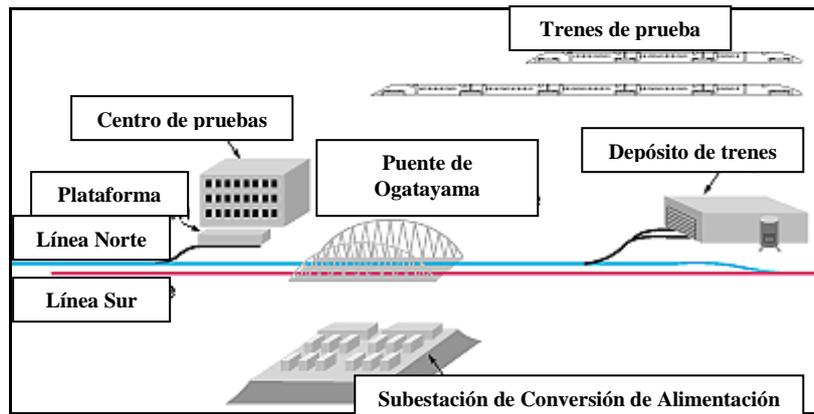


Figura 2.31 Plano general de la línea del Maglev Japonés

Todas las líneas incluyendo la de Yamanashi intentan lograr ciertos objetivos como los siguientes:

- Confirmar las posibilidades de seguridad, confiabilidad y estabilidad para cuando el vehículo alcance los 500 km/h.
- Confirmar la durabilidad del vehículo y el equipo, así como también los superconductores magnéticos.
- Asegurar que la eficiencia del vehículo sea la mejor, y lograr que las presiones que sufre el vehículo durante el trayecto no afecte el funcionamiento de la unidad.
- Hacer que el impacto ambiental que tenga el vehículo no sea mucho.
- Lograr un sistema de control múltiple de los trenes y controlar con seguridad sus operaciones.
- Lograr con todo lo ya mencionado, que el mantenimiento de las vías y las unidades no sea mucho, para que el costo por viaje no sea muy caro.

Características de la Línea de Yamanashi

Supermagnetismo de la pista de prueba en Yamanashi.

Los imanes superconductores son lo principal para la existencia de estos trenes. Cada imán superconductor consiste de 4 enredos superconductores. Son altamente confiables con una larga promedio de vida útil. Consiste de un tanque cilíndrico arriba que es un tanque almacenando helio líquido y nitrógeno.

La parte inferior tiene un superconductor que genera polos norte y sur alternadamente. En un extremo del tanque antes mencionado está un refrigerador integrado que sirve para convertir líquido el helio una vez que se evapore por la temperatura ambiental, entre otros factores.

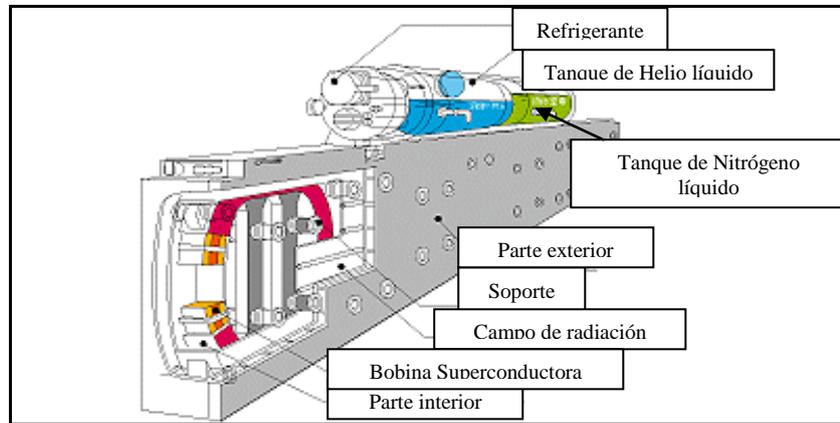


Figura 2.32 Características de la vía

Instalaciones eléctricas.

Se requiere de un inversor en la instalación de energía para transformar la energía de una compañía comercial de frecuencia normal a una frecuencia requerida para la operación del tren magnético. En la pista de prueba se pusieron tres inversores para tres fases respectivamente, de 38 MVA para la línea del norte y 20 MVA para la línea del sur. Dependiendo de la velocidad al cual viaja el tren, los inversores dan una frecuencia de 0 a 56 Hz para 550 km/h y los inversores del sur dan una frecuencia entre 0 y 46 Hz, para velocidades menores de como 450 km/h.



Figura 2.33 Subestación Maglev

Instalación de las bobinas para propulsión, levitación y guía

El primero es el método del “barrera”, consiste en que la porción de la pared será hecha únicamente de concreto. Toda la construcción de esta forma se hace en la fábrica, donde se incluye las bobinas de piso. Finalmente todo el tramo de pista es transportado a donde se está construyendo en la pista.

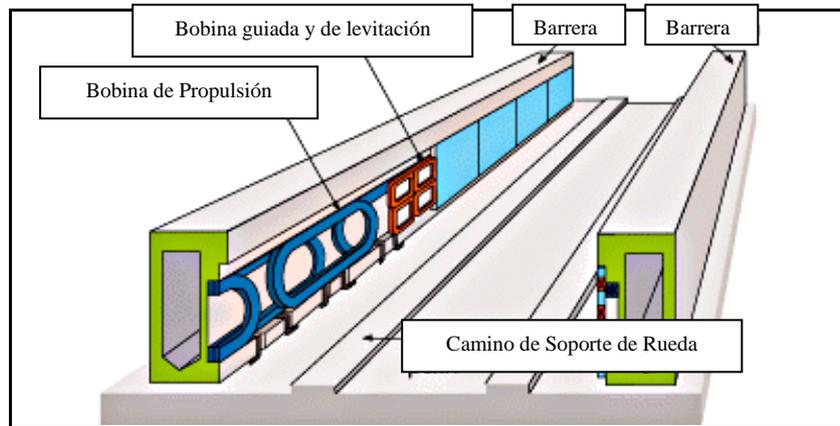


Figura 2.34 Esquema de la vía del Maglev

Método del Panel

El segundo es el método del panel. En este método la construcción se hace en el mismo lugar. Se construye primero uniendo las bobinas de piso con el cemento, posteriormente por medio de tornillos especiales, se une esta parte con una pared de concreto situada justo donde va la pista.

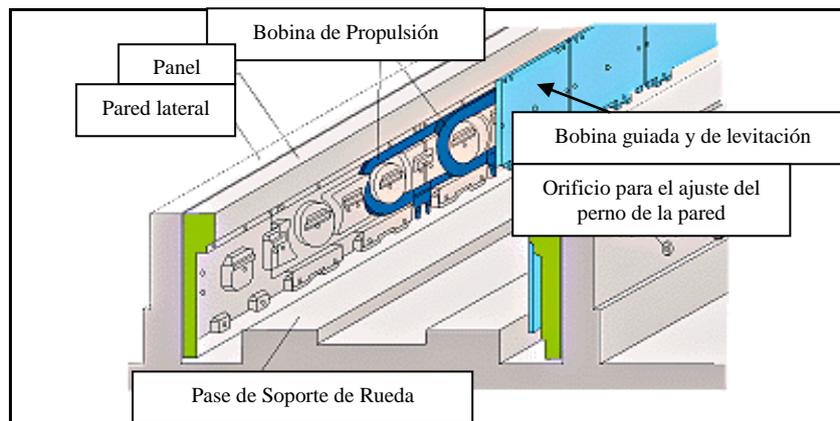


Figura 2.35 Partes de la vía del tren Maglev

2.8.5 Controversias del Tren Maglev

- 11 de agosto de 2006: se incendia uno de los trenes de Shanghai. Si bien todos los pasajeros fueron rescatados, quedó en evidencia la dificultad de los procesos de evacuación y de extinción del fuego debido a la circulación a gran altura.
- 22 de septiembre de 2006: el Transrapid 08 del circuito de pruebas de Emsland choca contra un vehículo de limpieza de la vía aproximadamente a las 09:30 CEST a una velocidad estimada de 170 km/h. Como resultado, fallecieron 23 personas y resultaron heridas otras 11. El techo del tren fue parcialmente desprendido, quedó fuera de la guía y los restos del desastre se esparcieron a lo largo de 400 metros. Extrañamente, la descripción del accidente no figura en la cronología de la página de Transrapid, solamente lo menciona. El centro de Emsland fue cerrado y a finales de mayo de 2009 se volvió a usar para pruebas con pasajeros.
- Octubre de 2006: en Shanghai, 8 millones de pasajeros habían viajado en el Transrapid. El 24 del mismo mes, en un evento organizado por el grupo de discusión parlamentario, políticos e industriales confirman su apoyo al proyecto del Transrapid para Múnich.
- 19 de abril de 2007: se entrega la primera sección del Transrapid 09 al circuito de pruebas de Emsland.
- 25 de julio: comenzaron los trabajos de extensión de la línea 2 del Metro de Shanghai desde Long Yang Road hasta el aeropuerto internacional de Pudong. Dicha extensión, de 30,8 km, va a servir 12 estaciones, nueve de las cuales van a ser subterráneas. Cuando la línea abra en mayo de 2010 se podrá viajar en tren directamente desde el centro de Shanghai sin transbordo y más rápidamente que utilizando metro + Transrapid.
- 24 de septiembre: acuerdo para la implementación del proyecto Transrapid en Múnich. Ese día fue firmado el acuerdo por Edmund Stoiber, Ministro Presidente de Baviera, Erwin Huber, Ministro de Estado bavaro, el presidente de los Ferrocarriles Alemanes (Deutsche Bahn AG) y el presidente del consorcio constructor.

- 25 de septiembre de 2007: el gobierno de Baviera consigue la financiación para la construcción de la línea de Múnich. Del costo total proyectado de 1850 millones de EUR, el gobierno federal planeaba aportar 925 millones, Baviera 490 millones, los Ferrocarriles Alemanes 235 millones, el aeropuerto 100 millones y la Unión Europea 50 millones.
- 27 de marzo de 2008: se reúne el Ministro Federal de Transporte Wolfgang Tiefensee con el Presidente de Baviera Günter Beckstein para discutir el futuro del proyecto del Transrapid entre Múnich y su aeropuerto. La reunión concluyó con un acuerdo para cancelar el proyecto puesto que el proyectado costo de construcción de 1,85 billones de EUR se había incrementado a más de 3 billones. Un comunicado del Ministerio Federal de Transportes explicó que después de un estudio de los trabajos de movimiento de tierra y excavación de túneles para la construcción de la línea de 37 km necesitaba la casi duplicación de los fondos para comenzar con los trabajos. Un acuerdo para reducir el alcance del proyecto para no sobrepasar los fondos disponibles no pudo ser alcanzado. Ni Baviera ni el Gobierno Federal estaban interesados en volcar mas fondos al proyecto, habiendo ya asignado EUR 490 millones y 925 millones respectivamente.
- El 2 de abril, la empresa Transrapid International afirmó que:

Este no es el fin de la tecnología maglev del Transrapid luego del abandono del proyecto de Múnich.

- Mayo de 2008: dos ingenieros son condenados por el accidente de 2006, puesto que la corte resolvió que podría haberse evitado de haber estado instalado un sistema de bloqueo de la línea.
- 10 de diciembre: el Ministro de Economía de Niedersachsen Walter Hirche anunció, después de una reunión con autoridades federales y representantes de la industria, que las pruebas en el circuito de Emsland iban a cesar el 30 de junio de 2009. El costo del desmantelamiento de las instalaciones tiene un costo de 40 millones de Euros.

- 24 de mayo de 2009: el circuito de pruebas de Emsland se abre nuevamente para viajes de prueba, después de que la organización certificadora TÜV y expertos del estado de Baja Sajonia comprobaran que no hay riesgos de seguridad. Solo se permitieron 20 pasajeros por viaje.

Controversias del Transrapid

Después de 37 años de pruebas y experimentos, los 31 km del tramo entre el aeropuerto de Shanghai y Pudong constituyen el único maglev de alta velocidad en servicio en el mundo. Puesto en servicio el 31 de diciembre de 2002, es una operación antieconómica y que no llega al centro de la ciudad. Ha sido definido por varios medios como un caro transporte para turistas.

Según un artículo de la Deutsche Welle titulado "La muerte de un dinosaurio técnico": "Incluso en países donde, debido a que es necesario salvar grandes distancias, podría tener sentido, nadie se interesa por él. Por ello, más allá de las lágrimas de cocodrilo de muchos políticos, el antiguo proyecto modelo de la ingeniería alemana se había transformado desde hace tiempo en un lastre político."

"Unos 1.000 millones de euros en subvenciones ha costado ya. Pero en funcionamiento comercial se halla solamente en China, donde une el aeropuerto con el centro de Shanghai, una distancia de poco menos de 40 kilómetros. Sin embargo, tampoco allí es el éxito técnico en que un puñado de "fans" quiere creer."

"Lo demuestra el hecho de que no bien surgieron rumores en Alemania de que Siemens y Thyssen-Krupp, que han desarrollado juntos la tecnología, estarían dispuestos a vender los derechos de ésta e incluso las patentes enteras, de inmediato desde China llegaron noticias de que no existía interés por comprarlos. La tecnología es demasiado cara, se argumentó. Exactamente ésa es la cuestión."

"Para Beckstein, el fin del tramo de Múnich significa en definitiva el entierro de todos los sueños de construir un tren de levitación magnética que opere en condiciones comerciales en Alemania. "El proyecto de Múnich era la última oportunidad. Pero igual hay que seguir impulsando la técnica. Al fin y al cabo hay interesados en China, los EE. UU. y el área árabe", agregó en tono de consuelo."

CAPÍTULO III ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA MEXICANA Y SU TRANSPORTE ELÉCTRICO

3.1 Características del país

México (náhuatl: Mēxihco), oficialmente llamado Estados Unidos Mexicanos, es un país de América, situado en la parte más meridional de América del Norte, entre el océano Pacífico al sur y al oeste, y el golfo de México y el mar Caribe al este. México limita al norte con los Estados Unidos y al sureste, con Belice y Guatemala. El país tiene una extensión cercana a los 2 millones de km², que lo colocan en la decimoquinta posición en la lista de los países ordenados por superficie. En México habitan más de 107 millones de personas, por lo que se trata de la nación hispanohablante más poblada del mundo. El español convive en México con numerosas lenguas indígenas, reconocidas oficialmente como nacionales por el Estado mexicano. El poblar de este territorio se remonta posiblemente a 12-14 mil años hacia el pasado aunque hay una discusión científica pendiente de resolver, con respecto del tiempo en que llegaron los primeros pobladores del continente americano, tiempo en el que se sucedieron en ese mismo espacio numerosos pueblos, que incluyen tanto a culturas mesoamericanas agrícolas como a los nómadas de Aridoamérica y los pueblos oasis americanos. Tras casi 300 años de dominación española, México inició la lucha por su independencia política en 1810. Posteriormente, durante cerca de un siglo el país se vio envuelto en una serie de guerras internas e invasiones extranjeras que tuvieron repercusiones en todos los ámbitos de la vida de los mexicanos.

Durante buena parte del siglo XX (principalmente la primera mitad) tuvo lugar un período de gran crecimiento económico en el marco de una política dominada por un solo partido político. El país está compuesto por 32 entidades federativas. La sede del gobierno y los poderes de la unión mexicana es la ciudad de México, D. F., cuyo territorio ha sido designado como distrito federal.

Capital (y ciudad más poblada) México, D. F.

 19°26' N 99°08' O

Idiomas oficiales: Español (de facto)

Forma de gobierno: República federal

Presidente: Felipe de Jesús Calderón Hinojosa

Independencia:

- Declarada
- Consumada
- Reconocida de España:

16 de septiembre de 1810

27 de septiembre de 1821

28 de diciembre de 1836

Superficie: Posición 15

% Total: 1.972.550 km²

% de agua: 2,5%

Fronteras:

3.152 km al norte con EE. UU., al sureste 956 km con Guatemala y 193 km con Belice

Población total: Posición 11

Total: 107.978.956 (1-1-2010)

Densidad: 54,7 hab/km²

PIB (nominal): Posición 14

Total (2009): US\$ 874.902 millones

PIB per cápita: US\$ 8.143

PIB(PPA): Puesto 11

Total (2009): US\$ 1.540.207 millones

PIB per cápita: US\$ 14.336

IDH (2009) ▲0,854 (53°) – Alto

Moneda Peso (\$, MXN)

Gentilicio: mexicano, -a

Huso horario: en verano UTC-6 a UTC-8

UTC-5 a UTC-7

Miembro de: OEA, ONU, OCDE, TLCAN, G-20, G-5, APEC, G.3, CIN, UL, ABINIA,

Grupo de Río, OEI, AEC.



Figura 3.1 Mapa del relieve de los Estados Unidos Mexicanos

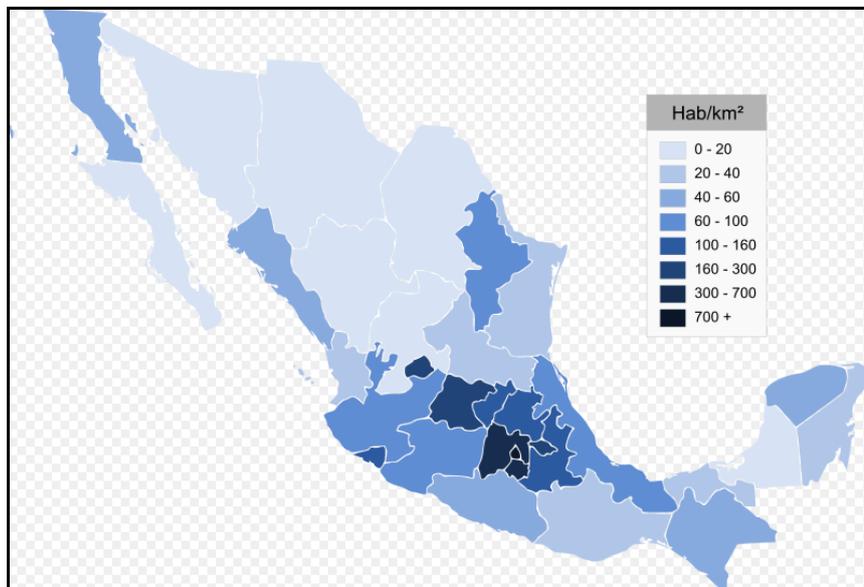


Figura 3.1.2 Mapa de México por densidad de población

Tabla 3.1 Densidad de Población por cada Estado de la República Mexicana

 Distrito Federal	MX-DIF	1325 México-Tenochtitlan 1824 Distrito Federal		18.839.361	1.479
Entidad Federativa	Abreviatura Código ISO	Capital	Erección	Población (1-1-2009)	Área (km²)
 <u>Aguascalientes</u>	<u>MX-AGS</u>	<u>Aguascalientes</u>	<u>1835</u>	<u>1.133.137</u>	<u>5.625</u>
 <u>Baja California</u>	MX-BCN	<u>Mexicali</u>	<u>1952</u>	3.122.408	71.546
 <u>Baja California Sur</u>	MX-BCS	<u>La Paz</u>	<u>1974</u>	558.425	73.943
 <u>Campeche</u>	MX-CAM	<u>San Francisco de Campeche</u>	<u>1857</u>	791.322	57.727
 <u>Chiapas</u>	MX-CHP	<u>Tuxtla Gutiérrez</u>	1824	4.483.886	73.681
 <u>Chihuahua</u>	MX-CHI	<u>Chihuahua</u>		3.376.062	247.487
 <u>Coahuila</u> ^{1 2}	MX-COA	<u>Saltillo</u>		2.615.574	151.445
 <u>Colima</u>	MX-COL	<u>Colima</u>	<u>1857</u>	597.043	5.627
 <u>Durango</u>	MX-DUR	<u>Victoria de Durango</u>	1824	1.547.597	123.367
 <u>Guanajuato</u>	<u>MX-GTO</u>	<u>Guanajuato</u>		<u>5.033.276</u>	<u>30.621</u>
 <u>Guerrero</u>	MX-GRO	<u>Chilpancingo de los Bravo</u>	<u>1849</u>	3.143.292	63.794
 <u>Hidalgo</u>	MX-HGO	<u>Pachuca de Soto</u>	<u>1869</u>	2.415.461	20.856
 <u>Jalisco</u>	<u>MX-JAL</u>	<u>Guadalajara</u>	1824	<u>6.989.304</u>	<u>78.630</u>
 <u>México</u>	<u>MX-MEX</u>	<u>Toluca de Lerdo</u>		<u>14.739.060</u>	<u>22.333</u>
 <u>Michoacán</u>	MX-MIC	<u>Morelia</u>		3.971.225	58.667
 <u>Morelos</u>	MX-MOR	<u>Cuernavaca</u>	<u>1869</u>	1.668.343	4.892
 <u>Nayarit</u>	MX-NAY	<u>Tepic</u>	<u>1917</u>	968.257	27.862
 <u>Nuevo León</u>	<u>MX-NLE</u>	<u>Monterrey</u>	1824	<u>4.420.909</u>	<u>64.203</u>
 <u>Oaxaca</u>	MX-OAX	<u>Oaxaca de Juárez</u>		3.551.710	93.343
 <u>Puebla</u>	MX-PUE	<u>Puebla de Zaragoza</u>		5.624.104	34.251
 <u>Querétaro</u>	MX-QRO	<u>Santiago de Querétaro</u>		<u>1.705.267</u>	<u>11.658</u>
 <u>Quintana Roo</u>	MX-ROO	<u>Chetumal</u>	<u>1974</u>	1.290.323	42.535
 <u>San Luis Potosí</u>	MX-SLP	<u>San Luis Potosí</u>	1824	<u>2.479.450</u>	<u>61.165</u>

Continuación de Tabla 3.1 Densidad de Población por cada Estado de la República Mexicana

 Sinaloa ³	MX-SIN	Culiacán Rosales	1831	2.650.499	57.331
 Sonora ³	MX-SON	Hermosillo		2.499.263	184.946
 Tabasco ⁵	MX-TAB	Villahermosa	1824	2.045.294	24.747
 Tamaulipas ²	MX-TAM	Ciudad Victoria		3.174.134	80.148
 Tlaxcala	MX-TLX	Tlaxcala de Xicohtécatl	1857	1.127.331	3.997
 Veracruz	MX-VER	Xalapa-Enríquez	1824	7.270.413	71.856
 Yucatán ⁴	MX-YUC	Mérida		1.909.965	39.671
 Zacatecas	MX-ZAC	Zacatecas		1.380.633	75.416

3.2 México con características tanto rentables y confiables para ser un posible candidato para un proyecto de trenes de alta velocidad.

Una de las principales razones que podrían envolver el desarrollo de este proyecto, es el hecho de que México hoy representa un estado de mucha importancia para el mundo tanto económico y estructural de todas las naciones de gran desarrollo. Sin embargo uno de sus mayores problemas es la mala distribución de las riquezas y de quienes las han mal administrado.

Sin embargo el mismo mexicano ha encontrado siempre la manera de existir, así como el hecho de crear sus propios métodos para encontrar la forma viable para realizarse dentro de esta sociedad.

Un ejemplo sobresaliente es el hecho de que 2 ciudades, dejando a un lado la Ciudad de México, han crecido por sus medios y recursos como lo es el caso de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco y la Ciudad de Monterrey, Nuevo León.

Pienso que si hubiera una ruta de transporte urbano que pudiera enlazarlas, se podría decir las 3 fuerzas más importantes del país, como en el caso de la Unión Europea siendo exactos en sus rutas ferroviarias de alta velocidad, en las que países como España, Francia, Inglaterra, Alemania, Italia, etc. Han unido sus líneas férreas de alta velocidad o están en el desarrollo final como el caso de la Línea del tren AVE-TGV, lo que permite al ciudadano Europeo poder transportarse por toda Europa a gran velocidad, así como el transporte de mercancía.

Lo que permite tener una mayor contribución e intercambio económico, cultural y en estructura tecnológica entre cada Estado o Nación, como también la descentralización del ciudadano europeo por todo el viejo continente.

Un ejemplo que se puede aliar o unir con lo antes mencionado, es el hecho del gran desarrollo de cada uno de los trenes de alta velocidad de cada país y sus diferentes características que hacen a cada uno su propia tecnología.

Como lo pude redactar en el capítulo anterior, desde su creación, hasta el día de hoy. Y por supuesto mencionar a los creadores refiriéndome a los japoneses, quienes unieron completamente su país con trenes de alta velocidad aun con su poca extensión territorial, su historia bélica y su orografía complicada.

Volviendo a lo que se refiere este capítulo, el hecho de unir estos 3 estados de gran producción para nuestro país, generaría sin lugar a dudas un mayor intercambio de conocimientos, economía, tecnología que hicieran una mayor fuerza, e inclusive una mejor economía para el país, como simplemente también la situación de la descentralización uniendo los estados que serían base férrea para cada uno de las ciudades a las que se quiere unir. Provocando así el mismo crecimiento de los otros estados, que tarde o temprano formarían una unión más fuerte en todos los sentidos. Hasta lograr comunicar con todos y cada uno de los estados que conforman la Republica Mexicana.

Es importante mencionar que esta unión ya existía con todos los estados, sin embargo el avance del transporte aéreo, el desarrollo de caminos y puentes federales y privados acabaron con la comunicación férrea urbana del país, quedando solo para el transporte de mercancía. Como además mencionar que inclusive se tenía una unión con la vía férrea de Estados Unidos de Norteamérica y con Centroamérica en cuestión de transporte urbano, ya que actualmente solo existe para el transporte comercial.



Figura 3.2 Mapa de Ferrocarriles Mexicanos

Ferrocarriles mexicanos fue una de las mayores creaciones de transporte en alguna época lo que no puede terminar con empresas únicamente aéreas que inclusive hoy en día sale a la luz que MEXICANA esta en quiebra y sin rumbo fijo por deudas y problemas estructurales económicos, que la mayoría de sus aviones eran rentados, a pesar de haber sido una fuerza de transporte en nuestro país.

Si pudiera dar un enfoque principal de cuales serían algunas de las razones por las que México sería apto y un excelente candidato para desarrollar un sistema de transporte eléctrico de alta velocidad, serían las siguientes:

- 1.- País número 15 en extensión territorial
- 2.- Se tiene una población mayor a los 107 millones de habitantes.
- 3.- Es el país hispanohablante más poblado del mundo.
- 4.- Por el volumen neto de su producto interno bruto nominal (PIB), se considera a México la decimocuarta economía mundial.

5.- En el 2001 había sido la novena y la número 11 por PIB (PPA La paridad del poder adquisitivo (PPA) es un indicador económico para comparar de una manera realista el nivel de vida entre distintos países, atendiendo al producto interior bruto per cápita en términos del coste de vida en cada país).

6.- Es la segunda economía de Latinoamérica, sólo detrás de Brasil, y la cuarta del continente.

7.- No obstante la repartición de la riqueza es desigual, ya que en el país coexisten municipios con índices de desarrollo humano similares a naciones como Alemania o Burundi(pequeña nación en África).

8.- México también es uno de los países con mayor diversidad de climas en el mundo, así como uno de los 12 países mega diversos del planeta ya que es hogar del 10-12% de la biodiversidad mundial y alberga a más de 12.000 especies endémicas.

9.-Tiene la necesidad de crear nuevas rutas de transporte, que favorezcan a su población, así como la descentralización de sus economías y poblaciones, como lo es el caso de estas 3 ciudades.

10.- México tiene la infraestructura suficiente, como la generación eléctrica suficiente para llevar a cabo un desarrollo eléctrico de estas dimensiones.

11.-México ha sido potencia mundial en varias ocasiones en su historia, tanto prehispánica con su total dominio en toda Mesoamérica, tanto colonial como la base principal y dominio en el Nuevo Mundo e inclusive en la época del Porfiriato donde en cuestión monetaria, lo más relevante fue la devaluación del peso mexicano, ocasionada por depreciación de la plata (el término depreciación es una reducción anual del valor de una propiedad, planta o equipo. La depreciación puede venir motivada por tres motivos; El uso, el paso del tiempo y la obsolescencia y a mi criterio el miedo internacional al crecimiento de México) en el mercado internacional. El peso mexicano se depreció rápidamente respecto a su intercambio con otras monedas.

En 1870, el dólar y el peso se intercambiaban prácticamente a la par; en 1890 la relación era de un peso por 83 centavos de dólar, en 1894, un peso se intercambiaba por 51 centavos de dólar.

3.3 Economía mexicana

Durante la época colonial y el siglo XIX, México fue un país dedicado a la agricultura. La mayor parte de sus ingresos por ventas extranjeras provenían de la explotación minera, especialmente, de la plata. De este mineral, México ha ocupado el primer lugar mundial en producción desde hace más de dos siglos.

El proceso de industrialización de México durante la Colonia y el primer siglo de vida independiente fue sumamente lento. Entre los siglos XVI y XVIII, las leyes coloniales impedían el desarrollo de las manufacturas en la Nueva España como en el resto del Imperio Español. Éstas debían importarse de la metrópoli, que a su vez las adquiría mayormente de las naciones industrializadas del norte de Europa. Todo el siglo XIX hubo intentos por dotar de una planta industrial al país. Los gobiernos intentaron atraer empresarios extranjeros, sin mucho éxito. Durante la década de 1830, Lucas Alamán estableció el Banco del Avío, destinado al fomento industrial. Sin embargo, todas estas tentativas rindieron escasos frutos.

A finales del siglo XIX, en el porfiriato, la industria textil era la más desarrollada. Se había establecido en el valle de Puebla, en la región de Orizaba y el valle de México.

El gobierno de Porfirio Díaz dio grandes privilegios al capital extranjero con la intención de atraer inversión directa en la construcción de infraestructura de comunicaciones y transporte, y en el crecimiento de la planta industrial. Sin embargo, los beneficios eran para unos pocos extranjeros, mientras la mayoría de los mexicanos vivían en condiciones de miseria y explotación.

En ese período de más de treinta años, entre 1876 y 1910, la red ferroviaria creció asombrosamente, alcanzando los 20.000 km de vías. Por otro lado, se construyó la primera hidroeléctrica de la nación (en Necaxa, Puebla) y se dio inicio a la explotación de los yacimientos petrolíferos, que colocaron a México en el primer lugar mundial de exportación de petróleo en la década de 1910. Cabe mencionar que los ricos campos petrolíferos de Faja de Oro y Cerro Azul, localizados en el norte del estado de Veracruz, fueron brutalmente agotados por la Standard Oil Company, Royal Dutch Shell y sus subsidiarias mexicanas, con un magro beneficio para el erario mexicano.

Tras el triunfo de la Revolución, dio inicio en México un segundo período de expansión industrial, favorecido, entre otras cosas, por la nacionalización del petróleo y la Segunda Guerra Mundial. En las décadas que siguieron a la conclusión de ese conflicto internacional, la economía mexicana tenía un carácter mixto, es decir, la inversión provenía tanto de la iniciativa privada como del Estado. Los sectores estratégicos fueron convertidos en industrias paraestatales, tal fue el caso de la explotación minera, la siderurgia, la producción de electricidad, la infraestructura carretera. Con la intención de favorecer la transferencia tecnológica, el gobierno permitió que muchas firmas internacionales establecieran filiales en el país, aunque siempre asociadas al capital nacional. La agricultura, por otro lado, era fuertemente subsidiada por el Estado, que se convirtió en el principal intermediario de los productos agropecuarios. Durante el período comprendido entre 1940 y 1970, la economía de México creció a un ritmo de 6,27% anual, en lo que se dio en llamar el Milagro mexicano.

Sin embargo, el proteccionismo y el cierre del mercado mexicano; así como fiebre de endeudamiento de la década de 1970 que concluyó con la crisis de la deuda de los años ochenta, dieron fin al período de crecimiento de la economía mexicana. En 1983, el país estaba en la bancarrota, y era incapaz de pagar sus deudas internacionales.

Algo similar estaba ocurriendo en el resto de América Latina. Para salir del trance, el gobierno cambió sus políticas y dio inicio el período que en México se conoce como de los tecnócratas, que continúa hasta el año 2006. Este período ha estado marcado por la austeridad en el gasto social, el impulso que se ha dado a la privatización de las grandes empresas paraestatales (de las que a la fecha sólo se conservan dos: Pémex y la Comisión Federal de Electricidad), y un crecimiento económico dependiente de las exportaciones de manufacturas (básicamente, hacia Estados Unidos).

La era tecnócrata no ha estado exenta de sobresaltos. Tras el relevo presidencial de 1994, México se vio sumergido en una nueva crisis, derivada de lo que el ex-presidente Salinas de Gortari llamó el error de diciembre. La economía no se recuperó sino hasta tres años después. A partir de ahí, el crecimiento ha promediado 4.85% anual, y el incremento medio en el sexenio de Vicente Fox, que concluyó el 30 de noviembre de 2006.

Exportaciones a		Importaciones de	
País	Porcentaje	País	Porcentaje
 Estados Unidos	88,4 %	 Estados Unidos	68,4 %
 Canadá	2,0 %	 Japón	4,7 %
 Alemania	0,9 %	 Alemania	3,6 %
 España	0,8 %	 Canadá	2,5 %
 Antillas Neerlandesas	0,6 %	 China	2,2 %
 Japón	0,4 %	 Corea del Sur	2,1 %
 Reino Unido	0,4 %	 Taiwán	1,6 %
 Venezuela	0,4 %	 Italia	1,6 %
Otros	6,1 %	Otros	13,3 %

Fuente: INEGI, 2005

Tabla 3.2 Porcentajes de Exportaciones e Importaciones

3.3.1 Algunos indicadores de la economía mexicana

Conforme a datos del Banco Mundial, en 2005 México tuvo el ingreso nacional bruto per cápita más alto de Latinoamérica, así como también el Ingreso Nacional Bruto más elevado en términos nominales de esta región ese año, consolidándose como un país de ingreso medio-alto. En tanto, el FMI reportó que en 2006 tuvo el segundo PIB per cápita en términos nominales después de Chile y el quinto por paridad de poder adquisitivo a nivel latinoamericano.

Además, la economía mexicana, en términos del Producto Interior Bruto, fue en 2006 la decimocuarta más grande del mundo en valores nominales y la duodécima en paridad por poder adquisitivo. Se conforma así como el segundo mayor PIB nominal de América Latina, sólo superado por el de Brasil.

Sin embargo, la distribución de la riqueza del país no es equitativa y la división entre ricos y pobres es muy grande. Aun así el país tuvo una increíble recuperación de la última crisis financiera desatada en 1994-1995. México es el décimo mayor exportador del mundo y recientemente se le ha nombrado como "Economía Emergente" como se les denomina a las economías cuyo crecimiento ha sido sostenido en los últimos años.

La actividad económica del país depende en gran medida de su comercio con los Estados Unidos de América, los cuales consumen más del 85% de las exportaciones mexicanas y dan trabajo a casi el 10% de su población. El envío de remesas por parte de los migrantes internacionales constituye la segunda fuente de ingresos más importante del país después del petróleo.

Desde mediados de los años 1980 el país se ha inclinado por un modelo económico neoliberal con un fuerte énfasis en la apertura comercial hacia otros mercados, lo cual ha convertido al país en el líder mundial en acuerdos de libre comercio habiendo firmado convenios de este tipo con 40 países en 12 diferentes Tratados. Su asociación comercial principal es el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (T.L.C.A.N. o NAFTA, por su sigla en inglés), integrado son Estados Unidos, Canadá. México también cuenta con un tratado de libre comercio con la Unión Europea, con el bloque denominado EFTA (Luxemburgo, Suiza, Liechtenstein y Noruega) y recientemente se selló un compromiso similar con Japón.

México es el único país de Latinoamérica que es incluido en el Índice de Bonos Gubernamentales (World Government Bond Index en inglés), el cual reconoce calificación crediticia, liquidez y políticas macroeconómicas.

Tabla 3.3 Productos principales que exporta México (año 2005)

Producto	Valor (miles de dólares)
Petróleo crudo.	28 333 980
Automóviles para el transporte de personas (motor cuya cilindrada sea de 1500 hasta 3000 cm ³).	9 058 147
Aparatos receptores de televisión con pantalla plana.	5 884 489
Arneses exclusivamente para uso automotriz.	4 580 623
Automóviles para el transporte de personas (motor cuya cilindrada sea superior a 3000 cm ³).	3 297 996
Aparatos emisores de radiotelefonía, radiotelegrafía, radiodifusión o televisión con dispositivo receptor incorporado.	3 046 209
Partes o refacciones de uso exclusivo para los asientos utilizados en vehículos automóviles.	2 963 401
Automóviles para el transporte de mercancías con motor de encendido por chispa (para carga de 2 721 hasta 4 536 kg.)	2 451 342
Computadoras digitales de escritorio con unidad central de proceso y una unidad de entrada y una de salida, combinadas.	2 230 677
Motores para motocicletas de cilindrada de 1 000 hasta 2 000 cm ³ .	1 788 436
Trajes, conjuntos, sacos, pantalones, shorts, de algodón, para hombres o niños.	1 544 050
Cerveza.	1 507 266
Aceites minerales puros del petróleo sin aditivos.	1 394 135
Receptores de microondas o de señales vía satélite, cuya frecuencia de operación sea hasta de 4.2 GHz y máximo 999 canales de televisión.	1 388 220
Automóviles para el transporte de mercancías con motor de encendido por compresión (para carga de 2 721 hasta 4 536 kg.)	1 342 337
Pantalones y pantalones cortos, de algodón, para mujeres y niñas.	1 312 083
Partes y accesorios de carrocería para los vehículos automotores (incluidas las de cabina).	1 226 216
Circuitos modulares y sus partes para aparatos eléctricos de telefonía o telegrafía incluidos los celulares.	1 209 068
Aceites minerales puros de petróleo (aceites ligeros, livianos y preparaciones).	1 201 756
Computadoras digitales de escritorio con unidad central de proceso y una unidad de entrada y una de salida, sin combinar.	1 193 805
Exportaciones totales	213 711 210

FUENTE: INEGI. Estadística del Comercio Exterior de México.

Tabla 3.4 Principales países a los que exporta México (año 2005)

País	Exportaciones (miles de dólares)
Estados Unidos de América	183 052 062
Canadá	4 229 550
España	2 979 179
Alemania	2 288 976
Colombia	1 545 208
Japón	1 471 447
Aruba	1 447 660
Venezuela	1 287 135
Reino Unido	1 186 043
China	1 133 738
Brasil	889 374
Guatemala	863 514
Holanda	799 268
Argentina	670 306
Chile	666 124
República Dominicana	542 699
India	541 921
Bélgica	534 608
El Salvador	472 115
Panamá	462 643
Exportaciones totales	213 711 210

FUENTE: INEGI. Estadística del Comercio Exterior de México.

Tabla 3.5 Productos principales que importa México (año 2005)

Producto	Valor (miles de dólares)
Gasolina.	4 915 341
Automóviles para el transporte de personas (motor cuya cilindrada sea de 1500 hasta 3000 cm ³).	4 526 259
Circuitos integrados monolíticos digitales.	4 294 478
Circuitos integrados monolíticos distintos de los digitales.	3 288 222
Partes o refacciones de uso exclusivo para aparatos emisores y/o receptores de señales acústicas o visuales.	3 252 883
Automóviles para el transporte de personas (motor cuya cilindrada sea superior a 3000 cm ³).	2 955 393
Manufacturas de plástico (artículo de oficina o escolar, accesorios de vestir, molduras para carrocerías, artículos de adorno, etcétera.)	2 352 804
Gas natural.	2 254 185
Partes y accesorios de carrocería para los vehículos automotores (incluidas las de cabina).	2 094 485
Partes o refacciones de uso exclusivo para aparatos de corte, seccionamiento, protección, derivación, empalme o conexión de circuitos eléctricos.	2 068 314
Circuitos modulares para computadoras.	1 992 365
Partes y accesorios para computadoras, excepto circuitos modulares.	1 960 291
Motores de pistón de encendido por compresión, diesel o semi-diesel.	1 954 525
Unidades de memoria para computadoras.	1 904 940
Manufacturas de hierro o acero para la industria (barras, moldes, aros, abrazaderas, etc.)	1 814 850
Partes y refacciones para vehículos automotores (tanques de combustible, juntas, ejes, etc.)	1 578 784
Circuitos modulares de uso exclusivo para aparatos emisores y/o receptores de señales acústicas o visuales.	1 251 460
Aparatos emisores de radiotelefonía, radiotelegrafía, radiodifusión o televisión con dispositivo receptor incorporado.	1 230 203

Continuación de Tabla 3.5 Productos principales que importa México (año 2005)

Medicamentos preparados para usos terapéuticos o profilácticos, acondicionados para la venta al por menor.	1 206 107
Artículos de plástico para el transporte o envasado (cajas, cajones, jaulas y artículos similares).	1 108 655
Importaciones totales	221 269 758

Tabla 3.6 Principales países de los que importa México (año 2005)

País	Importaciones (miles de dólares)
Estados Unidos de América	118 261 651
China	17 630 657
Japón	13 022 618
Alemania	8 664 965
Corea	6 534 402
Canadá	6 163 422
Brasil	5 211 031
Taiwán	4 046 037
Malasia	3 637 324
Italia	3 495 638
España	3 324 181
Francia	2 562 651
Singapur	2 215 329
Reino Unido	1 864 514
Chile	1 754 093
Tailandia	1 548 891
Filipinas	1 314 608
Argentina	1 302 276
Suiza	1 019 378

Continuación de Tabla 3.6 Principales países de los que importa México (año 2005)

Suecia	971 665
Importaciones totales	221 269 758

Tabla 3.6 Lista de las principales áreas metropolitanas de México, como se informa en el censo de 2005.

<u>Num.</u>	<u>Ciudad</u>	<u>Estado</u>	<u>Pob.</u>	<u>Num.</u>	<u>Ciudad</u>	<u>Estado</u>	<u>Pob.</u>
1	<u>Cd. de México</u>	<u>DF, Mex, Hgo</u>	18.847.433	10	<u>Querétaro</u>	<u>QRO</u>	1,014,705
2	<u>Guadalajara</u>	<u>Jal</u>	4,095,853	12	<u>Mérida</u>	<u>Yuc</u>	897,740
3	<u>Monterrey</u>	<u>NL</u>	3,664,331	13	<u>Mexicali</u>	<u>BC</u>	855,962
4	<u>Puebla</u>	<u>Pue, Tlax</u>	2,109,049	14	<u>Aguascalientes</u>	<u>Ags</u>	805,666
5	<u>Toluca</u>	<u>Mex</u>	1,610,786	15	<u>Tampico</u>	<u>Tamps, Ver</u>	803,196
6	<u>Tijuana</u>	<u>BC</u>	1,483,992	16	<u>Culiacán</u>	<u>Sin</u>	793,730
7	<u>León</u>	<u>Gto</u>	1,425,210	17	<u>Cuernavaca</u>	<u>Mor</u>	787,556
8	<u>Cd. Juárez</u>	<u>Chih</u>	1,313,338	18	<u>Acapulco</u>	<u>Gro</u>	786,830
9	<u>Torreón</u>	<u>Coah, Dgo</u>	1,110,890	19	<u>Chihuahua</u>	<u>Chih</u>	784,882
11	<u>San Luis Potosí</u>	<u>SLP</u>	1,104,034	20	<u>Morelia</u>	<u>Mich</u>	776,467

Basados en varios procedimientos estadísticos y tomando como base el Censo 2000, se obtuvo un total de 55 zonas metropolitanas, que en su conjunto tienen un total aproximado de 51,5 millones de habitantes, representando el 52,8% de la población total de la nación.

3.3.2. Estadísticas de los estados mexicanos con mayor economía

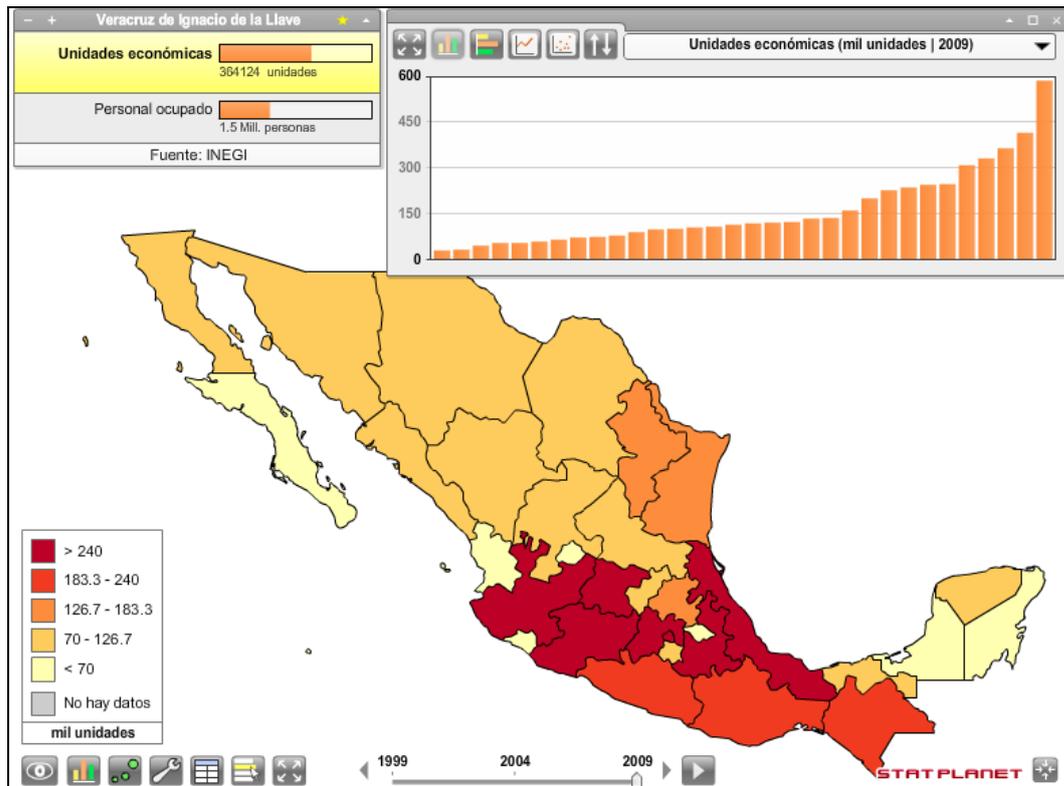
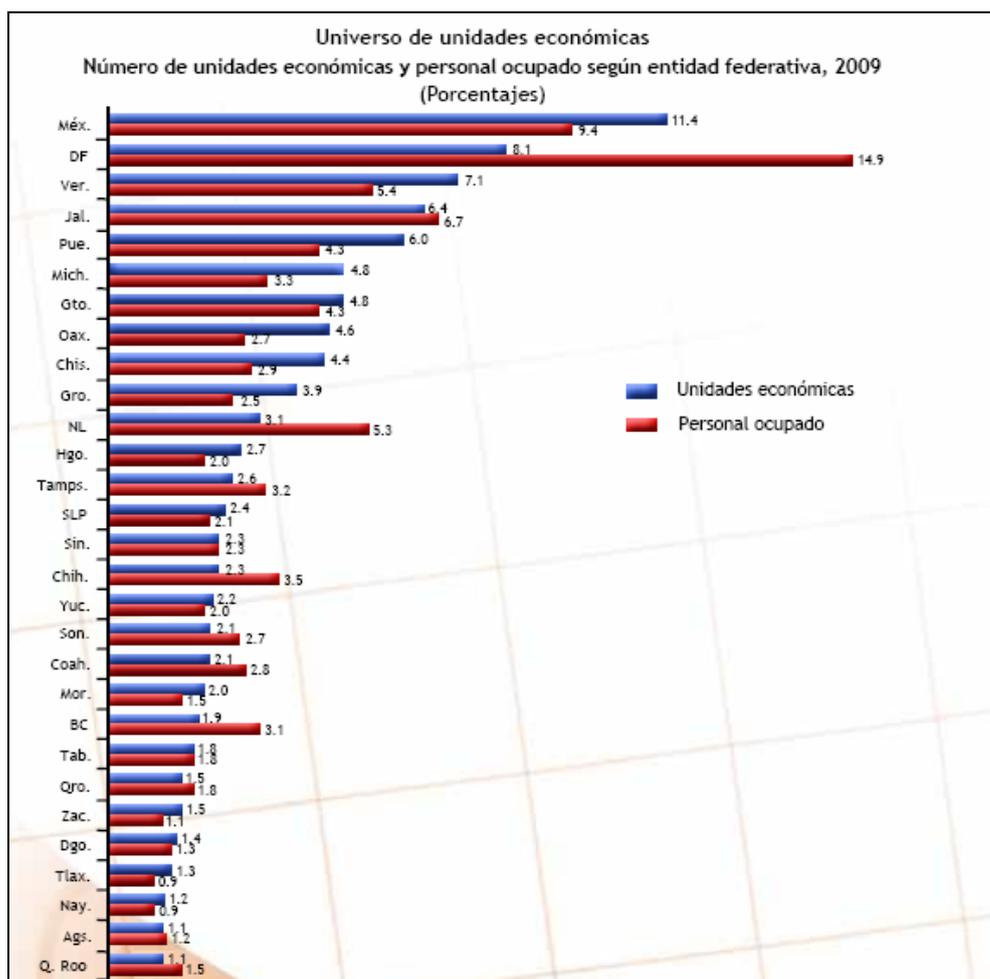
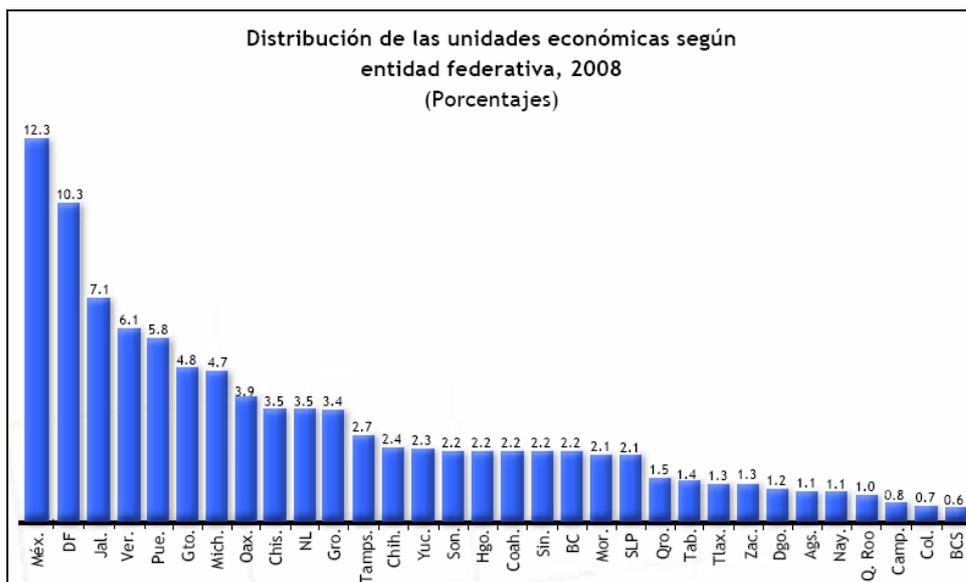


Figura 3.3 Mapa con los estados con mayor número de unidades económicas de nuestra República.

Gráfica 1 Números de unidades económicas y personal según la entidad federativa



Gráfica 2 Distribución de la unidades económicas según la entidad federativa



Grafica 3 Principales entidades federativas en la generación de producto



Figura 3.4 Crecimiento económico de la Republica Mexicana 1988-2003

3.4 Ferrocarriles mexicanos

Los inicios del ferrocarril en México se remontan a las concesiones otorgada por Maximiliano I de México y continuadas después por Benito Juárez. El antecedente original de la empresa fue creada bajo el mandato del gobierno de Porfirio Díaz, ya que bajo su gobierno de 30 años fue desarrollada la mayor parte de vías férreas que actualmente existen, de hecho solo faltó la vía del Mexicano de México-Veracruz, pues el mayor interés del Gral. Díaz fue en desarrollar al país industrialmente pero tuvo un especial ahincó por el ferrocarril.

La mayoría de ferrocarriles de aquel entonces estaban administradas por empresas extranjeras y solo unas cuantas eran de origen nacional; Por ejemplo el Ferrocarril Sud-Pacífico de México estaba bajo régimen del FF.CC. estadounidense Southern Pacific y algunas vías del noreste de México eran del FF.CC. Atchison, Topeka & Santa Fe, pero según datos históricos, el secretario de hacienda de aquel tiempo José Yves Limantour informo al presidente una situación preocupante para el, pues en cualquier momento las empresas férreas extranjeras que administraban ferrocarriles en tierras mexicanas podrían querer ejercer sus derechos sobre estas y fue creada la empresa administradora de las concesiones el día “6 de Julio del año de 1907” Ferrocarriles Nacionales de México, la cual administraba desde entonces todos los ferrocarriles del país con esto surgieron también empresas hermanas las cuales fueron:

- Ferrocarril del Pacífico (FCP).
- Ferrocarril de Chihuahua al pacífico.(CH-P)
- Ferrocarril sonora- baja California.(SBC)
- Ferrocarril Coahuila y Zacatecas.(FC C Y Z)
- Ferrocarril Interoceánico de México.(FCI)
- Ferrocarriles Unidos de Yucatán, que más tarde se llamaron Unidos del Sur-Este.(U DE Y - FUS)

Aclarando que aunque las empresas férreas del país habían sido nacionalizadas seguían en parte metidas manos extranjeras, posteriormente Lázaro Cárdenas del Rio, que junto con el Petróleo los expropio y los puso bajo manos mexicanas completa y definitivamente en 1938.

Mas tarde en el año de 1987 el gobierno mexicano tomo prevenciones en el fin de las concesiones de los ferrocarriles: FCP, SBC, CH-P y decidió que se fusionarían todos los ferrocarriles del país fusionando a todas en una sola entidad y fue creada una gerencia para las cuatro líneas troncales : FNM región centro, región sur, región pacifico, región pacifico norte, región sur-este, región noreste, que era supervisada directamente por la Secretaria de Comunicaciones en sus diferentes épocas. Las siglas utilizadas por esta organización fueron N de M, y la frase: Unir-Servir, hasta los años 80's y posteriormente de los 90's hasta su desaparición las siglas fueron FNM.

FNM es una compañía del Estado que se encuentra actualmente en proceso de liquidación y controla algunas líneas que no pudieron ser concesionadas o que resultan de importancia para la economía nacional, como el Trans-Istmico, que va de Salina Cruz en Oaxaca a Coatzacoalcos en Veracruz, aunque los trabajos directos los da como contratos a compañías privadas. La compañía dejó de ser la administradora de la mayoría de las rutas de ferrocarril, ya que éstas pasaron a manos privadas como concesión, quedando su control bajo una subsecretaria de la S.C.T. esta se dividió en cuatro ferrocarriles principales, operación que ha supuesto al Ejecutivo mexicano ingresos de 2,300 millones de dólares. Sólo las llamadas líneas cortas, que representan el 23% del total de trayectos, son todavía de su propiedad.

El gobierno de Ernesto Zedillo anunció al pueblo de México la privatización de FNM en 1995 (aunque ya se había concesionado la primera compañía férrea privada en México en 1994 que fue TFM la cual concesionó las líneas del noreste y parte del centro y en 2005 cambió de nombre y esquemas a KCSM), por lo que cada vez se iba incorporando una empresa férrea privada, por ejemplo en toda la zona Pacífico del país FNM cerró operaciones durante todo el transcurso del año de 1997 y parte de 1998 quedando así la nueva empresa incorporada en febrero de 1998 Ferromex, además se otorgaron concesiones por 50 años a cada una de las empresas privadas cerrando FNM operaciones definitivamente en el transcurso del año de 1999 (pues hasta ese año aun operaban servicios de pasajeros en los alrededores del D.F.); y de Ferrocarriles Nacionales de México y surgieron las siguientes compañías:

- TFM ahora Kansas City Southern de México KCSM.
- Ferrocarril Mexicano Ferromex.
- Ferrocarril del Sureste Ferrosur.
- Terminal Ferroviaria del Valle de México (TFVM), ahora conocida como Ferrovalle o Ferrocarril y Terminal del Valle de México FTVM.

En 1996, Kansas City Southern (KCS), en una empresa conjunta con Transportes Marítimos Mexicanos (TMM), compró la concesión del Ferrocarril del Nordeste que unía a la Ciudad de México, Monterrey, el puerto del Océano Pacífico de Ciudad Lázaro Cárdenas y el cruce fronterizo de Laredo. La empresa fue inicialmente llamada Transportación Ferroviaria Mexicana, pero pasó a denominarse Kansas City Southern de México (KCSM), en 2005, cuando KCS compró los intereses de TMM. Los sistemas de KCS en los Estados Unidos y México forman conjuntamente un sistema ferroviario que une los interiores y centros industriales de México y los Estados Unidos.

La concesión del Ferrocarril del Noroeste, que conecta la ciudad de México y Guadalajara con el puerto del Océano Pacífico de Manzanillo y los diversos cruces a lo largo de la frontera de los Estados Unidos, fue vendida a una empresa conjunta entre el Grupo México y Union Pacific Railroad en 1998. La empresa opera como Ferrocarril Mexicano o Ferromex. Hubo dos concesiones en la región sur, que se fusionaron en 2000 para formar Ferrosur. Ferrosur opera la línea ferroviaria entre la ciudad de México y el puerto de Veracruz en el Golfo de México. En 2005, Ferrosur fue adquirida por la empresa matriz de Ferromex. KCSM litigó para parar la adquisición, y la fusión no recibió aprobación del gobierno. Los tres principales ferrocarriles de México son dueños en conjunto del Ferrocarril y Terminal del Valle de México (Ferrovalle), que opera terminales de ferrocarriles y en los alrededores de la Ciudad de México.

Posteriormente se detectaría un fraude multimillonario en el proceso de liquidación por parte de 5 ex servidores públicos de Ferrocarriles Nacionales de México, el ilícito se cometió cuando los ex funcionarios convocaron entre 2003 y 2005 a licitaciones para vender chatarra de Ferrocarriles Nacionales, pero no entregaron el material, lo que generó un adeudo de unos 10.3 millones de pesos con las empresas adjudicadas.

Para saldar la deuda los ex servidores del organismo en liquidación entregaron de manera ilegal más de 52 mil toneladas de vías férreas, rieles, durmientes, clavos y planchuelas propiedad de la Federación con un valor superior a mil 800 millones de pesos.

Esa cantidad de material equivale a tres veces la red del Metro de la ciudad de México o siete veces el acero de la Torre Eiffel. También se entregaron a las cuatro empresas 590 kilómetros de vías férreas útiles que lejos de ser chatarra es acero de alta calidad. Los cinco tramos de vías entregados ilegalmente estaban instalados en Durango, Michoacán, Jalisco, Chihuahua y Puebla.

3.4.1 Ferromex

Ferromex, abreviación de Ferrocarril Mexicano, es un consorcio ferroviario privado que opera la más grande red de ferrocarriles (en km) de México.

Ferromex comenzó a funcionar el 19 de febrero de 1998, tras la "concesión" de la mayor parte de los ferrocarriles públicos mexicanos. Ferromex controla más de 8.500 km de vías y conecta 5 grandes conurbaciones mexicanas, 5 ciudades a lo largo de la frontera con los Estados Unidos, 4 puertos en el Pacífico y otro más en el Golfo de México.

El 26 de noviembre de 2005, Ferromex anuncia la compra de los 1.448 km de Ferrosur, anteriormente llamado Ferrocarril del Sureste, a un precio de USD\$307 millones, convirtiéndose en el principal operador del país (7.886 km). Los dos ferrocarriles habían intentado una fallida fusión en 2002, impedida en ese entonces por la legislación antimonopolio.

Ferrocarril de clase 1 dispuesta por la AAR, más conocida como FERROMEX, de la inversionista minera Grupo México. Comenzó a funcionar el 19 de febrero de 1998, a raíz del plan de privatización de Ferrocarriles Nacionales de México.

Es el ferrocarril más grande de México con 8.500 km de vías férreas de trocha 1,435 mm entre 30 y 35 toneladas de carga por eje, posee 5 pasos fronterizos con EE. UU., que son:

- Mexicali en el estado de Baja California.
- Nogales estado de Sonora
- Ciudad Juárez estado de Chihuahua
- Ojinaga estado de Chihuahua
- Piedras Negras estado de Coahuila

Conecta a 5 ciudades importantes de México, que son:

- Ciudad de México en D.F.
- Guadalajara estado de Jalisco
- Monterrey estado de Nuevo León
- Aguascalientes estado de Aguascalientes

Conecta a 4 puertos del Pacífico, que son:

- Manzanillo estado de Colima.
- Mazatlán estado de Sinaloa
- Topolobampo estado de Sinaloa
- Guaymas estado de Sonora.

También posee otra conexión con otro puerto en el Golfo de México. La flota de Ferromex es de 523 locomotoras diésel eléctricas entre General Electric, EMD y ALCO, y un total de 14.365 vagones de carga: vagón góndola 5287 unidades, vagón carga general 4363 unidades, vagón tolva 3147 unidades, vagón plataforma 741 unidades, vagón automovilero de tres niveles 741 unidades y vagones tanques 177 unidades. Un ancho de vía de 1435mm.

Igualmente esta empresa es la encargada de operar el Tequila Express, el cual es un tren turístico que circula en el estado de Jalisco.

- Ferrocarriles Nacionales de México
- Kansas City Southern Lines

- Kansas City Southern de México
- Ferromex
- Ferrosur
- Ferrovalle

3.5 Transporte eléctrico mexicano

1.- Metro

2.- Tren Suburbano

3.- El tren ligero

4.- El trolebús

En este caso son los 4 poderes del sistema de transporte eléctrico, más importantes de nuestro país, ya que son los medios que se han utilizado principalmente en la Ciudad de México, la Ciudad de Guadalajara y en la Ciudad de Monterrey. Para enlazar mi tema principal de mi trabajo final o tesis, es importante mencionar algunas de sus características principales.

1.- El Metro

El Metro de la Ciudad de México es un sistema de transporte público tipo tren pesado que sirve a extensas áreas del Distrito Federal y parte del Estado de México. Su operación y explotación está a cargo del organismo público descentralizado: Sistema de Transporte Colectivo (STC), mientras su construcción queda a cargo del organismo de la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal llamado Proyecto Metro del Distrito Federal (PMDF). Se conoce coloquialmente como Metro por la contracción de tren metropolitano.

En 2006 ocupó el tercer lugar a nivel mundial en captación de usuarios al transportar a un promedio de 3,9 millones de pasajeros al día (en ocasiones superado por los metros de: Nueva York, Moscú y Tokio). También en ese año logró el quinto lugar a nivel mundial por la extensión de su red.

El Metro de la Ciudad de México cuenta con 11 líneas. Cada línea tiene asignado un número y un color distintivo (números del 1 al 9 y las letras A, B).

El parque vehicular está formado por trenes de rodadura neumática a excepción de la línea A que emplea trenes de rodadura férrea. La extensión total de la red es de 201,388 kilómetros y posee un total de 175 estaciones de las cuales: 112 son de paso, 41 de transbordo y 22 terminales (11 de las terminales son de transbordo). El metro está construido de forma subterránea, superficial y viaducto elevado: 106 estaciones son subterráneas, 53 superficiales y 16 en viaducto elevado. 164 estaciones se encuentran en la Ciudad de México y 11 en el Estado de México.

El parque vehicular está formado por trenes de rodadura férrea y neumática. En total, cuenta con 355 trenes: 322 trenes de rodadura neumática de caucho (291 de nueve carros y 31 de seis) y 33 trenes de rodadura férrea de 6 carros. En su construcción destacan las empresas ALSTOM, SA; Bombardier, Inc.; Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, SA; y Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril, SA.

El sistema utiliza un ancho de vía de 1.435 mm. Los trenes de rodadura neumática además de emplear este ancho de vía necesitan una superficie de rodamiento para los neumáticos. Esta superficie de rodamiento tiene un ancho de vía de 1.993 mm. La tensión a la cual operan todos los trenes (férreos y neumáticos) es de 750 Vcc. Los trenes de rodadura neumática obtienen la tensión necesaria por medio de barras guías colocadas a los costados de la superficie de rodamiento. Los trenes de rodadura férrea poseen un pantógrafo en la parte superior para recibir la tensión suministrada por medio de una catenaria.

Existen cuatro tipos de carros en un tren del metro: carro motriz con cabina de conducción (M), carro motriz sin cabina (N), carro remolque (R) y carro remolque con el equipo de pilotaje automático (PR). La configuración para trenes de 9 y 6 carros –de rodadura neumática o férrea – es: M-R-N-N-PR-N-N-R-M y M-R-N-N-PR-M.

Tabla 3.7 Características significativas del metro

Tipo de carro	Rodadura neumática			Rodadura férrea		
	M	N	R	M	N	R
Longitud (m)	17,1	16,2	16,2	16,895	15,780	15,780
Ancho (m)	2,495			2,495		
Altura del piso (m)	1,2			1,2		
Velocidad máxima (km/h)	80			100		
Velocidad comercial (km/h)	35,5			42,5		
Peso vacío (kg)	28 930	27 830	20 837	26 564	24 680	21 116
Capacidad máxima (pasajeros sentados)	38	39	39	38	39	39
Capacidad máxima (pasajeros en pie)	132	131	131	118	121	121

2.- Tren Suburbano

En este caso, para mí es un transporte que es base para el desarrollo a futuro de una línea o ruta de trenes de alta velocidad, ya que es sin lugar a dudas el inicio para el desarrollo para cualquier tipo de sistemas eléctricos de alta velocidad.

El Ferrocarril Suburbano de la Zona Metropolitana del Valle de México o tren suburbano es un proyecto del gobierno Federal de México para crear un sistema de ferrocarriles de pasajeros en la Zona Metropolitana del Valle de México.

El proyecto incluye tres sistemas con una longitud de 242 kilómetros. Para lograr esta extensión se emplearán vías férreas existentes y el derecho de vía propiedad del gobierno Federal en el Valle de México. En él participan los gobiernos Federal, del Distrito Federal y Estado de México, y municipales de la Zona Metropolitana del Valle de México. La línea principal del sistema 1 (Buenavista-Cuautitlán) fue inaugurada el 1 de junio de 2008.

Está integrado por 7 estaciones y su color distintivo es el rojo. Se localiza al centro de la Ciudad de México y el nororiente del Estado de México con dirección norte-sur. Tiene una longitud total de vía para el servicio de pasajeros de 27 kilómetros.

Atiende a los municipios de Tlalnepantla, Tultitlán, Cuautitlán y Cuautitlán Izcalli en el Estado de México y las delegaciones Cuauhtémoc y Azcapotzalco del Distrito Federal.

Transporta diariamente de Buenavista a Cuautitlán, en un tiempo de 25 minutos, a 125 mil pasajeros (está diseñado para atender un máximo de 320 mil pasajeros al día).

El primer tramo Buenavista-Lechería, de 22 kilómetros y 5 estaciones, fue inaugurado el 7 de mayo de 2008 por Felipe Calderón Hinojosa, Presidente de México, el gobernador del Estado de México, Enrique Peña Nieto y el secretario de Comunicaciones y Transportes, Luís Téllez. El intervalo entre el 7 de mayo y el 31 de mayo de 2008 fue denominado periodo de demostración. Durante ese intervalo de tiempo el ferrocarril suburbano ofreció recorridos gratuitos entre sus estaciones terminales sin ascenso o descenso de pasajeros en sus estaciones intermedias. El 1 de junio de 2008 comenzó la operación comercial formal en ese tramo. El segundo tramo, de Lechería a Cuautitlán, de 5 kilómetros y 2 estaciones fue inaugurado el 5 de enero de 2009.

El costo total del sistema 1 fue de USD\$ 670 millones: USD\$ 130 millones aportados por el gobierno Federal y el resto por la compañía española Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, SA. Distribuidos entre: equipo ferroviario (36%); obras de vía férrea (34%); estaciones, terminales y obra fija (25%) y gastos preoperativos (5%).

El tipo de construcción es superficial. Utiliza el derecho de vía de la antigua ruta del ferrocarril eléctrico Ciudad de México-Querétaro.

El horario de servicio es de lunes a viernes de 5:00 a 0:30 del día siguiente, sábados de 6:00 a 0:30 del día siguiente y domingos de 7:00 a 24:00.

Estaciones (Estaciones del Ferrocarril Suburbano de la Zona Metropolitana del Valle de México): Cuautitlán, Tultitlán, Lechería, San Rafael, Tlalnepantla, Fortuna y Buenavista.

Conexión con otros sistemas de transporte público

El sistema 1 tiene conexión con otros sistemas de transporte público en algunas estaciones. Con excepción de Buenavista, cada una cuenta con un Centro de Transferencia Modal (CETRAM) en donde el usuario puede abordar diversas rutas de autobuses de pasajeros. En las estaciones Fortuna y Buenavista contará con conexión al Metro de la Ciudad de México, líneas 6 y B, respectivamente. En la estación Buenavista tendrá conexión con el Metrobús.

El parque vehicular está formado por trenes denominados EMU Cuautitlán-Buenavista, derivados de la Serie 447 de Renfe, con ancho de vía de 1,435 m. Los trenes poseen un pantógrafo en la parte superior para recibir la tensión de 25 kV de corriente alterna suministrada por medio de una catenaria.

Existen tres tipos de carros en el ferrocarril suburbano: carro motriz con cabina de conducción (M), carro motriz sin cabina (N) y carro remolque (R). Pueden conectarse para generar trenes de 3 y 4 carros, MRM y MRNM, respectivamente. A su vez, los trenes pueden conectarse entre si hasta un máximo de tres unidades, ya sean MRM o MRNM, con cualquier tipo de combinación.

Tabla 3.8 Características significativas de los trenes EMU

EMU Cuautitlán-Buenavista			
Tipo de carro	M	N	R
Longitud (m)	25,900	25,485	25,485
Ancho (m)	3,009		
Altura del piso (m)	1,150		
Velocidad máxima (km/h)	130		
Velocidad comercial (km/h)	65		
Peso vacío (kg)	47 700	46 900	46 500
Capacidad máxima (pasajeros sentados)	54	61	61
Capacidad máxima (pasajeros de pie)	271	293	364

3.- Tren Ligero

El parque vehicular está formado por trenes ligeros articulados de piso alto de rodadura férrea con ancho de vía de 1,435 m. Los trenes poseen un pantógrafo en la parte superior para recibir la tensión de 600 Vcc suministrada por medio de una catenaria. Algunas de sus características son:

- longitud: 29,560 m
- ancho: 2,650 m
- altura del piso: 1,020 m
- velocidad máxima de servicio 80 km/h
- capacidad máxima: 300 pasajeros
- peso vacío: 40 000 kg

Todos los trenes presentan una cromática color gris con discretas franjas en color azul y verde en los costados. En diciembre de 1991 comenzaron a circular 12 trenes marca Bombardier modelo TE-90, con tecnología de Siemens y armados por la Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril, SA. En 1995 el parque vehicular fue complementado con 4 trenes modelo TE-95 similares a los TE-90. Con la llegada de los TE-90 los antiguos trenes modelo TLM salieron de circulación definitivamente. Once años después, el 8 de mayo de 2006, el Gobierno del Distrito Federal emitió la licitación para adquirir cuatro nuevos trenes con el propósito de incrementar la oferta en el servicio un 30%. La empresa ganadora, Bombardier Transportation México, fabricó cuatro unidades de tren ligero con un costo de USD\$15,5 millones. Las unidades comenzaron a entregarse desde julio de 2008 y entraron en operación el 14 de diciembre de 2008.

4.- Trolebús

Durante los años 1970 se continuaron los esfuerzos por fortalecer el Servicio y estableciéndolo como sistema alimentador de la Red del Metro; en 1979, con la creación de los Ejes Viales y como se comentó, aunque la red tranviaria desapareció del Centro de la Ciudad, los trolebuses en cambio, se colocaron como el transporte principal que correría sobre estas nuevas vialidades.

Los años 1980s fueron muy importantes para los trolebuses, ya que se comenzaron a fabricar en México por la compañía Mexicana de Autobuses, S.A. (MASA) (series 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4700 y los 6000), varios de los cuales todavía siguen en operación. A la par de esto, se llevó a cabo la reconstrucción de la gran mayoría de los viejos trolebuses por la firma mexicana Moyada (Motores y Adaptaciones Automotrices) (Serie 5000, por el cambio de dígito del 3 al 5).

Para el año de 1986, ya se contaba con un parque vehicular de 1,045 trolebuses.

En los años 1990s se volvieron a adquirir nuevas unidades (MASA-Kiepe, serie 7000) y se lleva a cabo la rehabilitación del parque vehicular anterior. Estas unidades fueron colocadas en las rutas más importantes de la red y para finales de los 1990s se pusieron en operación los trolebuses MASA-Mitsubishi (serie 9700 y 9800) los cuales son los más nuevos del sistema.

Actualmente la red cuenta con alrededor de 340 trolebuses que prestan servicio en sus 12 líneas y que operan en un intervalo promedio de 6 minutos.

**CAPITULO IV - DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE
ELÉCTRICO DE ALTA VELOCIDAD PARA COMUNICAR 3 DE LAS
CIUDADES MÁS IMPORTANTES DE MÉXICO**

4.1 Generalidades del proyecto

Esta es la etapa final de mi tesis, donde llevo acabo, planos, simulaciones y mapas donde mi principal objetivo es demostrar de manera clara, viable y concisa el deseo de construir un posible proyecto de un sistema de transporte eléctrico de alta velocidad, un diseño de redes o rutas de trenes de alta velocidad para nuestro país.

Anteriormente analizado las condiciones, infraestructura, economía, y recursos de nuestra Republica, como también el haber analizado detalladamente cada uno de los sistemas de trenes de alta velocidad existentes y por existir, puedo darle comienzo al desarrollo de mi proyecto.

4.1.1 Plano General de la ruta

En este mapa muestro el objetivo principal del desarrollo del sistema de transporte eléctrico de alta velocidad para comunicar 3 de las ciudades más importantes de México, que sería la Ciudad de México, D.F., Ciudad de Guadalajara, Jalisco y Ciudad de Monterrey, Nuevo León.



Figura 4.1 Mapa de la unión de las 3 principales ciudades mexicanas



Figura 4.2 Mapa actual desarrollado en 2004, de las rutas y redes de Ferromex. (Donde guiándome con la misma red o vía férrea existente, la posible ruta a seguir entre las ciudades más importantes).

4.1.2 Primer diseño de ruta y enlaces de estaciones

El siguiente plano, es el primer diseño que realizo de la posible ruta, muestro el posible mapa general de estaciones que enlazan los sistemas de transporte eléctrico de alta velocidad, uniendo estaciones existentes de los diferentes sistemas de transporte colectivo, así como los sistemas de transporte eléctrico existentes de cada ciudad.

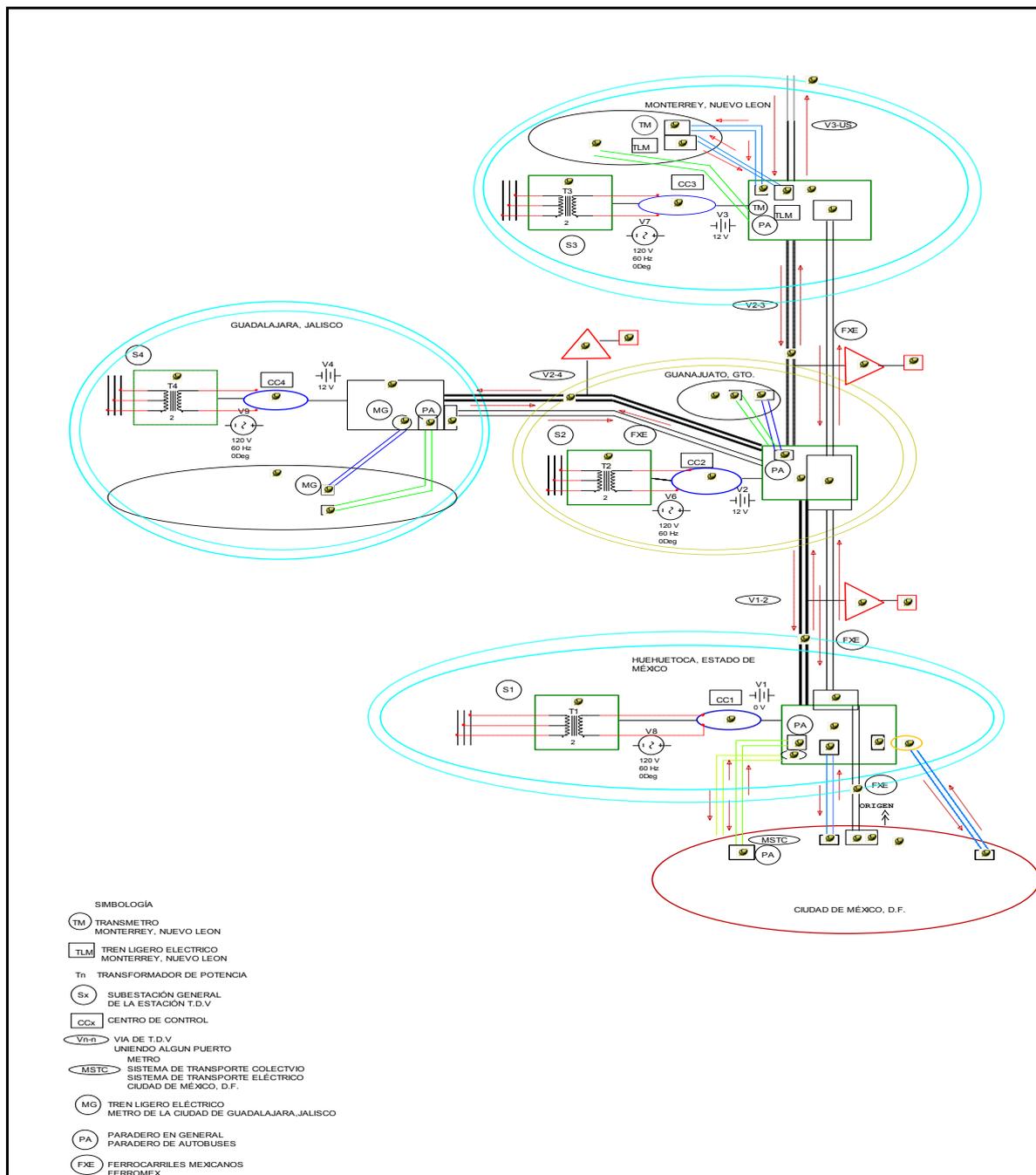


Figura 4.3 Diagrama del primer diseño de ruta del TAV (Tren de Alta Velocidad)

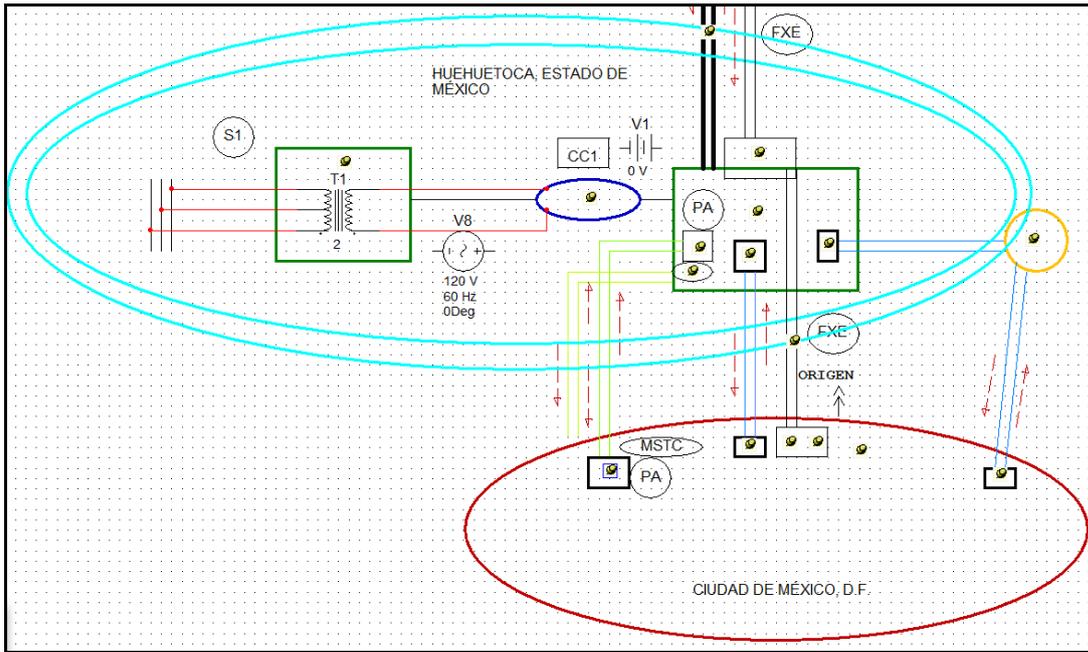


Figura 4.3.1 Primer diseño de enlace Tacuba-Huehuetoca

Comienza desde la Estación de Tacuba, Ciudad de México, D.F. y su enlace principal con la estación de Huehuetoca, Edo. De México.

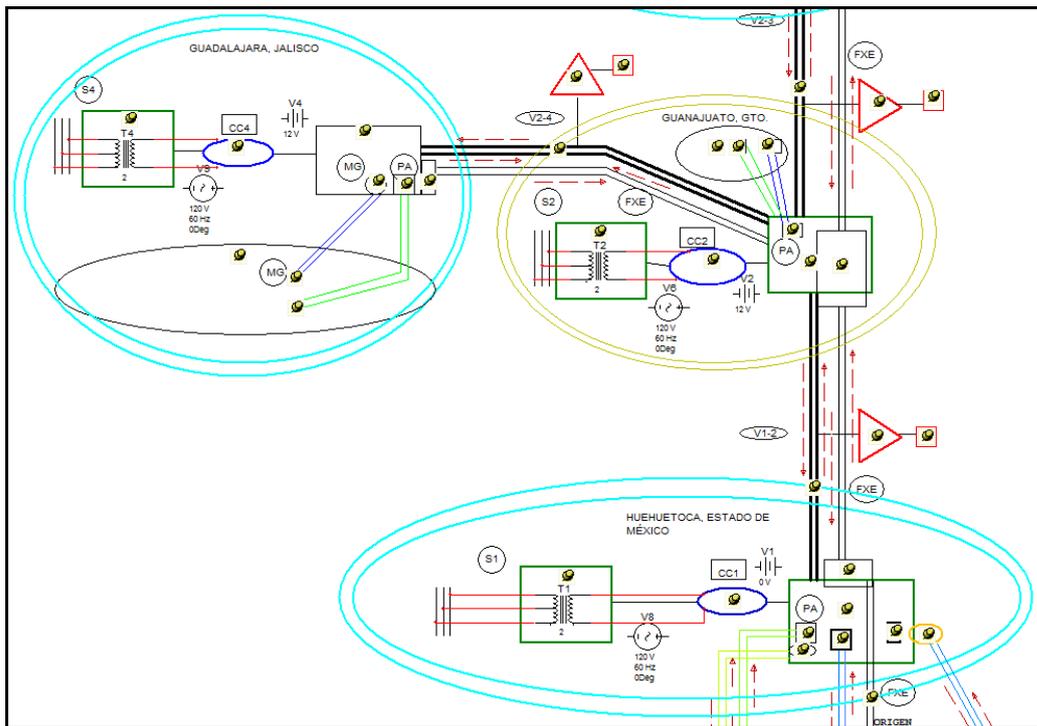


Figura 4.3.2 Segundo y tercer diseño de enlace entre Guadalajara – Guanajuato - Monterrey
La estación de Huehuetoca, Edo. De México y sus enlaces con las estaciones de Guanajuato, Gto. y con la estación de Guadalajara, Jalisco.

4.1.3 Simbología empleada en el primer diseño del plano de la ruta

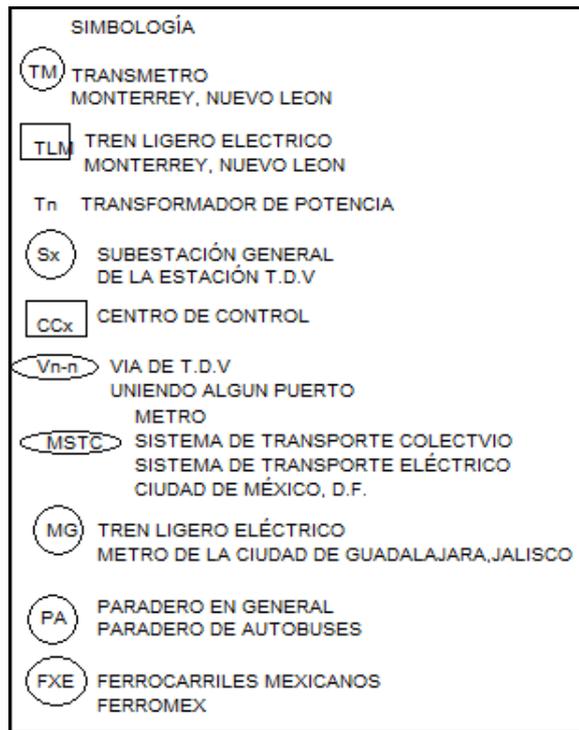


Figura 4.4 Cuadro de Simbología

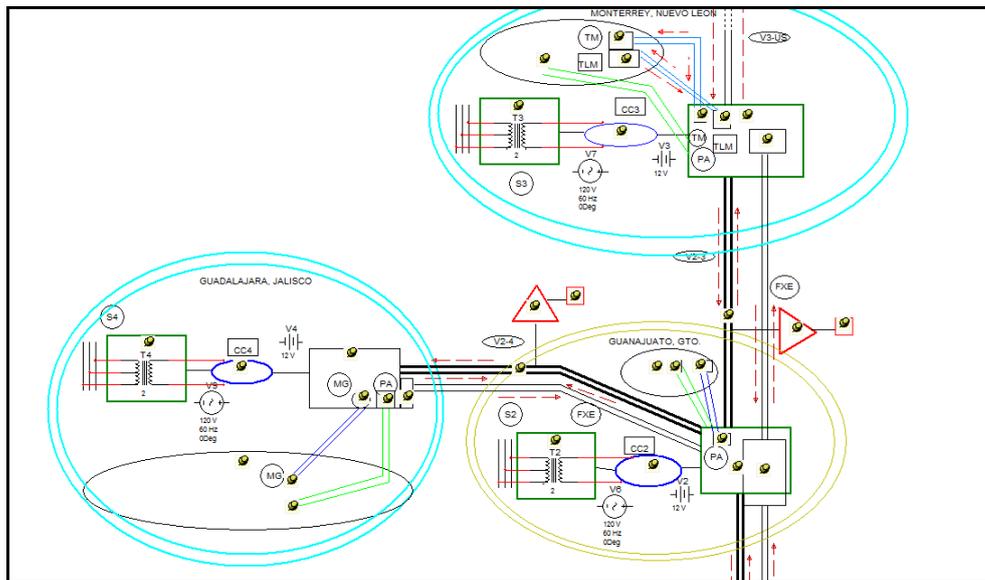


Figura 4.4.1 Primer diseño hacia el enlace a la Ciudad de Monterrey

Finalmente el plano, termina con el enlace con la Ciudad de Monterrey, Nuevo León. En esta imagen se puede observar la estación central de Guanajuato, Gto. que comunica la estación de Guadalajara, Jalisco y la estación Monterrey, Nuevo León.

4.2 Mapa final de la ruta

En el siguiente mapa muestro las estaciones más importantes, que serían la mejor opción para el enlace deseado.



Figura 4.4 Mapa Final de la ruta del TAV

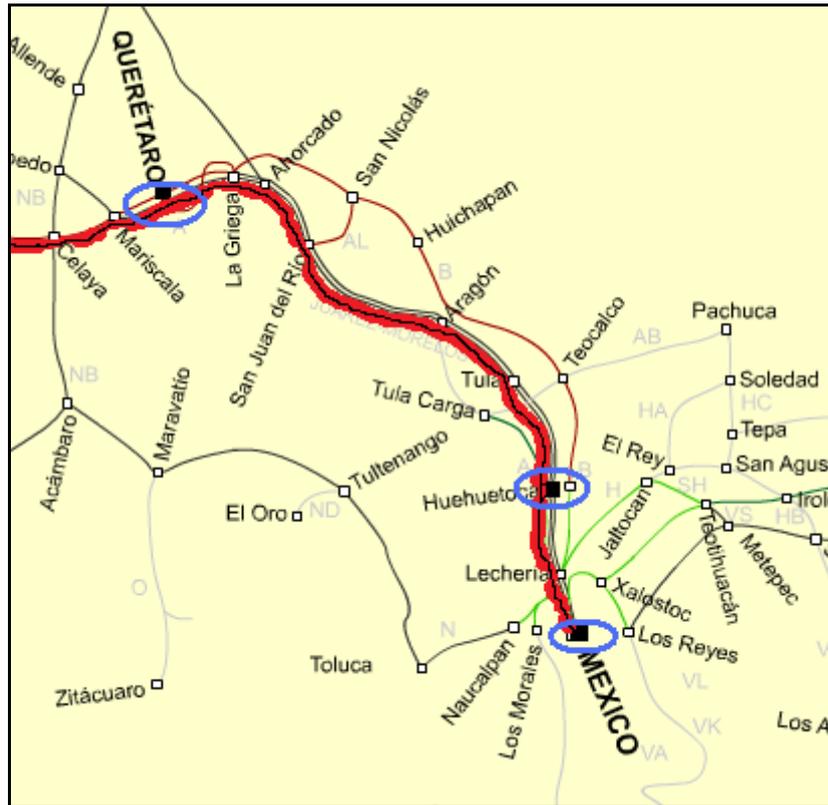


Figura 4.5 Primer enlace Tacuba-Huehuetoca-Querétaro

Comienza desde la Estación de Tacuba, Ciudad de México, D.F., hasta llegar a la estación de Huehuetoca, Edo. De México y de ahí a la Estación Querétaro, Qro. Como primera fase con una distancia promedio de 360.61Km (basándome en la vía o ruta férrea de Ferromex)

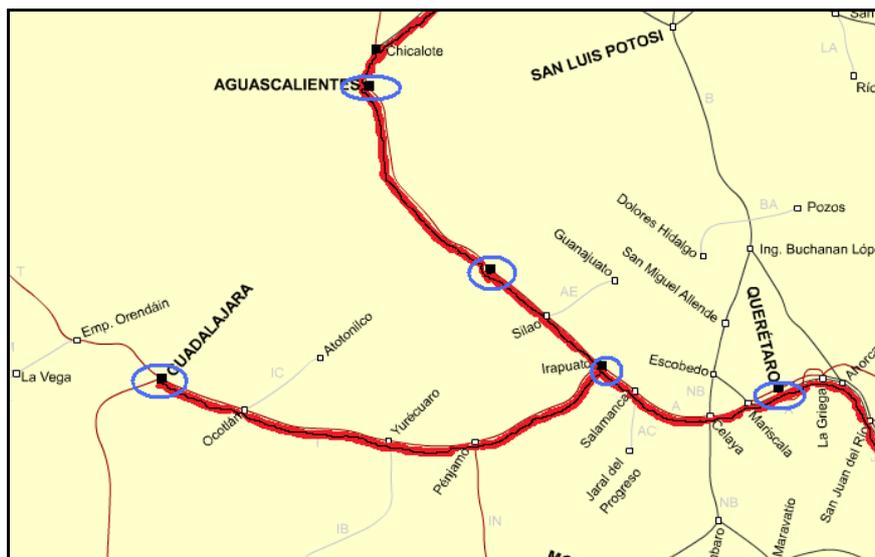


Figura 4.5.1 Segundo enlace Querétaro-Irapuato-Guadalajara-Aguascalientes

Siguiendo la ruta, empezando desde la Estación Querétaro, Qro., se sigue hacia la estación de Irapuato, Guanajuato. Con una distancia de 104Km, donde en esta estación se abre a 2 rutas:

- 1.- Hacia la Ciudad de Guadalajara, Jalisco con una distancia promedio de 251.3Km.
- 2.- Y la otra hacia León, Guanajuato. Con una distancia promedio de 62.7Km, y de ahí hasta la Estación de Aguascalientes, Ags. Con una distancia promedio de 172.5Km.

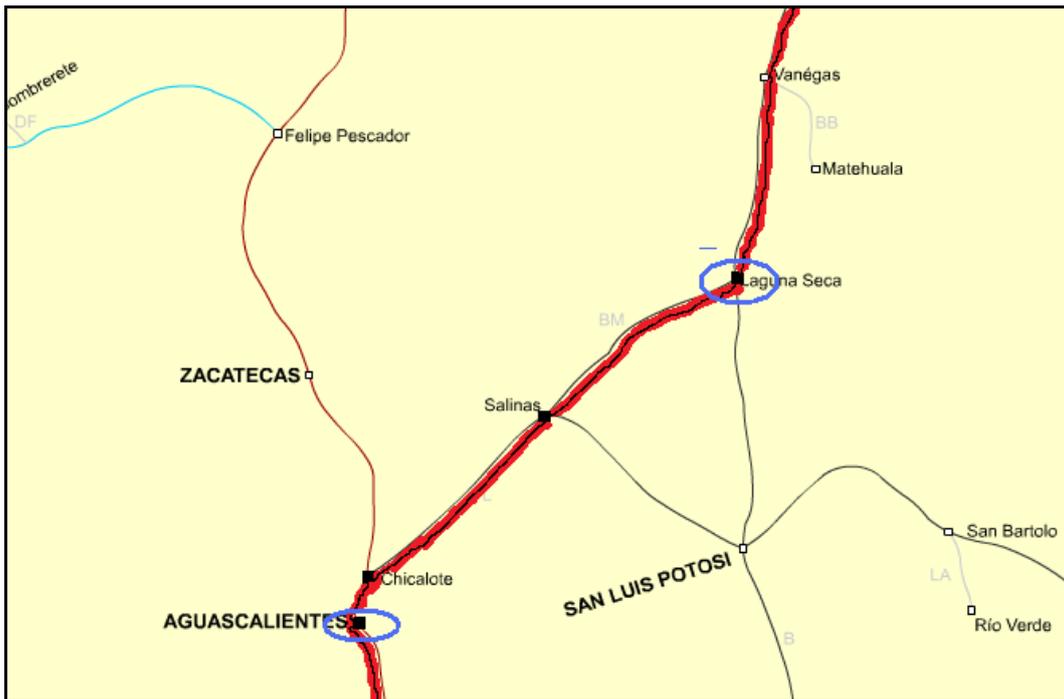


Figura 4.5.2 Tercer enlace Aguascalientes-Laguna Seca

En esta fase, la estación de Aguascalientes hacia la estación del norte Laguna Seca, San Luis Potosí con una distancia entre estaciones de 332. 6Km.



Figura 4.5.3 Cuarto enlace Laguna Seca-Monterrey

Y la ultima fase de la estación Laguna Seca, San Luís Potosí hacia la Ciudad de Monterrey, Nuevo León, con una distancia entre estaciones de 408Km.

4.2.1 Diseño de primer plano de enlaces de estaciones para ruta directa

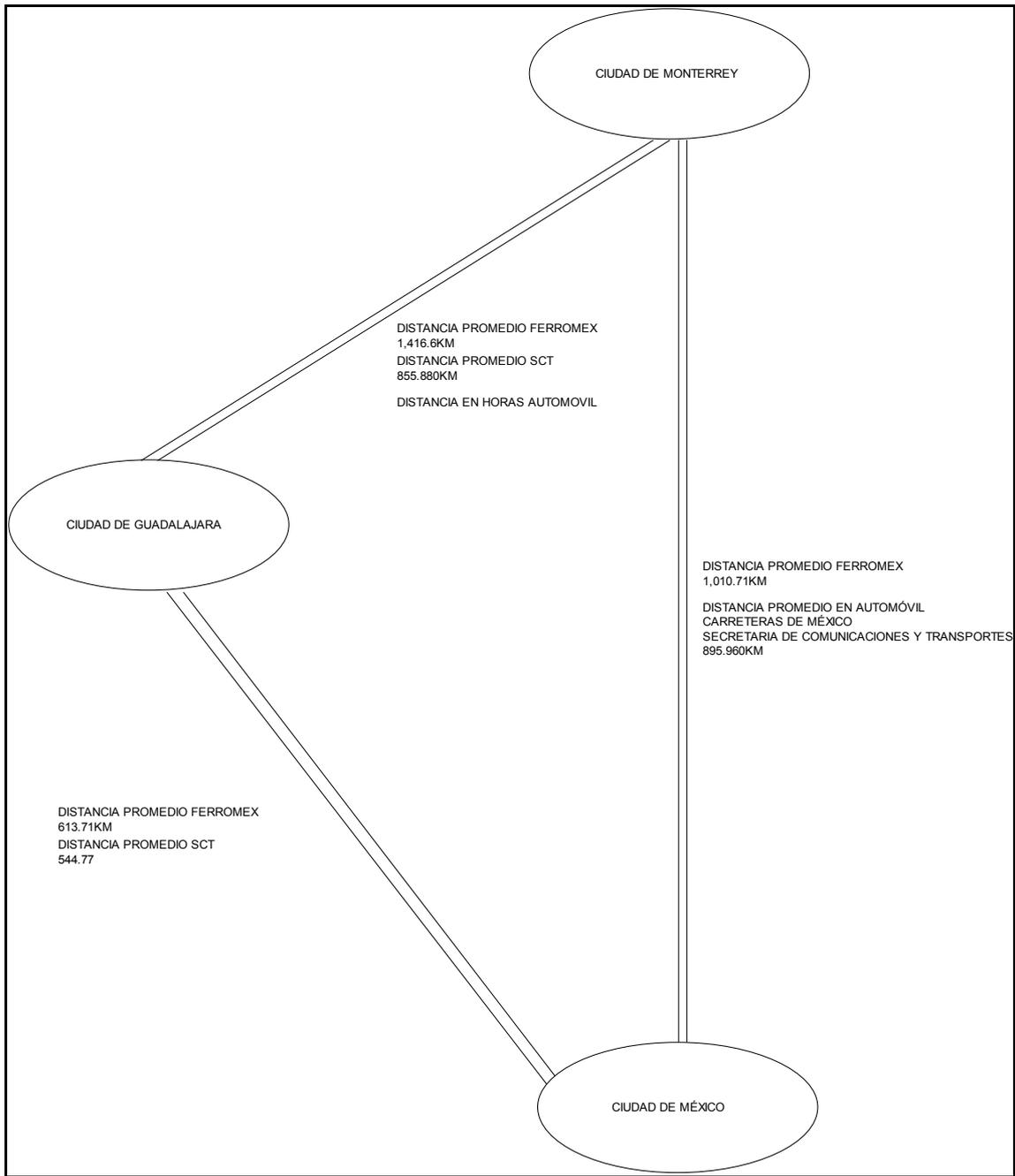


Figura 4.6 Plano estructural del proyecto a realizar, uniendo las 3 principales ciudades

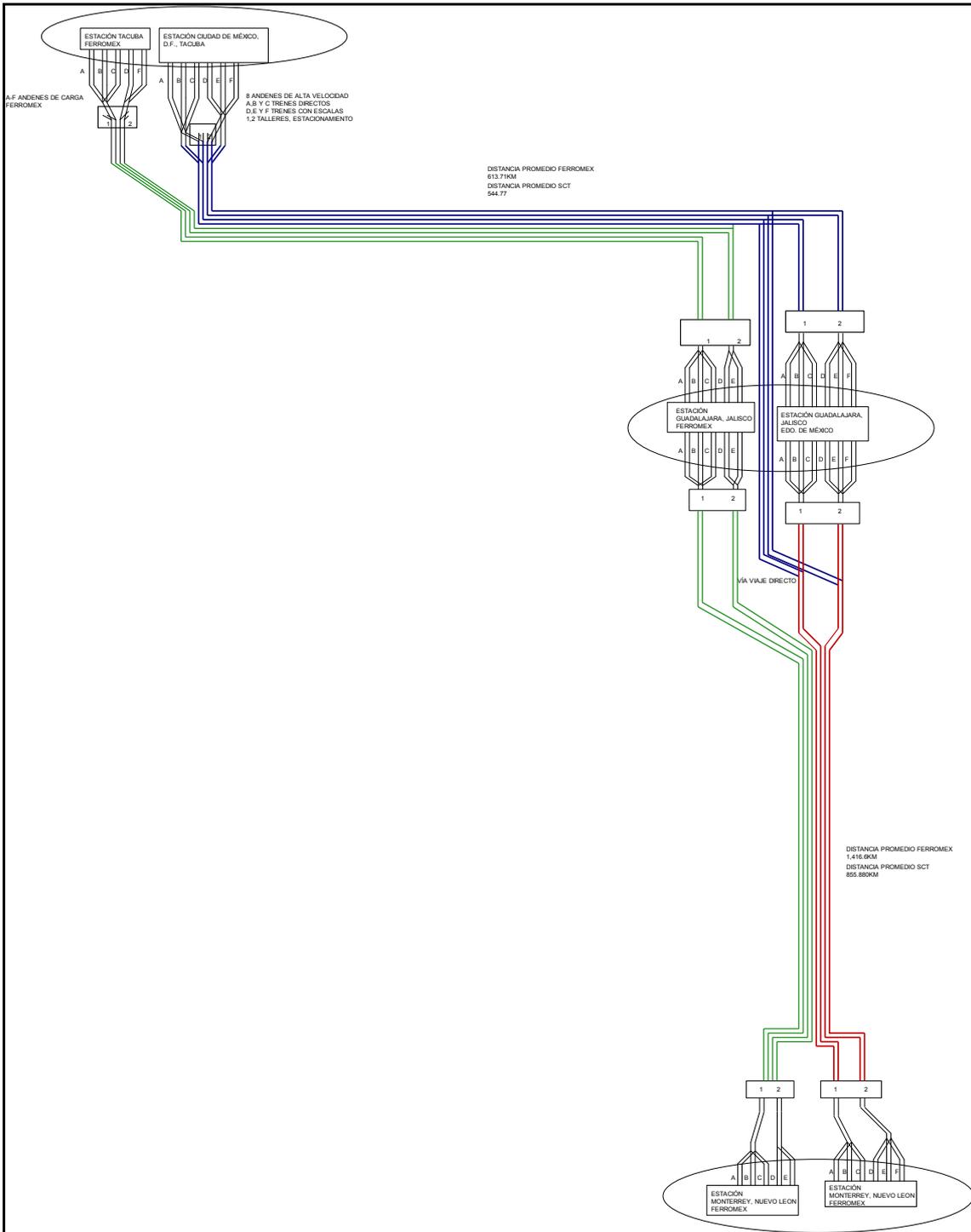


Figura 4.6.1 Plano de enlace de las 3 estaciones principales

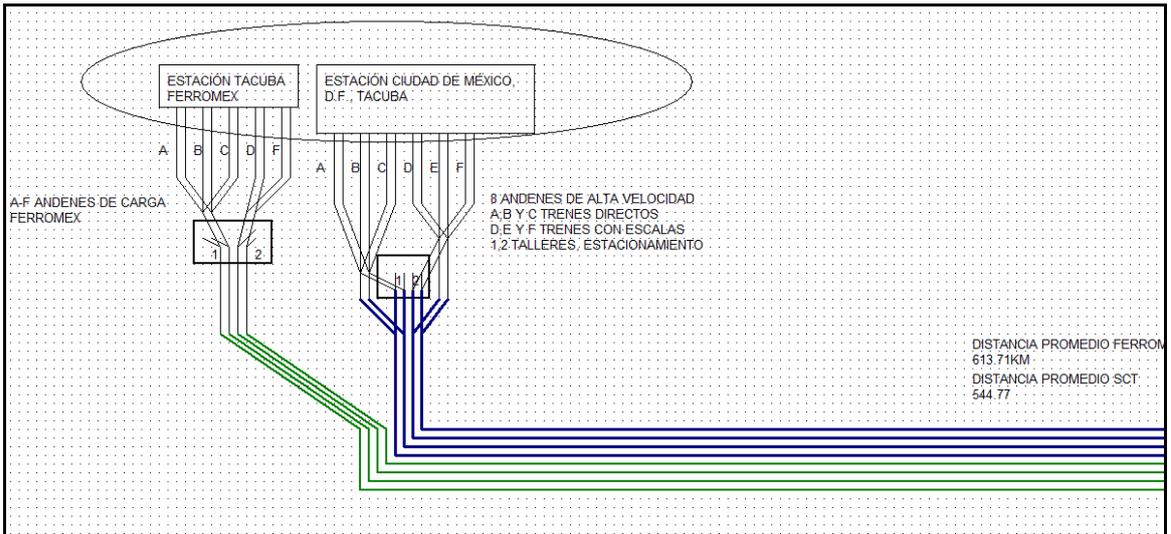


Figura 4.6.2 Diseño de la estación Tacuba, Ciudad de México, D.F.
Primera ruta del proyecto

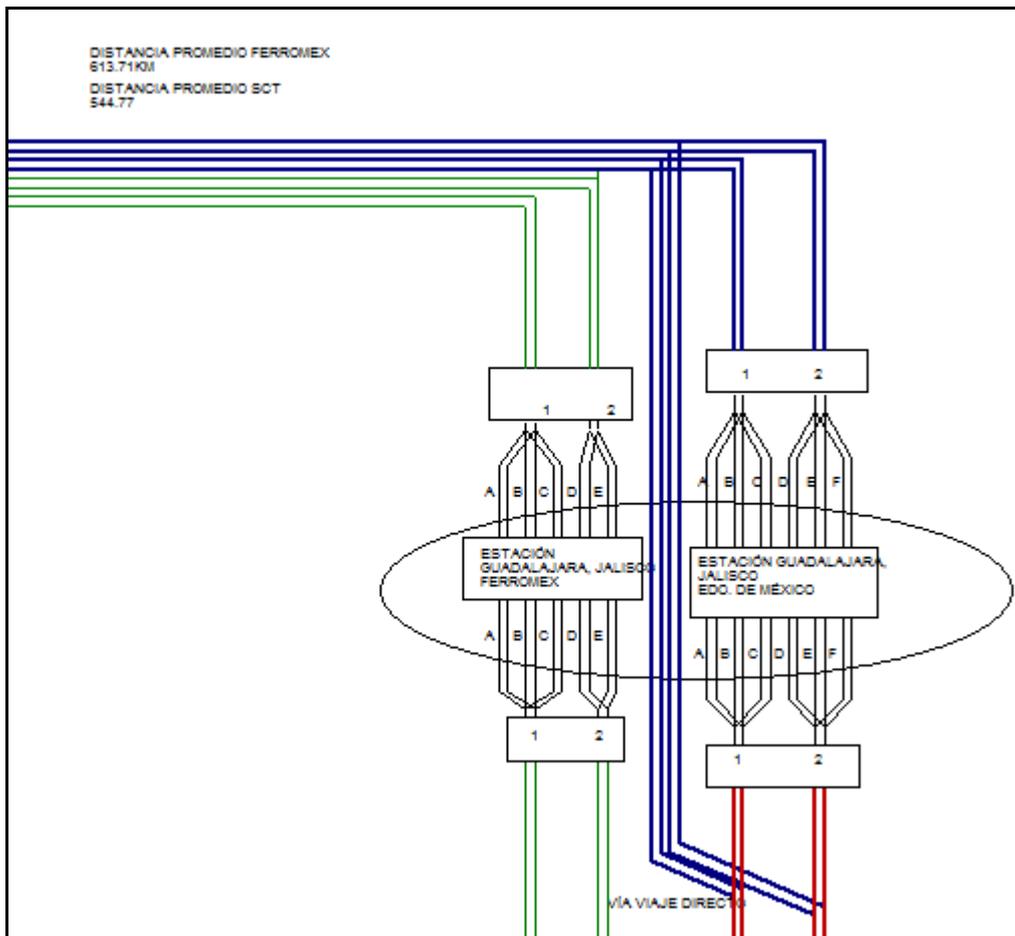


Figura 4.6.3 Diseño de la estación Guadalajara, Jalisco
Segunda ruta del proyecto

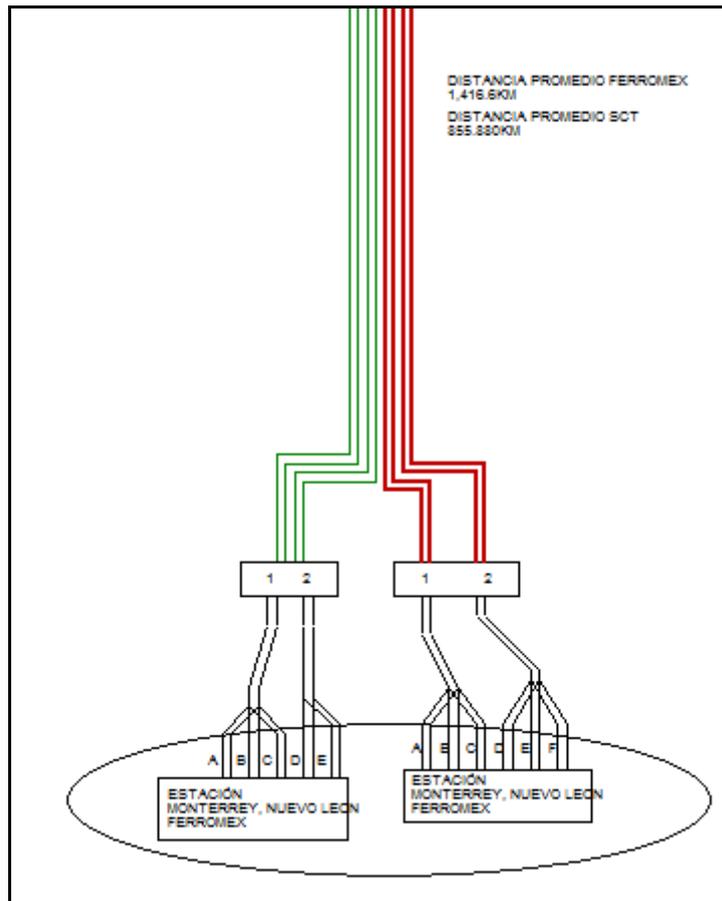


Figura 4.6.4 Diseño de la estación Monterrey, Nuevo León
Tercera ruta más importante del proyecto

4.2.2 Plano general de las estaciones y sus enlaces

Anteriormente realice en los diferentes planos, un bosquejo general del diseño, ahora bien se tiene la intención de enlazar 3 ciudades importantes, sin embargo en el mapa general de las rutas encontré un posible camino, que sería el mas adecuado a seguir, donde se puede observar el desarrollo de 9 estaciones a lo largo de toda la ruta, entonces presentando un plano general de estaciones, tenemos el siguiente diagrama.

Donde se tienen 7 enlaces principales donde se unen los siguientes 7 estados de la Republica Mexicana con nuestro Distrito Federal.

Ciudad de México, DF., Estado de México, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, San Luís Potosí y Nuevo León.



Figura 4.7 Vista general de la Estación Valladolid, tren de alta velocidad española

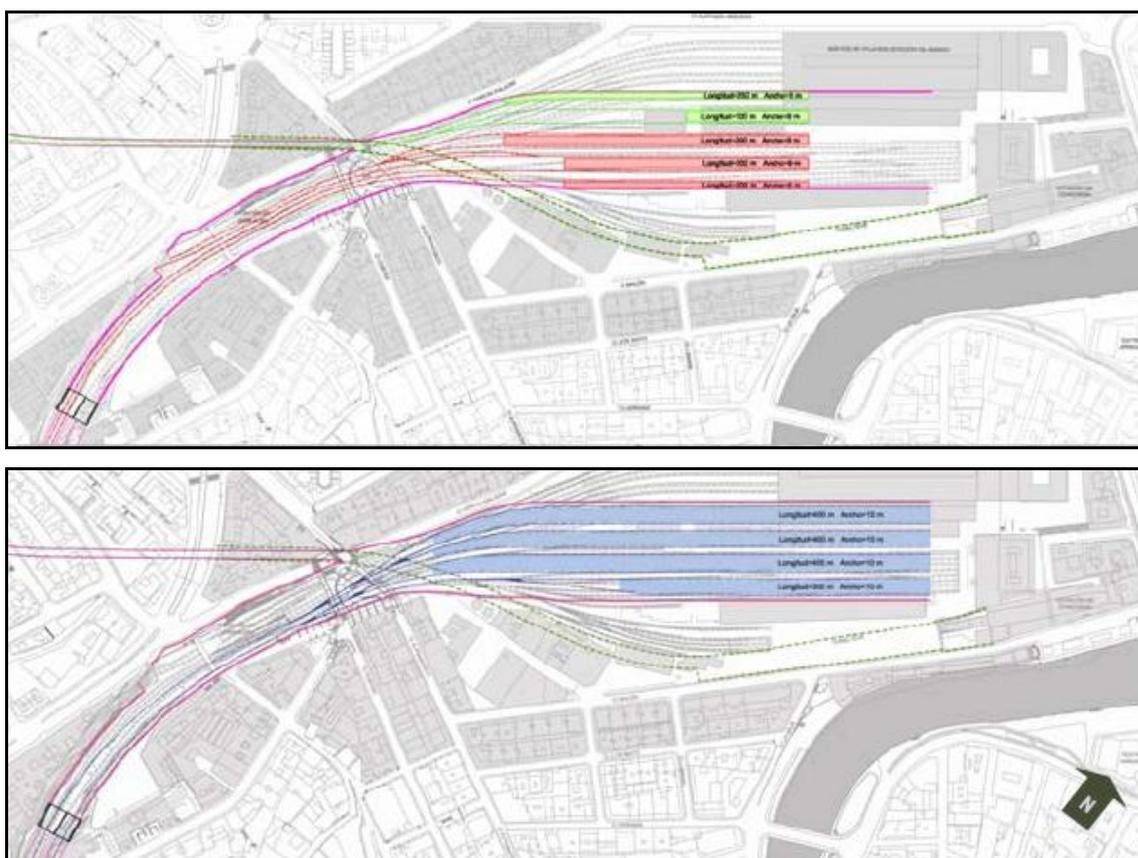


Figura 4.7.1 Ejemplo de trazados de la vía del país vasco a Bilbao, RENFE.

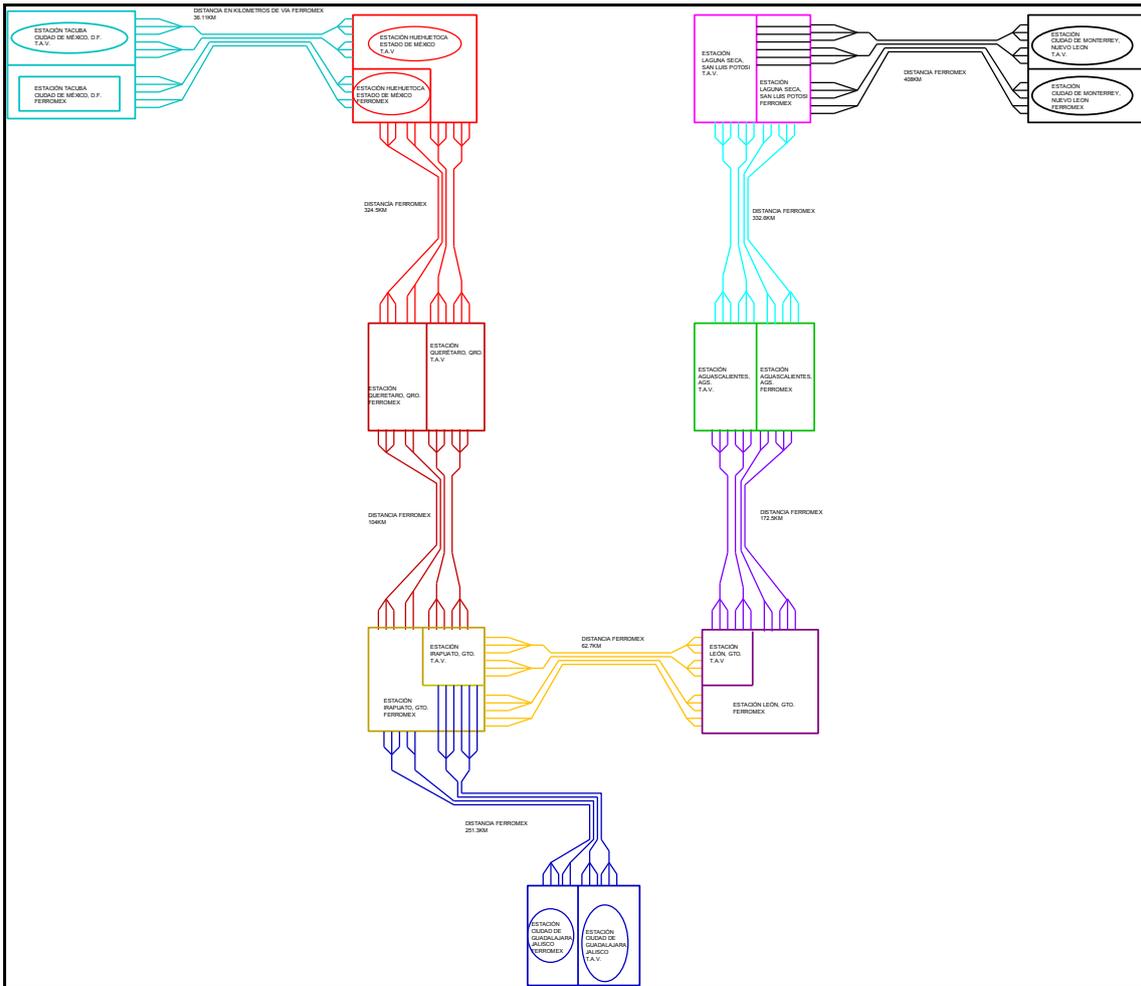


Figura 4.7.2 Vista general del sistema

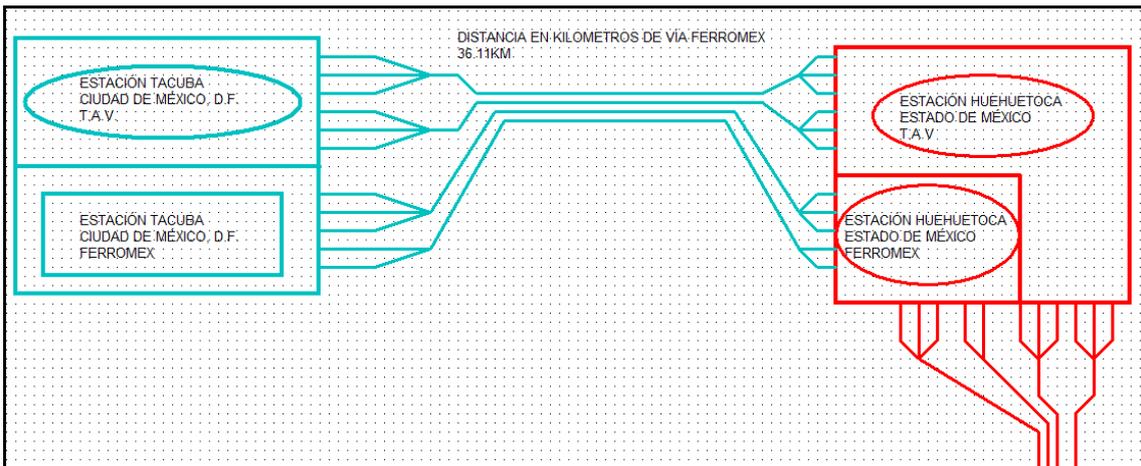


Figura 4.7.3 Enlace 1(Ciudad de México y Edo. de México)

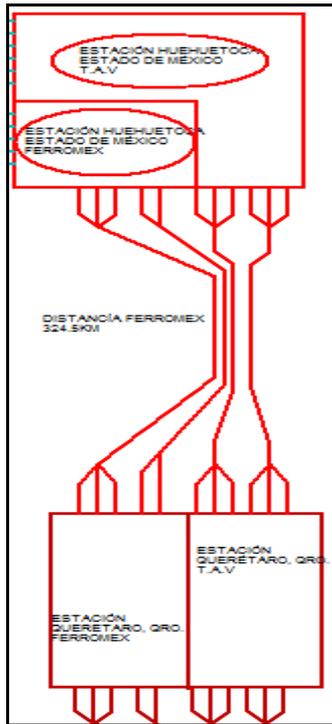


Figura 4.7.4 Enlace 2 (Edo. de México y Edo. de Querétaro)

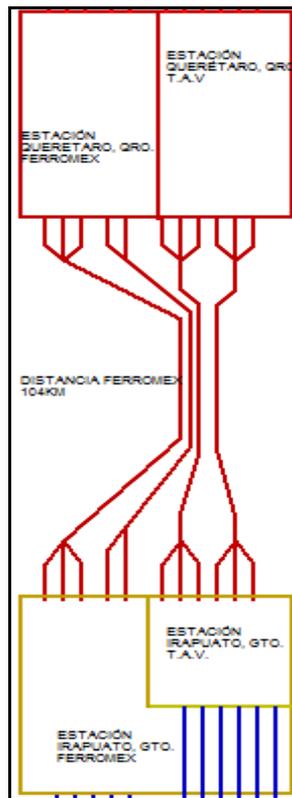


Figura 4.7.5 Enlace 3 (Edo. de Querétaro y Guanajuato)

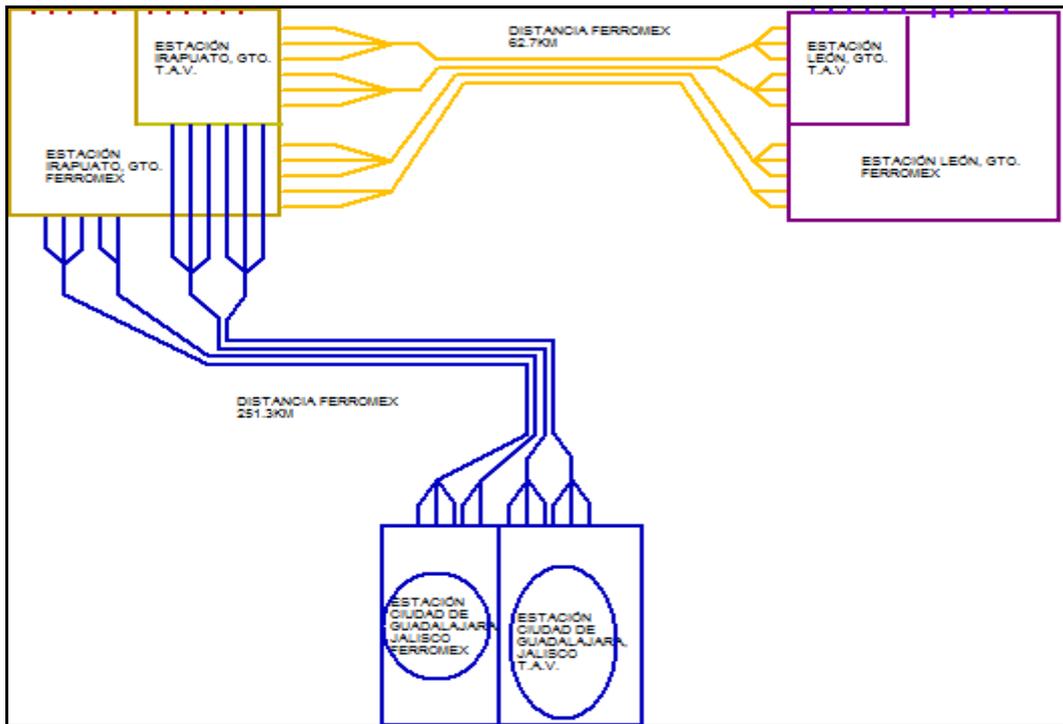


Figura 4.7.6 Enlace 4 (Irapuato, Gto. con el Edo. de Guadalajara y León, Gto.)

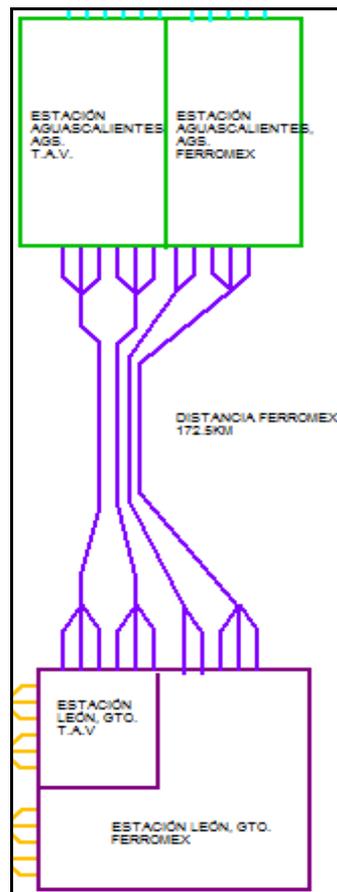


Figura 4.7.7 Enlace 5 (Edo. de Guanajuato y Aguascalientes)

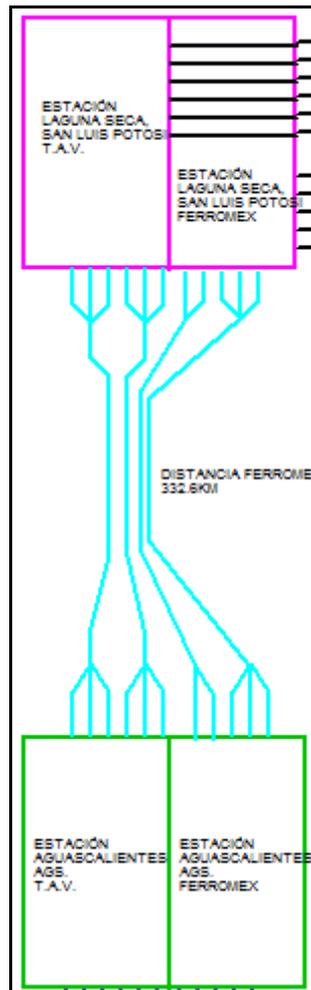


Figura 4.7.8 Enlace 6 (Edo. de Aguascalientes y San Luís Potosí)

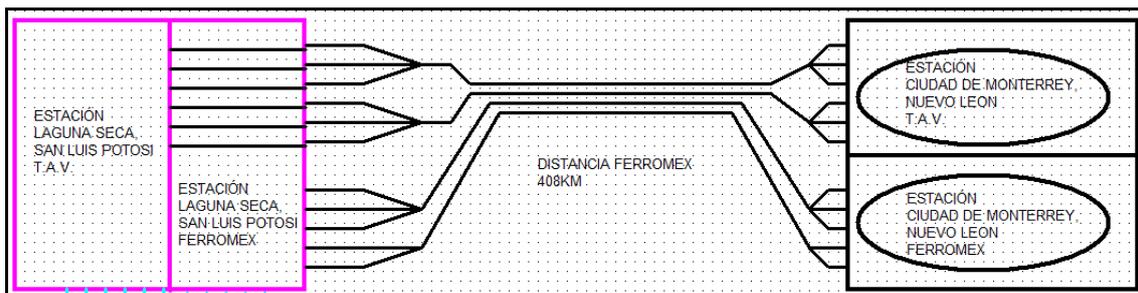


Figura 4.7.9 Enlace 7 (Edo de San Luís Potosí y Nuevo León)

4.2.3 Línea general de estaciones T.A.V

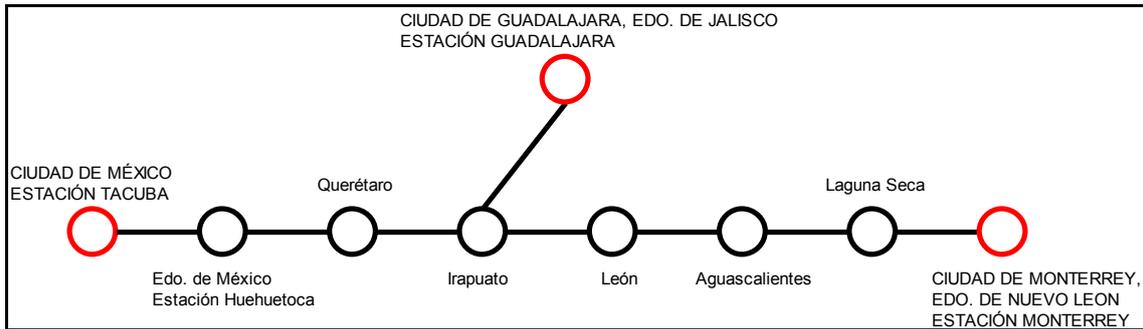


Figura 4.8 Línea General de Estaciones del T.A.V. (Tren de Alta Velocidad)

Se muestra de una manera mas sintetizada la línea más idónea para realizar una ruta de alta velocidad en nuestro país.

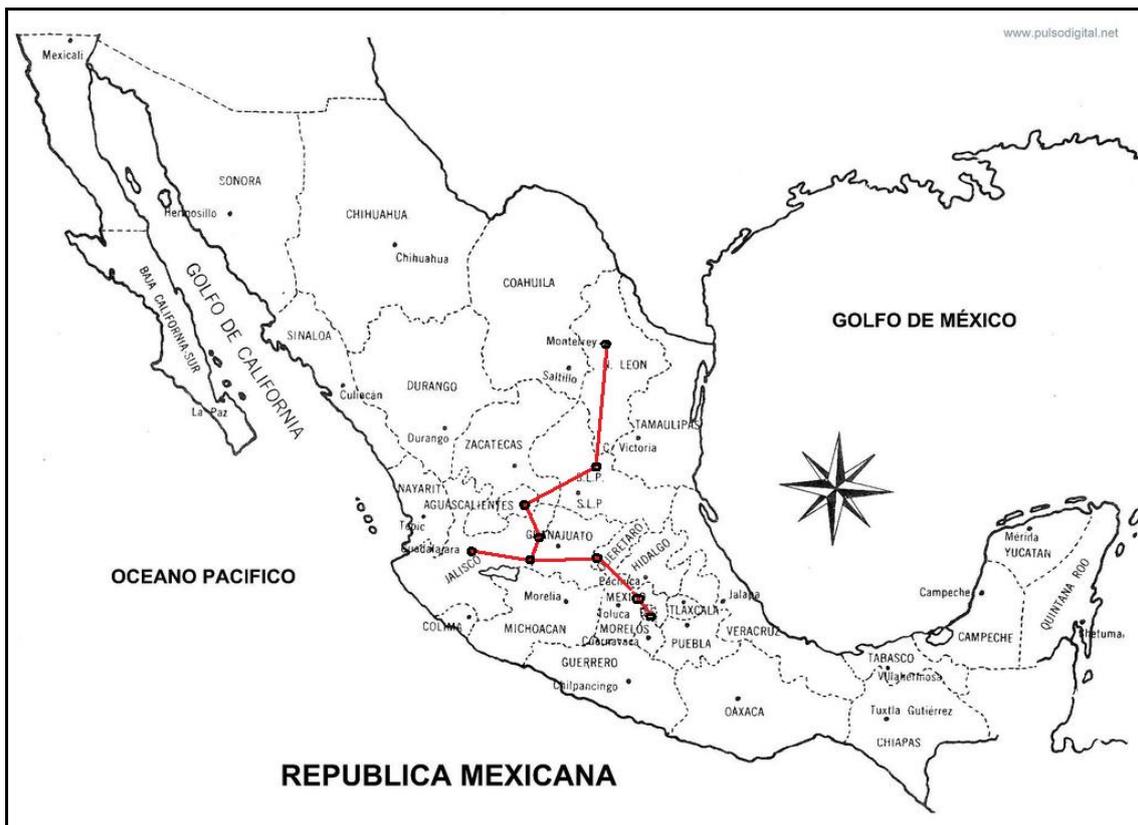


Figura 4.9 Mapa del trazado de la ruta T.A.V.

4.3 Diagrama general eléctrico del sistema

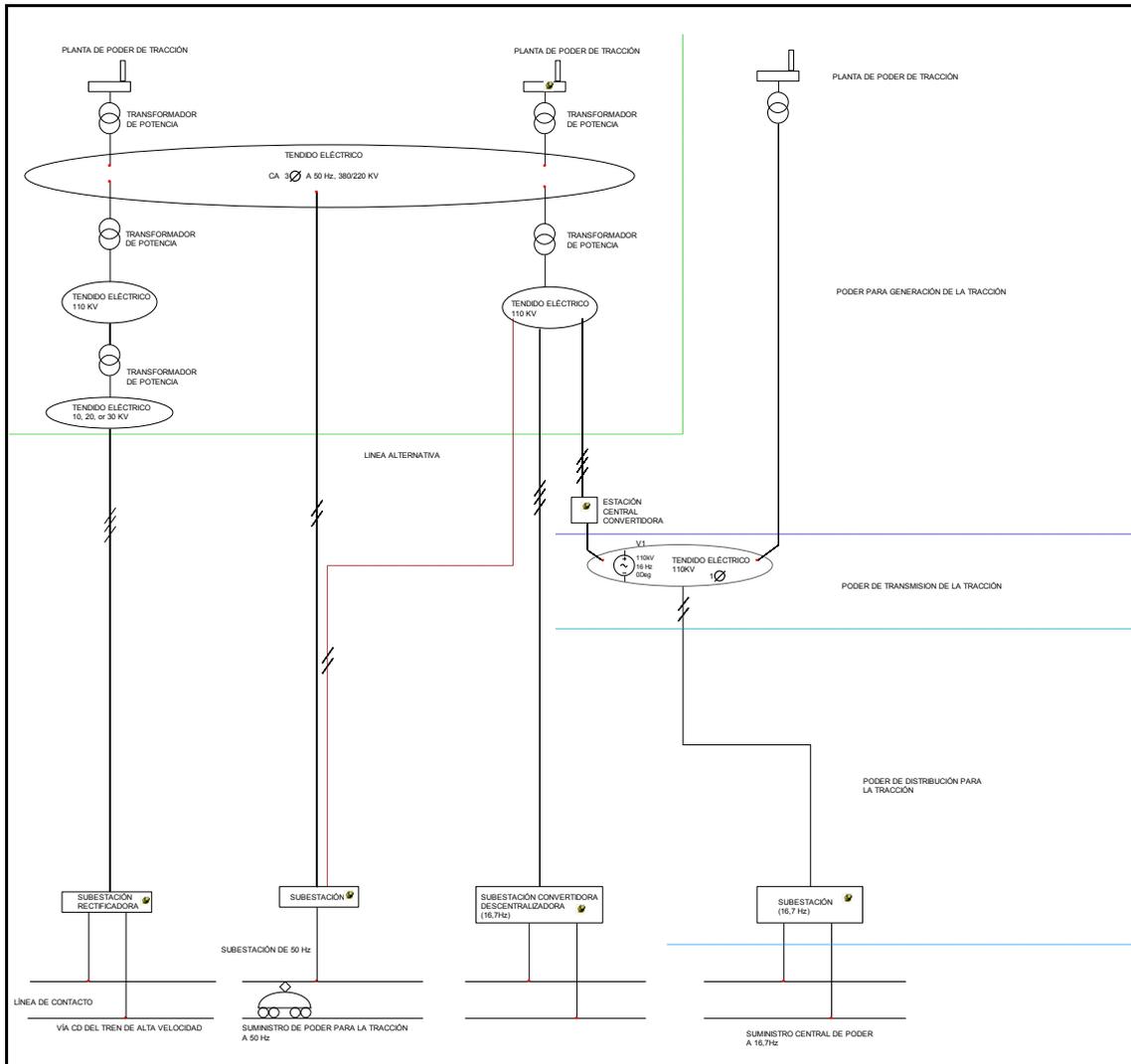


Figura 4.10 Plano del sistema de distribución de la electrificación del T.A.V.

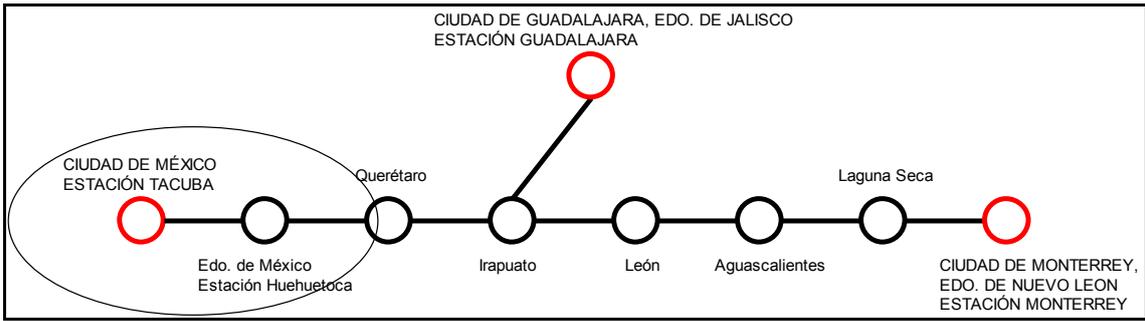


Figura 4.10.3 Ejemplo de la alimentación del primer enlace

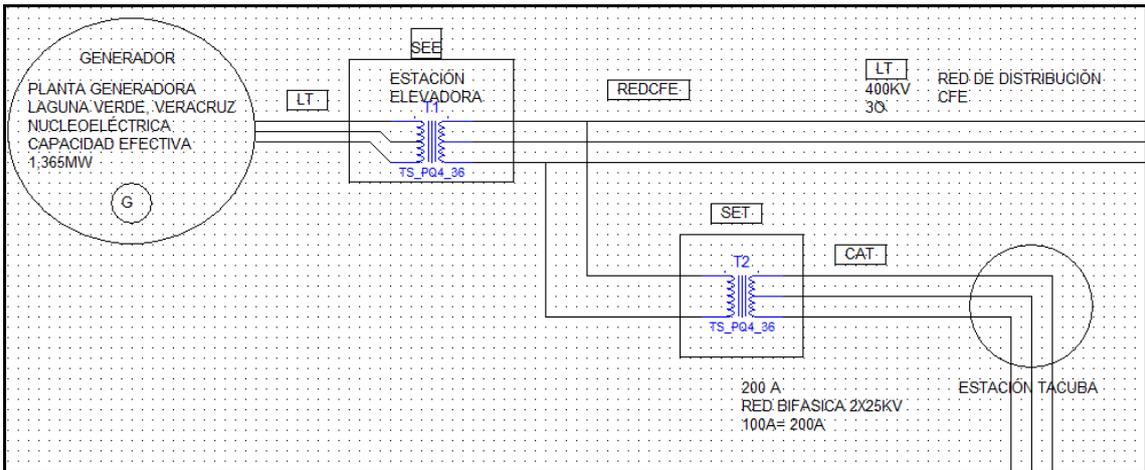
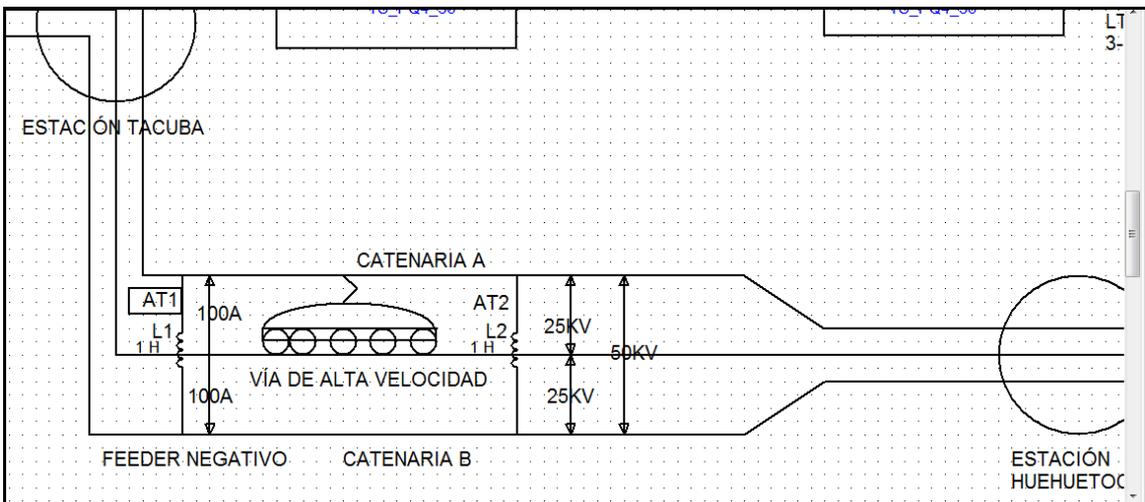


Figura 4.10.4 Parte del plano desde la generación hacia la subestación de tracción



4.10.5 Sistema de alimentación desde la subestación de tracción

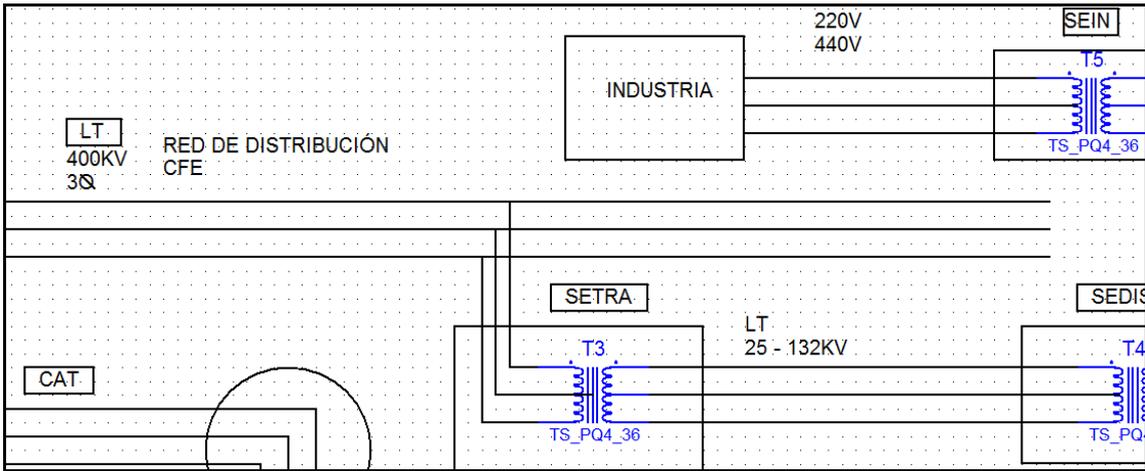


Figura 4.10.6 Red de distribución eléctrica general A

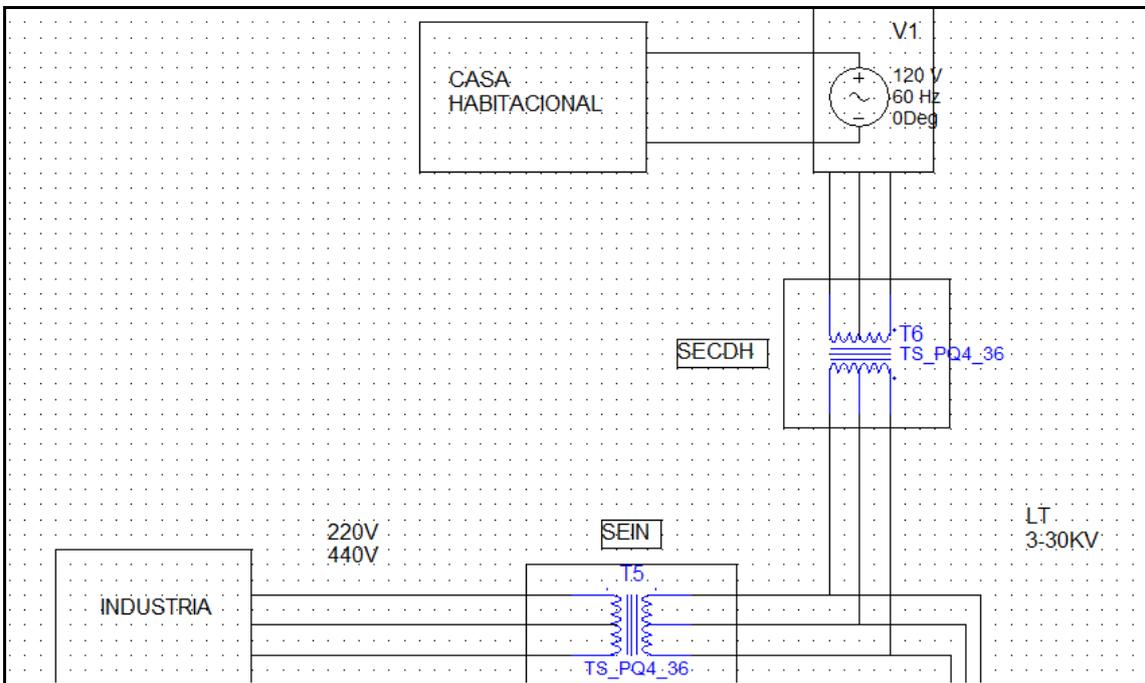


Figura 4.10.7 Red de distribución eléctrica general B

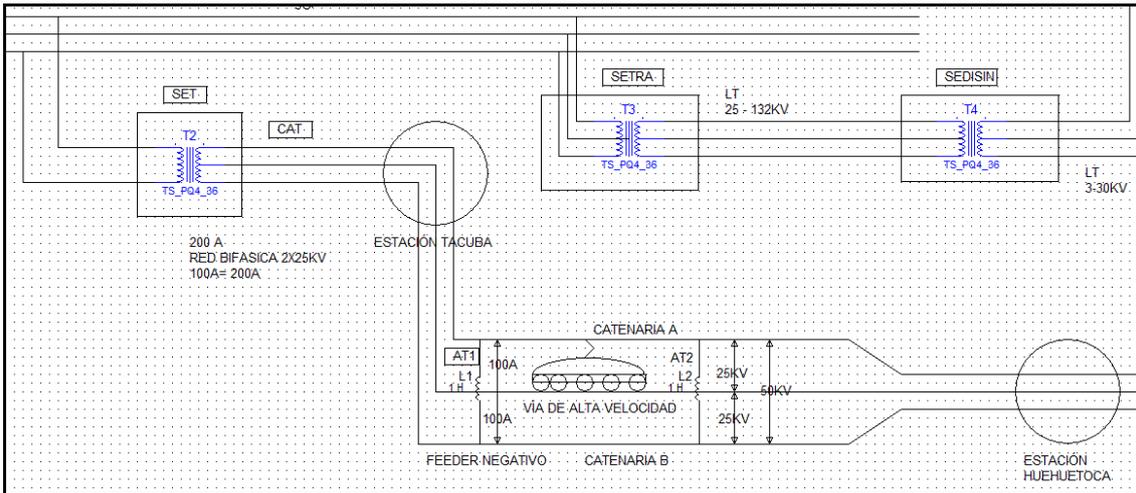


Figura 4.10. 8 Parte del plano donde se puede observar completo el enlace 1

SIMBOLOGÍA	
	CENTRAL GENERADORA Generador BWR-5 Reactor de agua ligera en ebullición
	Potencia térmica 2027MW TRANSMISIÓN CFE, 69,85, 115, 230 Ó 400KV
	LINEA DE TRANSMISIÓN
	TURBOGENERADOR MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES POTENCIA BRUTA POR UNIDAD 695MW
	SUBESTACIÓN DE TRACCION PARA TRENES DE ALTA VELOCIDAD SUBESTACION DE DISTRIBUCIÓN A 25KV DE 50 A 70KM DE DISTANCIA
	SUBESTACIÓN ELEVADORA 400KV
	AUTOTRANSFORMADOR DE 8 A 16KM
	SUBESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN
	CATENARIA 25KV 50/60HZ
	SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN INDUSTRIAL 3-30KV
	SUBESTACIÓN INDUSTRIAL
	SUBESTACIÓN PARA DISTRIBUCIÓN HABITACIONAL

Figura 4.10.9 Cuadro de Simbología

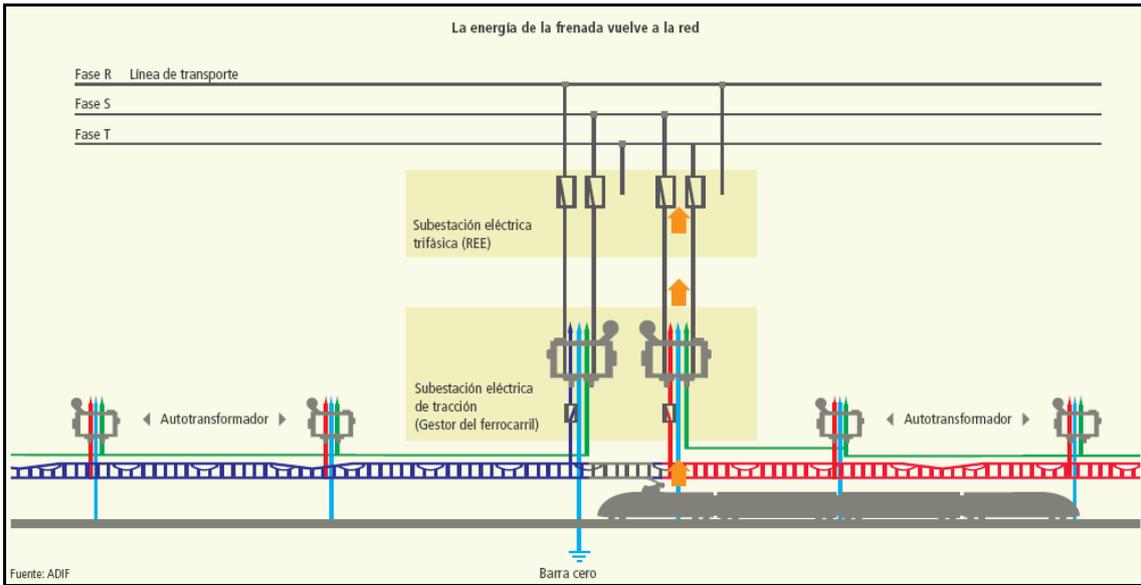
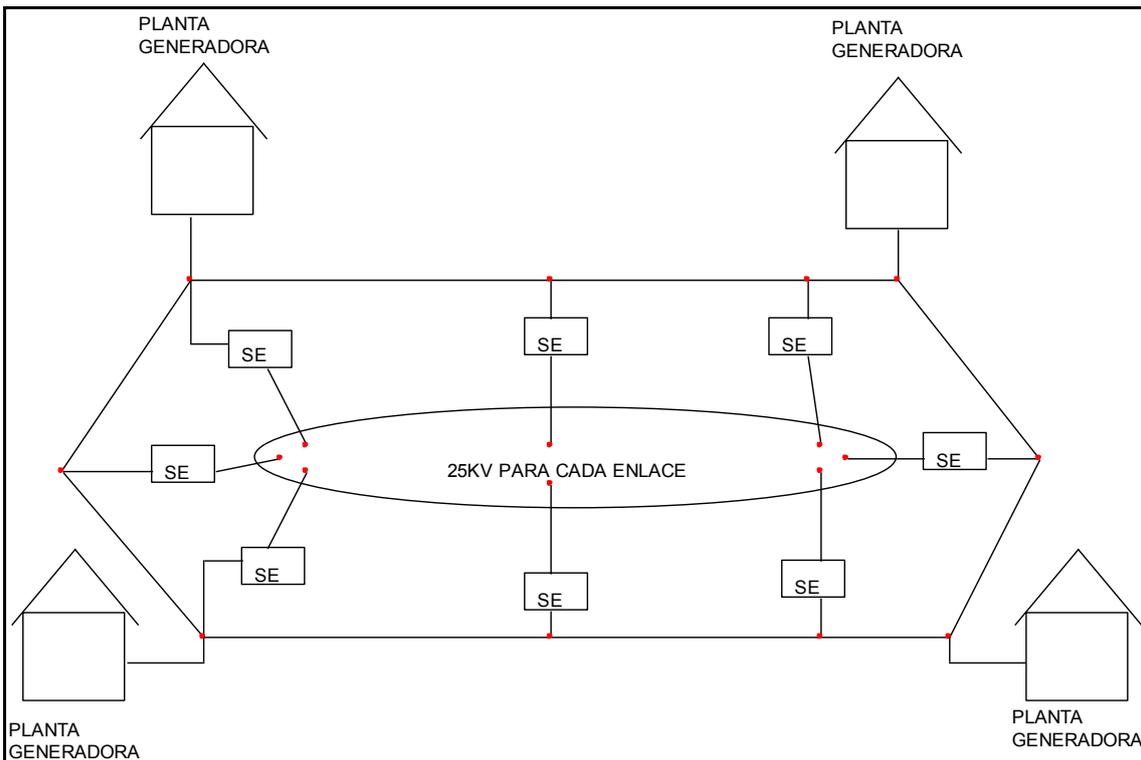
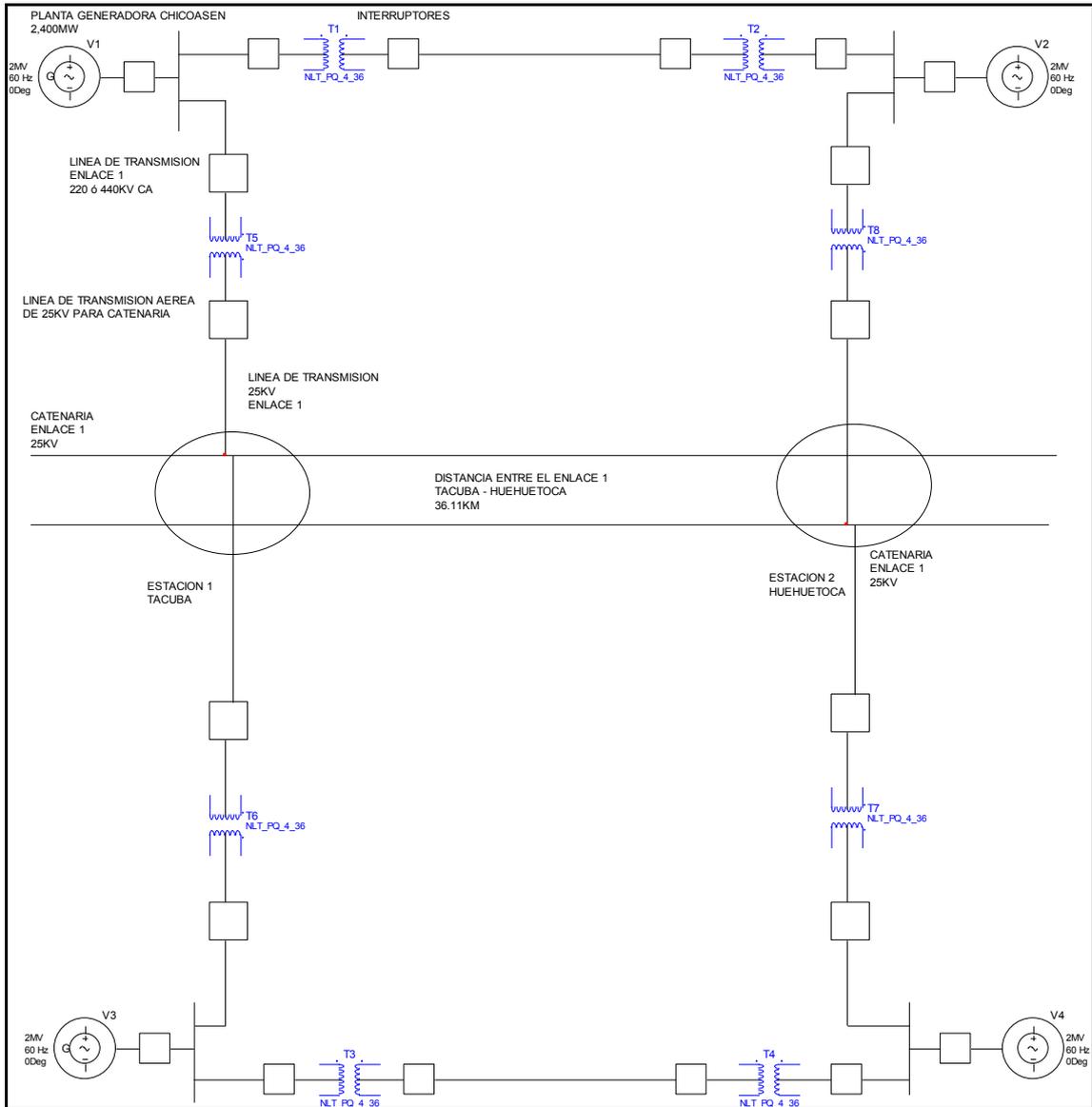


Figura 4.10.10 Esquema de tracción por parte de la empresa ADIF, para las líneas AVE

4.3.2 Estructura básica de un subestación central de tracción



4.10.11 Plano general de la alimentación de un enlace



4.10.12 Plano General del Enlace 1 Tacuba – Huehuetoca

La electrificación de la línea de alta velocidad Tacuba – Huehuetoca está dotada de un sistema de electrificación en corriente alterna monofásica a 25.000 voltios y 60 hertzios de frecuencia. La alimentación de energía eléctrica a la línea está garantizada por una subestación de tracción, que transforman la tensión de 220 kv ó 400 kv suministrada por la red de distribución eléctrica de CFE, a los 2x25 KV necesarios para la catenaria (línea aérea de contacto) y para desde ésta alimentar otros sistemas asociados (iluminación de túneles, calefacción de agujas, telecomunicaciones móviles GSM-R/GSM y edificios técnicos y casetas técnicas).

El tipo de catenaria escogido es el EAC-350 y cuenta con una zona de separación de sistemas en el enlace con la electrificación de la línea de Alta Velocidad.

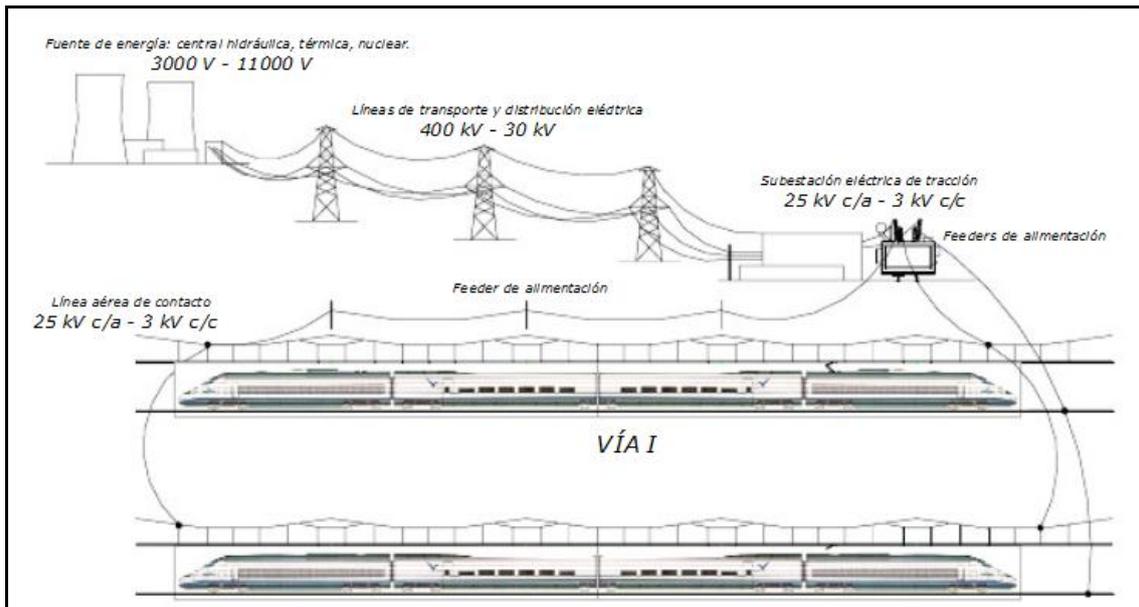
El sistema de alimentación a utilizar es el nuevo 2x25 por sus mejores características técnicas, ya que permite un mejor reparto de corrientes y garantiza que la caída de tensión sea inferior. El sistema permite ampliar la distancia entre subestaciones de tracción, situándolas a unos 60-65 kilómetros aproximadamente, con el consiguiente ahorro en instalaciones y de impacto medioambiental.

4.4 Desarrollo de la electrificación del sistema

Se entiende por electrificación de una vía de trenes de alta velocidad, como el conjunto de las instalaciones necesarias para un sistema de tracción eléctrica.

En un sistema de electrificación para trenes de alta velocidad, pueden considerarse los siguientes elementos:

- 1.- Fuentes de Energía o centrales de generación de energía.
- 2.- Líneas de transmisión.
- 3.- Subestaciones de tracción eléctrica, para los sistemas en CA y CD.
- 4.-Línea aérea de contacto o catenaria y sus sistemas.
- 5.- Feeders o cables de alimentación entre las subestaciones y las catenarias.
- 6.- Componentes propios del material rodante motor, principalmente pantógrafos y motores eléctricos de tracción.



4.10.13 Sistema de distribución eléctrica para el tren de alta velocidad

1.- Fuentes de Energía del Sistema Eléctrico Ferroviario

Estas fuentes de energía, denominadas genéricamente centrales eléctricas, generan energía eléctrica de forma masiva en determinados puntos geográficos de acuerdo a las disponibilidades de energía mecánica que mueve el alternador, el cuál representa el elemento fundamental de la central.

Los generadores de corriente alterna o alternadores, son máquinas rotativas que transforman la energía mecánica en energía eléctrica alternativa. Son más sencillos de construir que los generadores de corriente continua o dinamos y tienen como principio de funcionamiento el que el número de líneas de inducción que atraviesan las bobinas está sometido a variaciones periódicas. La mayor parte de estas máquinas se construyen para 50 ó 60 períodos por segundo o Hertzios (p.p.s ó Hz). La velocidad de giro suele estar comprendida entre las 3.000 (turboalternadores) y 1.500 (hidroalternadores) revoluciones por minuto (r.p.m.) para frecuencias de la red determinadas ($n = \text{frecuencia} \times 60$, número de pares de polos). En España la energía de salida en alternadores se hace a una frecuencia industrial de 50 Hz, en sistema trifásico y a tensiones que suelen estar comprendidas entre 3.000 y 11.000 V.

En México 120V a 60Hz, la Comisión Federal de Electricidad es una empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 33.9 millones de clientes, lo que representa a más de 100 millones de habitantes, e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos.

La infraestructura para generar la energía eléctrica está compuesta por 177 centrales generadoras, con una capacidad instalada de 51,081 megawatts (MW).

El 22.41% de la capacidad instalada corresponde a 21 centrales construidas con capital privado por los Productores Independientes de Energía (PIE).

En la CFE se produce la energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes de energético primario. Tiene centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y una nucleoeléctrica.

Para conducir la electricidad desde las centrales de generación hasta el domicilio de cada uno de sus clientes, la CFE tiene más de 743 mil kilómetros de líneas de transmisión y de distribución.

El suministro de energía eléctrica llega a cerca de 137 mil localidades (133,390 rurales y 3,356 urbanas) y el 96.85% de la población utiliza la electricidad.

En los últimos diez años se han instalado 42 mil módulos solares en pequeñas comunidades muy alejadas de los grandes centros de población. Esta será la tecnología de mayor aplicación en el futuro para aquellas comunidades que aún no cuentan con electricidad.

En cuanto al volumen de ventas totales, 99% lo constituyen las ventas directas al público y el 1.0% restante se exporta.

Si bien el sector doméstico agrupa 88.20% de los clientes, sus ventas representan 25.39% del total de ventas al público. Una situación inversa ocurre en el sector industrial, donde menos de 1% de los clientes representa más de la mitad de las ventas.

La CFE es también la entidad del gobierno federal encargada de la planeación del sistema eléctrico nacional, la cual es plasmada en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE), que describe la evolución del mercado eléctrico, así como la expansión de la capacidad de generación y transmisión para satisfacer la demanda en los próximos diez años, y se actualiza anualmente.

Con todo, la empresa estatal reporto ingresos derivados de la venta del servicio eléctrico del orden de 164 mil 119 millones de pesos en los primeros nueve meses del año 2009, cuando en el mismo periodo del año pasado había captado ya 200 mil 205 millones de pesos. El compromiso de la empresa es ofrecer servicios de excelencia, garantizando altos índices de calidad en todos sus procesos, al nivel de las mejores empresas eléctricas del mundo.

CFE es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Con relación a la clasificación de las centrales eléctricas, ésta se suele realizar atendiendo al origen de la energía motriz empleada:

- Centrales Hidráulicas. Son aquellas que aprovechan un salto hidráulico. La potencia ideal es el producto del caudal del agua por la altura del salto y por el peso específico.
- Centrales Térmicas. Utilizan el carbón como energía motriz.
- Centrales Nucleares. Utilizan la energía nuclear como motriz.

4.4.1 Mapa de las plantas generadoras en México

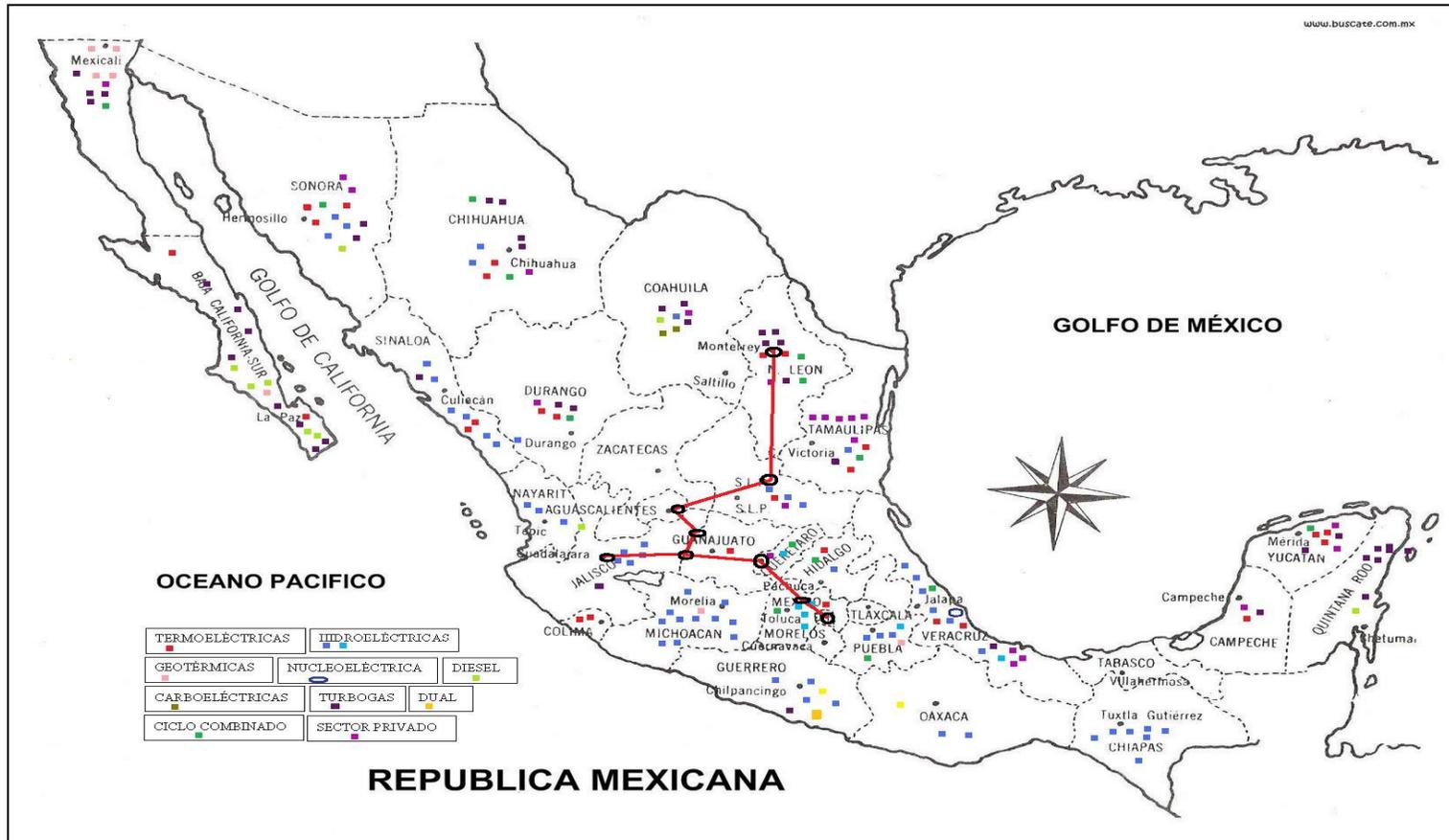


Figura 4.11 Mapa con todas las plantas generadoras del país y la ruta del T.A.V.



4.11.1 Mapa de algunas de las diferentes plantas generadoras del país, 2005, CFE.

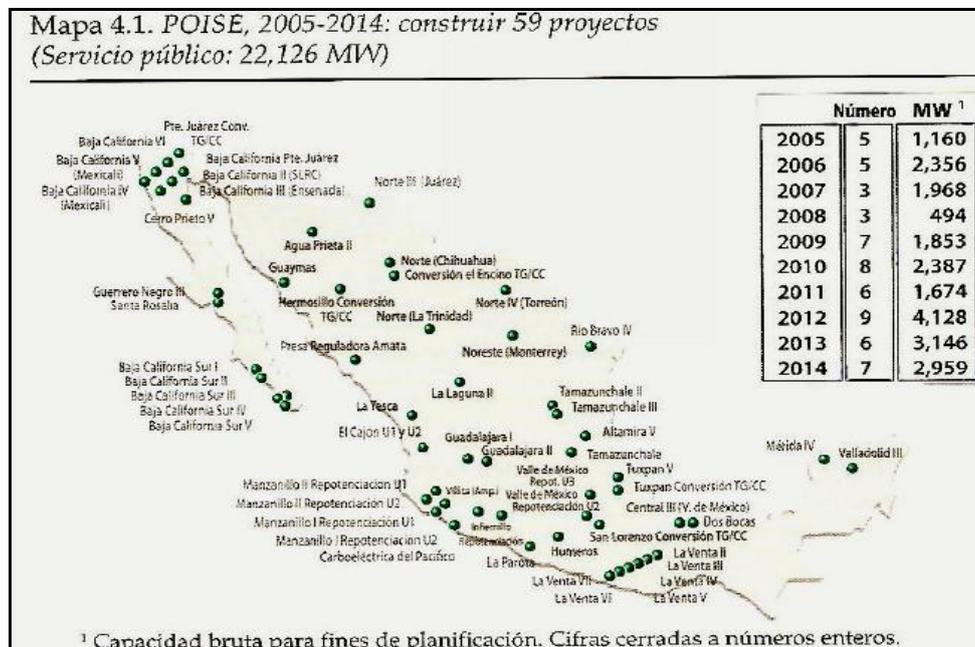


Figura 4.11.2 Planificación de plantas CFE 2005-2014

**Composición de la capacidad bruta al 31/12/2005
Servicio Público ^{1/}**

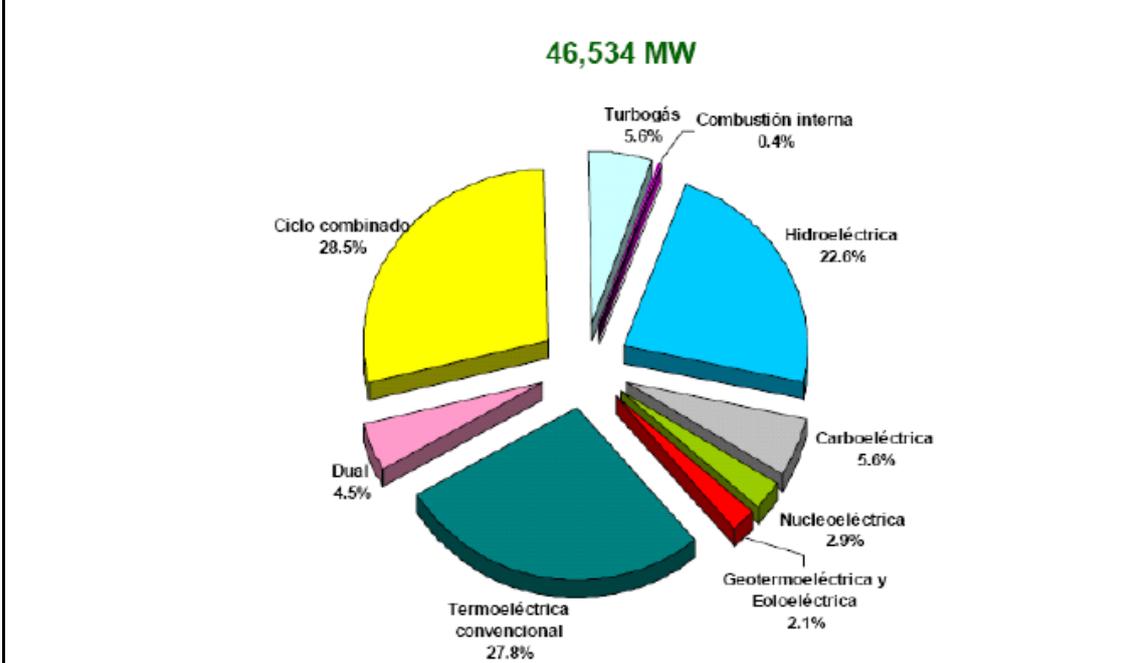


Figura 4.11.3 Esquema de la Composición de la capacidad bruta al 2005 en servicio público, CFE



4.11.3 Mapa principal de la Red troncal de nuestro sistema eléctrico Mexicano, CFE, 2006



Figura 4.11.4 Redes Zona Norte A, CFE, 2006.

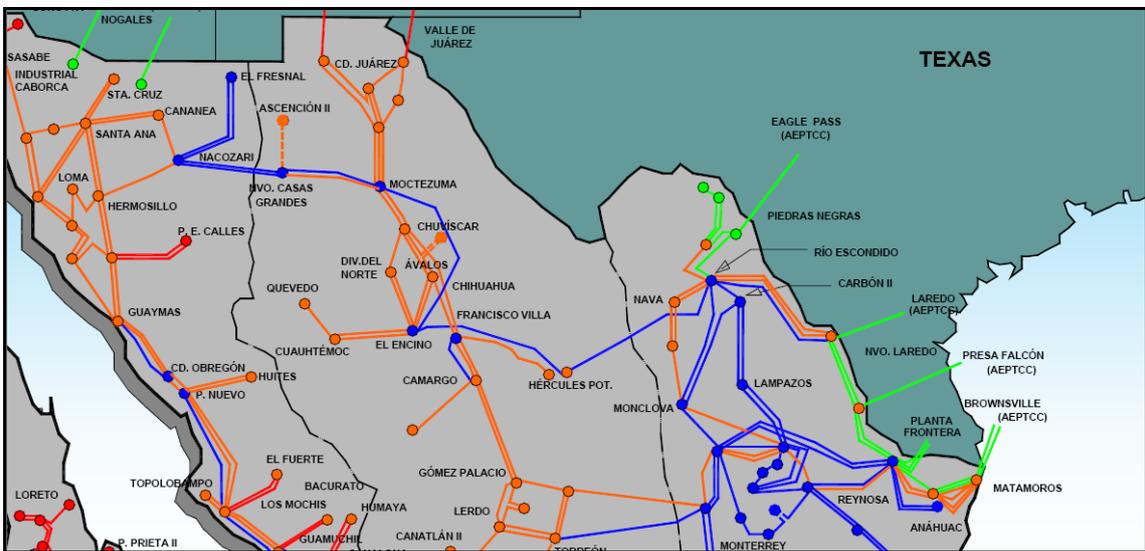


Figura 4.11.5 Redes Zona Norte B

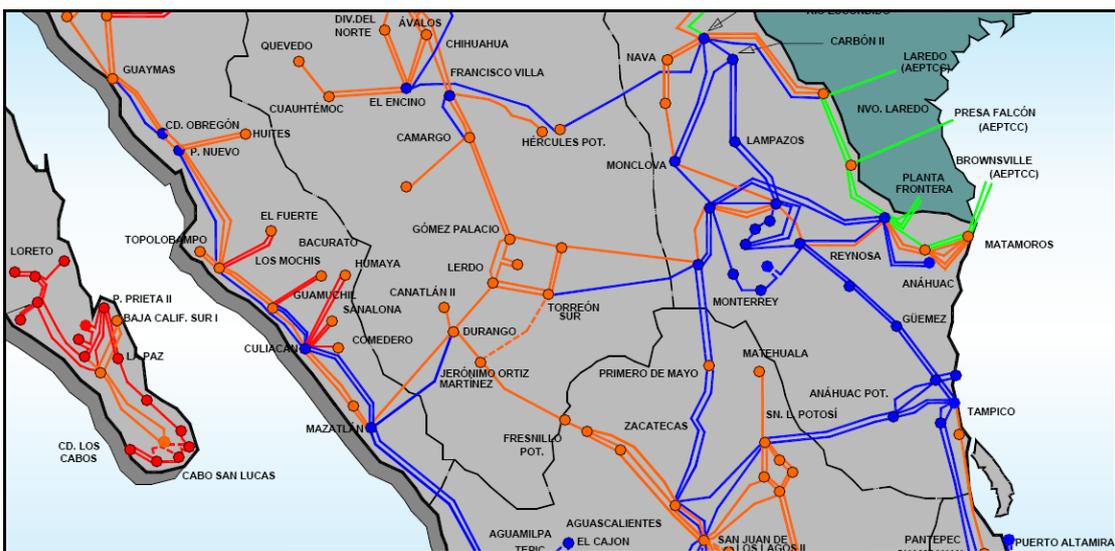


Figura 4.11.6 Redes Zona Norte C



Figura 4.11.7 Redes Zona Central

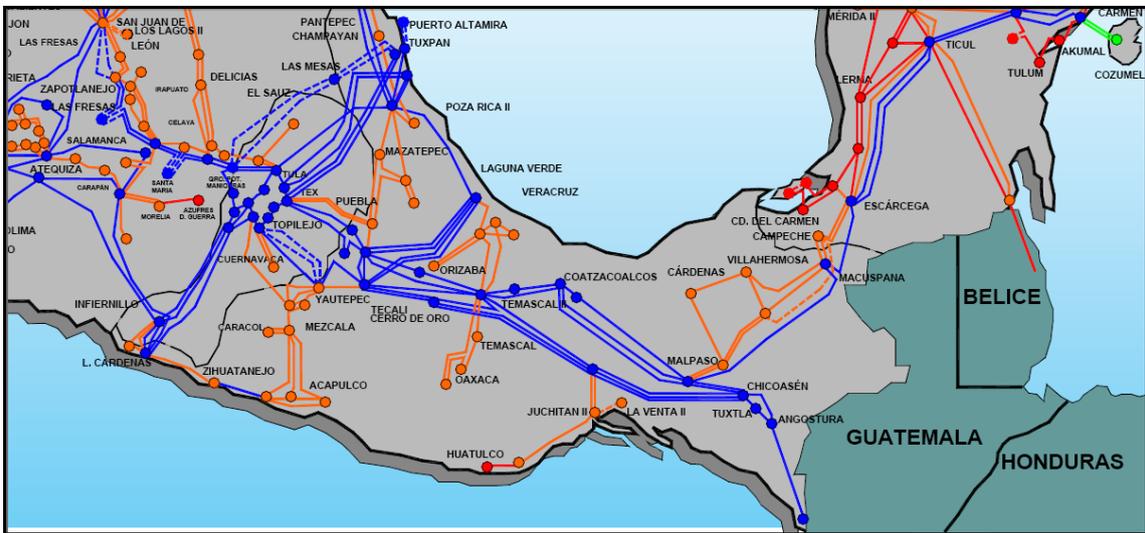


Figura 4.11.8 Redes Zona Sur A

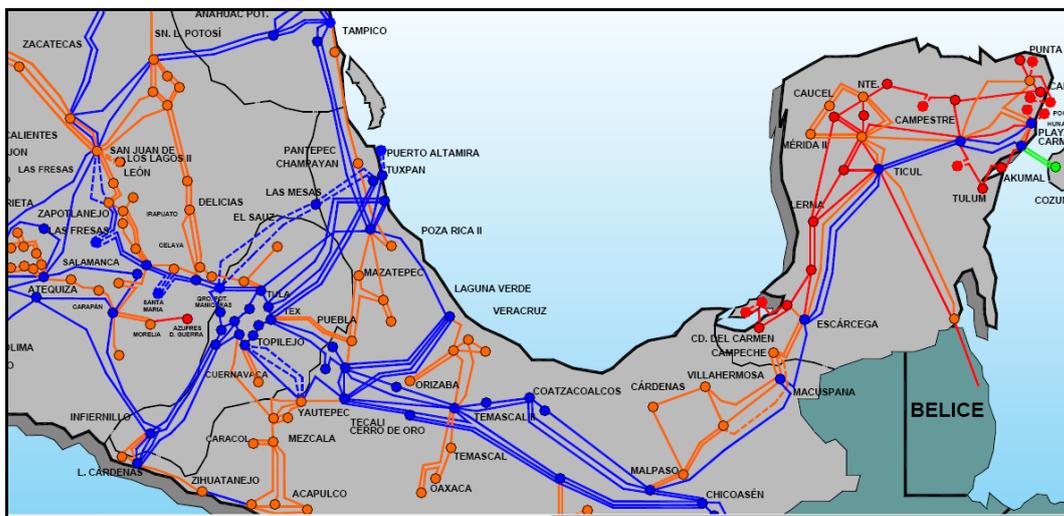


Figura 4.11.9 Redes Zona Sur B

Usando estas mismas Redes Interconectadas por CFE a lo largo de toda la Republica, utilizó esta misma red para los determinados enlaces de la electrificación para el T.A.V.

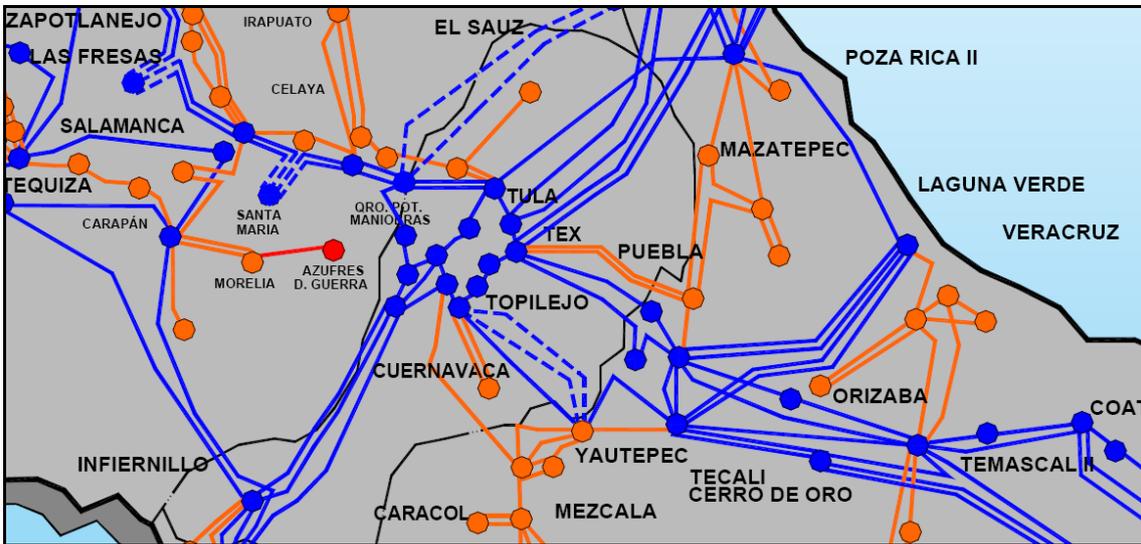


Figura 4.11.10 Zona Central, Ciudad de México - Estado de México para el enlace 1 con el enlace 2 Querétaro.

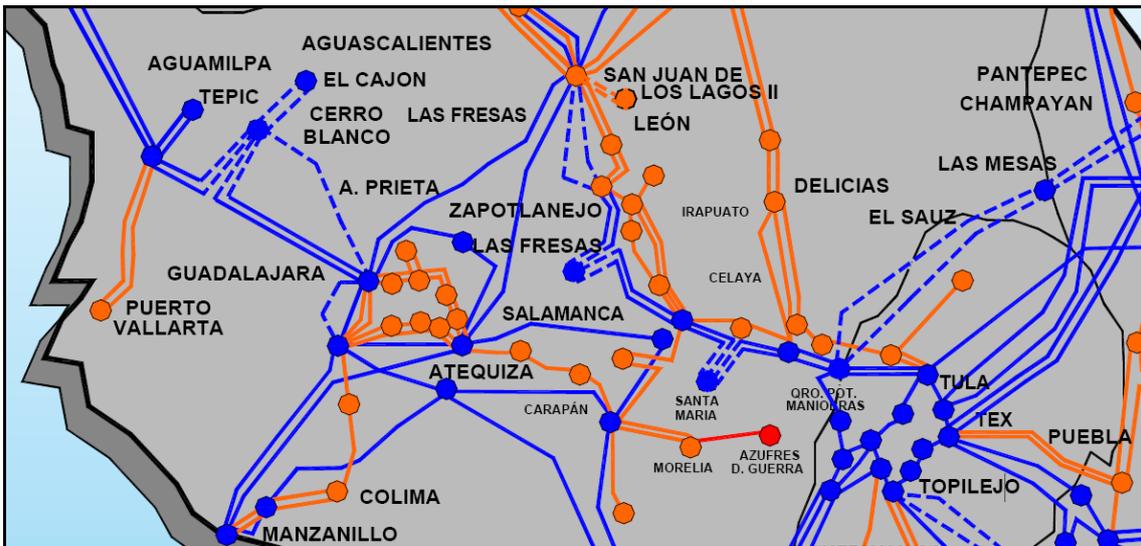


Figura 4.11.11 Redes para el enlace 3 Querétaro - Irapuato, hacia el enlace 4 Irapuato - Ciudad de Guadalajara - León.
Enlace 5 León – Aguascalientes



Figura 4.12 Redes para el enlace 5 y enlace 6 Aguascalientes – San Luís Potosí (Laguna Seca).

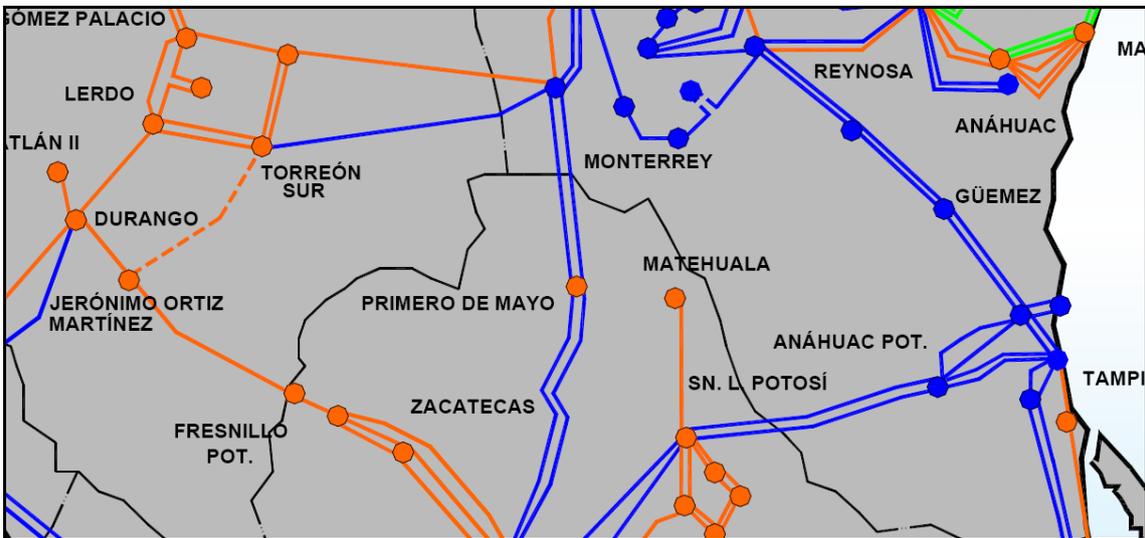


Figura 4.12.1 Última Red enlace 7 Laguna Seca – Ciudad de Monterrey, Nuevo León

4.4.2 Plantas generadoras para el desarrollo del proyecto

En consideración del cuidado del medio ambiente, el tipo de generación que utilizó para el proyecto son las plantas Hidroeléctricas, ya que es uno de los sistemas de generación más limpia y con mayor influencia en nuestro país.

64 Centrales Hidroeléctricas, de las cuales 20 son de gran importancia y 44 son centrales pequeñas. Las 20 centrales mas grandes se ubican de la siguiente manera: 5 en la Gerencia Regional de Producción Noroeste, 2 en la Gerencia Regional de Producción Norte, 5 en la Gerencia Regional de Producción Occidente, 2 en la Gerencia Regional de Producción Central y 6 en la Gerencia Regional de Producción Sureste.

Por lo tanto las características de las plantas que se podrían usar tenemos:

Tabla 4.1 Plantas Generadoras de México

Nombre de la Central	Número de unidades	Fecha de entrada en operación	Capacidad efectiva instalada (MW)	Ubicación
Aguamilpa Solidaridad	3	15-Sep-94	960	Tepic, Nayarit
Ambrosio Figueroa (La Venta)	5	31-May-65	30	La Venta, Guerrero
Ángel Albino Corzo (Peñitas)	4	15-Sep-87	420	Ostuacán, Chiapas
Bacurato	2	16-Jul-87	92	Sinaloa de Leyva, Sinaloa
<u>Bartolinas</u>	<u>2</u>	<u>20-Nov-40</u>	<u>1</u>	<u>Tacámbaro,</u> <u>Michoacán</u>
Belisario Domínguez (Angostura)	5	14-Jul-76	900	Venustiano Carranza, Chiapas
Bombaná	4	20-Mar-61	5	Soyaló, Chiapas
Boquilla	4	01-Ene-15	25	San Francisco Conchos, Chihuahua
<u>Botello</u>	<u>2</u>	<u>01-Ene-10</u>	<u>13</u>	<u>Panindícuaro,</u> <u>Michoacán</u>

Continuación de Tabla 4.1 Plantas Generadoras de México

<u>Camilo Arriaga</u>	<u>2</u>	<u>26-Jul-66</u>	<u>18</u>	<u>El Naranjo, San Luis Potosí</u>
(El Salto)				
Carlos Ramírez	3	16-Dic-86	600	Apaxtla, Guerrero
<u>Chilapan</u>	<u>4</u>	<u>01-Sep-60</u>	<u>26</u>	<u>Catemaco, Veracruz</u>
<u>Cóbano</u>	<u>2</u>	<u>25-Abr-55</u>	<u>52</u>	<u>Gabriel Zamora, Michoacán</u>
<u>Colimilla</u>	<u>4</u>	<u>01-Ene-50</u>	<u>51</u>	<u>Tonalá, Jalisco</u>
Colina	1	01-Sep-96	3	San Francisco Conchos, Chihuahua
Colotlipa	4	01-Ene-10	8	Quechultenango, Guerrero
<u>Cupatitzio</u>	<u>2</u>	<u>14-Ago-62</u>	<u>72</u>	<u>Uruapan, Michoacán</u>
<u>Electroquímica</u>	<u>1</u>	<u>01-Oct-52</u>	<u>1</u>	<u>Cd. Valles, San Luis Potosí</u>
<u>Encanto</u>	<u>2</u>	<u>19-Oct-51</u>	<u>10</u>	<u>Tlapacoyan, Veracruz</u>
Falcón	3	15-Nov-54	32	Nueva Cd. Guerrero, Tamaulipas
<u>Fernando Hiriart Balderrama</u>	<u>2</u>	<u>27-Sep-96</u>	<u>292</u>	<u>Zimapán, Hidalgo</u>

Continuación de Tabla 4.1 Plantas Generadoras de México

Humaya	2	27-Nov-76	90	Badiraguato, Sinaloa
Infiernillo	6	28-Ene-65	1,120	La Unión, Guerrero
<u>Itzícuaró</u>	<u>2</u>	<u>01-Ene-29</u>	<u>1</u>	<u>Peribán los Reyes,</u> <u>Michoacán</u>
<u>Ixtaczoquitlán</u>	<u>1</u>	<u>10-Sep-05</u>	<u>2</u>	<u>Ixtaczoquitlán,</u> <u>Veracruz</u>
José Cecilio	3	26-Abr-67	21	Tapachula, Chiapas
Jumatán	4	17-Jul-41	2	Tepic, Nayarit
La Amistad	2	01-May-87	66	Acuña, Coahuila
Leonardo Rodríguez Alcaine (El Cajón)	2	01-Mar-07	750	Santa María del Oro, Nayarit
Luis Donaldo Colosio	2	15-Sep-96	422	Choix, Sinaloa
(Huites)				
<u>Luis M. Rojas</u>	<u>1</u>	<u>01-Ene-63</u>	<u>5</u>	<u>Tonalá, Jalisco</u>
(Intermedia)				
Malpaso	6	29-Ene-69	1,080	Tecpatán, Chiapas
<u>Manuel M. Diéguez</u>	<u>2</u>	<u>02-Sep-64</u>	<u>61</u>	<u>Amatitlán, Jalisco</u>
(Santa Rosa)				
Manuel Moreno Torres (Chicoasén)	8	29-May-81	2,400	Chicoasén, Chiapas

Continuación de Tabla 4.1 Plantas Generadoras de México

Mazatepec	4	06-Jul-62	220	Tlatlauquitepec, Puebla
<u>Micos</u>	<u>2</u>	<u>01-May-45</u>	<u>1</u>	<u>Cd. Valles, San Luis Potosí</u>
<u>Minas</u>	<u>3</u>	<u>10-Mar-51</u>	<u>15</u>	<u>Las Minas, Veracruz</u>
Mocúzari	1	03-Mar-59	10	Álamos, Sonora
Oviáchic	2	28-Ago-57	19	Cajeme, Sonora
Platanal	2	21-Oct-54	9	Jacona, Michoacán
Plutarco Elías Calles (El Novillo)	3	12-Nov-64	135	Soyopa, Sonora
Portezuelos I	4	01-Ene-01	2	Atlixco, Puebla
Portezuelos II	2	01-Ene-08	1	Atlixco, Puebla
<u>Puente Grande</u>	<u>2</u>	<u>01-Ene-12</u>	<u>12</u>	<u>Tonalá, Jalisco</u>
Raúl J. Marsal (Comedero)	2	13-Ago-91	100	Cosalá, Sinaloa
Salvador Alvarado (Sanalona)	2	08-May-63	14	Culiacán, Sinaloa
<u>San Pedro Porúas</u>	<u>2</u>	<u>01-Oct-58</u>	<u>3</u>	<u>Villa Madero, Michoacán</u>
Schpoiná	3	07-May-53	2	Venustiano Carranza, Chiapas
Tamazulapan	2	12-Dic-62	2	Tamazulapan, Oaxaca
Temascal	6	18-Jun-59	354	San Miguel Soyaltepec, Oaxaca

Continuación de Tabla 4.1 Plantas Generadoras de México

<u>Texolo</u>	<u>2</u>	<u>01-Nov-51</u>	<u>2</u>	<u>Teocelo, Veracruz</u>
<u>Tirio</u>	<u>3</u>	<u>01-Ene-05</u>	<u>1</u>	<u>Morelia,</u> <u>Michoacán</u>
<u>Tuxpango</u>	<u>4</u>	<u>01-Ene-14</u>	<u>36</u>	<u>Ixtaczoquitlán,</u> <u>Veracruz</u>
Valentín Gómez Farías	2	15-Sep-93	240	Zapopan, Jalisco
(Agua Prieta)				
<u>Villita</u>	<u>4</u>	<u>01-Sep-73</u>	<u>300</u>	<u>Lázaro Cárdenas,</u> <u>Michoacán</u>
<u>Zumpimito</u>	<u>4</u>	<u>01-Oct-44</u>	<u>6</u>	<u>Uruapan,</u> <u>Michoacán</u>
27 de Septiembre	3	27-Ago-60	59	El Fuerte, Sinaloa
(El Fuerte)				

La presa hidroeléctrica La Yesca se ubica 105 kilómetros al noroeste de Guadalajara, entre los estados de Jalisco y Nayarit. Su construcción requerirá emplear 10 mil personas y es una obra pública con un costo de 767 millones de dólares. Cuando esté en pleno funcionamiento, aportará 750 megawatts al sistema eléctrico nacional de energía renovable, lo que equivale al 15% del consumo anual de Jalisco. Este nuevo proyecto del gobierno federal forma parte del sistema hidrológico Santiago, en cuyo embalse se incluyen Agua Milpa, El Cajón y la presa Santa Rosa. Con la incorporación de la Yesca, sumarán una capacidad instalada de 2550 megawatts de energía renovable.

Para la creación de esta presa es necesario desviar el Río Santiago, a través de dos túneles que se desarrollaron para desalojar 5,730 metros cuadrados de agua por segundo. Tras desviar el río, se construirá una cortina de 220.5 metros de alto, una de las más grandes del mundo. Esas dimensiones sirven para desalojar un gasto máximo de 5730 metros cúbicos por segundo, el equivalente del caudal necesario para abastecer de agua 100 veces a la Ciudad de México.

La Yesca será la segunda mayor generadora de hidroelectricidad del país y podrá entrar en operación en el año 2012.

Calderón afirma que la inversión pública en infraestructura es su gran apuesta para enfrentar la crisis mundial y que su gobierno invierte en generar energía limpia; aunque no precisó el daño ambiental que causará el desvío del Río Santiago.

También se tiene la opción de usar las plantas Termoeléctricas que se encuentra en **Salamanca, Guanajuato con 4 unidades y una capacidad efectiva instalada de 866MW.**

La del Valle de México con 3 unidades y una capacidad efectiva instalada de 450MW, Acolman, México.

Villa de Reyes con 2 unidades y una capacidad efectiva instalada de 700MW, Villa de Reyes, San Luis Potosí.

Como además tenemos las de Ciclo combinado. Plantas de ciclo combinado constará de dos tipos diferentes de unidades generadoras: turbogas y vapor.

Esta combinación de dos tipos de generación nos permite aprovechar al máximo los combustibles utilizados, mejorando así la eficiencia térmica en todos los tipos de generación termoeléctrica.

El Sauz con 7 unidades con una capacidad efectiva instalada de 603MW, Pedro Escobedo, Querétaro.

Huinalá con 5 unidades con una capacidad efectiva instalada de 378MW, Pesquería, Nuevo León.

Huinalá II con 2 unidades con una capacidad efectiva instalada de 450MW, Pesquería, Nuevo León.

Tula con 6 unidades con una capacidad efectiva instalada de 489MW, Tula, Hidalgo.

Valle de México con 4 unidades con una capacidad efectiva instalada de 549MW, Acolman, México.

Y una de las fuentes de generación más importantes del país, me refiero a nuestra Nucleoeléctrica, dispone de 370 hectáreas localizadas sobre la costa del Golfo de México, en el km 42.5 de la carretera federal Cd. Cardel-Nautla, municipio de Alto Lucero; a 60 km al noreste de la ciudad de Xalapa, a 70 km del puerto de Veracruz y a 290 km al noreste del Distrito Federal.

La central consta de dos unidades, cada una con capacidad de 682.44 megavatios, equipadas con reactores del tipo agua hirviente y contenciones de ciclo directo.

El sistema nuclear de suministro de vapor fue adquirido a General Electric y el Turbogenerador a Mitsubishi Heavy Industries.

Laguna Verde con 2 unidades con una capacidad efectiva instalada de 1,365MW, Alto Lucero, Veracruz.

4.5 Elementos principales del sistema de T. A.V.

En esta parte de mi trabajo, presento los elementos más importantes para el desarrollo del sistema de transporte eléctrico de alta velocidad.

4.5.1 Subestación de tracción de corriente alterna

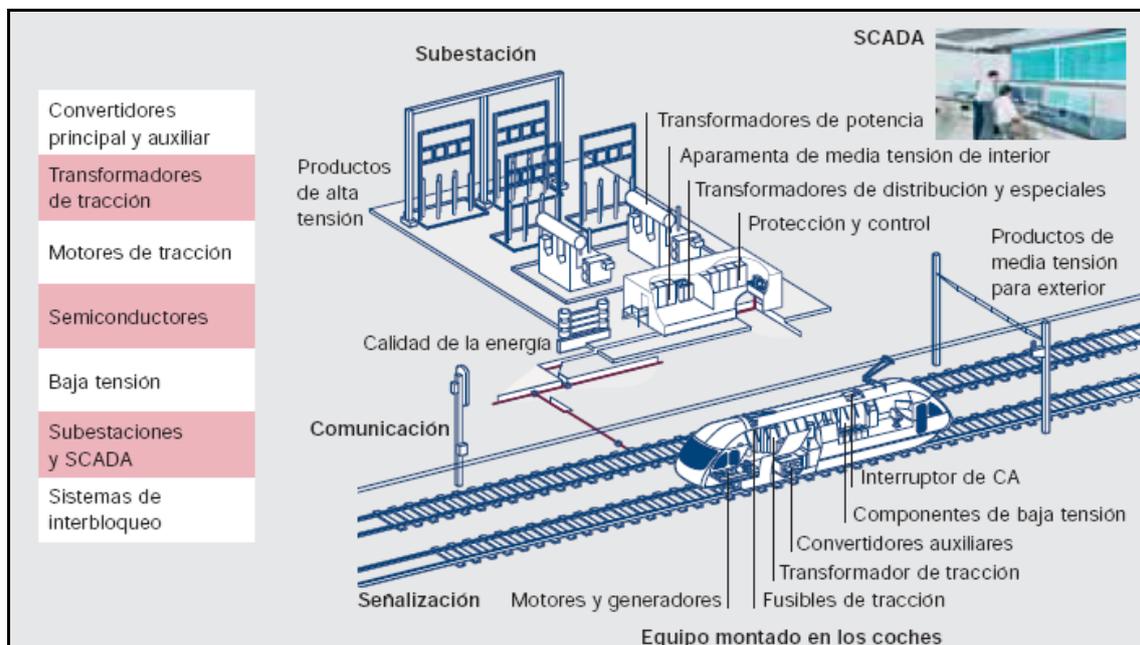


Figura 4.13 Esquema ABB de una vía de alta velocidad

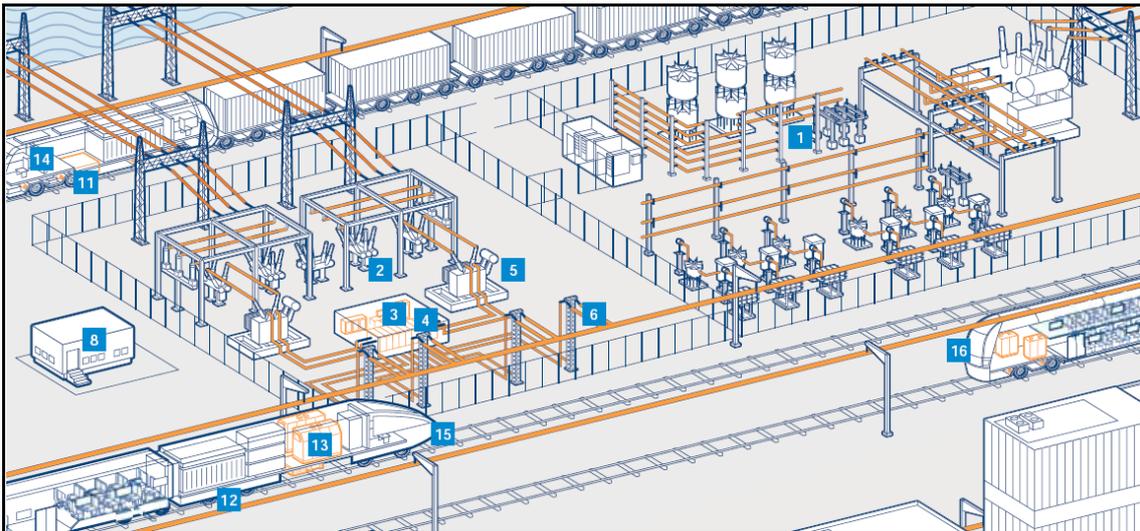


Figura 4.13.1 Esquema general de una subestación de tracción ABB

La propia tensión alterna absorbida de la red es transformada a otros valores de tensión menores también en sistema alterno. Se pueden diferenciar dos instalaciones: Subestación trifásica de alimentación. A diferencia de la subestación trifásica de alimentación del caso continuo, la cuál pertenecía al gestor del ferrocarril, aquí la subestación trifásica de alimentación forma parte de un conjunto constructivo independiente.

La propiedad y competencia de explotación y mantenimiento corresponde a la empresa suministradora. De nuevo, el gestor del ferrocarril dispone de los equipos de medida para facturación. Los elementos necesarios de la subestación trifásica son:

1.- Elementos de potencia: interruptores, seccionadores, transformadores de medida y protección, pararrayos, autoválvulas en caso de sobretensión, etc., que la empresa suministradora considere imprescindibles para la seguridad del suministro y calidad del servicio.

2. Sistema de coordinación de protecciones y telemando necesarios para la explotación de elementos comunes.

Subestación de tracción. Al igual que en el sistema continuo, la subestación de tracción suministra la energía a los trenes.

El elemento principal del recinto es el transformador de potencia reductor de tensión, el cual establece la existencia de dos circuitos eléctricos independientes a través de sus dos devanados (pueden ser más de dos), cada uno de los cuales con sus elementos propios. Se tiene por tanto un circuito eléctrico con muy alto nivel de tensión, 400 KV, ó alto nivel de tensión, por lo general 220 ó 132 KV, que se encuentra conectado al primario del transformador y que suele ir formado por aparellaje bipolar de potencia para corriente alterna (interruptores, seccionadores, transformadores de medida y protección, etc.).

El circuito eléctrico del devanado secundario será el de tracción propiamente dicho. El nivel de tensión tendrá por lo general unos valores de 25 ó 50 KV a una frecuencia industrial de 50 Hz². Los elementos que dispone este circuito serán los mismos que en los otros casos:

- 1.- Aparellaje (conjunto aparatos y accesorios para un uso en común) monopolar o bipolar de alimentación al feeder de catenaria (se verá en el siguiente punto), así como elementos de enlaces o acoplamiento de barras y para servicios auxiliares (por ejemplo, iluminación de la propia instalación).
- 2.- Sistemas de control de protección y medida.
3. Sistemas de puesta a tierra y vigilancia de la misma.
4. Sistemas de telemando.



4.14 Vista panorámica de la red de distribución Madrid – Sevilla

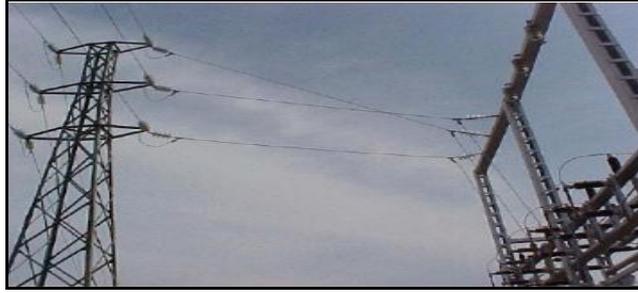


Figura 4.14.1 Línea de transmisión de 400 Kv. de la red distribución llegando a la subestación de tracción.



Figura 4.14.2 La toma de la red de distribución hacia la subestación de tracción.



Figura 4.14.3 El transformador de tracción

La entrada al devanado primario con 400kv y saliendo por su secundario a una tensión de 50kv.

4.5.2 Los Feeders de alimentación

En rigor, el feeder de alimentación es el cable que partiendo de la subestación de tracción va a alimentar en un punto determinado a la línea aérea de contacto.

Por extensión, se denomina también feeder a aquellos otros cables que, sin función mecánica alguna y solamente como refuerzo de sección, discurren tendidos conjuntamente y de forma paralela a la línea aérea de contacto.

Por tanto, si bien el feeder es el cable de conexión desde el transformador a la catenaria, algunas veces suele acompañarla durante un número determinado de kilómetros, realizando la conexión a una distancia considerable de la subestación eléctrica (además de la que se realiza en la propia subestación). La ventaja de utilizar un feeder de alimentación (también denominado feeder de refuerzo ó feeder positivo) se encontrará en la disminución de la intensidad por la catenaria, lo que supondrá a su vez una menor pérdida y una menor caída de tensión medida desde la subestación.



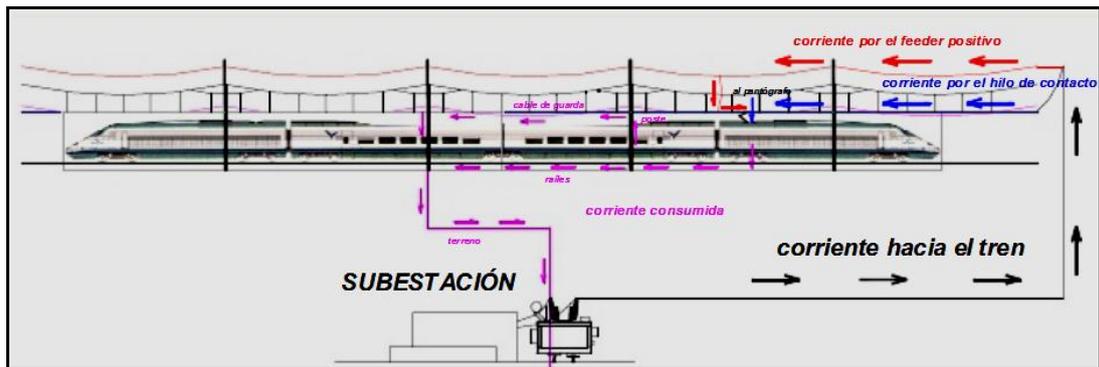
Figura 4.14. 4 Imagen donde se puede apreciar la salida de los feeders de la subestación de tracción hacia las catenarias.



Figura 4.14.5 Salida de los feeders



4.14.6 Imagen de la conexión de los feeders hacia las catenarias



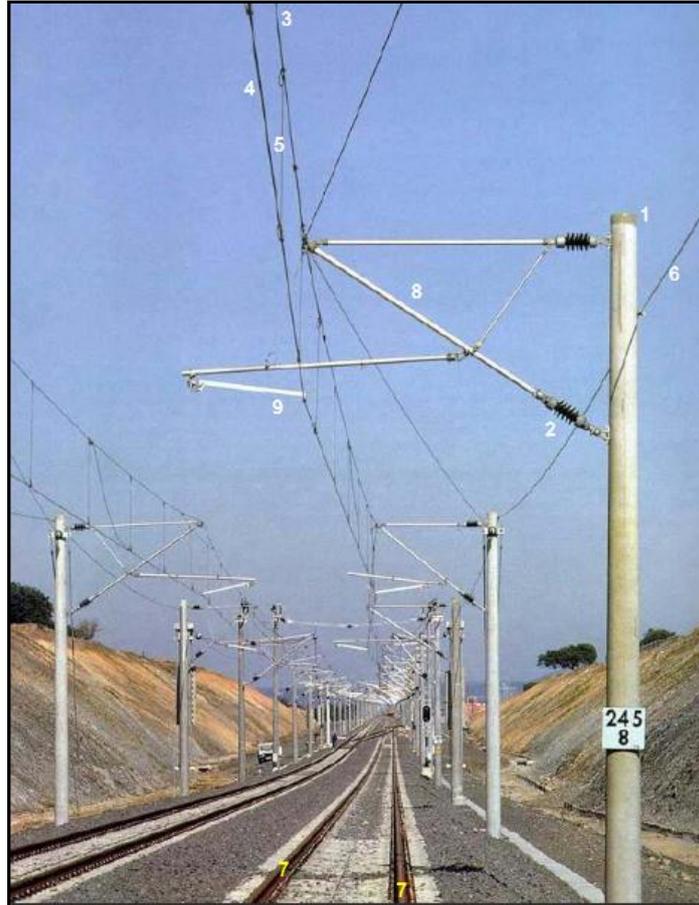
4.14.7 Esquema general de la alimentación hacia el tren desde la subestación de tracción.

4.5.3 La Configuración de la catenaria

La catenaria o línea aérea de contacto es el tendido aéreo que se monta sobre las vías del ferrocarril de forma aislada, permitiendo al material rodante la captación de la energía. Por extensión, en el argot ferroviario catenaria representa también todos aquellos elementos relacionados con el cable de contacto: elementos de sujeción y herrajes, postes, aisladores, otros cables, circuito de retorno, etc.

Para ubicar en las siguientes imágenes, los diferentes elementos de la catenaria, se tiene la siguiente numeración:

- 1.-Poste
- 2.- Aislador de Ménsula
- 3.- Cable Sustentador
- 4.- Hilo de contacto
- 5.-Péndola
- 6.- Cable de retorno o cable guarda
- 7.- Carril de rodadura
- 8.- Conjunto de Ménsula
- 9.- Brazo de atirantado



4.14.8 Imagen actual de la vía del tren AVE, con los principales elementos de la catenaria

4.5.4 Parámetros básicos del sistema de la catenaria

Son aquellos parámetros de tipo geométrico considerados inicialmente en el momento de diseñar un sistema de catenaria.

Su elección es importante desde el punto de vista de la explotación de la línea férrea en la que se vayan a aplicar. Se consideran los siguientes:

- Altura del hilo del contacto
- Altura de la catenaria
- Descentramiento

La altura del hilo de contacto es la altura existente entre el hilo de contacto y el carril de rodadura de la vía. Esta altura siempre es medida en el apoyo de la catenaria y suele presentar un valor característico de 5,3 m.

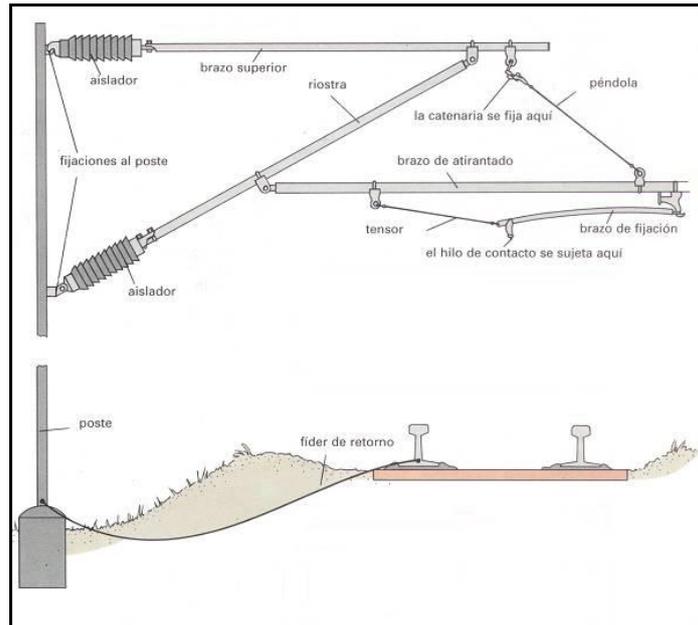


Figura 4.14.9 Estructura principal del soporte

Sus elementos de compensación a la estabilidad de la catenaria, tenemos los siguientes elementos:

- 1.- Poleas
- 2.- Herraje de Sujeción de poleas al poste
- 3.- Contrapesos (pesas o rodelas metálicas u hormigón). Su número y eso dependerá de la tensión mecánica a la que se instalen los cables.
- 4.- Herraje de unión de rodelas
- 5.- Guías por las que se desliza el equipo de contrapesos, manteniéndole centrado en todo momento respecto al poste.

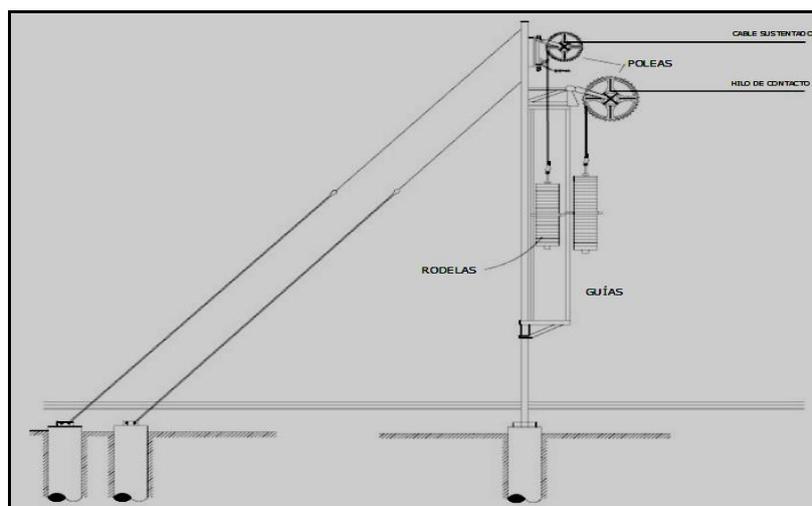


Figura 4.14.10 Elementos de compensación de la catenaria

Ejemplos de los productos Pfisterer:

PFISTERERER fabrica y comercializa una amplia gama de terminales de aleación de Aluminio y cobre para utilizar en todas las aplicaciones de conductores eléctricos y/o barras de alimentación tubulares.

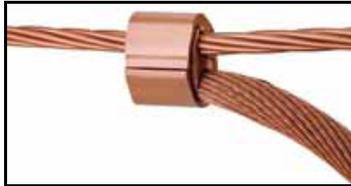


Figura 4.14.11 Conectores

Conectores:

A tornillos o a compresión

Gama completa. Adecuados para cables de 10 - 300 mm²

Cualquier tipo de cable. Aleaciones de aluminio y cobre de gran calidad para garantizar una conexión segura y fiable.

Contacto perfecto. Excelente diseño para permitir la circulación correcta de corriente.

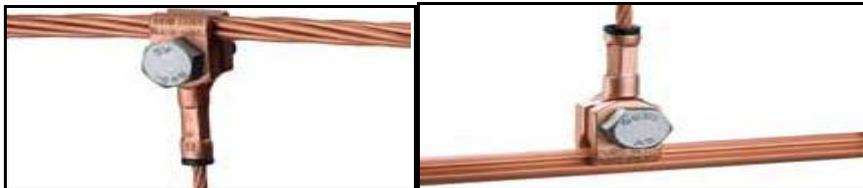


Figura 4.14.12 Péndolas

Péndolas:

Ambos se fabrican mediante forjado en caliente o en frío

Amplio rango de fijación 25 - 300 mm² para cables sustentadores y 80 - 161 mm² para hilos de contacto.

Sencillos. Fácil y rápida instalación

Precisos. Mesa de montaje fabricada a demanda que mejora de manera considerable el montaje de las péndolas con una excelente tolerancia mínima en su longitud.

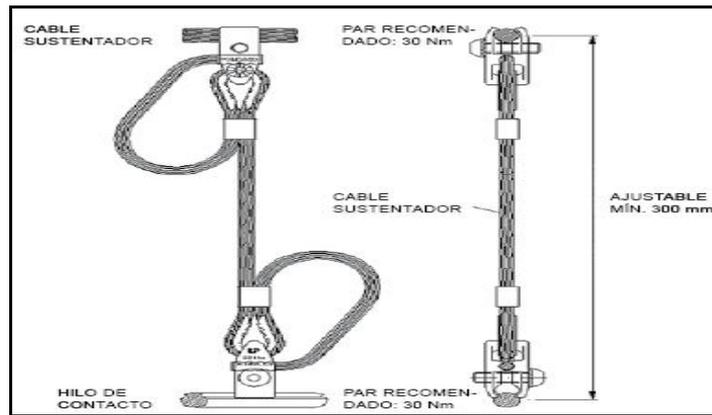


Figura 4.14.13 Esquema general de los elementos de la péndola



Figura 4.14.14 Conexiones

Conexiones:

Aleación de cobre muy resistente

Excelentes propiedades mecánicas y eléctricas

Ligeros y resistentes

Excelente rendimiento en las exigentes líneas de alta velocidad



Figura 4.14.15 Grapas para subestación

Grapas para subestaciones:

Gran rango de tensión: 500 V - 400 kV

Resistencia de contacto mínima y estable

Para diámetros de barra de alimentación de hasta 250 mm

Capacidad de conducción de corriente de hasta 6300 A



Figura 4.14.16 Aisladores

Aisladores compuestos para ferrocarriles y Suspensiones:

Con sus 30 años de experiencia en el diseño y la producción de aisladores compuestos con tecnología de goma de silicona y la información recopilada durante su servicio en las líneas, PFISTERER ofrece soluciones para todas las redes ferroviarias.

PFISTERER posee sus propios laboratorios para pruebas de alta tensión e investigaciones de materiales. En estos laboratorios se llevan a cabo pruebas de diseño, homologación y muestreo de acuerdo con las normas correspondientes y, si es necesario, en presencia de inspectores.

PFISTERER ofrece una gama completa de ménsulas, suspensiones para túneles y brazos de atirantado para sistemas de CA y CC en redes ferroviarias, trenes ligeros, líneas de metro, tranvías y catenarias rígidas de acero galvanizado, acero inoxidable y aluminio.

Características técnicas:

Aisladores de silicona con núcleo de fibra de vidrio

Gama completa: desde líneas tradicionales de 750 V

CC hasta líneas de alta velocidad de 25 kV CA

Herrajes de acero o aluminio

Ventajas:

Peso ligero

A prueba de robos

Limpieza automática con la lluvia

Adecuados para zonas contaminadas

Fáciles de guardar y manejar

Tipo de catenaria:

Este tipo de catenaria, significa un avance considerable en el diseño y montaje de catenarias de corriente continua, a 3 KV, ya que está diseñada para permitir la circulación de los trenes a velocidades de 220 km./h, e inclusive superiores (de hasta aproximadamente 300 km./h.), permitiendo consumos de corriente del orden de 2200 A.

La catenaria CR 220 es el resultado de múltiples estudios, evaluaciones y pruebas, realizadas por RENFE, desde el año 1984 y anteriores, en la que se determinaron los parámetros técnicos y de montaje. Es por tanto una evolución de la catenaria denominada CR 160 (apta para circular hasta velocidades del entorno 160/180 Km./h), manteniendo con ésta un elevado número de elementos comunes. La catenaria CR 220, la podemos describir considerando los siguientes apartados generales:

La CR 220 se diseña como catenaria simple poligonal y atirantada en todos sus puntos, formada por un sustentador, dos hilos de contacto y un feeder de acompañamiento para aumento de la sección eléctrica. La altura del sistema, es decir, la distancia entre el sustentador y los hilos de contacto en el punto de apoyo, es de 1,40 m siendo variable en seccionamientos y agujas entre 1,80 m y 1,20 m según necesidades. La altura normal de los hilos de contacto, al plano de rodamiento medio es de 5,30 m pudiendo variar en casos de puntos singulares, como pasos superiores, pasarelas, etc.

En caso de ser necesario realizar variaciones de altura en los hilos de contacto, la pendiente máxima será de 0,03 % de la longitud del vano.

Los descentramientos en recta serán de 20 cm en el apoyo. El vano normal y máximo en recta será de 60 m. En curva la longitud del vano estará en función del radio de la misma y su valor será tal que la flecha entre los apoyos en la curva sea inferior a 30 cm.

La diferencia de longitud entre dos vanos consecutivos será como máximo de 10 m. Los hilos de contacto estarán dotados de una flecha del 0,6 por mil de la longitud del vano. Los cantones de compensación máximo son de 1200m.

Composición:

La catenaria en vías generales de trayecto y estación, así como en escapes, estará formada por un cable sustentador de 184 mm^2 , y dos hilos de contacto de 150 mm^2 . La composición para vías secundarias será de un sustentador de cable de cobre de 153 mm^2 y dos hilos de contacto de 107 mm^2 de cobre.

También en las vías secundarias se pueden formar mediante un sustentador de iguales características que el de vía general (184 mm^2 en cobre) y un hilo de contacto de 150 mm^2 .

Las características de los conductores será la siguiente:

- Sustentador: Cable de Cu de 184 mm^2 formado por 37 hilos de 2.52 mm de diámetro. Este cable se tenderá inicialmente a una sobretensión mecánica inicial del 25 %, durante un periodo de 24 horas, volviendo al cabo de dicho tiempo a su tensión mecánica nominal.
- Hilos de contacto: Formado por dos hilos de contacto de 150 mm^2 , actualmente de cobre, aunque en posteriores montajes el tipo de hilo a utilizar será de Cu-Ag 0,1 %. Los hilos de contacto se tenderán inicialmente con una sobretensión mecánica de un 25%, y quedarán en estas condiciones durante un periodo de 72 horas, reponiendo al cabo de dicho tiempo los hilos a su tensión nominal.
- Feeder de acompañamiento: Formado por un cable Cu de 225 mm^2 de 37 hilos de 2,78 mm diámetro. Este cable va instalado sobre palomilla o sobre cabeza de poste, realizandote la conexión al sustentador cada 300m.
- Péndolas: Tanto para las de vía general como secundaria estarán formadas por una trenza de cable de Cu de 25 mm^2 extraflexible. Cable de tierra: Será de aluminio-acero LA – 110 de $116,2 \text{ mm}^2$.

Para conductores de anclaje fijo se tendrá en cuenta la altitud, con objeto que en las peores condiciones el coeficiente de seguridad debido al cambio de condiciones climatológicas, no sea menor de 3.

Condiciones ambientales de funcionamiento:

Las condiciones ambientales exigibles serán las siguientes:

Velocidad máxima del viento.- 120 Km/h.

Temperatura ambiental máxima: 45 ° C

Temperatura mínima ambiental: -15 ° C

Temperatura máxima en conductores: 80 ° C

Características generales de la catenaria EAC-350 para vías de ancho

Internacional

Sistema de catenaria simple poligonal atirantada en todos los postes los perfiles, verticales, con péndola Y, sin flecha en el hilo de contacto y formada por un sustentador, un hilo de contacto y péndolas equipotenciales.

Tensión de alimentación

Sistema de alimentación a la catenaria en corriente alterna 2x25 kV 50 Hz, con una tensión nominal de 25 kV, según EN 50163.

Altura del sistema

La altura del sistema en vía general es de 1,40 m. En túnel es de 0,8 m. En seccionamientos en vía general es de 1,40 o variable, en seccionamientos de túnel de 0,8 m o variable. En las agujas aéreas la altura es variable hasta 2,5 m.

Altura del hilo de contacto

Altura nominal del hilo de contacto es de 5,30 m sobre el Plano Medio de Rodadura.

Velocidad de diseño

La velocidad de diseño de la catenaria es de 350 km/h.

Vanos

El vano máximo en vía general es de 64 m y de 50 m en túnel. La variación máxima de longitud entre vanos consecutivos es de 10 m.

Descentramiento

El descentramiento máximo del hilo de contacto por efecto del viento transversal es de 400 mm, de $\pm 0,20$ m en vía general y en agujas y seccionamientos de $\pm 0,30$ m.

Pendiente del hilo de contacto

La variación de la altura del hilo de contacto con respecto a la vía es de cero.

Condiciones ambientales de funcionamiento de la catenaria

- Temperatura ambiente -15° C a +50 °C
- Temperatura máxima de los conductores +80°C
- Margen de temperatura de los equipos de regulación de tensión mecánica -30 °C a +80 °C.

Altura < 100m sobre terreno natural 120 Km./h o Altura > 100 m sobre terreno natural

- Zonas de exposición normal 133 Km./h
- Zonas muy expuestas 169 Km./h

Gálbo

La distancia de colocación de postes entre eje de vía y eje de poste:

- Nominal: 3,35 m.
- Mínima (por interferencia con canaleta): 3,15 m.

Transformador

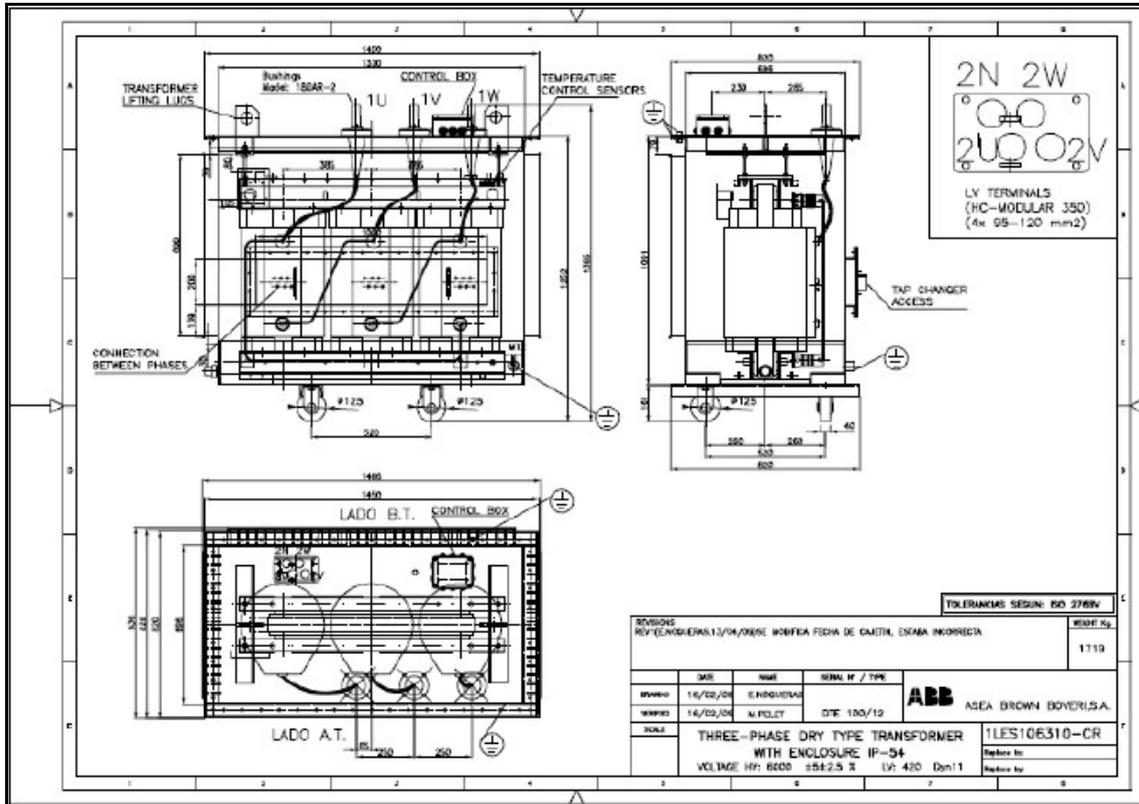
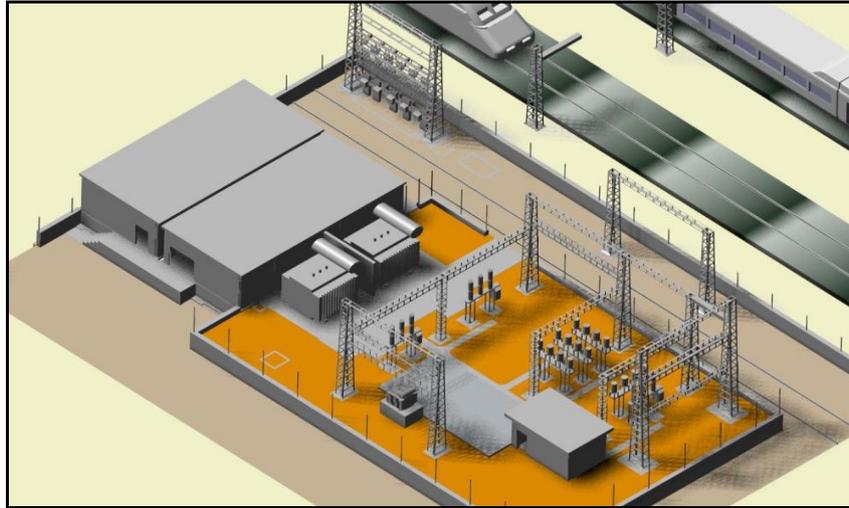


Figura 4.14.17 Esquema general de transformadores ABB tipo seco para subestaciones de tracción



Figura 4.14.18 Transformador de tracción de alta velocidad



4.14.19 Esquema de subestación de tracción de alta velocidad, ADIF

Para suministrar energía eléctrica en 25 Kv y 50 Hz a la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla fue necesario construir 12 subestaciones eléctricas de tracción encargadas de transformar la corriente trifásica de alta tensión, de 220 ó 132 Kv, en corriente monofásica de 25 Kv y 50 Hz.

Cada una de las doce subestaciones ocupa una superficie de $66 \times 48 \text{ m}^2$. En este recinto se encuentran el parque de alta tensión junto con el edificio de control.

En el parque de alta tensión se encuentran instalados los seccionadores de entrada y acoplamiento, transformadores de tensión, disyuntores de protección del transformador, transformadores de intensidad, descargadores de sobretensiones y transformadores de potencia de 20 MVA.

En el edificio de control, dentro de la sala de mando, están ubicados los armarios y paneles de control, protecciones, servicios auxiliares, equipos de batería y telemando; en el recinto de 25 Kv se encuentran las celdas de protección de salida del transformador y acoplamiento de barras, salidas a la catenaria, ensayo de línea y transformador de los servicios auxiliares.

Un ejemplo de infraestructura de la subestación de tracción de Zaragoza, se tienen 2 transformadores de tracción 220/2x27.5 Kv, 30 MVA, independientes que alimentarán, con 2 fases diferentes, las 2 catenarias eléctricas, uno a cada lado de la zona neutra. El parque intemperie dispondrá de 2 posiciones (calles) bifásicas de protección para los transformadores de tracción.

Estas posiciones se conectarán al embarrado trifásico de la Subestación que la Compañía tiene previsto ejecutar contigua a la Subestación de Tracción.

Cada posición de protección estará formada por un seccionador, transformadores de medida, de intensidad y de tensión, por cada fase, un transformador de tensión por fase, para medida propia y protección, un interruptor automático en SF6 bifásico y un transformador de intensidad por fase, para medida propia y protección. Finalmente, los transformadores de tracción se protegerán contra sobretensiones de línea por medio de pararrayos autoválvulas.

Finalidad: Suministro de energía eléctrica a las instalaciones de la línea de alta velocidad Huesca-Zaragoza

Presupuesto: 1,069.514 millones de euros.

Tabla 4.2 Datos de un transformador para subestación de tracción

Fabricante :	Rhona S.A.
Aumento de Temperatura :	55°C
Tensión primario :	69000 V
Tensión secundario:	13800 V
Derivaciones Primario :	69000 ± 10% en 18 pasos
Líquido Aislante :	Aceite mobilent 35, 18950 litros
Peso Total :	50200 Kg.
Potencia :	25000 KVA
Fases :	3
Polaridad :	yd-1
Corriente Primario :	209 A
Corriente Secundario :	1046 A
Número de Serie :	17890
Frecuencia :	50Hz
Impedancia :	10 % a 75 °C
Conexión Primario:	Estrella
Conexión Secundario :	Delta

Transformador tipo seco encapsulado marca ABB

Este no precisa del uso de ningún tipo de líquido para el aislar y refrigerar. Las bobinas son encapsuladas bajo vacío, con resina epoxy reforzada con malla de fibra de vidrio.

El transformador encapsulado al vacío de ABB consiste en el más avanzado diseño tecnológico para trabajar bajo condiciones extremas.

ABB ha diseñado y fabricado un transformador suficientemente flexible para su óptima utilización del espacio y cumplimiento de requerimientos especiales.

Desde 250 kVA hasta 40 MVA.

_ AT.: hasta 72,5 kV (BIL 325 kV)

_ BT.: hasta 36 kV (BIL 170 kV).

_ Clases: E2, C2, F1.

_ Descargas parciales: <10 pC.

_ Temperatura ambiental: -25 hasta 60 °C

_ Clase aislamiento: 155°C (F), 180°C (H).

_ Refrigeración: AN, ANAF (+25, +40%),

AFWF.

Aislamiento capaz de soportar temperaturas de hasta 180°C y punto caliente de 220°C.

_ Calentamiento limitado a 100K a plena carga.

_ Ensayado en atmósferas de alta humedad con concentración salina.

_ Capaz de soportar altos niveles de vibraciones.

_ Diseño opcional hasta 250kV BIL.

_ Diseño opcional para condiciones de hasta - 40°C de ambiente.

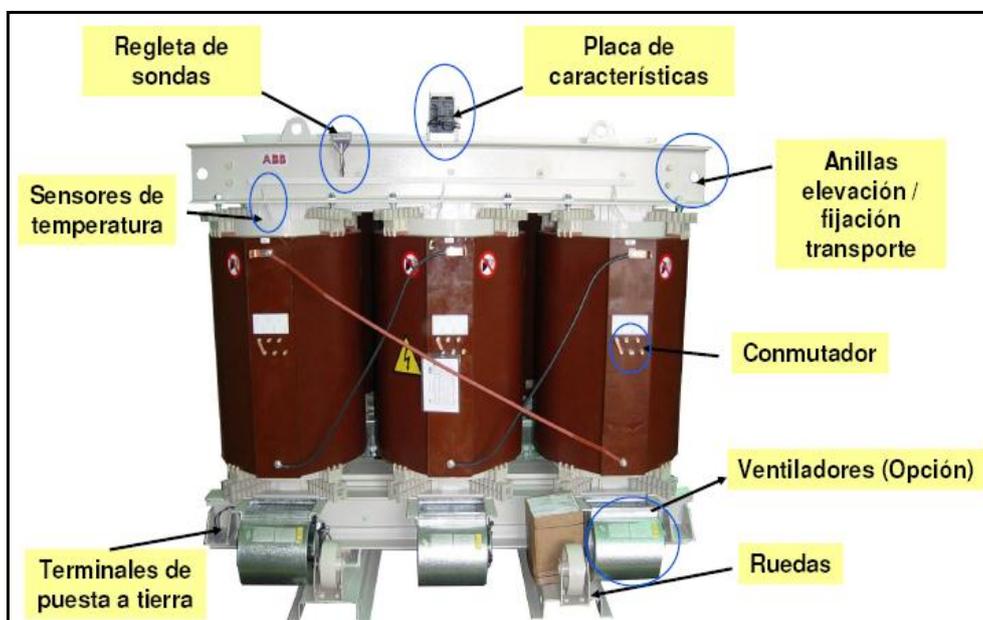
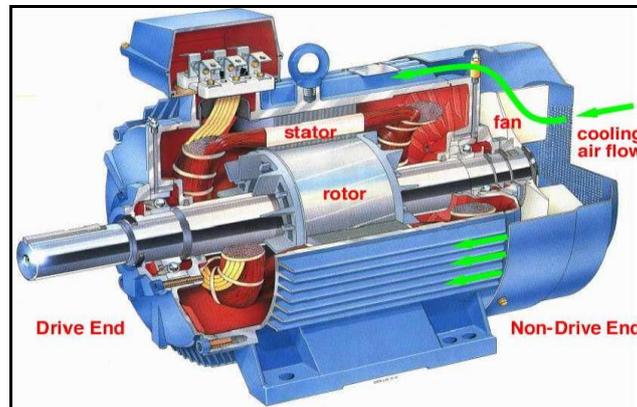


Figura 4.14.20 Imagen del transformador ABB

4.5.5 Características del motor asíncrono

La diferencia del motor asíncrono con los demás tipos de motores se debe a que no existe corriente conducida a uno de los arrollamientos. La corriente que circula por uno de los devanados (generalmente el situado en el rotor) se debe a la fuerza electromotriz inducida por la acción del flujo del otro, denominándose por ello también motores de inducción. Reciben el nombre de motores asíncronos debido a que la velocidad de giro del rotor no es la de sincronismo impuesto por la red. La importancia de los motores asíncronos se debe a su construcción simple y robusta, sobre todo en el caso del rotor en forma de jaula, que les hace trabajar en las condiciones más adversas, dando un excelente servicio con pequeño mantenimiento.

El inconveniente principal que poseen estos motores es la dificultad de regular su velocidad, de ahí que hasta el desarrollo de la electrónica de potencia hayan sido los motores de corriente continua los más utilizados para la tracción ferroviaria. Las unidades eléctricas de RENFE de la serie 447 y 450, así como la locomotora serie 252, son ejemplos de material motor con tracción eléctrica asíncrona.



4.15 Esquema de un motor asíncrono, jaula de ardilla

La mayor parte de los motores, que funcionan con c-a de una sola fase, tienen el rotor de tipo jaula de ardilla. Un esquema simplificado del mismo se ve a continuación.

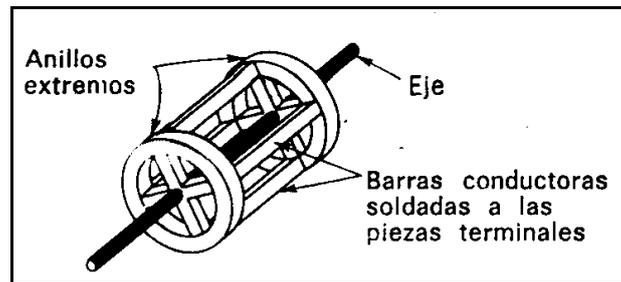


Figura 4.15.1 Estructura del rotor

Los rotores de jaula de ardilla reales son mucho más compactos que el de la figura y tienen un núcleo de hierro laminado.

Los conductores longitudinales de la jaula de ardilla son de cobre y van soldados a las piezas terminales de metal. Cada conductor forma una espira con el conductor opuesto conectado por las dos piezas circulares de los extremos.

Cuando este rotor está entre dos polos de campo electromagnéticos que han sido magnetizados por una corriente alterna, se induce una fem en las espiras de la jaula de ardilla, una corriente muy grande las recorre y se produce un fuerte campo que contrarresta al que ha producido la corriente (ley de Lenz).

Aunque el rotor pueda contrarrestar el campo de los polos estacionarios, no hay razón para que se mueva en una dirección u otra y así permanece parado. Es similar al motor síncrono el cual tampoco se arranca solo. Lo que se necesita es un campo rotatorio en lugar de un campo alterno.

Cuando el campo se produce para que tenga un efecto rotatorio, el motor se llama de tipo de jaula de ardilla. Un motor de fase partida utiliza polos de campo adicionales que están alimentados por corrientes en distinta fase, lo que permite a los dos juegos de polos tener máximos de corriente y de campos magnéticos con muy poca diferencia de tiempo. Los arrollamientos de los polos de campo de fases distintas, se deberían alimentar por c-a bifásicas y producir un campo magnético rotatorio, pero cuando se trabaja con una sola fase, la segunda se consigue normalmente conectando un condensador (o resistencia) en serie con los arrollamientos de fases distintas.

Con ello se puede desplazar la fase en más de 20° y producir un campo magnético máximo en el devanado desfasado que se adelanta sobre el campo magnético del devanado principal.

Desplazamiento real del máximo de intensidad del campo magnético desde un polo al siguiente, atrae al rotor de jaula de ardilla con sus corrientes y campos inducidos, haciéndole girar. Esto hace que el motor se arranque por sí mismo.

El devanado de fase partida puede quedar en el circuito o puede ser desconectado por medio de un conmutador centrífugo que le desconecta cuando el motor alcanza una velocidad predeterminada. Una vez que el motor arranca, funciona mejor sin el devanado de fase partida. De hecho, el rotor de un motor de inducción de fase partida siempre se desliza produciendo un pequeño porcentaje de reducción de la que sería la velocidad de sincronismo.

Si la velocidad de sincronismo fuera 1.800 rpm, el rotor de jaula de ardilla, con una cierta carga, podría girar a 1.750 rpm. Cuanto más grande sea la carga en el motor, más se desliza el rotor.

En condiciones óptimas de funcionamiento un motor de fase partida con los polos en fase desconectados, puede funcionar con un rendimiento aproximado del 75 por 100.

Otro modo de producir un campo rotatorio en un motor, consiste en sombrear el campo magnético de los polos de campo.

Esto se consigue haciendo una ranura en los polos de campo y colocando un anillo de cobre alrededor de una de las partes del polo.

Mientras la corriente en la bobina de campo está en la parte creciente de la alternancia, el campo magnético aumenta e induce una fem y una corriente en el anillo de cobre. Esto produce un campo magnético alrededor del anillo que contrarresta el magnetismo en la parte del polo donde se halla él.

En este momento se tiene un campo magnético máximo en la parte de polo no sombreada y un mínimo en la parte sombreada. En cuanto la corriente de campo alcanza un máximo, el campo magnético ya no varía y no se induce corriente en el anillo de cobre. Entonces se desarrolla un campo magnético máximo en todo el polo.

Mientras la corriente está decreciendo en amplitud el campo disminuye y produce un campo máximo en la parte sombreada del polo.

De esta forma el campo magnético máximo se desplaza de la parte no sombreada a la sombreada de los polos de campo mientras avanza el ciclo de corriente. Este movimiento del máximo de campo produce en el motor el campo rotatorio necesario para que el rotor de jaula de ardilla se arranque solo. El rendimiento de los motores de polos de inducción sombreados no es alto, varía del 30 al 50 por 100.

Una de las principales ventajas de todos los motores de jaula de ardilla, particularmente en aplicaciones de radio, es la falta de colector o de anillos colectores y escobillas. Esto asegura el funcionamiento libre de interferencias cuando se utilizan tales motores.

El principio de funcionamiento de los motores asíncronos está basado en la producción de un campo magnético giratorio.

La velocidad del campo giratorio viene dado por la formula:

$$n=60f/p$$

n= revoluciones por minuto.

f= frecuencia

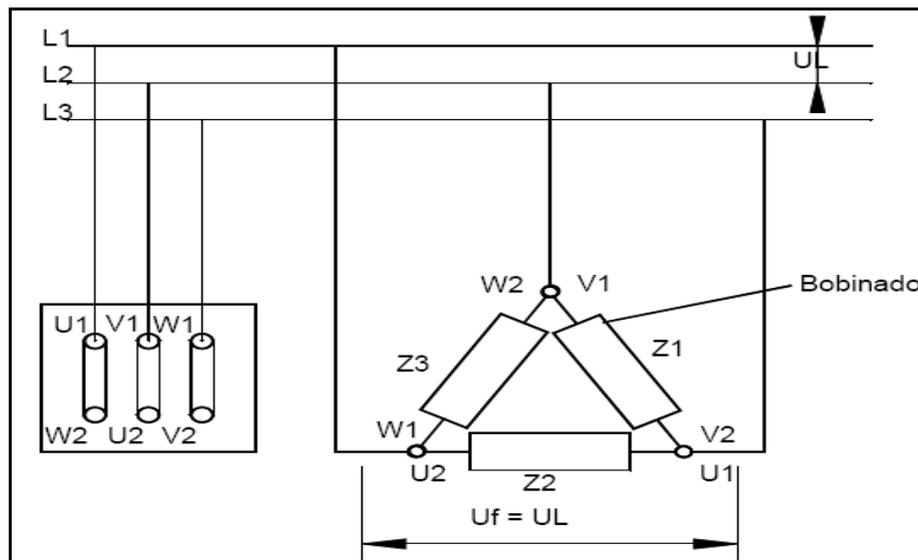
p= pares de polos

La velocidad del rotor es inferior a la del campo giratorio y por eso este tipo de motor se llama "asíncrono".

En los motores trifásicos el campo giratorio es producido por tres bobinados fijos geoméricamente desfasados 120° y recorridos por corrientes alternas con el mismo desfase eléctrico. La composición de los tres campos alternos producidos forman un campo giratorio de amplitud constante.

La conexión de los tres grupos de bobinas en el estator puede hacerse en "estrella" o en "delta", según sea la unión de los extremos de las bobinas.

Las relaciones entre las tensiones de fase y de línea y las intensidades de fase y de línea, tanto en la conexión estrella como en la conexión triángulo son las siguientes.



4.15.2 Diagrama de conexión de un motor jaula de ardilla

Características de un motor síncrono

Los motores síncronos son máquinas eléctricas cuya velocidad de rotación está vinculada rígidamente con la frecuencia de la red de corriente alterna con la cual trabaja.

Si bien la máquina asíncrona se utiliza en la mayor parte de los casos como generador de energía eléctrica (alternadores en las centrales eléctricas), es también extendido su uso como motor cuando se requieren velocidades de transmisión constantes, teniendo además la ventaja frente a los motores asíncronos de poder regular el factor de potencia con el cual trabaja evitando la colocación de condensadores para reducir la potencia reactiva absorbida por la instalación.

El motor síncrono presenta el grave inconveniente de que el par presenta un sentido único solamente cuando la máquina se halla ya sincronizada, es decir, cuando el rotor gira a la misma velocidad que el campo del inducido. Si el rotor está parado o gira a otra velocidad diferente a la de sincronismo, el par medio que desarrolla al conectarlo a la red es nulo.

Un ejemplo de aplicación del motor síncrono a la tracción ferroviaria es la unidad autopulsada española de alta velocidad AVE (RENFE serie 100).

Por último, cabría señalar la utilidad que presenta un motor eléctrico de tracción ferroviario en la operación de frenado del tren.

Se dice que este frenado puede ser por recuperación(o frenado regenerativo) y reostático. En el primero, la energía cinética del tren (en aquellos tramos de la línea en los que no demanda apenas potencia) puede ser convertida por los motores eléctricos de tracción (al funcionar como generadores) en energía eléctrica recuperada y mandada a la línea aérea de contacto desde la cual se envía a la subestación eléctrica de tracción o es absorbida previamente por otros trenes. Este tipo de frenado es muy útil para sistemas ferroviarios de alta velocidad. En el frenado reostático la energía no consumida por los motores no se devuelve a la catenaria en forma de energía eléctrica sino que es disipada en unas resistencias internas que la transforman en calor (efecto Joule).



4.15.3 Motor de tracción, marca Siemens

Entonces al igual que el motor de inducción, el motor síncrono utiliza un campo magnético giratorio pero a diferencia del motor de inducción el par desarrollado no depende de las corrientes de inducción del rotor. En resumen, el principio de operación del motor síncrono es el siguiente: se aplica una fuente multifásica de CA a los devanados del estator y se produce un campo magnético fijo. El motor está construido en tal forma que cuando estos 2 campos magnéticos reaccionan entre sí, el rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético giratorio. Si se aplica una carga al eje del rotor éste tendrá un atraso momentáneo con relación al campo giratorio, pero seguirá girando a la misma velocidad síncrona.

4.5.6 Ficha de datos técnicos del tren de alta velocidad

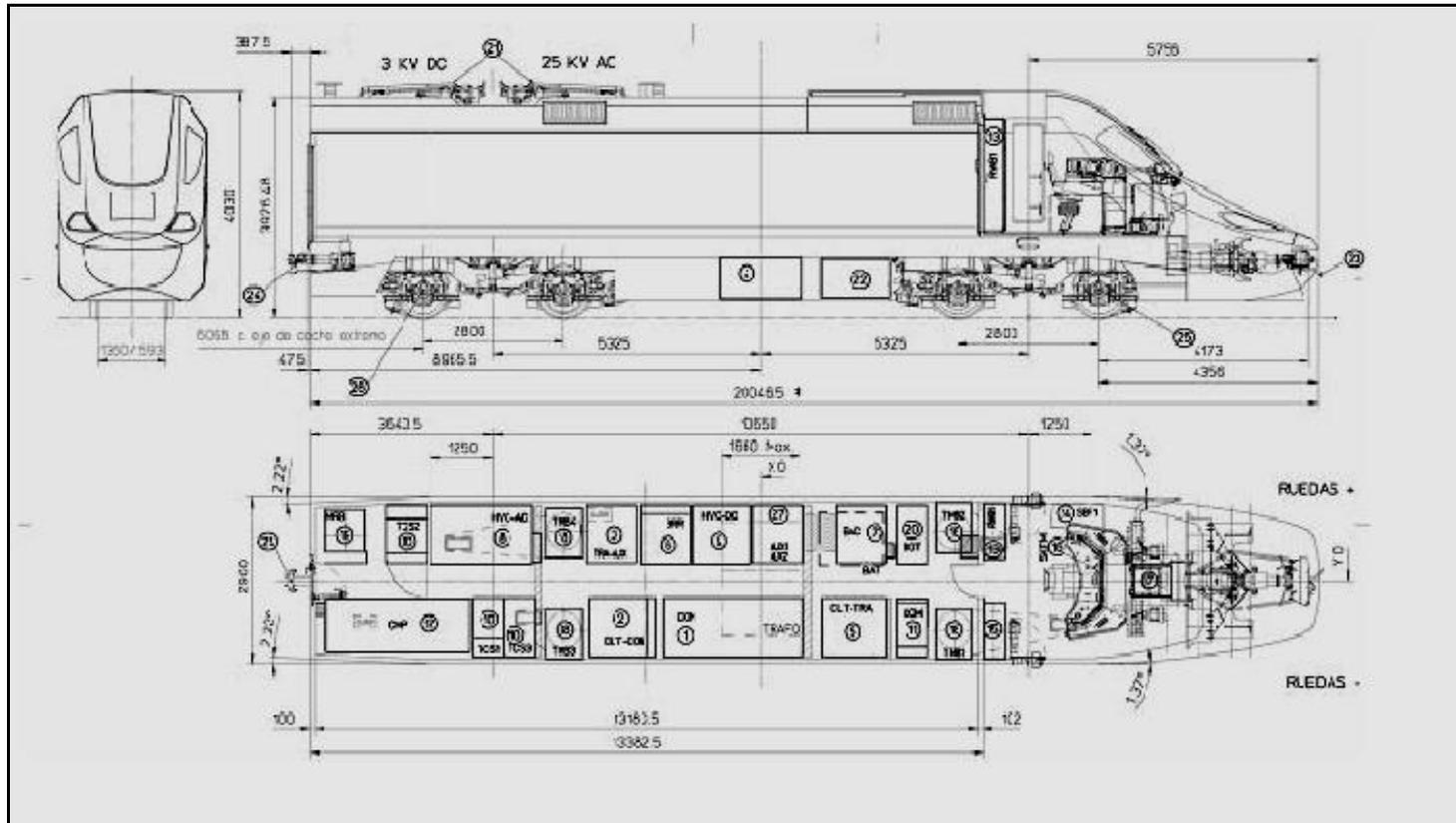


Figura 4.16 Plano de la locomotora RENFE

RENFE posee un ancho de vía muy especial en Europa que es 1.668 mm mientras que el normal europeo es 1.435 mm. Cuando se decidió la construcción de la famosa Línea de Alta Velocidad en España (AVE), se optó por que su ancho de vía fuera el normal europeo y no el tradicional de RENFE. La causa de esta elección radica en el hecho de que esta línea, y como todas las que se construyan de alta velocidad en España, puedan intercambiar sus trenes con el resto de las redes europeas, especialmente con la francesa con su conocido TGV (Tren de Gran Velocidad). A esto debe sumarse otra diferencia técnica: que la tensión normal de alimentación eléctrica, en las vías del ancho tradicional (1.668 mm) es 3.000 Volts en corriente continua; en la construcción de la mencionada Línea de Alta Velocidad se optó por que su tensión de alimentación fuese en corriente alterna a 25.000 Volts y 50 Hz, debido a sus ventajas técnicas.

Diferencias entre el AVE y el TGV

Las diferencias de diseño que existen entre los trenes AVE de Renfe y los TGV Atlántico de la SNCF, dadas las diferentes condiciones de la explotación ferroviaria española, son las siguientes:

- Los trenes AVE tienen un diseño exterior e interior muy diferente del de los TGV-A. El coeficiente de penetración aerodinámica de éste es $C_x = 0.26$, no conociéndose la del modelo español.
- Composición del tren AVE de M - 8R - M, en vez de M-IOR - M (M = Coche Motor y R = Coche Remolque) de los trenes TGV-A, con grandes modificaciones en su distribución interior de asientos.
- Equipos eléctricos bitensión de 25 Kv a 50 Hz y 3 Kv de corriente continua en los trenes españoles, mientras que el TGV-A es bitensión a 25 Kv a 50 Hz y 1.5 Kv de corriente continua.
- Los equipos de aire acondicionado existentes en los trenes españoles poseen superiores características de enfriamiento que las de los TGV-A, debido a las mayores temperaturas ambiente medias de España.
- Igualmente, la ventilación forzada de los equipos de potencia españoles ha sido aumentada con respecto a los equipos de los TGV-A.

- La estanqueidad (aislamiento de la presión exterior de los coches con respecto a la presurización en el interior, que es la que soportan las personas en el interior) ha sido aumentada en los trenes españoles debido a la existencia de túneles, en las líneas españolas de alta velocidad, tanto en el Madrid-Sevilla como en las de futura construcción. Hay que señalar que en las líneas francesas de alta velocidad, o no existen túneles o son muy escasos.
- En el AVE existen equipos de video, visibles desde todas las plazas sentadas del tren, y equipos de audio con escucha individual en cada asiento.
- En el AVE, el freno de estacionamiento está reforzado para mantener frenado el tren, en pendientes de 30 milésimas por metro.
- Existencia de equipos denominados ASFA y LZB, propios de los sistemas de seguridad de trenes en España.
- Existencia del sistema de comunicaciones Tren - Tierra, adaptado a las condiciones españolas.
- Pantógrafos adecuados a las características geométricas y eléctricas de la catenaria española (la del AVE es como la del tipo Re-250 de alta velocidad alemana de la DBAG).

Características técnicas de los trenes AVE de Renfe

Sus características básicas son las que se detallan seguidamente:

- Velocidad máxima normalizada: 300 Km/h.
- Ancho de vía internacional: 1.435 mm.
- Gálibo del tren: Internacional UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles).
- Masa máxima por eje: Muy similar a la del TGV-A.
- Tara del tren 393 Tm.
- Bitensión: 25 Kv-50 Hz/ 3 Kv de corriente continua.
- Potencia máxima del tren a 25 Kv: 8.800 Kw.
- Capacidad de mando múltiple: dos composiciones.
- Longitud de un tren: 200.144 mm.
- Composición del Tren M - 8R - M.
- Dos coches motores extremos.
- Ocho remolques intermedios articulados.
- Número de viajeros sentados por composición de tren: 329.

Se distribuyen en el tren, de forma siguiente:

- En el coche R1, 30 viajeros en Club y 8 en la Sala de Reuniones.
- En los coches R2 y R3, 78 viajeros en Preferente.
- En los coches R5, R6, R7 y R8, 213 viajeros en Turista.

La separación entre asientos es mayor que en los TGV-A, por lo que se ofrece un mayor confort al viajero. Las denominaciones Rx corresponden a los coches remolque, comenzando a numerarse por el coche motor más próximo a los coches de clase preferente. El coche R4 es la cafetería, en el cual no se consideran plazas sentadas a efectos de viaje.

Datos Técnicos:

Trenes construidos:

26

Año de recepción:

2007/2008

Composición del tren: M-R-M-R-R-M-R-M

Masa estática máxima por eje en carga normal: 16,79 t

Tensiones nominales de alimentación:

25 kV/50 Hz

Potencia máxima:

8.800 kW

Velocidad máxima: 350 km/h

Sistema de Freno:

Freno eléctrico en ejes motores: Regenerativo + reostático

Freno neumático en ejes motores:

2 discos sobre rueda

Freno neumático en ejes portadores: 3 discos sobre eje

Capacidad de plazas: 404 (inc 2 P.M.R.)

Servicio: Corredor Nordeste y Corredor Sur

Constructor principal:

SIEMENS

Tracción

28.300 daN en el arranque (c.a.)

8.500 daN a velocidad máxima (350 km/h)

Freno eléctrico en bogies motores

8.170 daN a velocidad= 5km/h

Lineal hasta 25.150 daN a velocidad= 126 km/h

Entre 126 km/h y 350 km/h la potencia de freno es de 8.800 kW

Freno eléctrico neumático

Consigue la simultaneidad del accionamiento de freno y el mismo grado de frenado en todos los remolques de la rama.

Freno de estacionamiento

Inmovilización de la rama en rampa de 30 mm, en vacío, orden de marcha y con viento fuerte (100 km/h).

Dimensiones:

Longitud total del tren:

200 m

Ancho de vía internacional: 1435 mm

Gálibo: UIC internacional

Longitud de las cajas intermedias: 24,18 m

Longitud de las cajas extremas: 25,38 m

Ancho máximo de la caja: 2,95 m

Altura de caja:

2,95 m

Masas y plazas:

Masa del tren con carga normal: 463 t

Plazas en Clase Club:

30 + 7

Plazas en Clase Preferente: 103

Plazas en Clase Turista: 264 (inc 2 P.M.R.)

Motor de tracción:

Tracción distribuida 50% ejes

Número de motores: 16 (asíncronos)

Esfuerzo tractor en arranque 283 kN

Número de convertidores principales: 4 (tipo GTO)

Número de transformadores: 2

Potencia motor: 550 kW

Velocidad máxima: 5.880 rpm

Número de bogies motores: 8 (50%)

Servicios del tren:

Cabinas de conducción: 2

Señalización en cabinas: ERTMS niveles 1 y 2, LZB y ASFA

Aire acondicionado: Sí

Cafetería: Sí

Aseos: 11 WC

Audio-video: Sí

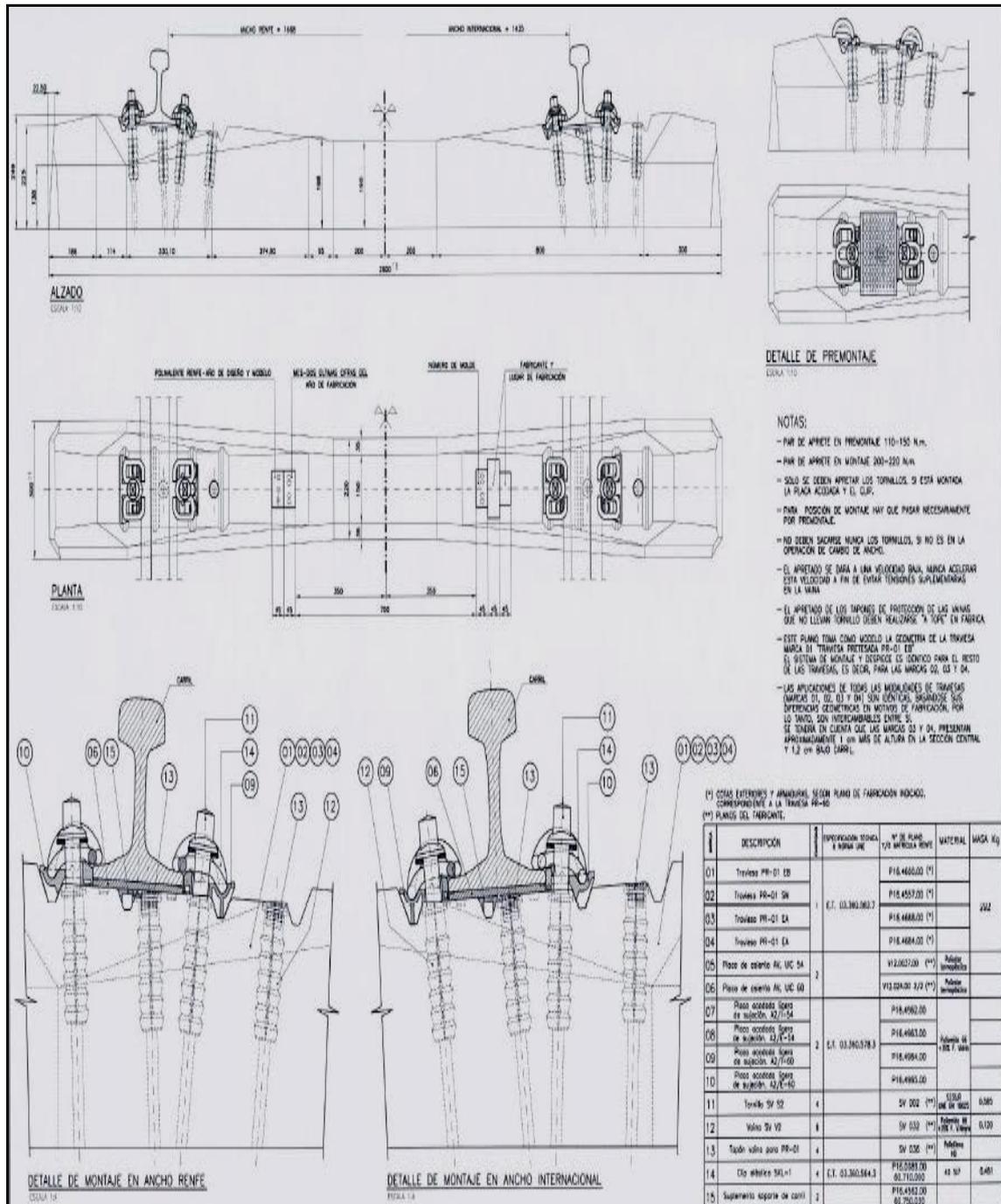
Acoplamiento de trenes

Acoplamiento automático. Scharfenberg.

Mando múltiple: Sí (2 trenes).

4.5.7 Planos de la vía

Se presentan algunas características de la vía, de igual manera que el diseño de la línea Madrid – Segovia – Valladolid de los trenes AVE.



4.16.1 Plano general de la instalación del carril

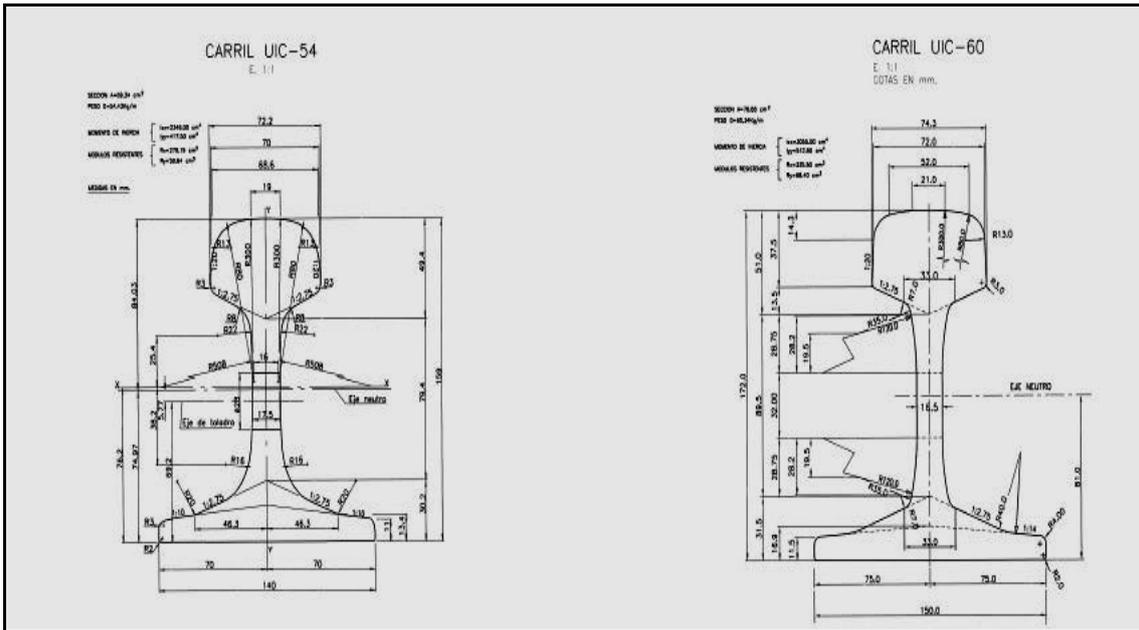


Figura 4.16.2 Plano de datos generales del carril

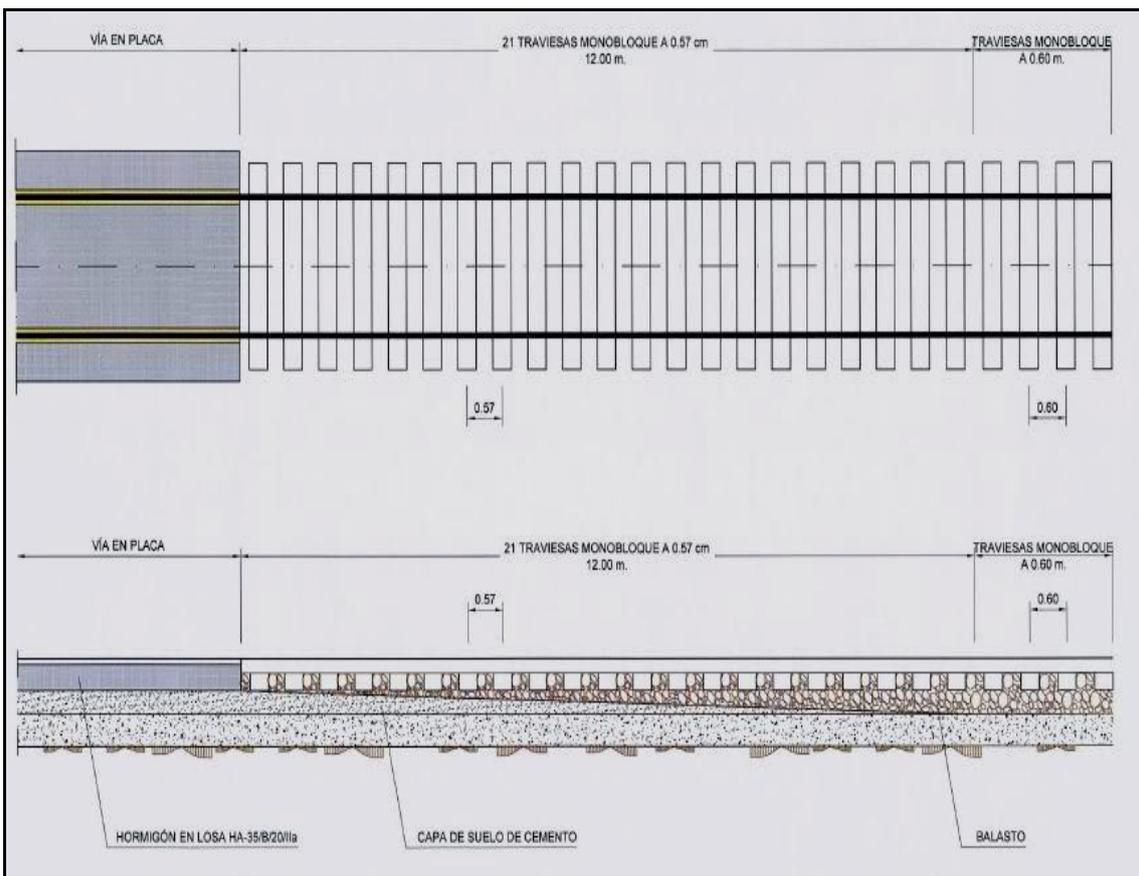


Figura 4.16.3 Plano de datos generales de la vía

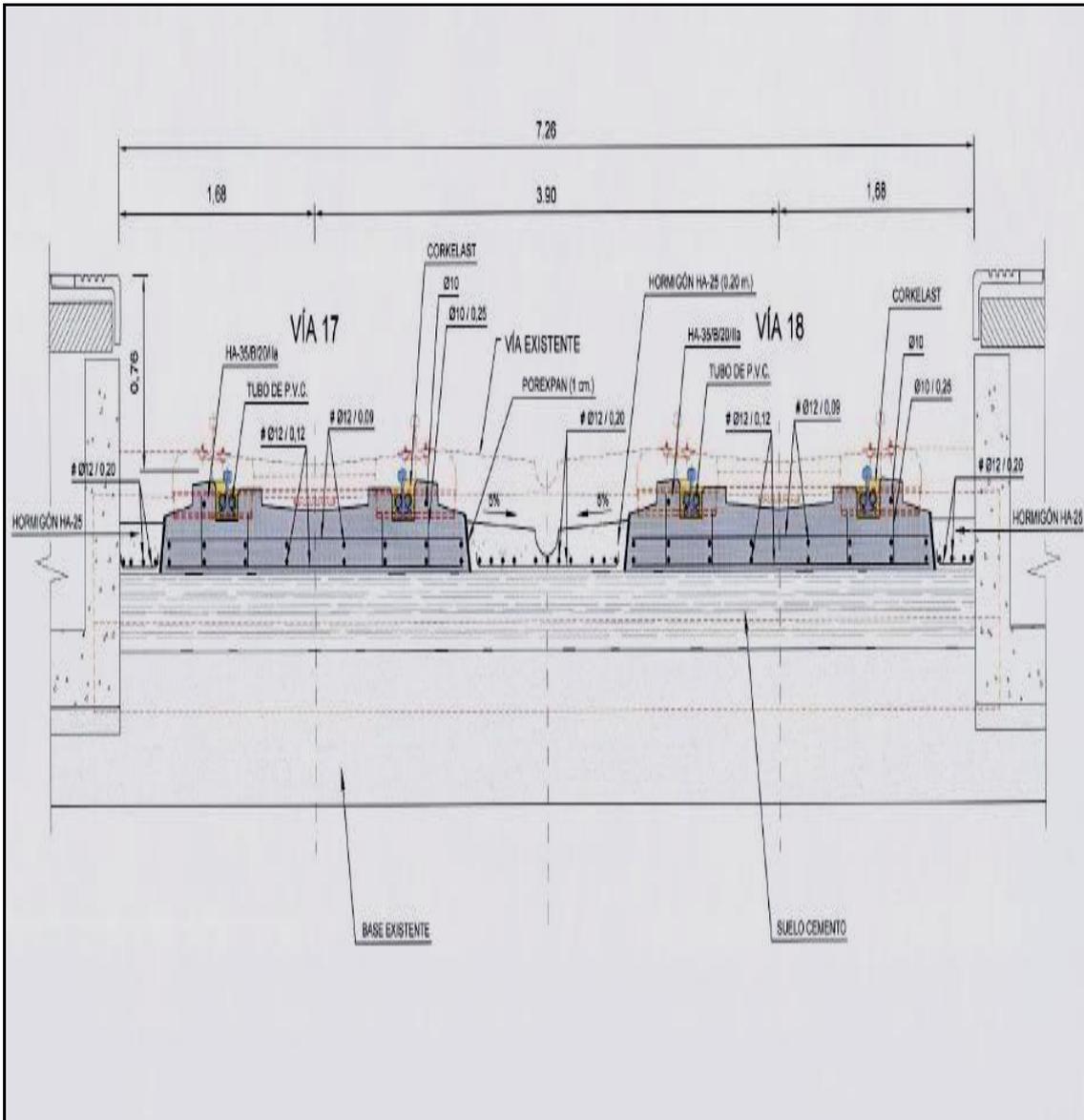
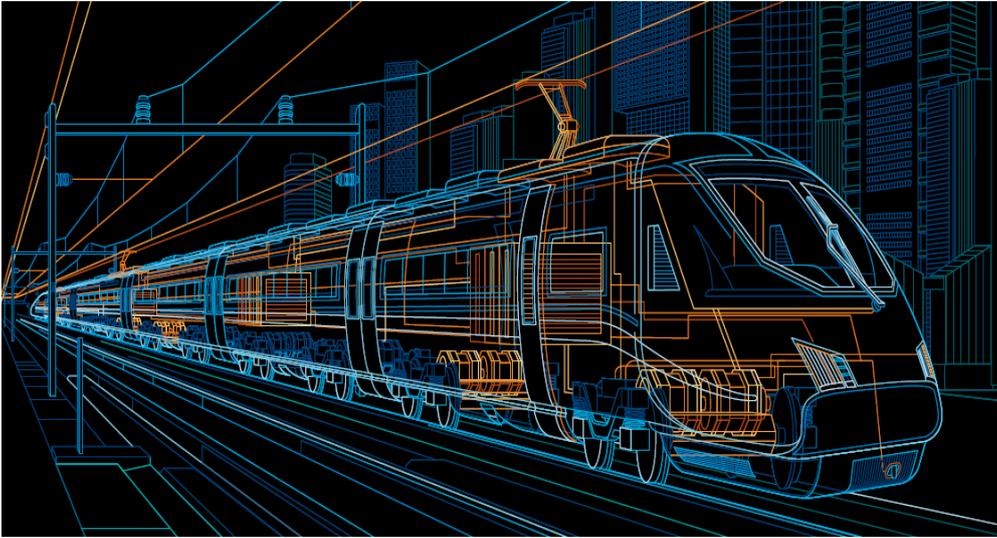


Figura 4.16.4 Plano general de las 2 secciones de la vía

4.6 Datos generales sobre la ruta



Con las características y datos técnicos sobre los trenes de alta velocidad analizados en el capítulo 3 pude obtener la información necesaria para llegar a un punto, donde sin lugar a dudas el tren bala es la mejor opción, ya que a pesar que es inaceptable el pensar que el tren de levitación magnética, es un tren que no alcanza los objetivos del avance del transporte en el mundo, debido a sus excesivos costos, es cuestión del constante estudio para sus mejoras como actualmente lo hace Japón.

Por lo que como conclusión para el dato de cual sería la mejor opción para el desarrollo de un tren de alta velocidad para México, sería el tren bala o el tren eléctrico de alta velocidad.

Por su gran desarrollo, su gran extensión que ha tenido en el mundo, así como en cierta forma la facilidad para hacerlo funcionar en nuestro país.

Ya que como en el capítulo 3 y 4 México tiene las características rentables y viables para poder construir uno dentro de nuestra república.

Por otro lado es importante mencionar cuales serían algunas de las características principales de la ruta, como distancias entre estaciones, que modelo sería el tren a usar, distancia y características de la vía donde se puede observar en la siguiente tabla:

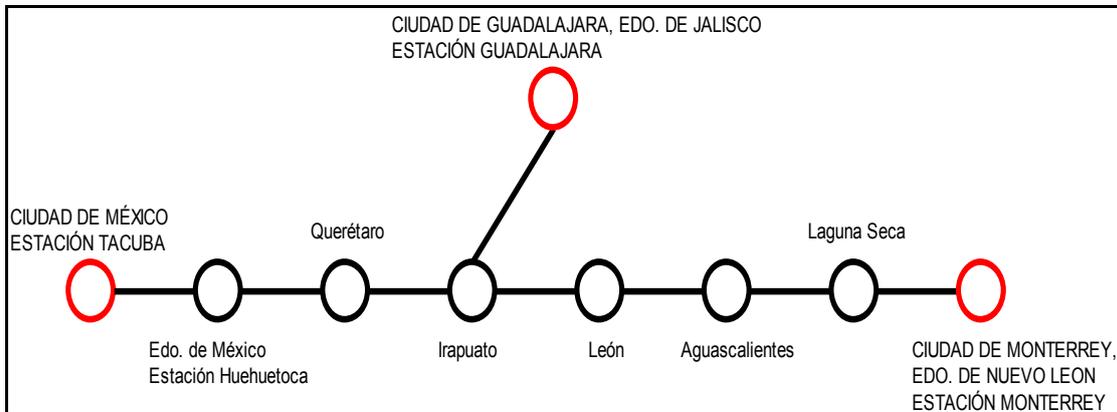


Figura 4.17 Diagrama final de estaciones de Alta Velocidad

Tabla 4.3 Características de cada estación del T.A.V.

ESTACIÓN	DISTANCIA ENTRE ESTACIONES	TIEMPO ESTIMADO ENTRE ESTACIONES	CONEXIONES CON OTRAS RUTAS
Tacuba	Inicio de ruta de alta velocidad	Inicio de ruta de alta velocidad Velocidad PROM = 300km/hr. Velocidad MAX = 350km/hr	Metro Línea 2, Estación Tacuba, donde esta se enlaza con líneas 1, 6, 7 y 9.
Huehuetoca	36.11 Km.	7. 2min PROM 6.18min MAX	Próximo enlace con estación Huehuetoca Tren Suburbano
Querétaro	324.5 Km.	1.4 hr PROM 55.6 min MAX	
Irapuato	104 Km.	20.8min PROM 17.8min MAX	

Guadalajara	251.3 Km.	50.2min PROM 43min MAX	Metro de Guadalajara, Tren Ligero SITEUR, Línea 1. BRT Macrobus
León	62.7 Km.	12.5min PROM 10.7min MAX	
Aguascalientes	172.5 Km.	34.5min PROM 29.5min MAX	
Laguna Seca	332.6 Km.	1.6 hr PROM 57min MAX	
Monterrey	408 Km.	1.21 hr PROM 1.9 hr MAX	Metro de Monterrey, Metrorrey, Estación Talleres.
Tacuba – Guadalajara – Monterrey	1,691.71 Km. de vía.	5.6 hr PROM 4.8 hr MAX	
Enlace A Tacuba – Guadalajara	716 Km.	2.38 hr PROM 1.22 hr MAX	
Enlace B Tacuba - Monterrey	1,440.41Km	4.8hr PROM 4.1hr MAX	

Ejemplo de cálculo de tiempos para tabla anterior:

$$\frac{300kmvelPROM}{36km(enlace1)} = \frac{1hr}{x}$$

$$\frac{1hr}{0.12(tiempoenlace1hr)} = \frac{60min}{x}$$

$$\left[\left(\frac{36 \text{ km}}{1 \text{ hr}} \right) \left(\frac{1 \text{ hr}}{300 \text{ km}} \right) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right) \left(\frac{2.160}{300 \text{ vel PROM}} \right) \right] = 7.2 \text{ min}$$

$$\frac{2,160}{350 \text{ vel MAX}} = 6.18 \text{ min}$$

O bien por la relación de Velocidad

$$\text{velocidad} = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}; v = \frac{d}{t}; \text{despejando, "t"}; t = \frac{d}{v}; t = \frac{36.11 \text{ km}}{5 \text{ km/hr}} = 7.22 \text{ min utos}$$

$$\text{Conversión } \frac{\text{km}}{\text{hr}}; 300 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \cdot \left(\frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \right) = 5 \text{ km/hr}; \text{sustituyendo}; t = 7.22 \text{ min utos}$$

Tabla 4.4 General de datos específicos de la red propuesta

Ancho vía	1, 435mm, Ancho de vía internacional
Distancia total	1, 691. 71 Km. de vía
Alimentación eléctrica	Bitensión 25 Kv a 50/60Hz CA, 3Kv, CD
Potencia	8,800 Kw.
Distancia entre subestaciones de tracción	50 Km. PROM 65 Km. MAX
Distancia entre Autotransformadores	Cada 10 Km. Con 50 Kv. en el primario (entre el feeder negativo y carril). De esta manera la carga se encuentra alimentada a 25 Kv entre catenaria y carril.
Tipo de catenaria	EAC- 350 ó CR 220
Modelo de tren	Serie 100 de RENFE, Fabricante Alstom y CAF.
Motores	8 motores trifásicos síncronos autopilotados SM44 – 39 – B de 11 Kw.
Composición	M – 8R – M
Longitud	200, 15 m.
Anchura	2. 9 m.
Altura	4.2 m.
Peso	392 t.
Número de plazas	329

4.7 Detalle de costos para un T.A.V. (tren bala)

En base al estudio realizado por parte de la empresa consultora francesa Systra, ganadora del concurso para la elaboración de las bases de licitación de un tren bala para unir la Ciudad de Guadalajara con la Ciudad de México. Tuvieron un final no muy deseado por parte de nuestra SCT, al saber que se llegó a 8 millones de dólares por kilómetro.

Basándome en la información de esta licitación, ya que entra en los parámetros de los costos que tienen los trenes de alta velocidad en Europa, tanto en los trenes franceses y españoles.

Tomando las relaciones de los enlaces de mi proyecto, tendríamos los siguientes costos aproximados por enlace:

Enlace Tacuba – Huehuetoca

Tiene una extensión de 36.11km

$$(36.11km)(8000000) = 288,880,000 \text{ millones USD}$$

$$(288,880,000)(13 \text{ pesos}) = 3,755,440,000 \text{ millones M.N.}$$

Enlace Huehuetoca – Querétaro

Tiene una extensión de 324.5km

$$(324.5km)(8,000,000) = 2,596,000,000 \text{ USD}$$

$$(2,596,000,000)(13) = 33,748,000,000 \text{ M.N.}$$

Enlace Querétaro – Irapuato

Tiene una extensión de 104km

$$(104km)(8,000,000) = 832,000,000 \text{ USD}$$

$$(832,000,000)(13) = 10,816,000,000 \text{ M.N.}$$

Enlace Irapuato – Guadalajara

Tiene una extensión de 251.3km

$$(251.3km)(8,000,000) = 2,010,400,000 \text{ USD}$$

$$(2,010,400,000)(13) = 26,135,200,000 \text{ M.N.}$$

Enlace Irapuato – León

Tiene una extensión de 62.7km

$$(62.7km)(8,000,000) = 501,600,000USD$$

$$(501,600,000)(13) = 6,520,800,000M.N.$$

Enlace León – Aguascalientes

Tiene una extensión de 172.5km

$$(172.5km)(8,000,000) = 1,380,000,000USD$$

$$(1,380,000,000)(13) = 17,940,000,000M.N.$$

Enlace Aguascalientes – Laguna Seca

Tiene una extensión de 332.6km

$$(332.6km)(8,000,000) = 2,660,800,000USD$$

$$(2,660,800,000)(13) = 34,590,400,000M.N.$$

Enlace Laguna Seca – Monterrey

Tiene una extensión de 480km

$$(480km)(8,000,000) = 3,840,000,000USD$$

$$(3,840,000,000)(13) = 49,920,000,000M.N.$$

Suma total de distancias de ruta de alta velocidad 1,691.71km

$$(1,691.71km)(8,000,000) = 13,533,680,000USD$$

$$(13,533,680,000)(13) = 175,937,840,000M.N.$$

Suma total de primer tramo Tacuba – Guadalajara

Tiene una extensión de 716km

$$(716km)(8,000,000) = 5,728,000,000USD$$

$$(5,728,000,000)(13) = 74,464,000,000M.N.$$

Suma total del segundo enlace Tacuba – Monterrey

Tiene una extensión de 1440.41Km

$$(1,440.41km)(8,000,000) = 11,523,280,000USD$$

$$(11,523,280,000)(13) = 149,802,640,000M.N.$$

4.7.1 Detalles de costos para un T.A.V. (tren de levitación magnética).

En base a los datos de costos entregados por la compañía alemana Transrapid al gobierno chino, para el desarrollo del único tren de levitación magnética actualmente para el uso urbano. De la conexión del metro Longyang Road al Aeropuerto Internacional de Pudong. Tuvo un costo de 1.33 billones de dólares, aproximadamente 43,607,000,000 millones de dólares por kilómetro.

$$[(43,607,000,000USD)](13M.N.) = 566,891,000,000M.N.xkm$$

Por lo tanto, si tomamos el primer enlace Tacuba – Huehuetoca, que tiene una distancia de 36.11km, el costo por este solo enlace sería:

$$[(36.11km)(43,607,000,000USD)] = 1,574,648,770,000USD$$

$$[(1,574,648,770,000USD)(13M.N.)] = 20,470,000,000,000M.N.$$

1.57 billones de dólares o bien 20 billones de pesos mexicanos por este enlace, sin embargo tendría una gran ventaja, que es la alta velocidad de 431Km/hr, esto quiere decir:

$$\frac{[(36.11km)(1hr)]}{(431km)} = 0.083hrs$$

$$\frac{[(0.083hrs)(60min)]}{(1hrs)} = 4.98min = 5min$$

Conversion

$$431 \frac{km}{hr} \cdot \left(\frac{1hr}{60min} \right) = 7.18 \frac{km}{min}$$

$$velocidad = \frac{dis\ tan\ cia}{tiempo}; despejando; t = \frac{d}{v}; sustituyendo; t = \frac{36.11km}{7,18km/min} = 5.02min$$

Por el enlace Tacuba – Ciudad de Guadalajara, que tiene una distancia de 716km, el costo por este enlace sería:

$$[(716km)(43,607,000,000USD)] = 31,220,000,000,000USD$$

$$[(31,220,000,000,000USD)(13M.N.)] = 405,860,000,000,000M.N.$$

Por lo tanto tendría un costo de 31. 2 billones de dólares o bien 405.86 billones de pesos mexicanos. Y en caso de hacer toda la ruta en una línea de levitación magnética, tenemos la siguiente relación:

Tacuba – Ciudad de Guadalajara – Ciudad de Monterrey, con una distancia de 1,691.71km.

$$[(1,691.71km)(47,607,000,000USD)] = 80,537,200,000,000USD$$

$$[(80,537,200,000,000USD)(13M.N.)] = 1,045,980,000,000,000M.N.$$

Por lo tanto tendría un costo de 80.53 billones de dólares o bien 1,045.98 mil cuarenta y cinco billones de pesos mexicanos.

Como se puede apreciar es exageradamente costoso, el desarrollo de la levitación magnética, inclusive fue extremadamente costosa la única línea de alta velocidad por levitación magnética comercial actual. Esta tecnología se ha vuelto muy controversial por todas las compañías e inclusive naciones con el interés de desarrollar este sistema de transporte, sin embargo su alto costo siempre retrasará su desarrollo.

4.7.2 Beneficios a nivel población

En cuanto a la licitación de Systra, habría 28 millones de habitantes beneficiados por el tramo México – Guadalajara.

Sin embargo en mi estudio realizado por el curso en línea de RENFE- AVE, obtuve datos sobre el crecimiento de los usuarios del tren de alta velocidad español, como los informes llevados a cabo por la sociedad de consultores Accenture y por el profesor de Economía de la Universidad de Barcelona, German Bel. Así como los datos de los informes de los periódicos “El Universal” y el “El Seminario”

Donde se presentan los siguientes datos importantes, España tiene una población de 47 millones, de los cuales 16 millones usan el tren AVE al año.

Según el gobierno español, la costosa inversión será beneficiosa para el empleo, en un país en el que la crisis disparó la tasa de paro al 20% de la población activa.

Emblema de la modernización de España, “el desarrollo de la alta velocidad, crea miles de empleos” y, además, “genera beneficio para el medioambiente porque permite moverse mas rápido emitiendo menos CO2 y contribuye a bajar los índices de interferencia en nuestras comunicaciones”, destacó Blanco (ministro del Fomento, Accenture).

Este estudio, calcula unos 136.000 empleos creados directa o indirectamente por la línea de AVE y prevé una frecuentación anual de 3,6 millones de pasajeros.

También calculó en 842.000 toneladas la reducción de emisiones de CO2 de aquí a 2016, gracias a la reducción del número de desplazamientos en coche o en avión.

Experto en política de transportes, Germa Bel considera, sin embargo, que “la apuesta” por la alta velocidad para España fue una “muy mala decisión”, que resultó “sangrante” con el inicio de la crisis porque obligó a reducir otras inversiones.

El tren de alta velocidad representa una “inversión muy, muy pesada” y su rentabilidad “depende del número de personas que la utilizan”, destacó el profesor de economía de la Universidad de Barcelona.

Usando estos datos sobre el primer mundo, y fusionando con los detalles de nuestro país en base al estudio realizado por David Aguilar, del Universal:

Diez millones de personas que trabajan en el Valle de México, a diario dedican tres horas en transportarse. Si estos 30 millones de horas diarias se trabajaran y se pagasen en 50 pesos la hora, similar al salario por hora que tienen los empleados en el Valle de México, significaría una erogación de 547 mil millones de pesos (mdp), poco más de 40 mil millones de dólares. Esta cifra es idéntica al monto que el gobierno se estableció como meta para invertir en infraestructura: 40 mil mdd en promedio anual a partir de 2012.

“El creciente parque automotor, impulsado por la política pública urbana, ocasiona que habitantes del Valle de México se pasen en promedio cinco años de vida atorados y estresados en el congestionamiento vial”, establece un reporte en el sitio web ciudadanosenred.com.

Se puede ir más lejos con estas cifras: si a los 547 mil mdp se les aplicase el 30% del ISR, las autoridades hacendarias podrían recaudar 164 mil 100 mdp adicionales cada año. Con este dinero podrían financiarse docenas de proyectos de transporte público masivo, como el Tren Suburbano dos y tres en el estado de México.

Sin embargo, estas estimaciones palidecen ante una realidad que se puede atestiguar todas los días en la capital del país: la llegada y salida de cuatro millones de personas que trabajan en el Distrito Federal y pernoctan en el estado de México.

EL UNIVERSAL pudo conversar con habitantes que viven esta situación y se comprobó lo que el despacho inmobiliario Aserva publica en su informe “Vivir Lejos”. Millones de personas durante años gastaron no sólo su tiempo (con el costo), sino que en el lapso de 20 años pagaron más de 440 mil pesos por usar el transporte público y en el consumo de alimentos, en tanto que sus casas las adquirieron por debajo de los 300 mil pesos.

Eugene Towle, socio director del despacho inmobiliario Softec, afirma que esta situación es contradictoria. “En los últimos 15 años se duplicó el ingreso per cápita en el Valle de México, pero también dedicamos más dinero en gasolinas, pasajes y estacionamientos para poder ir a nuestros centros de trabajo o estudio. Paradójico ¿no?”, comenta.

“La población llega a gastar hasta 50% del ingreso familiar tan sólo en transporte y a destinar dos horas o más al día para trasladarse desde su hogar al sitio de trabajo o de estudio y viceversa”, consta en el informe Estado Actual de la Vivienda en México 2009, realizado por la Fundación Centro de Información y Documentación de la Casa (Cidoc) y la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF).

Y los datos obtenidos por parte del artículo del periódico “El Seminario”, encontré la siguiente información:

MÉXICO, octubre 16, 2007.- La Ciudad de México posee la concentración vehicular más alta del mundo con una cifra de automóviles que circulan por la capital estimada en 5.5 millones de unidades, que supera por mucho a la observada Tokio y Nueva York.

Armando Quintero, titular de la Secretaría de Transporte y Vialidad (Setravi), difundió las cifras anteriores y advirtió que de seguir con la tendencia en la que se suman cada año unos 250,000 vehículos nuevos a las calles, la Ciudad de México podría vivir una crisis de tránsito vehicular. "En unos cuantos años, tendremos casi los 10 millones de vehículos por lo que vamos derecho a un ahorcamiento", explicó el funcionario del Gobierno del Distrito Federal al asistir a la presentación de dos libros del investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Bernardo Navarro.

4.7.3 Beneficio estimado para la ruta de alta velocidad

Entonces tomando en cuenta los datos arrojados por los anteriores artículos y estudios realizados pude generar los siguientes datos. En cuanto a los enlaces de mi ruta de alta velocidad tengo:

Enlace Tacuba – Huehuetoca

Población D.F. =18, 839, 361 habitantes

Edo. De México = 14, 739, 060 habitantes

De las cuales 10 millones trabajan en la Ciudad de México de las cuales 4. 8 millones son del estado de México.

Es decir, aproximadamente 5 millones de mexicanos podrían beneficiarse por este solo enlace y al menos eso presentan los datos por parte de CAF con respecto al beneficio del Tren Suburbano.

Ahora si tomamos en cuenta el dato que arroja La Sociedad de consultores Accenture, España:

$$\frac{[(100\%)(16,000,000)]}{(47,000,000)} = 34.04\%$$

Existe un 34% de toda la población de España, beneficiada por los trenes de alta velocidad al año.

Si se aplica un 35% de usuarios en mi primer enlace Tacuba – Huehuetoca, donde sumando las 2 poblaciones de estas 2 entidades tenemos 33,578,421 habitantes, tomando en cuenta que solo un 14% usa a diario todos los sistemas de transporte eléctrico publico del Edo. De México y el D.F.

$$\frac{[(35\%)(33,578,421)]}{(100\%)} = 11,752,444.35 \text{ De habitantes podrían ser beneficiadas por este}$$

enlace de alta velocidad.

Enlace Huehuetoca – Querétaro

Población Edo. De México = 14, 739, 060 habitantes

Querétaro = 1, 706,267

Sumando las 2 poblaciones nos da una población de 16, 445, 327 habitantes en este enlace.

Usando un 14% de usuarios:

$$\frac{[(16,445,327)(14\%)]}{(100\%)} = 2,302,345 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse por este enlace}$$

Usando un 35% de usuarios

$$\frac{[(16,445,327)(35\%)]}{100\%} = 5,755,864 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse por este enlace}$$

Enlace Querétaro – León – Irapuato (Guanajuato)

Población de Queretaro 1, 706, 267 habitantes

Población Guanajuato 5,033,267 habitantes

Suma de la población del enlace 7,462,131 habitantes

Usando un 14% de usuarios

$$\frac{[(7,462,131)(14\%)]}{(100\%)} = 1,044,698 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse por este enlace}$$

Usando un 35%

$$\frac{(7,462,131)(35\%)}{(100\%)} = 2,611,745 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse por este enlace}$$

Enlace Guanajuato – Guadalajara

Población de Guanajuato 5, 033,267 habitantes

Población de Guadalajara 4, 095,853 habitantes

Población de Jalisco 6, 989.304 habitantes

Suma de las poblaciones de los enlaces, en este caso directo con la Ciudad de Guadalajara y con todo el estado de Jalisco.

Población del Edo. De Guanajuato mas la Ciudad de Guadalajara 9,129,120 de habitantes.

Usando un 14% de usuarios

$$\frac{[(9,129,120)(14\%)]}{(100\%)} = 1,278,076 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Usando un 35%

$$\frac{[(9,129,120)(35\%)]}{(100\%)} = 3,195,192 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Sin embargo tomando la población completa del Edo. De Jalisco, la suma de poblaciones del enlace sería 12, 022,571 habitantes

Usando el 14%

$$\frac{[(12,022,571)(14\%)]}{(100\%)} = 1,683,159 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Usando el 35%

$$\frac{[(12,022,571)(35\%)]}{(100\%)} = 4,207,899 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Enlace Guanajuato – Aguascalientes

Población de Guanajuato 5,033,267 habitantes

Población de Aguascalientes 1,133,137 habitantes

Suma de las 2 poblaciones del enlace 6, 166,404 habitantes

Usando el 14%

$$\frac{[(6,166,404)(14\%)]}{(100\%)} = 863,296 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Usando el 35%

$$\frac{[(6,166,404)(35\%)]}{(100\%)} = 2,158,241 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Enlace Aguascalientes – Laguna Seca (San Luís Potosí)

Población de Aguascalientes 1,133,137 habitantes

Población de San Luis Potosí 2, 479,450 habitantes

Suma de las 2 poblaciones del enlace 3,612,587 habitantes

Usando el 14%

$$\frac{[(3,612,587)(14\%)]}{(100\%)} = 500,762 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Usando el 35%

$$\frac{[(3,612,587)(35\%)]}{(100\%)} = 1,264,405 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

El ultimo enlace Laguna Seca (San Luís Potosí) – Ciudad de Monterrey(Nuevo León)

Población de la Ciudad de Monterrey 3,664,331 habitantes

Población de Nuevo León 4,420,909 habitantes

Población de Laguna Seca (San Luís Potosí) 2, 479,450 habitantes

Suma de las 2 poblaciones del enlace, tomando primero el enlace directo con la Ciudad de Monterrey, 6,123,781 habitantes

Suma de las 2 poblaciones del enlace tomando los 2 estados del enlace 6,900,359 habitantes

Usando el 14%

$$\frac{[(6,123,781)(14\%)]}{(100\%)} = 857,329 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Usando el 35%

$$\frac{[(6,123,781)(35\%)]}{(100\%)} = 2,143,323 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Tomando en cuenta todo el Edo. de Nuevo León

Usando el 14%

$$\frac{[(6,900,359)(14\%)]}{(100\%)} = 966,050 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Usando el 35%

$$\frac{[(6,900,359)(35\%)]}{(100\%)} = 2,415,125 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Tomando la suma de los habitantes del enlace principal Tacuba – Guadalajara

Población de la Ciudad de México 18, 839, 361 habitantes

Población del Edo. De México 14, 739, 060 habitantes

Población del Edo. De Querétaro 1, 706,267 habitantes

Población del Edo. De Guanajuato 5, 033,267 habitantes

Población del Edo de Jalisco 6, 989.304 habitantes

Suma total de todas las poblaciones anteriores del enlace principal de la ruta del alta velocidad, 47, 307,259 habitantes

Usando el 14%

$$\frac{[(47,307,259)(14\%)]}{(100\%)} = 6,623,016 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse por el enlace}$$

principal.

Usando el 35%

$$\frac{[(47,307,259)(35\%)]}{(100\%)} = 16,557,540 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse por el enlace}$$

principal.

Suma de los otros estados para cerrar el enlace completo de la Ruta de alta velocidad

Población de Laguna Seca (San Luís Potosí) 2, 479,450 habitantes

Población de Aguascalientes 1,133,137 habitantes

Población de Ciudad de Monterrey (Nuevo León) 4,420,909 habitantes

Suma total de las poblaciones del enlace final 8,033,496 habitantes

Usando el 14%

$$\frac{[(8,033,496)(14\%)]}{(100\%)} = 1,124,689 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Usando el 35%

$$\frac{[(8,033,496)(35\%)]}{(100\%)} = 2,811,723 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse}$$

Suma total de porcentajes probables del uso de la Ruta completa de alta velocidad

55,340,755 habitantes de todos los estados por donde pasa la ruta.

Usando el 14%

$$\frac{[(55,340,755)(14\%)]}{(100\%)} = 7,747,705 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse de toda la ruta}$$

Usando el 35%

$$\frac{[(55,340,705)(35\%)]}{(100\%)} = 19,369,246 \text{ Habitantes que podrían beneficiarse de toda la ruta}$$

4.7.3.1 Tabla general “Costo – Beneficio”

TREN BALA

Tabla 4.5 Costo – Beneficio de cada enlace

ENLACE	EXTENSIÓN	COSTO	BENEFICIO DEL 14% USUARIOS AL AÑO	BENEFICIO DEL 35% DE USUARIOS AL AÑO
Tacuba - Huehuetoca	36.11km	288,880,000 USD 3,755,440,000 M.N.	4,700,978.94 usuarios	11,752,444.35 usuarios
Huehuetoca - Querétaro	324.5km	2,596,000,000 USD 33,748,000,000 M.N.	2,302,345 usuarios	5,755,864 usuarios
Querétaro - Irapuato	104km	832,000,000 USD 10,816,000,000 M.N.	1,044,698 usuarios	2,611,745 usuarios

Continuación Tabla 4.5 Costo – Beneficio de cada enlace

Irapuato – Guadala – jara	251km	2,010,400,000 USD 26,135,200,000 M.N.	1,683,159 usuarios	4,207,899 usuarios
Irapuato - León	62.7km	501,600,000 USD 6,520,800,000 M.N.	Parte del enlace anterior Querétaro – Irapuato – León	Parte del enlace anterior Querétaro – Irapuato – León
León - Aguascalie ntes	172.5km	1,380,000,000 USD 17,940,000,000 M.N.	863,296 usuarios	2,158,241 usuarios
Aguascalie ntes – Laguna Seca	332.6km	2,660,800,000 USD 34,590,400,000 M.N.	500,762 usuarios	1,264,405 usuarios
Laguna Seca - Monterrey	408km	3,840,000,000 USD 49,920,000,000 M.N.	966,050 usuarios	2,415,125 usuarios
Enlace A Tacuba – Guadala – jara	716km	5,728,000,000 USD 74,464,000,000 M.N.	6,623,016 usuarios	16,557,540 usuarios
Total de la Ruta	1,691.71km	13,533,680,000 USD 175,937,840,00 0 M.N.	7,747,705 usuarios	19,369,246 usuarios

Continuación Tabla 4.5 Costo – Beneficio de cada enlace

Suma Total De Porcentajes Tacuba – Guadala - jara			9,731,180.94 usuarios	24,327,952.35 usuarios
Suma Total de la Ruta Completa			12,061,288 usuarios	30,165,723.35 usuarios

4.7.4 Detalles sobre la rentabilidad

En cuanto al concepto de rentabilidad, obtener más ganancias que pérdidas en un campo determinado, en base a los datos que he analizado alrededor de todo mi proyecto.

Encuentro varias empresas nacionales que podrían encargarse del costo parcial o total de un sistema de transporte de alta velocidad. Sin tomar en cuenta mi escaso conocimiento del uso de las ganancias de estas empresas nacionales que tome como referencia, en este caso CFE y PEMEX, al igual que nuestro gobierno Federal, obtuve el siguiente informe.

CFE en su informe anual del año 2009, tuvo una utilidad de 235, 921 millones de pesos mexicanos, esto es 18, 147 millones de dólares.

PEMEX en su informe del 2009 obtuvo 80,000 millones de dólares, de los cuales 40, 000 millones entre Repsol y Halliburton.

Aproximadamente 544,855,100,000 de pesos mexicanos, alrededor de 41,911 millones de dólares, sin tomar en cuenta que nuestro Senado de la República informó que al 31 de diciembre de 2009, Petróleos Mexicanos (Pemex) y sus organismos subsidiarios registraron una pérdida neta de 478mil 645 millones de pesos, alrededor de 36, 818 millones de dólares.

En el Informe Anual 2009 también se dio a conocer que el volumen de hidrocarburos sustraído ilícitamente fue de tres millones 78 mil 363 barriles, cifra menor en un millón 906 mil 208 barriles respecto al 2008.

Y por ultimo, porque no mencionar los 42, 000 millones de pesos anuales a Luz y Fuerza del Centro, que recibía por parte del Gobierno Federal. Que podrían ser usados para generar mejores servicios de transporte para la misma Ciudad.

Contrario a las cifras oficiales que mostraban a la dependencia como ineficiente y poco productiva, Esparza (líder del sindicato SME) asegura que la paraestatal facturaba 55 mil millones de pesos anuales (alrededor de 4 mil millones de dólares) mientras que recibía 42 mil millones de pesos (3 mil 300 millones de dólares) en transferencias gubernamentales.

Sin entrar en detalles políticos, se puede observar que existen grandes oportunidades de poder iniciar el desarrollo de un sistema eléctrico de alta velocidad, y que mejor de empresas de generación de energía.

Como además de evitar las horas perdidas que se generan en el caos vial, por mencionar el de la Ciudad de México aproximadamente de 40,000 millones de dólares al año. Es decir que 1,500 millones de pesos diarios o bien 115,384,615.4 dólares diarios.

$$\begin{aligned}((3hrs)(10,000,000)) &= 30,000,000hrs \\ ((30,000,000)(50 pesos)) &= 1,500,000,000(pesos / día) \\ ((1,500,000,000)(365 días)) &= 547,500,000,000 pesos, anuales \\ \frac{(5.47 \times 10^{11} pesos)}{(13 pesos)} &= 4.21 \times 10^{10}; 42,115,384,620 USD\end{aligned}$$

Ahora si tomamos en cuenta a fecha de 2010, el salario mínimo diario es de 57.46 pesos en la zona A, 55.84 en la zona B y 54.47 en la zona C, tomando como referencia el salario de la zona A, un tipo de cambio de 12.5 pesos por 1 Dólar Americano y una jornada laboral de 8 horas, el sueldo es de 0.57 USD por hora/hombre. Las zonas A, B y C mencionadas son zonas geográficas que agrupan diversos estados o municipios del país. Las zonas A, B y C solamente operan para efectos de asignar los salarios mínimos.

Inclusive si tomamos el salario mínimo clase A de 57.46 pesos entre 8 horas de jornada laboral, tengo 7.18 pesos por hora. Y tomando en cuenta un día de descanso a la semana, tengo la siguiente relación:

$$(365 \text{ días} - (12 \text{ meses} \times 4 \text{ días})) = 317 \text{ días}$$

$$(317 - (7 \text{ días VACACIONES})) = 310 \text{ días}$$

Y cerrándolo por días festivos a 300 días

$$[(10,000,000 \text{ trabajadores}) (3 \text{ horas}) (7.18 \text{ pesos})] = 215,400,000 \text{ M.N.}$$

$$\frac{215,400,000}{13 \text{ pesos Dolar}} = 16,569,230.77 \text{ USD}$$

$$[(300 \text{ días})] (215,400,000 \text{ M.N.}) = 64,620,000,000 \text{ M.N.}$$

$$\left[\frac{64,620,000,000 \text{ M.N.}}{13 \text{ pesos Dolar}} \right] = 4,970,769,231 \text{ USD} \quad \text{De pérdida al año}$$

Si se utiliza la cifra final de la población beneficiada por la ruta de alta velocidad por la licitación efectuada por el grupo Systra nos indica una población de 28, 000,000 de habitantes beneficiados por el tramo D.F. – Guadalajara.

4.7.5. Detalles sobre financiamiento y tasa de amortización

Tomando la cifra del costo final de toda la Ruta (1,691.71Km), 175, 937,840, 000 M.N.

Donde:

El valor de obligación es 175, 937, 840, 000 M.N.

Plazo de la obligación son 180 meses

Tasa nominal anual es 12% vencida

$$12\% \text{ del Costo Final} = \$175,937,840,000 \left(\frac{12\%}{100} \right) = \$2,112,540,800.00 \text{ M.N.}$$

12% del costo final: **\$21,112,540,800.00 M.N.** sobre 180 meses

Amortización para Pago Mensual: **\$2,111,549,764.81** sobre 180 meses

$$\text{Intereses Apagar} = \left(\frac{21,112,540,800.00}{12} \right) = 1,759,378,400.00$$

$$\text{Abono Acapital} = [\$2,111,549,764.81 - 1,759,378,400.00] = \$352,171,364.81 \text{ M.N.}$$

Tabla 4.6 General de Financiamiento y Amortizaciones a 15 años

Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación
1	\$1,759,378,400.00	\$352,171,364.81	\$175,585,668,635.19
2	\$1,755,856,686.35	\$355,693,078.46	\$175,229,975,556.72
3	\$1,752,299,755.57	\$359,250,009.25	\$174,870,725,547.48
4	\$1,748,707,255.47	\$362,842,509.34	\$174,507,883,038.14
5	\$1,745,078,830.38	\$366,470,934.43	\$174,141,412,103.71
6	\$1,741,414,121.04	\$370,135,643.78	\$173,771,276,459.93
7	\$1,737,712,764.60	\$373,837,000.21	\$173,397,439,459.72
8	\$1,733,974,394.60	\$377,575,370.22	\$173,019,864,089.50
9	\$1,730,198,640.89	\$381,351,123.92	\$172,638,512,965.58
10	\$1,726,385,129.66	\$385,164,635.16	\$172,253,348,330.42
11	\$1,722,533,483.30	\$389,016,281.51	\$171,864,332,048.91
12	\$1,718,643,320.49	\$392,906,444.32	\$171,471,425,604.59
Totales para el año 1			
	Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 1 \$20,872,182,782.35 se irán a INTERESES \$4,466,414,395.41 se abonara a la OBLIGACIÓN		
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación
13	\$1,714,714,256.05	\$396,835,508.77	\$171,074,590,095.82
14	\$1,710,745,900.96	\$400,803,863.86	\$170,673,786,231.97
15	\$1,706,737,862.32	\$404,811,902.49	\$170,268,974,329.47
16	\$1,702,689,743.29	\$408,860,021.52	\$169,860,114,307.95
17	\$1,698,601,143.08	\$412,948,621.73	\$169,447,165,686.22
18	\$1,694,471,656.86	\$417,078,107.95	\$169,030,087,578.27
19	\$1,690,300,875.78	\$421,248,889.03	\$168,608,838,689.24
20	\$1,686,088,386.89	\$425,461,377.92	\$168,183,377,311.31
21	\$1,681,833,773.11	\$429,715,991.70	\$167,753,661,319.61
22	\$1,677,536,613.20	\$434,013,151.62	\$167,319,648,168.00
23	\$1,673,196,481.68	\$438,353,283.13	\$166,881,294,884.86
24	\$1,668,812,948.85	\$442,736,815.97	\$166,438,558,068.90

Totales para el año 2			
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 2 \$20,305,729,642.07 se irán a INTERESES \$5,032,867,535.69 se abonara a la OBLIGACIÓN			
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación
25	\$1,664,385,580.69	\$447,164,184.12	\$165,991,393,884.77
26	\$1,659,913,938.85	\$451,635,825.97	\$165,539,758,058.81
27	\$1,655,397,580.59	\$456,152,184.23	\$165,083,605,874.58
28	\$1,650,836,058.75	\$460,713,706.07	\$164,622,892,168.51
29	\$1,646,228,921.69	\$465,320,843.13	\$164,157,571,325.39
30	\$1,641,575,713.25	\$469,974,051.56	\$163,687,597,273.83
31	\$1,636,875,972.74	\$474,673,792.08	\$163,212,923,481.75
32	\$1,632,129,234.82	\$479,420,530.00	\$162,733,502,951.75
33	\$1,627,335,029.52	\$484,214,735.30	\$162,249,288,216.46
34	\$1,622,492,882.16	\$489,056,882.65	\$161,760,231,333.81
35	\$1,617,602,313.34	\$493,947,451.48	\$161,266,283,882.33
36	\$1,612,662,838.82	\$498,886,925.99	\$160,767,396,956.34
Totales para el año 3			
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 3 \$19,667,436,065.21 se irán a INTERESES \$5,671,161,112.56 se abonara a la OBLIGACIÓN			
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación
37	\$1,607,673,969.56	\$503,875,795.25	\$160,263,521,161.09
38	\$1,602,635,211.61	\$508,914,553.20	\$159,754,606,607.89
39	\$1,597,546,066.08	\$514,003,698.73	\$159,240,602,909.16
40	\$1,592,406,029.09	\$519,143,735.72	\$158,721,459,173.43
41	\$1,587,214,591.73	\$524,335,173.08	\$158,197,124,000.35
42	\$1,581,971,240.00	\$529,578,524.81	\$157,667,545,475.54
43	\$1,576,675,454.76	\$534,874,310.06	\$157,132,671,165.49
44	\$1,571,326,711.65	\$540,223,053.16	\$156,592,448,112.33
45	\$1,565,924,481.12	\$545,625,283.69	\$156,046,822,828.64

46	\$1,560,468,228.29	\$551,081,536.53	\$155,495,741,292.11		
47	\$1,554,957,412.92	\$556,592,351.89	\$154,939,148,940.22		
48	\$1,549,391,489.40	\$562,158,275.41	\$154,376,990,664.80		
Totales para el año 4					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 4 \$18,948,190,886.23 se irán a INTERESES \$6,390,406,291.54 se abonara a la OBLIGACIÓN					
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación		
49	\$1,543,769,906.65	\$567,779,858.17	\$153,809,210,806.64		
50	\$1,538,092,108.07	\$573,457,656.75	\$153,235,753,149.89		
51	\$1,532,357,531.50	\$579,192,233.31	\$152,656,560,916.58		
52	\$1,526,565,609.17	\$584,984,155.65	\$152,071,576,760.93		
53	\$1,520,715,767.61	\$590,833,997.20	\$151,480,742,763.72		
54	\$1,514,807,427.64	\$596,742,337.18	\$150,884,000,426.55		
55	\$1,508,840,004.27	\$602,709,760.55	\$150,281,290,666.00		
56	\$1,502,812,906.66	\$608,736,858.15	\$149,672,553,807.85		
57	\$1,496,725,538.08	\$614,824,226.74	\$149,057,729,581.11		
58	\$1,490,577,295.81	\$620,972,469.00	\$148,436,757,112.11		
59	\$1,484,367,571.12	\$627,182,193.69	\$147,809,574,918.42		
60	\$1,478,095,749.18	\$633,454,015.63	\$147,176,120,902.79		
Totales para el año 5					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 5 \$18,137,727,415.75 se irán a INTERESES \$7,200,869,762.02 se abonara a la OBLIGACIÓN					
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación		
61	\$1,471,761,209.03	\$639,788,555.79	\$146,536,332,347.00		
62	\$1,465,363,323.47	\$646,186,441.34	\$145,890,145,905.66		
63	\$1,458,901,459.06	\$652,648,305.76	\$145,237,497,599.90		
64	\$1,452,374,976.00	\$659,174,788.81	\$144,578,322,811.09		
65	\$1,445,783,228.11	\$665,766,536.70	\$143,912,556,274.38		
66	\$1,439,125,562.74	\$672,424,202.07	\$143,240,132,072.31		

67	\$1,432,401,320.72	\$679,148,444.09	\$142,560,983,628.22		
68	\$1,425,609,836.28	\$685,939,928.53	\$141,875,043,699.69		
69	\$1,418,750,437.00	\$692,799,327.82	\$141,182,244,371.87		
70	\$1,411,822,443.72	\$699,727,321.09	\$140,482,517,050.78		
71	\$1,404,825,170.51	\$706,724,594.31	\$139,775,792,456.47		
72	\$1,397,757,924.56	\$713,791,840.25	\$139,062,000,616.22		
Totales para el año 6					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 6 \$17,224,476,891.20 se irán a INTERESES \$8,114,120,286.56 se abonara a la OBLIGACIÓN					
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación		
73	\$1,390,620,006.16	\$720,929,758.65	\$138,341,070,857.57		
74	\$1,383,410,708.58	\$728,139,056.24	\$137,612,931,801.34		
75	\$1,376,129,318.01	\$735,420,446.80	\$136,877,511,354.53		
76	\$1,368,775,113.55	\$742,774,651.27	\$136,134,736,703.27		
77	\$1,361,347,367.03	\$750,202,397.78	\$135,384,534,305.49		
78	\$1,353,845,343.05	\$757,704,421.76	\$134,626,829,883.73		
79	\$1,346,268,298.84	\$765,281,465.98	\$133,861,548,417.75		
80	\$1,338,615,484.18	\$772,934,280.64	\$133,088,614,137.11		
81	\$1,330,886,141.37	\$780,663,623.44	\$132,307,950,513.67		
82	\$1,323,079,505.14	\$788,470,259.68	\$131,519,480,253.99		
83	\$1,315,194,802.54	\$796,354,962.27	\$130,723,125,291.72		
84	\$1,307,231,252.92	\$804,318,511.90	\$129,918,806,779.82		
Totales para el año 7					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 7 \$16,195,403,341.36 se irán a INTERESES \$9,143,193,836.40 se abonara a la OBLIGACIÓN					
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación		
85	\$1,299,188,067.80	\$812,361,697.02	\$129,106,445,082.81		
86	\$1,291,064,450.83	\$820,485,313.99	\$128,285,959,768.82		
87	\$1,282,859,597.69	\$828,690,167.13	\$127,457,269,601.70		

88	\$1,274,572,696.02	\$836,977,068.80	\$126,620,292,532.90		
89	\$1,266,202,925.33	\$845,346,839.48	\$125,774,945,693.42		
90	\$1,257,749,456.93	\$853,800,307.88	\$124,921,145,385.54		
91	\$1,249,211,453.86	\$862,338,310.96	\$124,058,807,074.58		
92	\$1,240,588,070.75	\$870,961,694.07	\$123,187,845,380.51		
93	\$1,231,878,453.81	\$879,671,311.01	\$122,308,174,069.50		
94	\$1,223,081,740.70	\$888,468,024.12	\$121,419,706,045.38		
95	\$1,214,197,060.45	\$897,352,704.36	\$120,522,353,341.02		
96	\$1,205,223,533.41	\$906,326,231.40	\$119,616,027,109.62		
Totales para el año 8					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 8 \$15,035,817,507.56 se irán a INTERESES \$10,302,779,670.20 se abonara a la OBLIGACIÓN					
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación		
97	\$1,196,160,271.10	\$915,389,493.72	\$118,700,637,615.90		
98	\$1,187,006,376.16	\$924,543,388.65	\$117,776,094,227.25		
99	\$1,177,760,942.27	\$933,788,822.54	\$116,842,305,404.71		
100	\$1,168,423,054.05	\$943,126,710.77	\$115,899,178,693.94		
101	\$1,158,991,786.94	\$952,557,977.87	\$114,946,620,716.07		
102	\$1,149,466,207.16	\$962,083,557.65	\$113,984,537,158.41		
103	\$1,139,845,371.58	\$971,704,393.23	\$113,012,832,765.18		
104	\$1,130,128,327.65	\$981,421,437.16	\$112,031,411,328.02		
105	\$1,120,314,113.28	\$991,235,651.53	\$111,040,175,676.49		
106	\$1,110,401,756.76	\$1,001,148,008.05	\$110,039,027,668.44		
107	\$1,100,390,276.68	\$1,011,159,488.13	\$109,027,868,180.31		
108	\$1,090,278,681.80	\$1,021,271,083.01	\$108,006,597,097.30		
Totales para el año 9					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 9 \$13,729,167,165.44 se irán a INTERESES \$11,609,430,012.32 se abonara a la OBLIGACIÓN					
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación		

109	\$1,080,065,970.97	\$1,031,483,793.84	\$106,975,113,303.46		
110	\$1,069,751,133.03	\$1,041,798,631.78	\$105,933,314,671.68		
111	\$1,059,333,146.72	\$1,052,216,618.10	\$104,881,098,053.58		
112	\$1,048,810,980.54	\$1,062,738,784.28	\$103,818,359,269.31		
113	\$1,038,183,592.69	\$1,073,366,172.12	\$102,744,993,097.18		
114	\$1,027,449,930.97	\$1,084,099,833.84	\$101,660,893,263.34		
115	\$1,016,608,932.63	\$1,094,940,832.18	\$100,565,952,431.16		
116	\$1,005,659,524.31	\$1,105,890,240.50	\$99,460,062,190.66		
117	\$994,600,621.91	\$1,116,949,142.91	\$98,343,113,047.75		
118	\$983,431,130.48	\$1,128,118,634.34	\$97,214,994,413.42		
119	\$972,149,944.13	\$1,139,399,820.68	\$96,075,594,592.74		
120	\$960,755,945.93	\$1,150,793,818.89	\$94,924,800,773.85		
Totales para el año 10					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 10 \$12,256,800,854.32 se irán a INTERESES \$13,081,796,323.45 se abonara a la OBLIGACIÓN					
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación		
121	\$949,248,007.74	\$1,162,301,757.08	\$93,762,499,016.78		
122	\$937,624,990.17	\$1,173,924,774.65	\$92,588,574,242.13		
123	\$925,885,742.42	\$1,185,664,022.39	\$91,402,910,219.74		
124	\$914,029,102.20	\$1,197,520,662.62	\$90,205,389,557.12		
125	\$902,053,895.57	\$1,209,495,869.24	\$88,995,893,687.88		
126	\$889,958,936.88	\$1,221,590,827.93	\$87,774,302,859.94		
127	\$877,743,028.60	\$1,233,806,736.21	\$86,540,496,123.73		
128	\$865,404,961.24	\$1,246,144,803.58	\$85,294,351,320.15		
129	\$852,943,513.20	\$1,258,606,251.61	\$84,035,745,068.54		
130	\$840,357,450.69	\$1,271,192,314.13	\$82,764,552,754.41		
131	\$827,645,527.54	\$1,283,904,237.27	\$81,480,648,517.14		
132	\$814,806,485.17	\$1,296,743,279.64	\$80,183,905,237.50		
Totales para el año 11					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 11 \$10,597,701,641.41 se irán a INTERESES					

\$14,740,895,536.35 se abonara a la OBLIGACIÓN			
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación
133	\$801,839,052.38	\$1,309,710,712.44	\$78,874,194,525.06
134	\$788,741,945.25	\$1,322,807,819.56	\$77,551,386,705.50
135	\$775,513,867.06	\$1,336,035,897.76	\$76,215,350,807.74
136	\$762,153,508.08	\$1,349,396,256.74	\$74,865,954,551.01
137	\$748,659,545.51	\$1,362,890,219.30	\$73,503,064,331.70
138	\$735,030,643.32	\$1,376,519,121.50	\$72,126,545,210.21
139	\$721,265,452.10	\$1,390,284,312.71	\$70,736,260,897.49
140	\$707,362,608.97	\$1,404,187,155.84	\$69,332,073,741.65
141	\$693,320,737.42	\$1,418,229,027.40	\$67,913,844,714.26
142	\$679,138,447.14	\$1,432,411,317.67	\$66,481,433,396.59
143	\$664,814,333.97	\$1,446,735,430.85	\$65,034,697,965.74
144	\$650,346,979.66	\$1,461,202,785.16	\$63,573,495,180.58
Totales para el año 12			
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 12 \$8,728,187,120.84 se irán a INTERESES \$16,610,410,056.92 se abonara a la OBLIGACIÓN			
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación
145	\$635,734,951.81	\$1,475,814,813.01	\$62,097,680,367.57
146	\$620,976,803.68	\$1,490,572,961.14	\$60,607,107,406.44
147	\$606,071,074.06	\$1,505,478,690.75	\$59,101,628,715.69
148	\$591,016,287.16	\$1,520,533,477.66	\$57,581,095,238.03
149	\$575,810,952.38	\$1,535,738,812.43	\$56,045,356,425.60
150	\$560,453,564.26	\$1,551,096,200.56	\$54,494,260,225.04
151	\$544,942,602.25	\$1,566,607,162.56	\$52,927,653,062.48
152	\$529,276,530.62	\$1,582,273,234.19	\$51,345,379,828.29
153	\$513,453,798.28	\$1,598,095,966.53	\$49,747,283,861.76
154	\$497,472,838.62	\$1,614,076,926.20	\$48,133,206,935.56
155	\$481,332,069.36	\$1,630,217,695.46	\$46,502,989,240.10

156	\$465,029,892.40	\$1,646,519,872.41	\$44,856,469,367.69		
Totales para el año 13					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 13 \$6,621,571,364.87 se irán a INTERESES \$18,717,025,812.89 se abonara a la OBLIGACIÓN					
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación		
157	\$448,564,693.68	\$1,662,985,071.14	\$43,193,484,296.55		
158	\$431,934,842.97	\$1,679,614,921.85	\$41,513,869,374.70		
159	\$415,138,693.75	\$1,696,411,071.07	\$39,817,458,303.64		
160	\$398,174,583.04	\$1,713,375,181.78	\$38,104,083,121.86		
161	\$381,040,831.22	\$1,730,508,933.60	\$36,373,574,188.27		
162	\$363,735,741.88	\$1,747,814,022.93	\$34,625,760,165.33		
163	\$346,257,601.65	\$1,765,292,163.16	\$32,860,468,002.17		
164	\$328,604,680.02	\$1,782,945,084.79	\$31,077,522,917.38		
165	\$310,775,229.17	\$1,800,774,535.64	\$29,276,748,381.74		
166	\$292,767,483.82	\$1,818,782,281.00	\$27,457,966,100.75		
167	\$274,579,661.01	\$1,836,970,103.81	\$25,620,995,996.94		
168	\$256,209,959.97	\$1,855,339,804.84	\$23,765,656,192.10		
Totales para el año 14					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 14 \$4,247,784,002.17 se irán a INTERESES \$21,090,813,175.59 se abonara a la OBLIGACIÓN					
Mes	Intereses a pagar	Abono a capital	Saldo Obligación		
169	\$237,656,561.92	\$1,873,893,202.89	\$21,891,762,989.20		
170	\$218,917,629.89	\$1,892,632,134.92	\$19,999,130,854.28		
171	\$199,991,308.54	\$1,911,558,456.27	\$18,087,572,398.01		
172	\$180,875,723.98	\$1,930,674,040.83	\$16,156,898,357.18		
173	\$161,568,983.57	\$1,949,980,781.24	\$14,206,917,575.94		
174	\$142,069,175.76	\$1,969,480,589.05	\$12,237,436,986.88		
175	\$122,374,369.87	\$1,989,175,394.94	\$10,248,261,591.94		
176	\$102,482,615.92	\$2,009,067,148.89	\$8,239,194,443.04		

177	\$82,391,944.43	\$2,029,157,820.38	\$6,210,036,622.66		
178	\$62,100,366.23	\$2,049,449,398.59	\$4,160,587,224.07		
179	\$41,605,872.24	\$2,069,943,892.57	\$2,090,643,331.50		
180	\$20,906,433.31	\$2,090,643,331.50	\$-0.00		
Totales para el año 15					
Se pagará \$25,338,597,177.76 por obligación en el año 15 \$1,572,940,985.67 se irán a INTERESES \$23,765,656,192.10 se abonara a la OBLIGACIÓN					

4.7.6 Beneficios con respecto a contaminantes en los T.A.V.

Con respecto al estudio de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles publicado en la revista Transportation Research Record. "Un tren de alta velocidad, bajo condiciones normales de operación y por pasajero transportado, consume menos energía y produce menos emisiones de CO2 (un 29% de promedio) que un tren convencional que se desplace entre los mismos dos puntos a una velocidad inferior", declara Alberto García, autor del estudio. El ingeniero explica que el AVE consume menos por las características intrínsecas del sistema de alta velocidad, "como el perfil de velocidad más homogéneo o que haya menos paradas y curvas en el trayecto". Además, el consumo de los servicios auxiliares (aire acondicionado, iluminación o ventilación) también se reduce directamente con la velocidad. Alberto García destaca que la principal ventaja de una línea de alta velocidad no se deriva de sustituir al tren convencional, sino de su capacidad para atraer una parte importante de los viajeros que utilizan el avión y el coche privado en sus desplazamientos. Menos gases a la atmósfera. El AVE evita la emisión de 3 kg de CO2 por pasajero en relación a otros trenes, pero si se examina en conjunto lo que deja de emitir un viajero que no usa el coche ni el avión esa cifra se eleva hasta los 31 kg de CO2, una cantidad de gas que ya no llega a la atmósfera.

4.8 Ventajas y desventajas en el desarrollo de un T.A.V.

Existen parámetros que definen un proyecto y esto se refiere a las ventajas y desventajas que presenta este mismo ante la comparación de los diferentes sistemas que compiten a diario para dar, en este caso el servicio de transporte.

Por lo tanto existen determinadas estadísticas de los consumos de energéticos, así como datos de los inconvenientes y beneficios que puede aportar determinado sistema de transporte, por lo siguiente presento los siguientes datos.

Tabla 4.7 Consumo equivalente de combustible

Consumo equivalente en litros de gasolina por pasajero*100 km				
Medio de transporte	fuelle	ocupación media real	Consumo real según ocupación media	Consumo teórico para ocupación ficticia al 100%
<u>Metro y Tranvía</u>	BBG	21%	1,7 l	0,4 l
Autobús	BBG	21%	2,7 l	0,6 l
Tren cercanías de <u>DB</u>	FES	30%	2,3 l	0,7 l
Tren regional (RB) de <u>DB</u>	BBG	20%	5,4 l	1,1 l
Regional Exprés (REB) de <u>DB</u>	BBG	20%	4,6 l	0,7 l
IC/EC de <u>DB</u>	BBG	39%	1,9 l	0,7 l
<u>ICE-1+2</u> de <u>DB</u>	FES	47%	2,5 l	1,2 l
<u>ICE-3</u> de <u>DB</u>	FES	65%	1,5-1,75 l	1,0-1,1 l
<u>Renfe Serie 103</u>	(a)	65%	1,7-2,2 l	1,1-1,4 l
<u>TGV</u>	FES	65%	1,6 l	1,0 l
Automóvil	FES	1,7 persona	6,0 l	2,4 l
Avión (250 km)	FES	66%	10,5 l	6,9
Avión (750 km)	FES	66%	6,7 l	4,4

Tabla 4.8 Ejemplo de consumo equivalente desde una estación de servicio AVE

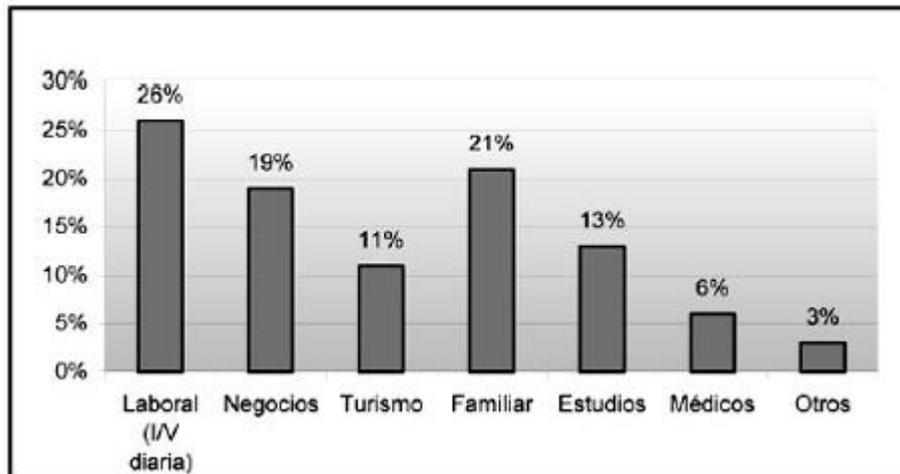
Consumo "equivalente a partir de la estación de servicio" trayecto Madrid-Barcelona (650 km, ocupación 65%, consumos AVE según proyecto)			
Medio de transporte	kWh trayecto completo por pasajero	kWh /100 pkm	Consumo en litros gasolina/100 pkm
AVE 103, v max 300 km/h	99,8	15,4	1,7 l
AVE 103, v max 320 km/h	117,4	18,1	2,0 l
AVE 103, v max 350 km/h	129,6	19,9	2,2 l
Avión (aproximado)			6,3-6,8 l

Un claro ejemplo de los consumos de los trenes de alta velocidad, con respecto al sistema de transporte aéreo

Tabla 4.9 Comparativa en distancias

DISTANCIAS REALES Y DE ACCESO EN DIVERSOS MODOS DE TRANSPORTE															
Todas las distancias en kilómetros	Madrid a Málaga			Madrid a Barcelona			Madrid a Valladolid			Madrid a Sevilla			Madrid a Toledo		
	Tramo urbano		Accesos interurbanos	Tramo urbano		Accesos interurbanos	Tramo urbano		Accesos interurbanos	Tramo urbano		Accesos interurbanos	Tramo urbano		Accesos interurbanos
	coche o bus	tren/avión		coche o bus	tren/avión		coche o bus	tren/avión		coche o bus	tren/avión		coche o bus	tren/avión	
Distancia ortodrómica	417,0			486,0			162,0			396,0			70,0		
Distancia media vuelo	446,2	29,0		528,0	33,0		179,8			448,0	29,0				
Distancia en coche	536,0	7,0		612,5	8,5		211,0	5,0		526,0	7,0		83,0	5,0	
Distancia en autobús	575,0	5,0		614,5	17,5		198,0	3,0		528,0	16,0		70,0	4,0	
Distancia tren convencional	542,0	3,5		707,7	4,5		256,0	2,5		570,8	4,0		90,2	3,0	
Distancia tren alta velocidad	512,0	3,5		627,2	4,5		180,0	7,0		470,5	4,0		75,1	3,0	
Distancia mínima/máxima	0,78	0,82		0,75	0,79		0,70	0,72		0,78	0,83		0,83	0,84	

Tabla 4.10 Datos sobre el beneficio del transporte de alta velocidad, RENFE



Las líneas de alta velocidad suponen un avance tecnológico en el transporte de pasajeros que ha permitido que el ferrocarril recupere cuota de mercado en distancias medias en competencia con el avión y el automóvil privado.

El problema fundamental de la alta velocidad en pasillos de poca densidad de tráfico es la naturaleza de su coste total: muy elevado y poco sensible al volumen de demanda.

Principales ventajas:

- 1.- Desarrollo de un nuevo sistema de transporte para nuestro país
- 2.- Enlace completo en conjunto con los demás sistemas de transporte y vías de comunicación.
- 3.- Descentralización de población
- 4.- Generación de empleos

- 5.- Una vía rápida de comunicaciones y transporte
- 6.- Transporte seguro y de costo promedio de los sistemas de transporte ya existentes.
- 7.- Sistema de transporte dentro de la gama ecológica y de menos índice de contaminantes.
- 8.- Generar una interacción con estados menos desarrollados y con necesidad de vías de comunicación.
- 9.- Desarrollo y crecimiento urbano, económico y social de los estados menos desarrollados que formarían parte del enlace de la ruta.
- 10.- Aprovechar nuestros sistemas de generación e infraestructura, así como nuestros recursos en proyectos para el beneficio de todos los mexicanos.
- 11.- Regresar el servicio de nuestros antiguos sistemas de transporte férreo, que fueron los primeros en desarrollarse en nuestro país, y no solo para caminos y puentes o bien una exclusiva para el sistema aéreo.
- 12.- El probable uso de material de vías actualmente sin ser utilizadas, en lugar de venderlas.
- 13.- El uso de algunos tramos de las antiguas rutas de nuestros ferrocarriles mexicanos para el mismo enlace.
- 14.- Rápida utilización del servicio, como lo fue en el caso del tren Suburbano, el metro de la Ciudad de México, Metrorrey y el tren ligero de Guadalajara.
- 15.- Recuperación de inversión dentro de los parámetros idóneos como en el caso de los trenes ICE, AVE, TGV, Shinkansen y ACELA.
- 16.- Generación de una nueva y mejorada economía para nuestro país, así como la atracción de inversionistas de manera internacional, como sucedió en China, con el único sistema Transrapid en el mundo. El año de su inauguración China entro a ser parte de los países de gran desarrollo.
- 17.- Crear una nueva fuente de empleo hacia la Ingeniería Mecánica Eléctrica, la cuál debe ser la más importante y desarrollada de nuestro país, por ser una de las fuentes con más auge y crecimiento en nuestro país, tanto en generación y distribución.

Como anteriormente enumere, podría mencionar probablemente algunas más ventajas que podrían generarle la realización de un sistema eléctrico de alta velocidad para nuestro país.

La principal desventaja para la realización de un proyecto con estas dimensiones, sin lugar a dudas será el costo del mismo, lo que siempre será el primer obstáculo a resolver y poder llevar a cabo este sistema eléctrico de alta velocidad. En el año 2006 se hizo el primer intento de realizar un proyecto con estas características, tratando de enlazar la Ciudad de México y la Ciudad de Guadalajara. Sin embargo el coste estimado por cada kilómetro aproximadamente de 8 millones de dólares, genero el primer rechazo total hacia el proyecto.

3. Conclusiones

Las grandes ciudades se caracterizan por conflictos viales debidos a la elevada demanda de transporte e intensa actividad económica. El Distrito Federal inició el siglo XX con aproximadamente 540 mil habitantes y 800 vehículos para satisfacer su demanda de transporte. Para 1953 la población se había incrementado a 3,5 millones y en 1960 la cifra superaba los 4,5 millones. Para 1964 había una fuerte tendencia hacia los 5 millones de habitantes en contraste con las 7 200 unidades de transporte público que circulaban por la capital (casi un 40% de los viajes totales se hacían en el centro de la ciudad).

Existen antecedentes poco documentados sobre las propuestas de trenes metropolitanos en la Ciudad de México: estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México, en 1958, presentaron el proyecto de un monorraíl para la Ciudad de México como tema de tesis; en 1960 Vicente S. Pedrero y Ramón C. Aguado presentaron al Departamento del Distrito Federal estudios de factibilidad para la construcción de un monorraíl; y en 1965 José María Fernández desarrolló un proyecto para la construcción de un sistema de transporte elevado y subterráneo.

El ingeniero Bernardo Quintana Arriola (1919-1984), fundador de la empresa mexicana Ingenieros Civiles y Asociados, SA de CV, hoy Empresas ICA, SAB de CV, elaboró estudios que permitieron la creación de un anteproyecto, y posteriormente un proyecto, para la construcción de un sistema de transporte masivo en la Ciudad de México. La propuesta del proyecto se presentó en 1958 a Ernesto P. Uruchurtu, Regente de la Ciudad de México de 1952 a 1966, quien la rechazó al considerarla económicamente costosa.

Además, el 28 de julio de 1957, un sismo de 7 grados en la escala Richter dañó diversos edificios del centro de la ciudad, hecho que provocó la desconfianza entre las autoridades para construir proyectos de grandes dimensiones como el presentado por Quintana.

Quintana presentó nuevamente su proyecto de transporte en el sexenio de Gustavo Díaz Ordaz, Presidente de México de 1964 a 1970. De nueva cuenta el obstáculo resultó el costo elevado de la obra. Gustavo Díaz Ordaz decidió aprovechar el acercamiento del presidente francés Charles de Gaulle hacia Latinoamérica. Alex Berger, empresario francés, entonces esposo de la actriz María Félix, amigo de Quintana, fungió como mediador entre los gobiernos francés y mexicano para la obtención del crédito. Como resultado de la negociación el gobierno mexicano cubrió el costo de la obra civil, estudios de geotecnia, diseño de estaciones, entre otros, y el gobierno francés la obra electromecánica. La obra tuvo un costo total de MXP\$ 2 530 millones, de los cuales, MXP\$ 1 630 millones provinieron del crédito francés y MXP\$ 900 millones por parte del Departamento del Distrito Federal.

El 29 de abril de 1967 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto presidencial que crea el Sistema de Transporte Colectivo, organismo público descentralizado, para construir, operar y explotar un tren rápido subterráneo como parte del transporte público del Distrito Federal.

Se me hizo importante comenzar mi conclusión con uno de los antecedentes de la construcción de sistema eléctrico del tren metropolitano de la Ciudad de México, ya que fue precisamente con un tema de Tesis de nuestra Universidad para obtener el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico.

Mi trabajo de tesis, fue el formar un criterio informativo, descriptivo y analítico sobre el desarrollo de los sistemas de transporte eléctrico en el mundo y en nuestro país. Desarrollar una posible ruta, que sin lugar a dudas sería el inicio de una nueva economía hacia el país, así como darle un desarrollo al 100% a nuestros estados, y crear así una economía más equilibrada, y el comienzo de una nueva sociedad más comunicada entre sí como sucedió en los años del Porfiriato.

Es totalmente necesario construir vías de comunicación y transporte para desarrollar a nuestra sociedad, economía, cultura y tecnología.

Si solo se desarrolla un solo Estado, una sola entidad sin los medio de transporte necesarios, es imposible hacer crecer a los demás estados. A mi criterio el decreto del 95 fue uno de los errores más grandes desapareciendo por completo el servicio a pasajeros.

El problema en general no solo de nuestro país, sino de todas las naciones donde ingenieros intentan generar un nuevo sistema en este caso de transporte eléctrico, la inversión siempre será un obstáculo, siempre generará controversias, desacuerdos por el costo de los proyectos, sin embargo siempre se demuestra al final, el desarrollo en general de una nación, de los ingresos que genera, así como su crecimiento del mismo proyecto para satisfacer la demanda, que se incrementa a la par del desarrollo de la entidad. Como la cifra de pasajeros de tan solo el 2009 con respecto al metro de la Ciudad de México (Pasajeros 1 414 907 798).

Espero formar una idea por lo menos de la grandeza y desarrollo que podría crear un sistema eléctrico de alta velocidad en nuestro país.

Esta idea sea pionera o no, pueda complementar otras para el desarrollo de un nueva nación, un sistema que pueda comunicar con diferentes estados, desde una estación del metro de nuestra Ciudad de México, de Guadalajara o Monterrey.

México tiene las condiciones fiables y rentables para crear un proyecto con estas dimensiones, inclusive somos parte del sector industrial de los materiales que se necesitan, como productores a nivel mundial de la energía que se necesita.

CFE puede ser la mano para desarrollar este proyecto, Ferromex, y el gobierno, así también empresas privadas como CAF (española), Bombardier (canadiense) y Alstom (francesa), quienes han invertido durante años en proyectos de sistemas de transporte eléctrico en nuestro país.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México tiene la obligación de realizar licitaciones con diferentes empresas de alta velocidad, para poder realizar los estudios necesarios, para poder llevar a cabo nuevos sistemas de transporte, en este caso de alta velocidad, para poder seguir generando mejores vías de comunicación, ya que un proyecto como el de unir las ciudades más importantes, como el caso del 2006 sobre el enlace de Ciudad de México – Guadalajara, simplemente quedo cancelado unos meses después del primer estudio al saber que sería un costo de ocho millones de dólares por cada kilómetro, lo que significaría una inversión por casi cuatro mil 800 millones de dólares.

Sin embargo al igual que en nuestro antecedente del sistema del metro de la Ciudad de México, es importante el seguir buscando las mejores opciones e inversionistas, sin violar nuestra constitución, para poder llevar a cabo un proyecto de trenes de alta velocidad.

En base a los informes entregados por el Ambientalista Internacional, Lester R. Brown, en su libro “Movilizing to save civilization”, nos menciona:

“La producción de petróleo está a punto de llegar a su punto máximo”.

“Pronto no habrá petróleo suficiente para permitir un aumento de la flota automovilística mundial en la línea de la de EE.UU, ni tan siquiera para sostener la flota estadounidense. Las crisis petroleras son hoy en día un riesgo de seguridad de primer orden. Y Estados Unidos, donde un 88% de los 133 millones de trabajadores se desplazan en coche a su lugar de trabajo, se encuentra en una situación peligrosamente vulnerable”.

”Más allá del deseo de estabilizar el clima, los conductores tienen que afrontar situaciones de paralización y congestión del tráfico, que generan frustración y a la vez elevan los costes de las empresas. En Estados Unidos, el tiempo medio empleado por los trabajadores para desplazarse al trabajo ha aumentado permanentemente desde principios de los 80. El automóvil prometía movilidad pero, visto el número creciente de automóviles en un mundo cada vez más urbanizado, actualmente proporcionan lo contrario: inmovilidad”.

“En Estados Unidos, la necesidad tanto de recortar las emisiones de carbono como de prepararse para los menguantes suministros de petróleo requiere un giro en las inversiones desde las carreteras y autopistas a las vías férreas”.

Es necesario comprender la necesidad que tiene nuestro país, en enfocar inversiones para el impulso al desarrollo de nuevos sistemas de transporte eléctrico y no solo por mejorar los sistemas de comunicación, si no en contemplar todas las necesidades que demandan una inmediata atención, como el caso de la polución atmosférica de la Ciudad de México, el crecimiento de la demanda de combustibles, así como el máximo incremento de automóviles en nuestras zonas urbanas, entre otras.

Deseo que este trabajo genere un interés más allá de lo analítico y descriptivo, hacia un interés social y pueda servir como iniciativa a una nueva era de sistemas de comunicación para México y toda Latinoamérica.

Este trabajo me permitió conocer y despedirme de mi parte académica de Licenciatura con tan sólo uno de los subtemas de la Ingeniería Mecánica Eléctrica, que se encuentra actualmente en desarrollo, así también el profundizar en uno de los temas que en un futuro no muy lejano, tomará un puesto primordial en el desarrollo de nuestros Sistemas de Transporte Eléctrico.

4. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, David. “Vivir lejos implica alto costo para las familias”, Artículo por el periódico “El Universal”, Martes 11 de Mayo del 2010.
2. Álamos Hernández, Juan A. “CONDUCTORES ELECTRICOS”, Apuntes de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Portal para investigadores y profesionales, El Prisma.
3. Alameda, David. “TRENES DE ALTA VELOCIDAD”, Curso técnico emagsiter.com, Elaboración propia EFE, elmundoes.com.
4. Biello, David. “TECNOLOGÍA MAPAS DEL FUTURO: TRENES DE ALTA VELOCIDAD, POR DENTRO Y POR FUERA”, Rosen publishing book, Inc. New York. Pag 6-43.
5. Bratu, Neagu. “TRENES ELÉCTRICOS”, Universidad Autónoma Metropolitana, 1ª ed. México. Colección Ciencia y Tecnología 1991, 229pp.
6. Brown, Lester. “Mobilizing to save civilization”, Capítulo 11 “Raising Energy Efficiency”, New York: W.W Norton & Company, 2008.
7. Castellano, M (2003). «Tracing the characteristics of a flux qubit with a hysteretic dc-superconducting quantum interference device comparator» *Journal of Applied Physics*. Vol. 94. pp. 7935. DOI 10.1063/1.1628382
8. Crespo, Carlos. “VÍAS DE COMUNICACIÓN: Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos” 4ª.ed. México. Editorial Limusa, 2010, 756pp.
9. Degrande G. & Lombaert G. “ENVIROMENTAL VIBRATIONS (Prediction, Monitoring, Mitigation and Evaluating)” ISEV 2005, Editorial Taylor & Francis Group, London 2005. Departament of Civil Engineering, K.U. Leuven, Kasteelpark Arenberg, Leuven Belgium. Pp. 291-301
10. Estrada, Rafael. “PROYECTO FINAL DE CARRERA, FERROCARRILES, bajo la dirección de Emilio Larrodé Pellicer, profesor del Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, del Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza, España. Últimas modificaciones y puesta a punto para su publicación en la red por Jesús María Velasco Sáenz.
11. García, José Antonio E., “QUE SON LOS CONDUCTORES, AISLANTES Y SEMICONDUCTORES”, ASIFUNCIONA S.L. C.I.F. 2004-2008, Madrid, España.

12. De Rus, Gines, “ANÁLISIS COSTE – BENEFICIO DEL TREN DE ALTA VELOCIDAD EN ESPAÑA”, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, REVISTA DE ECONOMÍA APLICADA, No. 3, vol. 1, 1993, pp. 27 – 48.
13. He, X. & Yamaguchi. “ENVIROMENTAL VIBRATIONS (Prediction, Monitoring, Mitigation and Evaluating)” ISEV 2005, Editorial Taylor & Francis Group, London 2005. Graduate School of Science and Technology, Kobe University, Kobe, Japan. Pp 317-325
14. Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA) y Consejo superior de Investigaciones Científicas (CSIC), “MATERIALES SUPERCONDUCTORES”, FOLLETO INFORMATIVO.
15. Karlstrom A. & Bostrom A. “ENVIROMENTAL VIBRATIONS (Prediction, Monitoring, Mitigation and Evaluating)” ISEV 2005, Editorial Taylor & Francis Group, London 2005. Division of Dynamics, Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, Guteborg, Sweden. Pp 303-309.
16. London F. and London H. (1935). «The Electromagnetic Equations of the Supraconductor» *Proceedings of the Royal Society A*. Vol. 149. n. ° 866. pp. 71-88. DOI 10.1098/rspa.1935.0048
17. Llorens Jose, y Rayo Angel. “GEC ALSTHOM HA UNIDO LA TECNOLOGÍA Y LA FUNCIONALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DEL METRO EN VALENCIA”. Documento informativo Dyna No.-7, Octubre 1995.
18. Lu, J., Xia, H. & Cao Y.M. “ENVIROMENTAL VIBRATIONS (Prediction, Monitoring, Mitigation and Evaluating)” ISEV 2005, Editorial Taylor & Francis Group, London 2005. School of Civil Engineering & Architecture, Beijing Jiatonong University, Beijing, China. Pp 311-316
19. Magaña, Luis Fernando, “LOS SUPERCONDUCTORES”, Colección la ciencia desde México, No.64, Fondo de la cultura Económica
20. Molinero, Ángel R., “TRANSPORTE PÚBLICO: PLANEACIÓN, DISEÑO, OPERACIÓN Y ADMINISTRACIÓN”, Universidad Nacional Autónoma del Estado de México.
21. Navarro, Horacio y Baquero Rafael, “IDEAS FUNDAMENTALES DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD”, Ed. Aula Magna, México 1977, UNAM 2007.

22. Perren, Gabriel, “ESTUDIO DE LAS APLICACIONES PRÁCTICAS DE LA LEVITACIÓN MAGNÉTICA (TRENES MAGLEV)”, Trabajo de investigación.
23. Pezeshki H. y Kitamura Y. “ENVIROMENTAL VIBRATIONS (Prediction, Monitoring, Mitigation and Evaluating)”ISEV 2005, Editorial Taylor & Francis Group, London 2005. Department of Civil Engineering, Kobe, Japan and Cosntruction Engeeniering Research Institute Foundation, Kobe University, Kobe, Japan. Pp 327-332
24. Rodríguez, Paco. “RAÍLES VIRTUALES 3D”, “MODELOS 3D DE LA CATENARIA RENFE CR160”, para el simulador Aura Trainz, Vías simples y dobles, versión 1.2, 2007. <http://personal.auna.com/railesv/catenaria.htm>.
25. Sears, Francis W. y Freedman, Roger A. “FISICA UNIVERSITARIA”, Pearson Educación, Undécima edición, México 2004. Pp134.
26. Stephenson, George E. “TECNOLOGÍA DE LA ENERGÍA”, Editorial Diana México, Segunda edición, México Abril de 1981, Sección II Motores de combustión Interna, Unidad 13, Motores diesel, pp. 146-151
27. Tippens, Paul E. “FISICA, CONCEPTOS Y APLICACIONES”, McGrawHill, séptima edición, México 2007, pag 542-544.
28. Yang, Yau. “WORLD SCIENTIFIC SINGAPURE 2004”. Editorial World Scientific, Singapure 2004, Capítulo 10 “Vehicle- Rails-Bridge Interaction Dynamic (with applications to high speed railways)”. Pp 311-408.
29. Zhang Y. Q & Chen W. “ENVIROMENTAL VIBRATIONS (Prediction, Monitoring, Mitigation and Evaluating)”ISEV 2005, Editorial Taylor & Francis Group, London 2005. College of Civil Engineering, Shijazhuang Railway, China. Pp 333-336.

Páginas de Internet consultadas para información e imágenes

1. www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Diesel_locomotive
2. " Steam locomotive nomenclature *""Description:"" *""Author:"" Panther *""Created:"" 27 Aug 2005 *""Source:"" Drawn by Panther using Corel Draw! *""Licence:"" GFDL {{GFDL}} Category: Steam locomotive)
3. http://es.wikipedia.org/wiki/Locomotoras_de_vapor
4. Página www.ferroclubchile.cl/
5. Union Pacific Railroad, BUILDING AMERICA sitio web:
<http://www.up.com/>
6. <http://www.cps.unizar.es/~transp/Ferrocarriles/>
7. <http://www.asifunciona.com>.
8. <http://usuarios.multimania.es/historiaferrocarril/index.htm>
9. <http://www.transporte.gob.ar/html/ferrovias/revision/anexo%204%20adjunto%20d%20compra%20locomotora%20diesel-electrica%20usada.pdf>
10. <http://www.morgan.iiia.unam.mx/usr/Industrial2/BOL%207/ARTICULOS/GOMEZ%20PEREZ.HTML>
11. www.ensubasta.com.mx/locomotora_a_diesel.htm
12. <http://www.trenak.com/diccionario-ferroviario/catenaria>
13. <http://members.fortunecity.es/100pies/mecanica/electricidadcomponentes1.htm>
14. http://www.tudiscovery.com/guia_tecnologia/tecnologia_movilidad/ferrocarril/index.shtml
15. <http://www.mexicomaxico.org/Tranvias.htm>
16. <http://www.ste.df.gob.mx/antecedentes/trenligero1.html>
17. <http://www.oem.com.mx/esto/notas/n838115.htm>
18. www.siemens.cl/ts/images/electrificacion.jpg
19. www.grijalvo.com/.../Esquema_locomotora.jpg
20. es.dofollow.be/wiki/Trolebús
21. http://www.trolebus.gov.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=93&Itemid=120

22. http://farm4.static.flickr.com/3370/3424520523_90d64a8c74.jpg
23. http://es.wikipedia.org/wiki/Metro_%28sistema_de_transporte%29
24. http://www.grupoalianzaempresarial.com/alstommexicanasadecv_e_131711.htm
25. http://www.o-zoners.com/eurodriver/demo_it.html
26. www.adif.es
27. http://es.wikipedia.org/wiki/Tren_ligero
28. <http://www.estaciontorreon.galeon.com/productos627821.html>
29. http://www.thyssenkrupp-transrapid.de/download/it_spanish.pdf
30. <http://martcano.blogspot.com/2005/11/tren-bala-mxico-guadalajara.html>
31. <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/230675.cancela-sct-el-tren-bala-mexico-guadalajara.html>
32. <http://www.voltimum.es/search/calculo+catenarias.html>
33. www.elmundoes.com
34. www.emagister.com
35. <http://personal.auna.com/railesv/catenaria.htm>
36. https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/mobility/operadores_ferrovianos/Pages/material_movil.aspx
37. https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/drive_tech/motores/Pages/catalogosFolletos.aspx
38. <http://www.alstom.com/home/>
39. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=18250484>
40. http://spz.logout.cz/vozidla/680/680_cd.html
41. <http://mosingenieros.blogspot.com/2010/02/talgo-avril-el-tren-de-alta-velocidad.html>
42. http://aplicaciones4.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta
43. http://www.elpais.com/articulo/economia/Cruzar/peninsula/Alta/Velocidad/46/euros/elpepueco/20071128elpepueco_2/Tes
44. <http://www.sanmiguelguide.com/cambio.htm>
45. <http://www.renfe.com/>
46. <http://ave-renfe.edreams.es/general/%C2%BFcomo-se-construye-el-tendido-del-ave/>

47. <http://www.ferrofe.com.ar/fronterasyciencia.htm>
48. <http://www.textoscientificos.com/fisica/transmision-energia/lineas-alta-tension>
49. <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno07/FACTS/FACTS.htm>
50. <http://www.aiu.edu/publications/student/spanish/SUBESTACIONES-ELECTRICAS.html>
51. http://es.wikipedia.org/wiki/Consumo_de_energ%C3%ADa_del_tren_y_de_otros_medios_de_transporte
52. <http://www.sebyc.com/foros/viewtopic.php?t=5801&sid=1e9115bc6c44f46b029640d37d6dcc57>
53. <http://www.scribd.com/doc/25890008/La-electrificacion-ferroviaria> T.A.V
54. <http://www.vialibre-ffe.com/noticias.asp?not=1256&cs=alta> DATOS
55. <http://www.cuerpo8.es/STOL/tecnico/STOLTcat220.html> CATENARIA
56. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=16762402> IMA
57. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=7490585> Pave
58. <http://app.cfe.gob.mx/Informeannual2009/5.4.html>
59. http://ferrocarriles.wikia.com/wiki/Costos_de_construcci%C3%B3n_de_infraestructura#Costos_indicativos_a_partir_de_la_LAV_Madrid-Valladolid
60. <http://informe21.com/exito-tecnologico/red-trenes-alta-velocidad-mas-grande-europa-apuesta-espana-crisis>
61. http://www.elsemanario.com.mx/news/news_display.php?story_id=2675
62. http://www.eluniversal.mx/tudinero/vi_2936.html
63. <http://www.earth-policy.org/>
64. <http://www.terra.org/articulos/art02262.html>
65. <http://html.rincondelvago.com/amortizacion-de-prestamos.html>
66. http://www.pymesfuturo.com/amortizacion.php?form_complete=1&sale_price=175937840000+&year_term=180&annual_interest_percent=12&show_progress=1
67. <http://estrategiaynegocios.net/tecnologia/Default.aspx?option=14878>