

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

10.9.123 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN



Secretaría de
Comunicaciones y
Transportes
Dirección General de Transporte
Ferroviario y Multimodal

ELABORACIÓN DE LOS "ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN, RELACIONADOS CON EL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA, FINANCIERA, LEGAL Y AMBIENTAL, ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVICIO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

NUMERO DE CONTRATO: DGTFM-21-12

NOMBRE DEL CONTRATO: Elaboración de los estudios de pre-inversión, relacionados con el análisis de factibilidad técnica, económica, financiera, legal y ambiental, análisis costo-beneficio, anteproyecto y proyecto ejecutivo para el servicio de transporte masivo de pasajeros en la modalidad de tren ligero entre los municipios de Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque, Jalisco.

TITULO DE DOCUMENTO: ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN.

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

ENTREGA FINAL PROYECTO EJECUTIVO

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

	Nombre	
Autorizado SCT - DGTFM	Lic. Roberto Chico Perez Director General Adjunto de Regulación Económica	
Revisado SCT - DGTFM	Lic. Cecilia Loaiza Cisneros Jefe del Departamento de Finanzas y Fideicomisos de proyectos Ferroviarios	
Realizado por: SENERMEX Ingeniería y Sistemas S.A. de C.V	Ing. Cesar Quevedo Galvan Director de Proyecto	
Realizado por: TRANSCONSULT Consultoría en Tránsito y Transporte S.C.	Ing. Gregory Narce Gerente de Estudios de Movilidad y Mercado	

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

6

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se presenta los trabajos asociados al Estudio de Simulación de Tracción del Metro Ligero del Corredor Diagonal de Guadalajara.

Este documento está conformado por los siguientes documentos técnicos:

- DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 Estudio de Simulación de Tracción.



SENERMEX Ingeniería y Sistemas SA de CV



Consultoría en Tránsito y Transportes SC

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100

Estudio de Simulación de Tracción de la Línea

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN



Secretaría de
Comunicaciones y
Transportes
Dirección General de Transporte
Ferroviario y Multimodal
14/08/2013

ELABORACIÓN DE LOS "ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN, RELACIONADOS CON EL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA, FINANCIERA, LEGAL Y AMBIENTAL, ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVICIO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	6
2. OBJETO DEL DOCUMENTO	8
3. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA	9
3.1. NORMATIVA	9
3.2. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE SIMULACIÓN	9
3.2.1. <i>El software de simulación eléctrica</i>	9
3.2.2. <i>Proceso de simulación de tracción eléctrica</i>	10
3.2.3. <i>Metodología para realizar la simulación de tracción eléctrica</i>	12
4. DATOS DE PARTIDA	16
4.1. SIMULACIÓN DE MARCHA	16
4.2. SIMULACIÓN DE FLOTA	19
4.3. ELEMENTOS DE LA RED DE TRACCIÓN	21
4.3.1. <i>Subestaciones de rectificación</i>	21
4.3.2. <i>Catenaria y riel</i>	22
4.4. CRITERIOS GENERALES DE TRACCIÓN	23
4.4.1. <i>Tensión en catenaria</i>	23
4.4.2. <i>Tensión riel – tierra</i>	24
4.4.3. <i>Potencia de grupos transformadores rectificadores</i>	24
4.4.4. <i>Criterios de aceptación</i>	25
5. RESULTADOS OBTENIDOS	26
5.1. SITUACIÓN NORMAL DE EXPLOTACIÓN	26
5.1.1. <i>Tensión en el tren</i>	26
5.1.2. <i>Potencia en las subestaciones de rectificación</i>	27
5.1.3. <i>Tensión en catenaria</i>	32

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

5.1.4.	<i>Tensión riel - tierra</i>	33
5.1.5.	<i>Corriente en catenaria</i>	34
5.1.6.	<i>Corriente en riel</i>	35
5.1.7.	<i>Corrientes en feeders</i>	36
5.2.	SITUACIÓN DEGRADADA 1	38
5.2.1.	<i>Tensión en el tren</i>	38
5.2.2.	<i>Potencia en las subestaciones de rectificación</i>	39
5.2.3.	<i>Tensión en catenaria</i>	43
5.2.4.	<i>Tensión riel - tierra</i>	44
5.2.5.	<i>Corriente en catenaria</i>	45
5.2.1.	<i>Corriente en riel</i>	46
5.2.1.	<i>Corrientes en feeders</i>	47
5.3.	SITUACIÓN DEGRADADA 2	50
5.3.1.	<i>Tensión en el tren</i>	50
5.3.2.	<i>Potencia en las subestaciones de rectificación</i>	51
5.3.3.	<i>Tensión en catenaria</i>	55
5.3.4.	<i>Tensión riel - tierra</i>	56
5.3.5.	<i>Corriente en catenaria</i>	57
5.3.1.	<i>Corriente en riel</i>	58
5.3.1.	<i>Corrientes en feeders</i>	59
5.4.	SITUACIÓN DEGRADADA 3	62
5.4.1.	<i>Tensión en el tren</i>	62
5.4.2.	<i>Potencia en las subestaciones de rectificación</i>	63
5.4.3.	<i>Tensión en catenaria</i>	67
5.4.4.	<i>Tensión riel - tierra</i>	68
5.4.5.	<i>Corriente en catenaria</i>	69
5.4.1.	<i>Corriente en riel</i>	70
5.4.1.	<i>Corrientes en feeders</i>	71
5.5.	SITUACIÓN DEGRADADA 4	74
5.5.1.	<i>Tensión en el tren</i>	74
5.5.2.	<i>Potencia en las subestaciones de rectificación</i>	75

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

5.5.3.	<i>Tensión en catenaria</i>	79
5.5.4.	<i>Tensión riel - tierra</i>	80
5.5.5.	<i>Corriente en catenaria</i>	81
5.5.1.	<i>Corriente en riel</i>	82
5.5.1.	<i>Corrientes en feeders</i>	83
5.6.	SITUACIÓN DEGRADADA 5	86
5.6.1.	<i>Tensión en el tren</i>	86
5.6.2.	<i>Potencia en las subestaciones de rectificación</i>	87
5.6.3.	<i>Tensión en catenaria</i>	91
5.6.4.	<i>Tensión riel - tierra</i>	92
5.6.5.	<i>Corriente en catenaria</i>	93
5.6.1.	<i>Corriente en riel</i>	94
5.6.1.	<i>Corrientes en feeders</i>	95
5.7.	SITUACIÓN DEGRADADA 6	98
5.7.1.	<i>Tensión en el tren</i>	98
5.7.2.	<i>Potencia en las subestaciones de rectificación</i>	99
5.7.3.	<i>Tensión en catenaria</i>	103
5.7.4.	<i>Tensión riel - tierra</i>	104
5.7.5.	<i>Corriente en catenaria</i>	105
5.7.1.	<i>Corriente en riel</i>	106
5.7.1.	<i>Corrientes en feeders</i>	107
5.8.	SITUACIÓN DEGRADADA 7	110
5.8.1.	<i>Tensión en el tren</i>	110
5.8.2.	<i>Potencia en las subestaciones de rectificación</i>	111
5.8.3.	<i>Tensión en catenaria</i>	115
5.8.4.	<i>Tensión riel - tierra</i>	116
5.8.5.	<i>Corriente en catenaria</i>	117
5.8.1.	<i>Corriente en riel</i>	118
5.8.1.	<i>Corrientes en feeders</i>	119
5.9.	RESUMEN DE RESULTADOS	121
5.10.	BALANCE ENERGÉTICO DE LA LÍNEA	122

6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	125
6.1. ESCENARIO PREVIO DE EXPLOTACIÓN	125
6.2. ESCENARIO FUTURO DE EXPLOTACIÓN	128
7. RESUMEN EJECUTIVO	132
8. CONCLUSIONES	134
8.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	134
8.2. PROPUESTA DE DISEÑO	135
8.2.1. <i>Subestaciones rectificadoras</i>	135
8.2.2. <i>Catenaria y riel</i>	137
8.2.3. <i>Descargadores de intervalo y pararrayos</i>	138
8.2.4. <i>Subestaciones reversibles</i>	138
8.2.5. <i>Análisis de sensibilidad</i>	139

1. ANTECEDENTES

En este capítulo se lleva a cabo el estudio de simulación de tracción correspondiente al Corredor Diagonal de Guadalajara (CDG).

El Corredor Diagonal de Guadalajara (CDG) discurre entre los municipios Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque, en el Estado de Jalisco; cuenta con una longitud de 21.126 km y discurre entre las estaciones de Periférico Zapopan y Central de Autobuses.

El trazado cruza en diagonal los municipios mencionados, siendo el 26 % del trazado en subterráneo (5,5 km), cruzando el centro histórico de Guadalajara, y el resto (15,6 km), viaducto elevado.

La ciudad de Guadalajara dispone en la actualidad de dos líneas de Metro en servicio, L1 y L2; la nueva línea CDG dispondrá de estaciones de correspondencia con dichas líneas existentes.

El corredor dispone de un total de 18 estaciones, 5 subterráneas y 13 aéreas sobre viaducto. En el extremo sur, se dispondrá de las instalaciones de Talleres y Depósito para la línea.

La capacidad objetivo de la línea es de 20.000 pphps, siendo el material móvil prevista tipo Metro Ligero.

En cuanto la alimentación eléctrica, se prevé en los extremos de la línea sendas SEAT (Subestaciones Eléctricas de Alta Tensión) conectadas a 230 kV; mediante transformación 230/23 kV generarán una red propia e interna a 23 kV para alimentar los diferentes consumidores existentes a lo largo de la línea (subestaciones de rectificación SR y subestaciones de alumbrado y fuerza SAF, en estaciones y Talleres y Depósitos).

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

En la siguiente figura se representa el esquema de la línea:



Figura 1 Esquema del Corredor Diagonal de Guadalajara (CDG)

2. OBJETO DEL DOCUMENTO

El presente documento realiza la Simulación Eléctrica de Tracción, con el objetivo de diseñar el esquema de electrificación de la línea, en cuanto a número de subestaciones de rectificación (SR), ubicación, configuración y potencia,

Asimismo debe permitir dimensionar correctamente los conductores del sistema de catenaria y del circuito de retorno.

Se ha procedido a simular la red ferroviaria con el sistema de electrificación mediante el Simulador de Redes Ferroviarias STElec, desarrollado por SENER y descrito brevemente en posteriores apartados.

3. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

3.1. NORMATIVA

EN 50163	Aplicaciones ferroviarias. Tensiones de alimentación de redes de tracción
UIC 600	Tracción eléctrica con cable de contacto aéreo.
EN 50329	Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Transformadores de tracción.
CEI 60913	Líneas aéreas de tracción eléctrica.

3.2. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE SIMULACIÓN

3.2.1. El software de simulación eléctrica

En el diseño de redes ferroviarias, en la actualidad tiene cada vez más importancia maximizar la capacidad de transporte, la seguridad y el confort, a la vez que minimizar los costes de construcción y de explotación asociados. Por ese motivo, en la actualidad resulta de gran interés la utilización de herramientas de diseño y dimensionado avanzadas que faciliten la labor de análisis de alternativas posibles y definición de la solución óptima, para cada uno de los sistemas que componen el Proyecto Ferroviario: infraestructura y vía, electrificación, señalización, comunicaciones y material móvil.

El objetivo básico del simulador de sistemas de electrificación ferroviaria STElec es la optimización del diseño y dimensionado del sistema de tracción eléctrica, formado por las subestaciones de tracción eléctrica y la línea aérea de contacto, en cualquier tipo de línea ferroviaria de las existentes en la actualidad: metro, metro ligero (tranvía), ferrocarril convencional y alta velocidad, con el fin de asegurar un correcto suministro eléctrico al material móvil minimizando la inversión necesaria.

STElec está capacitado para simular cualquier red de tracción eléctrica, al disponer de un módulo de cálculo en sistemas de electrificación en corriente continua y otro en corriente alterna. Así pues, se pueden simular tanto redes de tranvías y metropolitanos ligeros, ferrocarriles metropolitanos, ferrocarriles convencionales y ferrocarriles de velocidad alta, con rangos de tensiones comprendidos

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

típicamente entre los 750 Vcc y los 3000 Vcc, como redes de alta velocidad (AVE, TGV...) electrificados en corriente alterna con los sistemas de 1x25 kVac o 2x25 kVac.

STElec dispone, además, de una serie de menús que permiten parametrizar totalmente la red de tracción eléctrica, a nivel de tecnologías utilizadas, configuraciones eléctricas, esquemas de conexiones, etc., para cada uno de los sistemas que intervienen en la red de tracción: subestaciones de tracción; línea aérea de contacto (catenaria) y retorno de corriente; red de alimentación en Alta Tensión. En consecuencia, STElec es una herramienta óptima para modelizar y simular, de forma totalmente fiable, el comportamiento de cualquier red ferroviaria.

3.2.2. Proceso de simulación de tracción eléctrica

El proceso de simulación desarrollado con el software de simulación de tracción eléctrica STElec de SENER, se basa en la ejecución secuencial de los siguientes módulos:

- Simulación de marcha.
- Simulación de flota.
- Simulación eléctrica.

Simulación de Marcha

Esta simulación tiene por objeto estudiar el comportamiento de un vehículo a lo largo de una línea y en base a los parámetros de explotación que se hayan definido, obteniéndose de ella resultados tales como: tiempos de recorrido, velocidades medias y comerciales, aceleraciones y frenados, potencias consumidas (mecánicas en llanta y eléctricas en pantógrafo), energías consumidas y regenerables, etc.

Simulación de Flota

A partir de los criterios de explotación, tales como horarios, frecuencias para las distintas franjas horarias, etc., el programa genera un "mapa de vehículos" que contiene la evolución temporal de los trenes a lo largo de la línea, indicándose su ubicación (PK), velocidad, aceleración, etc., así como su potencia demandada / regenerada.

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

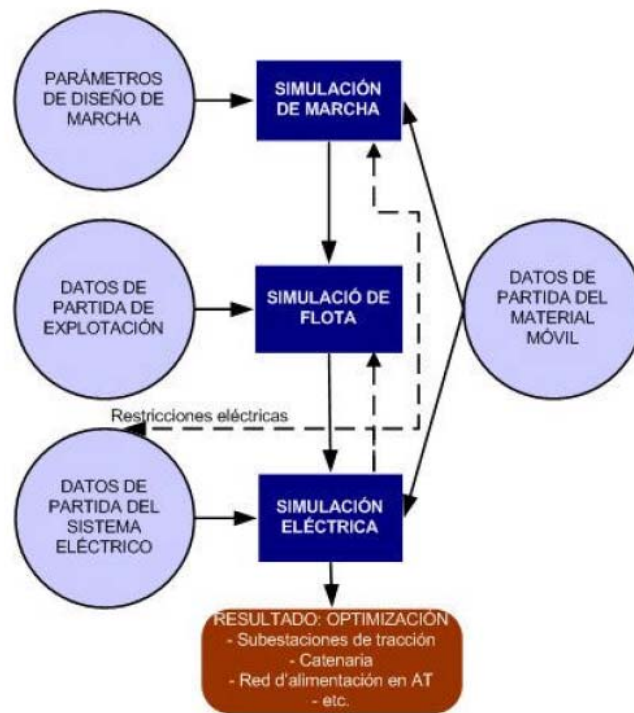


Figura 2 Proceso de simulación de tracción

Simulación Eléctrica

A partir de los resultados de potencias eléctricas demandadas / regeneradas de cada tren obtenidos de la simulación de flota, se realiza una superposición de todos ellos sobre la base de la red de suministro eléctrico modelizado (catenaria y carril, subestaciones, red de distribución de media tensión, etc.) y se simula la circulación de corrientes por la catenaria y su demanda a las subestaciones de tracción.

Como resultado de esta simulación se obtienen valores tales como: intensidades de corriente máximas por catenaria, tensiones mínimas en catenaria, intensidades y potencias demandadas en las subestaciones, potencias regeneradas directamente (entregadas de unos vehículos a otros), energías acumuladas en volantes de inercia o en baterías de condensadores o devueltas a la red, índice de regeneración de energía, etc.

3.2.3. Metodología para realizar la simulación de tracción eléctrica

Modelización de la línea

Cada línea objeto de simulación debe modelizarse en primer lugar. La modelización consiste en definir todos los parámetros necesarios para el estudio de la línea de una forma simplificada y permitir así un análisis lo más eficiente y ajustado posible.

Asimismo el material móvil debe modelizarse en base a sus características generales, mecánicas y eléctricas.

Simulación de marcha de trenes

Conocidas las características de la línea y del material móvil que circulará por ella, se deben definir una serie de parámetros que condicionarán la marcha de los trenes, como los valores máximos y mínimos que determinan las condiciones de circulación y parámetros de explotación necesarios (tiempo de parada en estaciones, tiempo para inversión de marcha, etc.) y otros condicionantes externos (limitaciones de velocidad en estación, etc.).

En base a los parámetros anteriores, se simula la circulación de cada tipo de tren desde el inicio al final de la línea.

Simulación de flota

La definición de los parámetros de explotación permitirá simular el funcionamiento real de la línea, con superposición de tantos trenes como sean necesarios. Será necesario conocer:

- Intervalos de circulación para cada perfil de vehículo en: hora punta, hora valle, etc. (s).
- Tiempo total de simulación (s).

El resultado de la simulación de flota se puede representar gráficamente con la denominada malla de circulaciones, que representa la posición (x) – instante (y) de cada uno de los trenes que circulan por la línea.

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Elementos de la red de tracción

Para realizar la simulación eléctrica de la línea se requiere que se definan todos los elementos que forman la denominada red de tracción eléctrica o circuito eléctrico de tracción: subestaciones de tracción – línea aérea de contacto (catenaria) – vía, y proceder a su parametrización.

Simulación eléctrica

Una vez introducidos todos los datos eléctricos, y calculado el mapa de vehículos, se simula el comportamiento eléctrico de la línea. El simulador eléctrico o analizador de flujos de carga analiza básicamente las cargas, potenciales y receptividad del frenado regenerativo de un sistema de tracción eléctrico que suministra la potencia necesaria, y con los niveles de tensión adecuados, a los trenes que circulan por la línea bajo unas determinadas condiciones de operación.

El analizador recoge toda la información obtenida mediante la simulación de flota, así como los datos de los elementos de la red de tracción (subestaciones, catenaria y vía) y simula la carga eléctrica a través de toda la red, suministrando resultados tales como potencias consumidas por los trenes, puntas de potencia demandadas a las subestaciones, tensiones mínimas en catenaria, tensiones en riel, etc.

La modelización del sistema eléctrico comprende las siguientes fases:

- Descomposición de la red en “finite cells”
- Determinación de la Matriz de admitancias [Y]
- Posicionamiento de trenes en base a la malla de tráfico.

Para cada instante de tiempo, se resuelve el circuito equivalente aplicando un método de flujo de cargas; la solución del flujo de cargas se realiza a través de métodos numéricos para sistemas no lineales con restricciones, y se van guardando los resultados nodales obtenidos:

Cada solución del flujo de cargas implica:

- Resolución del sistema $[Y] \cdot [V] = [I]$
- Análisis de la influencia de la regeneración

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

- Tratamiento de los resultados instantáneos

La simulación eléctrica de tracción permite obtener los siguientes resultados:

- Registro de la potencia y energía de cada subestación.
- Registro de la tensión pantógrafo - riel.
- Registro del potencial de riel.
- Registro de las corrientes en los feederes de salida a catenaria y riel de retorno.
- Registro de las corrientes vagabundas.
- Balance energético de tracción.
- Determinación del coeficiente de receptividad del frenado regenerativo.

En la siguiente figura se representa el proceso de cálculo seguido por el simulador STElec, para la resolución del flujo de cargas.

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

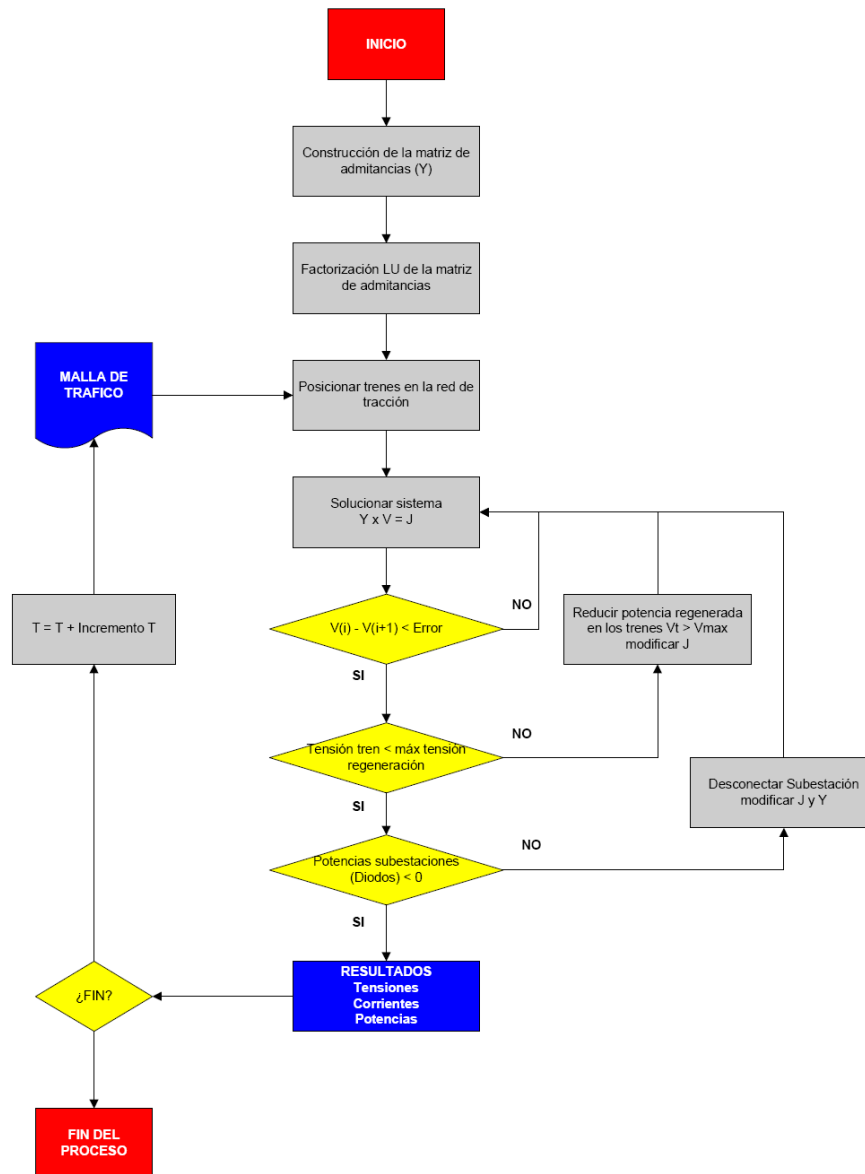


Figura 3 Proceso de cálculo del flujo de cargas

4. DATOS DE PARTIDA

Como datos de partida para realizar la simulación de tracción se han tomado los resultados obtenidos de la simulación de marcha realizada para el Corredor Diagonal de Guadalajara (CDG). Estos resultados, juntamente con los resultados de la simulación de flota considerada (frecuencia de paso, tiempo de parada en estaciones y tiempo de inversión de marcha) permiten obtener la demanda de potencia total en la línea en cada momento.

A parte se han modelado los siguientes elementos de la red de tracción:

- Subestaciones de rectificación
- Catenaria
- Carril

4.1. SIMULACIÓN DE MARCHA

Como comentado en el punto anterior, el estudio de simulación de tracción realizado ha considerado como datos de partida los resultados obtenidos de la simulación de marcha realizada para el Corredor Diagonal de Guadalajara (CDG). Esta información forma parte del documento 9.2.42 INFORME RESUMEN DEL MODELO OPERATIVO DEL PROYECTO.

Esta simulación de marcha, se ha realizado considerando los siguientes condicionantes:

- | | |
|---|-----------------------|
| ▪ Velocidad máxima de operación: | 80 km/h |
| ▪ Máxima aceleración de arranque: | 1 m/s ² |
| ▪ Máxima deceleración de frenado: | -0.8 m/s ² |
| ▪ Jerk longitudinal máximo: | 0.2 m/s ³ |
| ▪ Jerk transversal sin compensar máximo: | 0.2 m/s ³ |
| ▪ Aceleración máxima transversal sin compensar: | 0.65 m/s ² |

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

A parte de los anteriores condicionantes, se han tenido en cuenta las siguientes restricciones de velocidad (limitaciones de velocidad en estación y curva de radio 120 m):

Tramo	PK inicial (m)	PK final (m)	Velocidad máxima
PERIFERICO ZAPOPAN	616.8	706.8	30 km/h
DIF / CRIT	1,478.4	1,568.4	30 km/h
MERCADO DEL PESCADO	2,763.0	2,853.0	30 km/h
CURVA	3,142.9	3,542.7	35 km/h
ZAPOPAN AYUNTAMIENTO	4,385.0	4,475.0	30 km/h
PLAZA PATRIA	5,455.0	5,545.0	30 km/h
COUNTRY CLUB	6,870.0	6,960.0	30 km/h
FEDERALISMO	8,237.0	8,327.0	30 km/h
NORMAL	9,263.0	9,353.0	30 km/h
ALCALDE	10,270.0	10,360.0	30 km/h
CATEDRAL	11,185.0	11,275.0	30 km/h
INDEPENDENCIA SUR	11,970.0	12,060.0	30 km/h
PLAZA DE LA BANDERA	13,290.0	13,380.0	30 km/h
REVOLUCIÓN / UdeG	14,955.0	15,045.0	30 km/h
REVOLUCIÓN / LOPEZ VELARDE	16,077.0	16,167.0	30 km/h
REVOLUCIÓN / RIO NILO	17,064.0	17,154.0	30 km/h
TLAQUEPAQUE CENTRO	17,955.0	18,045.0	30 km/h
LAZARO CARDENAS	18,589.0	18,679.0	30 km/h
CENTRAL DE AUTOBUSES	20,295.0	20,385.0	30 km/h

Tabla 1 Tramos con limitación de velocidad

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Con los criterios de explotación considerados anteriormente, se obtienen los siguientes tiempos en los recorridos de ida y vuelta:

I/V	T. comercial [h:m:s]	Vel. Comercial [km/h]	Distancia [m]
I	00:31:46	37.2	21,126
V	00:31:47	37.1	21,126

Tabla 2 Resultados de la simulación de marcha

En el siguiente gráfico se muestra las velocidades consideradas en cada tramo del Corredor Diagonal de Guadalajara (CDG)

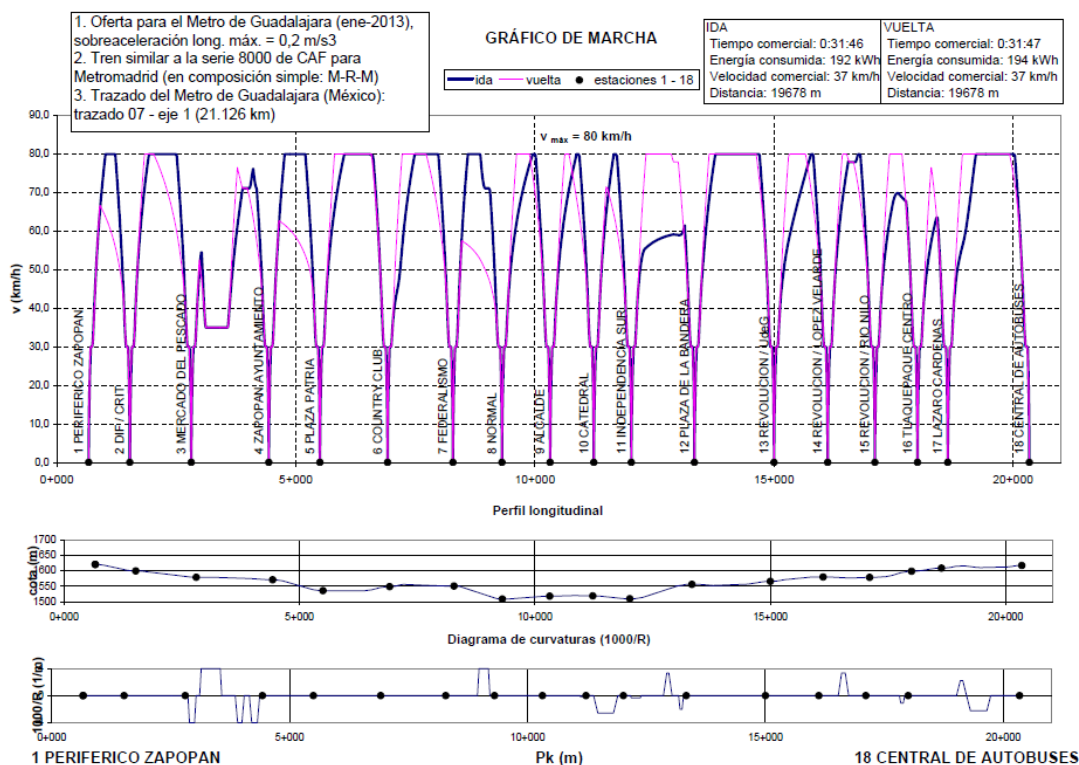


Figura 4 Resultado de la simulación de marcha del Corredor Diagonal de Guadalajara (CDG)

La información de la simulación de marcha está pendiente de actualización en base al trazado finalmente adoptado en el Proyecto Ejecutivo.

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

4.2. SIMULACIÓN DE FLOTA

La frecuencia de paso considerada para el Estudio de Simulación de Tracción realizado es de:

- 120 s

Se han considerado los siguientes tiempos de parada en estaciones (20 s como criterio general y 25 s en aquellas estaciones con correspondencia con L1 ó L2):

Estación	Tiempos e parada
Periferico Zapopan	20
Dif / Cirt	20
Mercado del pescado	20
Zapopan ayuntamiento	20
Plaza Patria	20
Country Club	20
Federalismo	25
Normal	20
Alcalde	20
Catedral	25
Independencia Sur	20
Plaza de la bandera	20
Revolución / UdeG	20
Revolución / López Valverde	20
Revolución / Río Nilo	20
Tlapedaque Centro	20
Lázaro Cardenas	20
Central de autobuses	20

Tabla 3 Tiempos de parada en estaciones

Así mismo, se ha considerado un tiempo de inversión de marcha de 60 s, en las estaciones terminales.

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Con los datos de frecuencia de paso, tiempo de parada en estación y tiempo de inversión de marcha, el gráfico de flota obtenido es el siguiente:

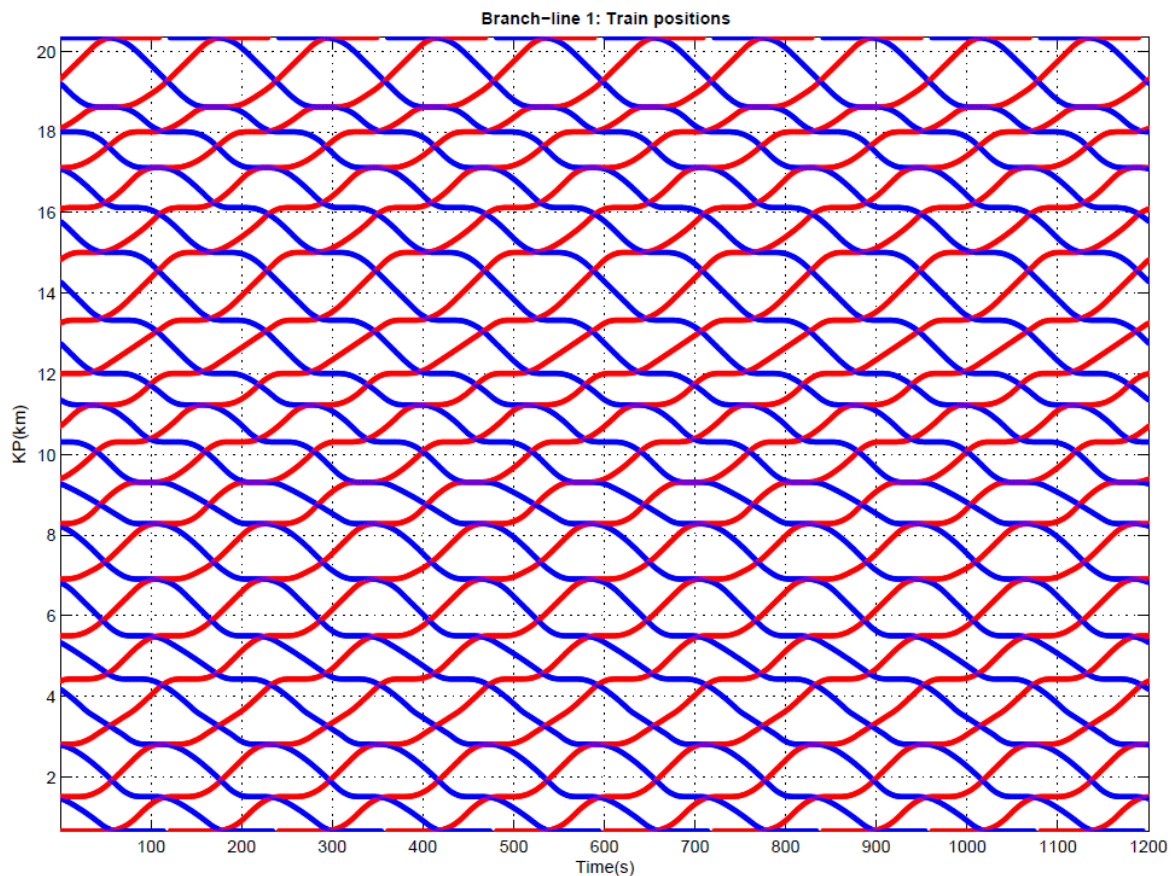


Figura 5 Resultado de la simulación de flota del Corredor Diagonal de Guadalajara (CDG)

Donde los servicios en rojo y azul representan respectivamente:

- Vía 1, sentido Periférico Zapopan – Central de autobuses
- Vía 2, sentido Central de autobuses – Periférico Zapopan

4.3. **ELEMENTOS DE LA RED DE TRACCIÓN**

4.3.1. *Subestaciones de rectificación*

Seguidamente se exponen las características de los equipos considerados en las subestaciones de rectificación (se han considerado dos grupos transformador – rectificador en cada subestación):

Transformadores de tracción	
Potencia	2,250 kVA
Tensión de primario	23 kV
Tensión de secundario	1,180 V – 1,180 V
Ucc	9%

Tabla 4 Características de los transformadores de tracción

Rectificador (dos rectificadores en paralelo)	
Potencia	2,000 kW
Tensión de entrada	1,180 Vca
Tensión de salida	1,500 Vcc

Tabla 5 Características del rectificador

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Las subestaciones de rectificación estarán ubicadas en los siguientes emplazamientos:

Subestación de rectificación	PK (m)	Nº de grupos	Potencia [kVA]
DIF / CIRT	1,515	2	2 x 2,250
Zapopan Ayuntamiento	4,430	2	2 x 2,250
Country club	6,915	2	2 x 2,250
Alcalde	10,315	2	2 x 2,250
Plaza de la bandera	13,335	2	2 x 2,250
Revolución / Rio Nilo	17,109	2	2 x 2,250
Central de autobuses	20,340	2	2 x 2,250

Tabla 6 Ubicación de las subestaciones de rectificación

4.3.2. *Catenaria y riel*

Dado las características del trazado del Corredor Diagonal de Guadalajara (CDG) que cuenta con tramos en viaducto y con un tramo subterráneo, se han considerado dos tipos de catenarias:

- Catenaria flexible para los tramos del viaducto, formada por los siguientes conductores:
 - o Sustentador: 150 mm² Cu
 - o 2 hilos de contacto: 107 mm² Cu
- Catenaria rígida para los tramos subterráneos

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

De esta forma la catenaria considerada es la siguiente para los diferentes tramos:

Pk inicial (m)	Pk final (m)	Tipo	Resistividad
0	8,600	Flexible	0,0469 ohm / km
8,600	12,800	Rígida	0,0139 ohm / km
12,800	21,126	Felxible	0,0469 ohm / km

Tabla 7 Tipo de catenaria por tramos

En cuanto al riel, se ha considerado uno con las siguientes características para todo el tramo en estudio:

Pk inicial (m)	Pk final (m)	Tipo	Resistividad	Conductancia
0	21,126	UIC-54	0,0137 ohm/km	0,5 S/km

Tabla 8 Características del riel

4.4. CRITERIOS GENERALES DE TRACCIÓN

4.4.1. Tensión en catenaria

La tensión nominal de la línea será de 1,500 Vcc. Por lo tanto, acorde a la norma EN 50163 *Aplicaciones ferroviarias. Tensiones de alimentación de las redes de tracción* los valores característicos de este nivel de tensión son los siguientes:

Tensión nominal	1,500 Vcc
Tensión permanente mínima	1,000 Vcc
Tensión permanente máxima	1,800 Vcc
Tensión no permanente máxima	1,950 Vcc

Tabla 9 Niveles de tensión del sistema según EN 50163

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

4.4.2. Tensión riel – tierra

Por su parte, los valores máximos de la tensión entre riel y tierra, vienen especificados en la norma EN 50122-1 *Aplicaciones de ferrocarriles – Instalaciones fijas. Parte 1: Medidas de protección relacionadas con la seguridad eléctrica y la puesta a tierra*:

t [s]	V _{cc}
0.6	310
0.7	270
0.8	240
0.9	200
1.0	170
≤ 300	150

Tabla 10 Tensiones de contacto máximas admisibles según EN 50122

En condiciones permanentes, las tensiones accesibles no deben superar los 120 V_{cc}, excepto en talleres y emplazamientos similares, en los que el límite debe ser de 60 V_{cc}.

4.4.3. Potencia de grupos transformadores rectificadores

La sobrecarga admisible de los grupos transformador rectificador de la clase VI (típica de metro), de acuerdo con la norma EN 50329 *Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Transformadores de tracción* son las siguientes:

- 100 % de la corriente base de forma permanente
- 150 % de la corriente base durante dos horas (a partir de la potencia nominal en intervalos de 3 horas)
- 300 % de la corriente base durante un minuto (a partir de la potencia nominal en intervalos de 1 minuto)

4.4.4. *Criterios de aceptación*

Los valores de aceptación serán por tanto los siguientes:

- Potencia de los grupos transformador – rectificador: Nos se admitirán sobrecargas superiores a las definidas por la norma EN 50329 y en condiciones permanentes de trabajo, la potencia demandada debe ser igual o inferior a la potencia nominal del grupo transformador – rectificador.
- Tensión en catenaria: La mínima tensión en catenaria será igual o superior al valor especificado en la norma EN 50163 (1,000 Vcc), de igual forma, no se admitirán sobretensiones en catenaria por encima de 1,900 Vcc (derivadas del frenado regenerativo del material móvil)
- Tensión máxima accesible riel – tierra: Acorde a la normativa EN 50122-1, la tensión máxima admisible entre riel y tierra será de 120 Vcc.

Estos criterios de aceptación se deben cumplir tanto para condiciones normales como para condiciones degradadas de explotación, entendiendo como tal la falla total de una subestación de rectificación.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

En el siguiente punto se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios de explotación siguientes considerados:

- Situación normal: todas las subestaciones en funcionamiento
- Situación degradada 1: Falla de la subestación DIF / CIRT (pk 1,515)
- Situación degradada 2: Falla de la subestación Zapopan Ayuntamiento (pk 4,430)
- Situación degradada 3: Falla de la subestación Country Club (pk 6,915)
- Situación degradada 4: Falla de la subestación Alcalde (pk 10,315)
- Situación degradada 5: Falla de la subestación Plaza de la Bandera (pk 13,335)
- Situación degradada 6: Falla de la subestación Revolución / Rio Nilo (pk 17,109)
- Situación degradada 7: Falla de la subestación Central de autobuses (pk 20,340)

Además se añade un último punto en el que se ha llevado a cabo un balance energético de la línea en condiciones normales de operación.

5.1. SITUACIÓN NORMAL DE EXPLOTACIÓN

La situación normal de explotación considera todas las subestaciones de rectificación en correcto funcionamiento.

5.1.1. Tensión en el tren

A partir del estudio de marcha realizado, y de la flota especificada en puntos anteriores, se obtiene la tensión [V] en pantógrafo del tren a lo largo del trayecto:

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

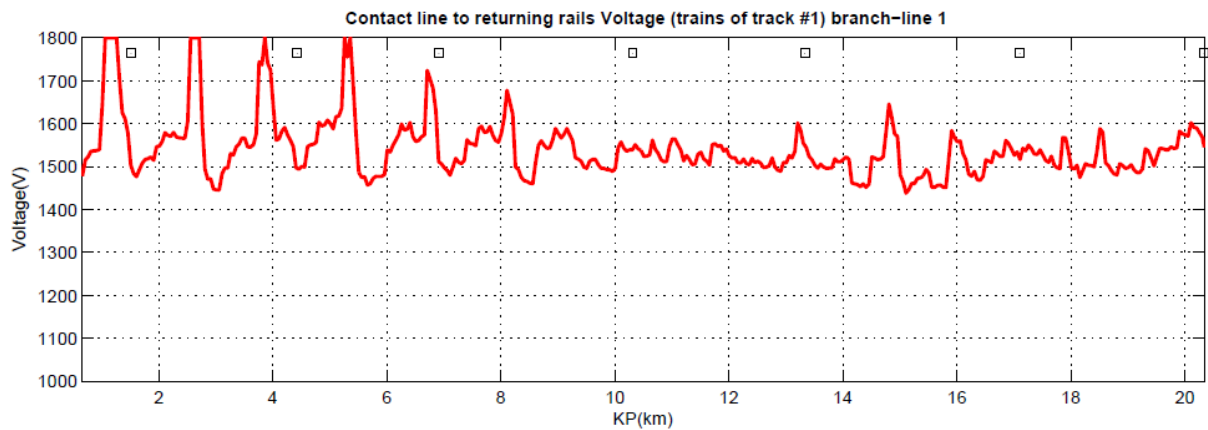


Figura 6 Tensión en pantógrafo vía 1

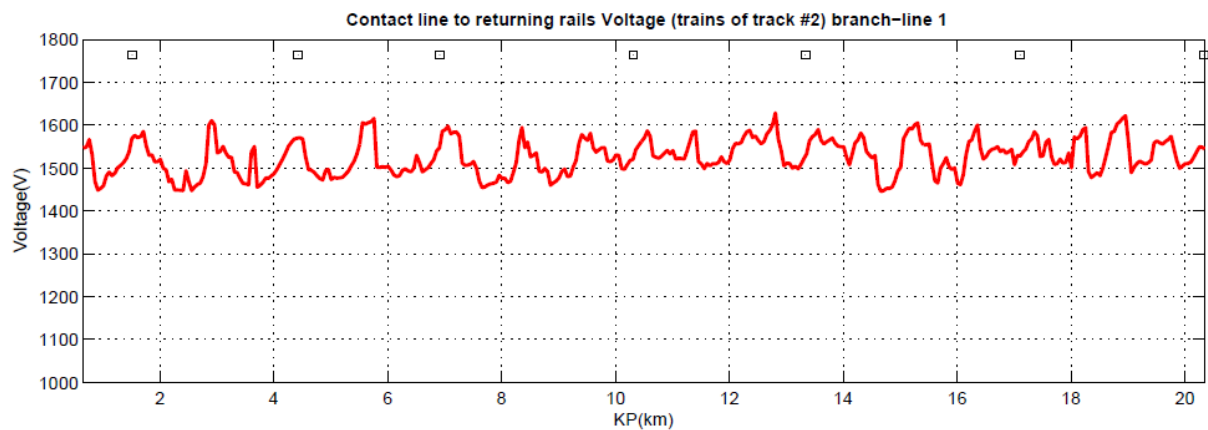


Figura 7 Tensión en pantógrafo vía 2

5.1.2. Potencia en las subestaciones de rectificación

Las potencias obtenidas en cada una de las subestaciones son las que se observan en la siguiente tabla:

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	4,800.29	3,384.98	2,529.18
Zapopan Ayuntamiento	4,430	2x2000 kW	4,305.71	3,323.80	2,472.55
Country club	6,915	2x2000 kW	4,379.49	3,318.46	2,470.54
Alcalde	10,315	2x2000 kW	3,945.74	2,726.64	2,332.81
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	4,045.95	3,065.10	2,423.65
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	3,445.58	2,272.19	2,170.51
Central de autobuses	20,340	2x2000 kW	2,813.00	1,988.95	1,593.65

Tabla 11 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

En los siguientes gráficos, se muestran los resultados de potencia obtenida en formato gráfico:

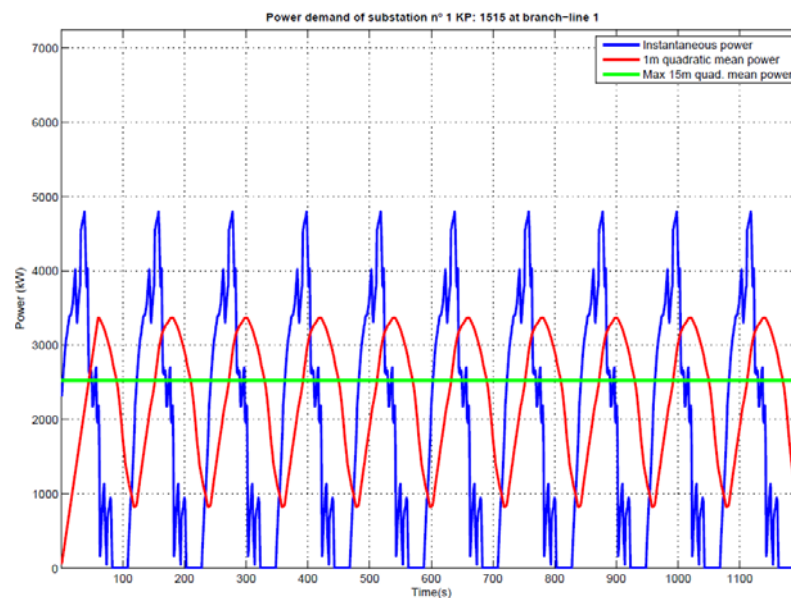


Figura 8 Potencia demandada en subestación de rectificación Dif/Cirt

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

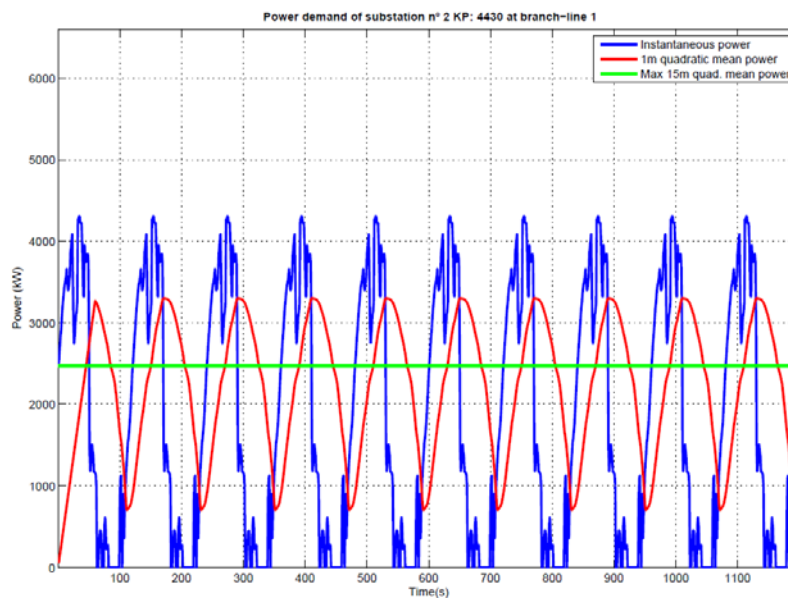


Figura 9 Potencia demandada en subestación de rectificación Zapopan Ayuntamiento

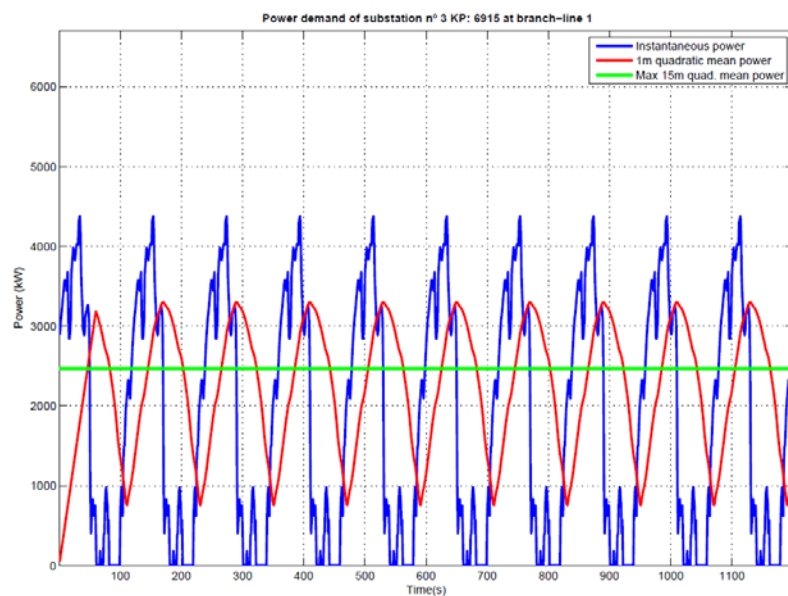


Figura 10 Potencia demandada en subestación de rectificación Country Club

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

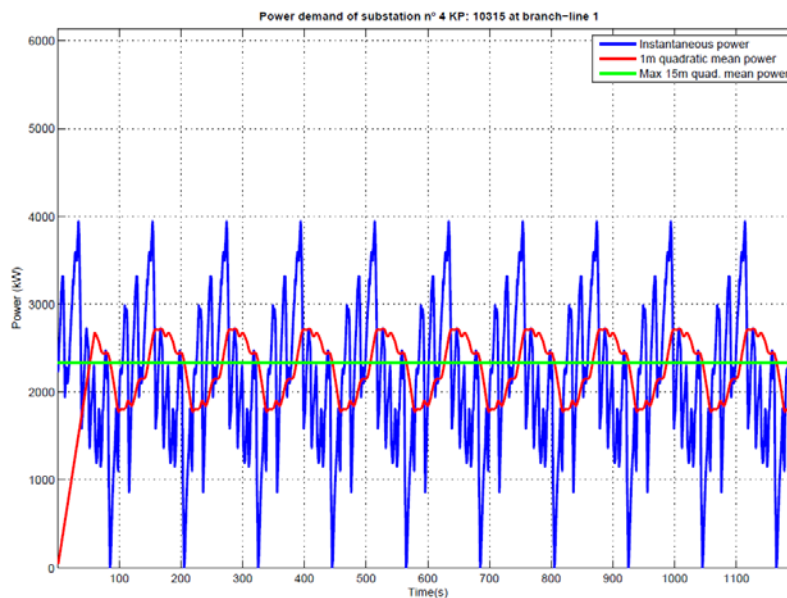


Figura 11 Potencia demandada en subestación de rectificación Alcalde

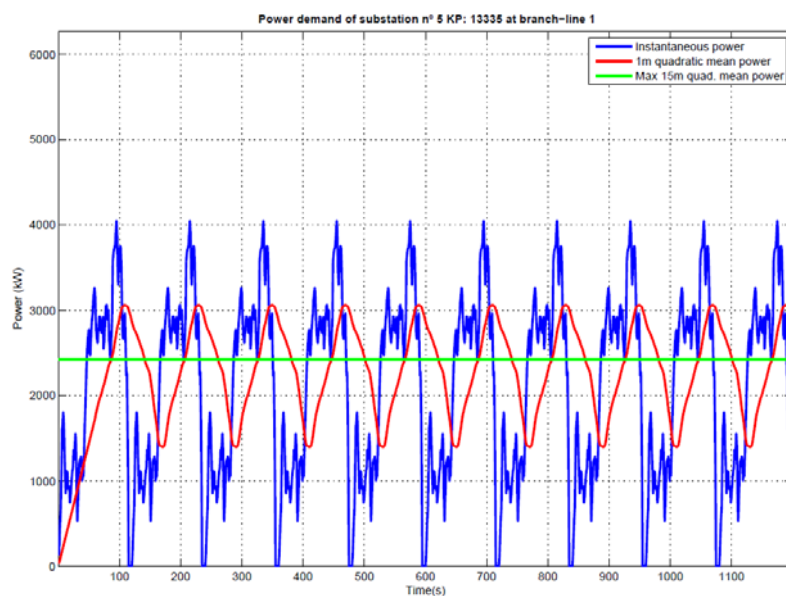


Figura 12 Potencia demandada en subestación de rectificación Plaza de la bandera

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

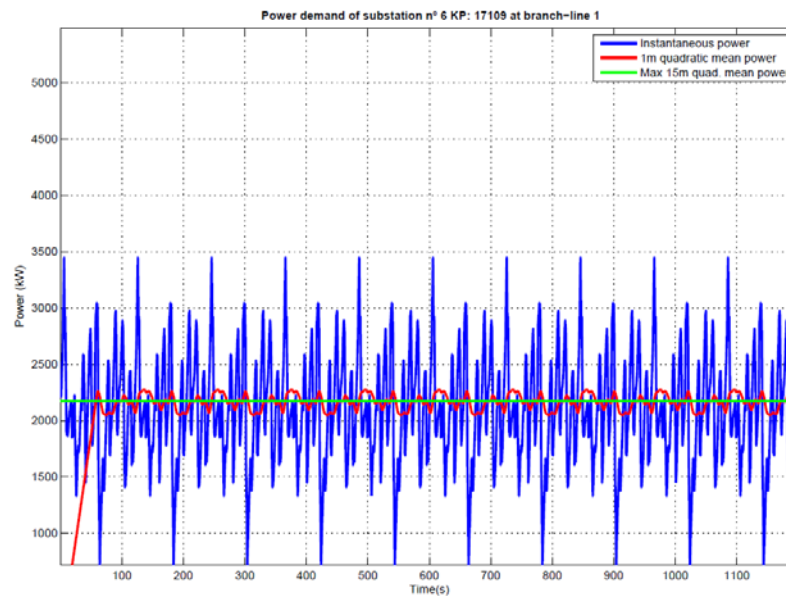


Figura 13 Potencia demandada en subestación de rectificación Revolución / Río Nilo

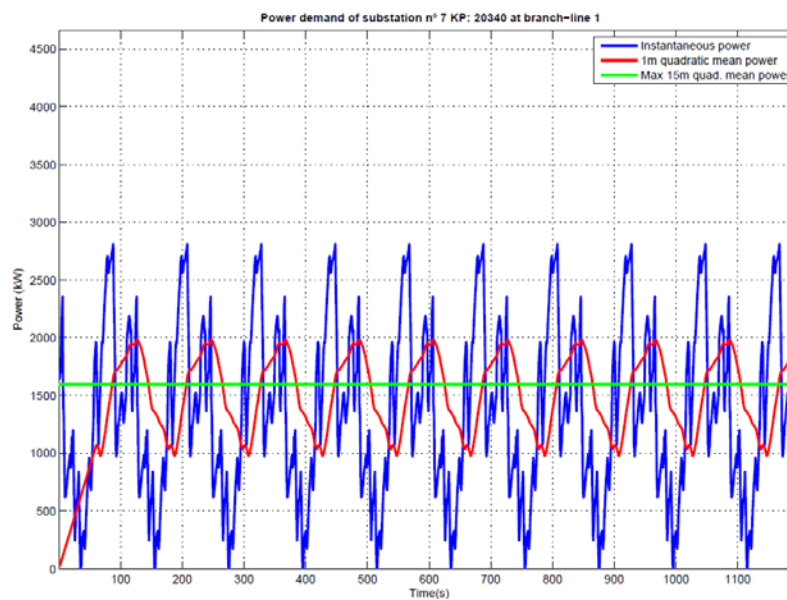


Figura 14 Potencia demandada en subestación de rectificación Central de autobuses

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

5.1.3. Tensión en catenaria

Tensión min. Catenaria [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión min. Catenaria [V] Vía 2	Pk [m]
1,438.16	15,111	1,445.07	14,661

Tabla 12 Tensión mínima en catenaria [V]

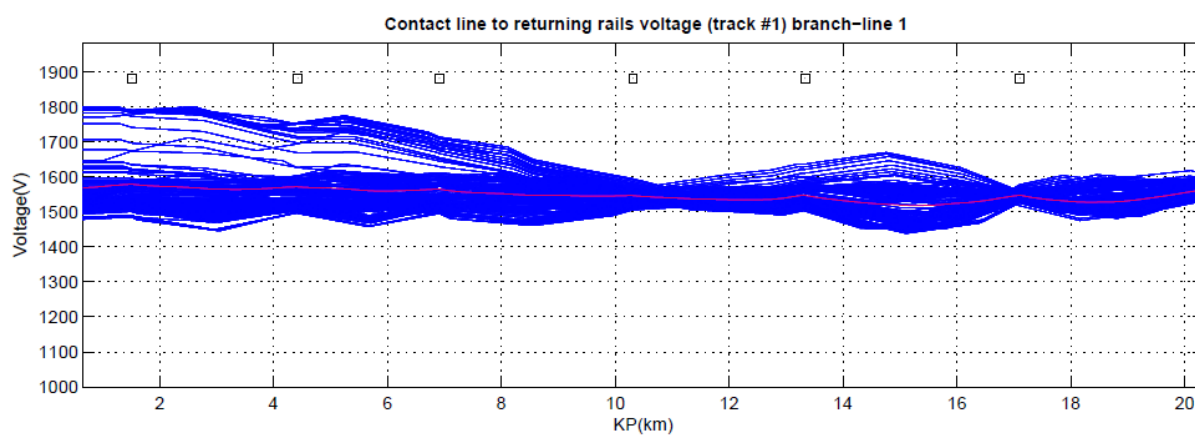


Figura 15 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 1

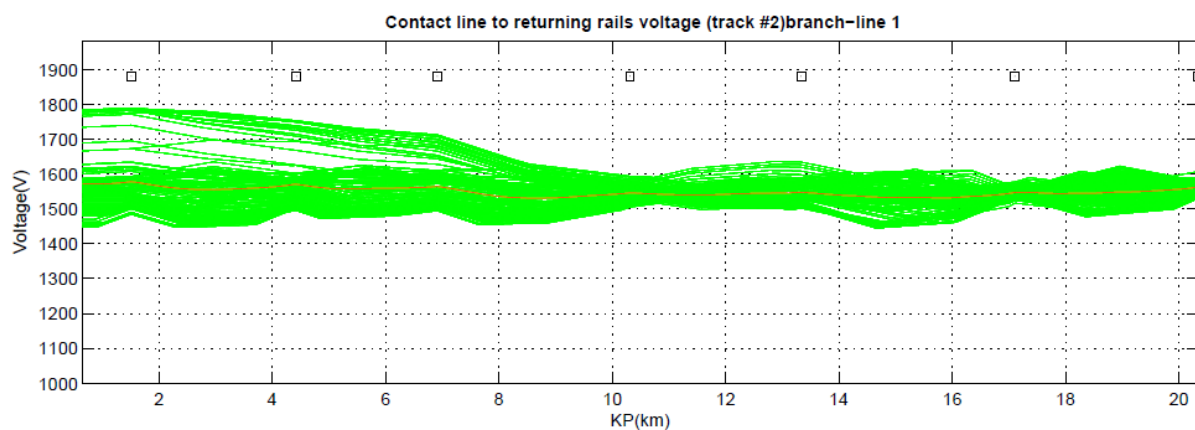


Figura 16 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 2

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

5.1.4. Tensión riel - tierra

Tensión máx. riel [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión máx. riel [V] Vía 2	Pk [m]
38.32	14,261	36.94	14,811

Tabla 13 Tensión máxima en riel [V]

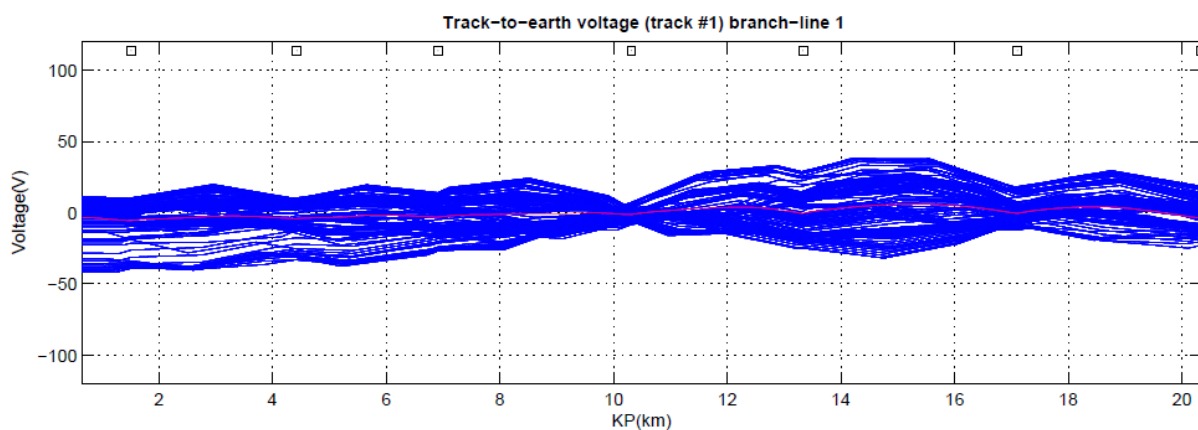


Figura 17 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 1

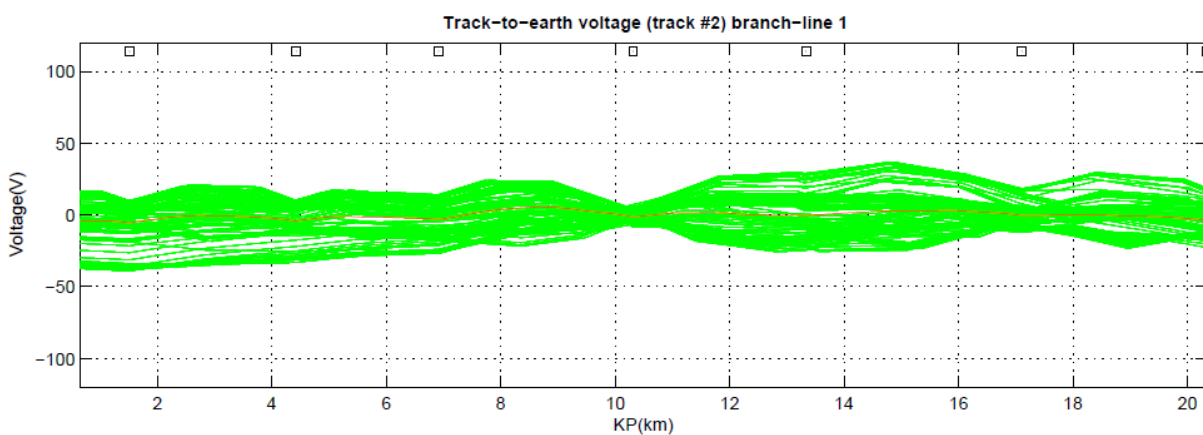


Figura 18 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 2

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

5.1.5. Corriente en catenaria

Intensidad máx. Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. Cat [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1
2,162.91	1,078.17	2,189.46	1,272.48

Tabla 14 Intensidad en catenaria

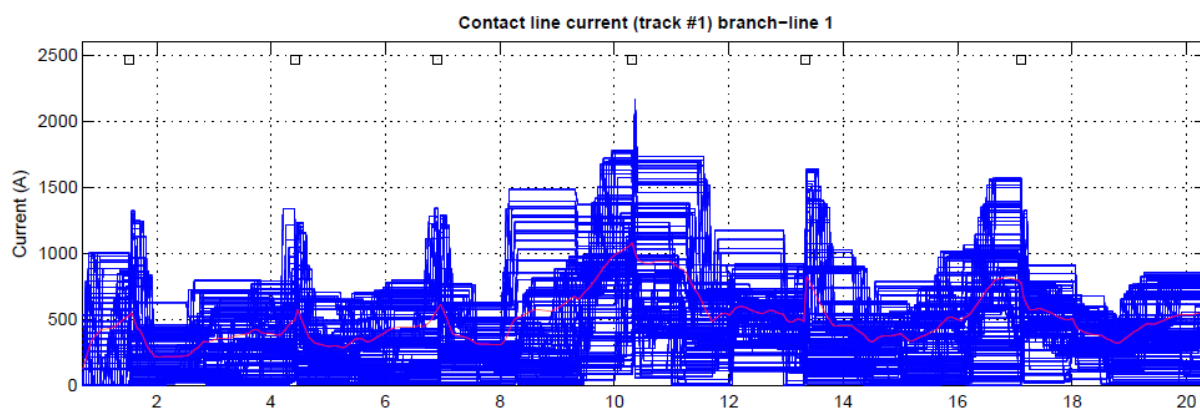


Figura 19 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 1

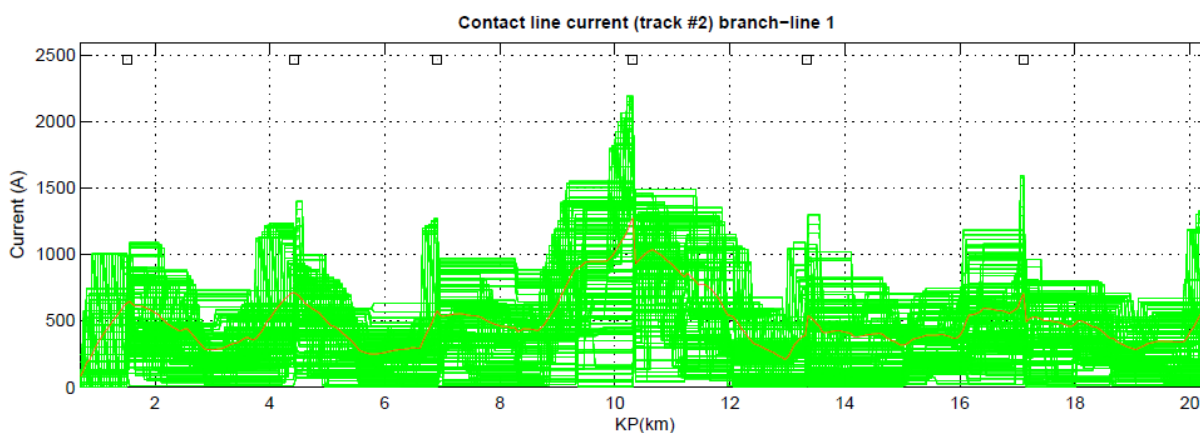


Figura 20 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 2

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

5.1.6. Corriente en riel

Intensidad máx. riel [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1	Intensidad máx. riel [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1
1,852.51	942.23	1,977.77	1,094.26

Tabla 15 Intensidad en riel [A]

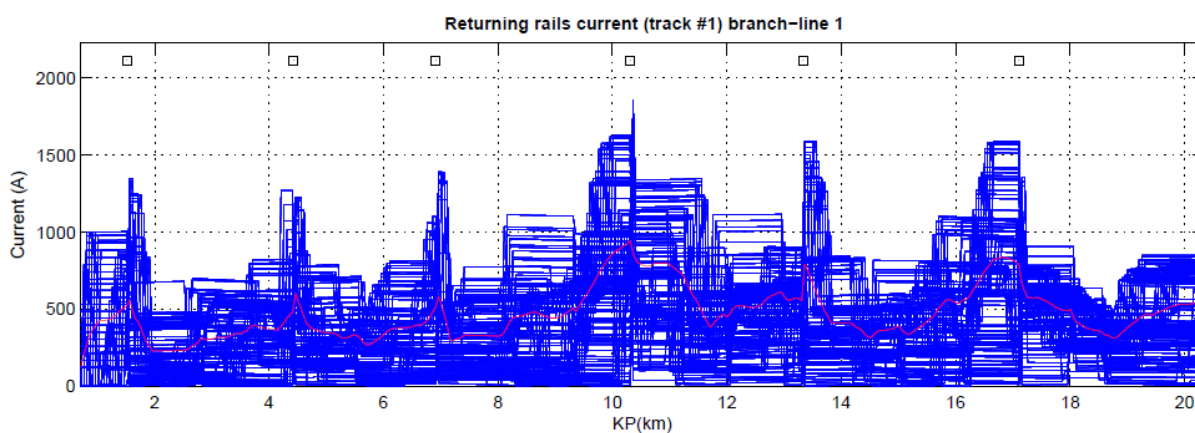


Figura 21 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 1

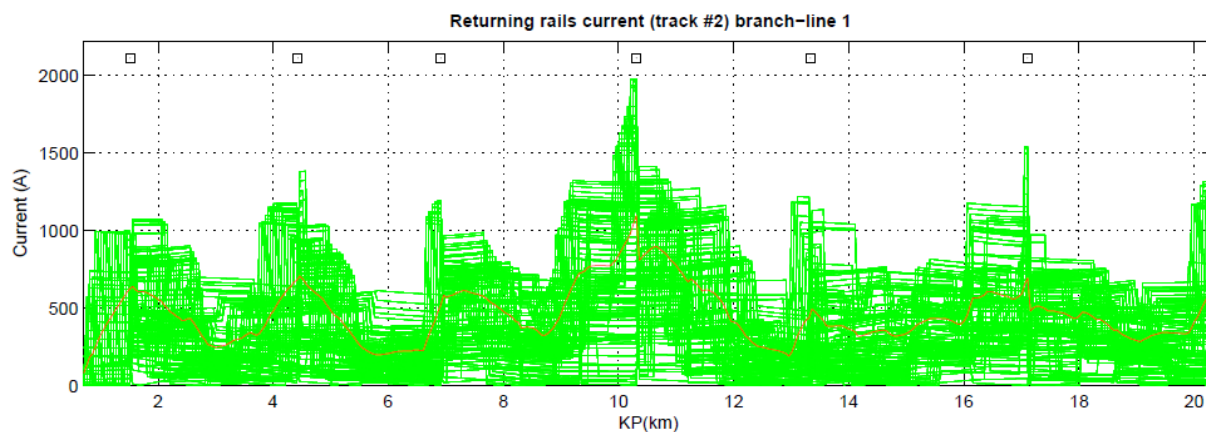


Figura 22 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 2

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

5.1.7. Corrientes en feeders

En el siguiente punto se detallan la corriente máxima y RMS que soportarán los feeders de cada una de las subestaciones de rectificación. La nomenclatura utilizada para cada uno de los feeders corresponde con la siguiente:

Feeder 1: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado izquierdo

Feeder 2: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado derecho

Feeder 3: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado izquierdo

Feeder 4: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado derecho

Subestación	Feeder	Intensidad máx. [A]	Intensidad máx. RMS [A]
DIF / CIRT	Feeder 1	1,000.00	521.12
	Feeder 2	1,320.29	549.25
	Feeder 3	1,000.00	630.47
	Feeder 4	1,086.15	642.91
Zapopan Ayuntamiento	Feeder 1	788.47	490.19
	Feeder 2	1,232.75	569.83
	Feeder 3	1,234.67	709.99
	Feeder 4	998.96	699.46
Country Club	Feeder 1	797.51	575.35
	Feeder 2	1,287.87	608.62
	Feeder 3	1,267.78	571.83
	Feeder 4	964.58	538.19
Alcalde	Feeder 1	1,779.49	1,078.17

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Feeder	Intensidad máx.	Intensidad máx. RMS
		[A]	[A]
Plaza de la bandera	Feeder 2	2,162.91	1,002.64
	Feeder 3	2,189.46	1,272.48
	Feeder 4	1,457.21	927.31
	Feeder 1	916.64	481.78
Revolución / Rio Nilo	Feeder 2	1,637.44	820.09
	Feeder 3	1,088.20	386.02
	Feeder 4	1,015.84	535.24
	Feeder 1	1,565.59	773.21
Central de autobuses	Feeder 2	1,323.73	657.92
	Feeder 3	1,590.68	700.20
	Feeder 4	799.95	1,816.60
	Feeder 1	851.58	536.42
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	1,324.71	647.07
	Feeder 4	--	--

Tabla 16 Intensidad [A] en cada feeder de las subestaciones rectificadoras

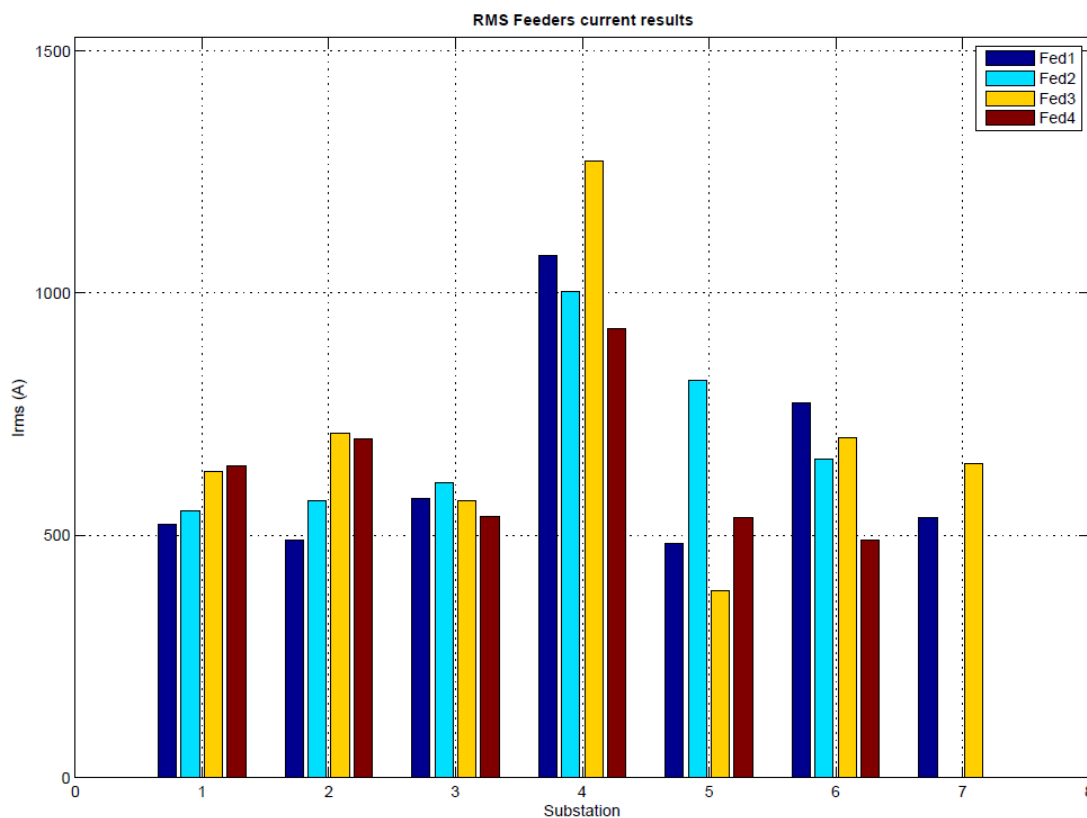


Figura 23 Intensidad RMS [A] en feeders de subestación rectificadora

5.2. SITUACIÓN DEGRADADA 1

La situación degradada 1 considera la falla de la subestación de rectificación Dif / Cirt.

5.2.1. Tensión en el tren

A partir del estudio de marcha realizado, y de la flota especificada en puntos anteriores, se obtiene la tensión [V] en pantógrafo del tren a lo largo del trayecto:

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

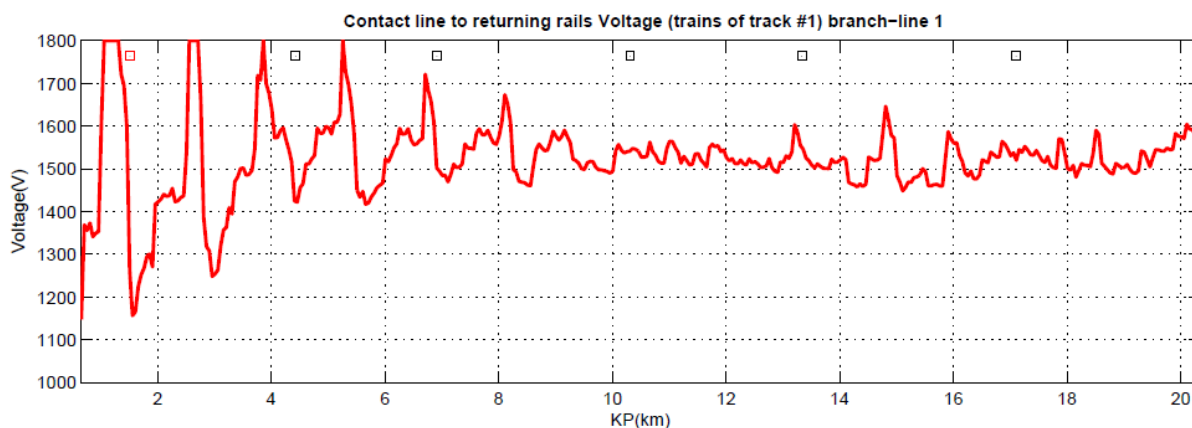


Figura 24 Tensión en pantógrafo vía 1

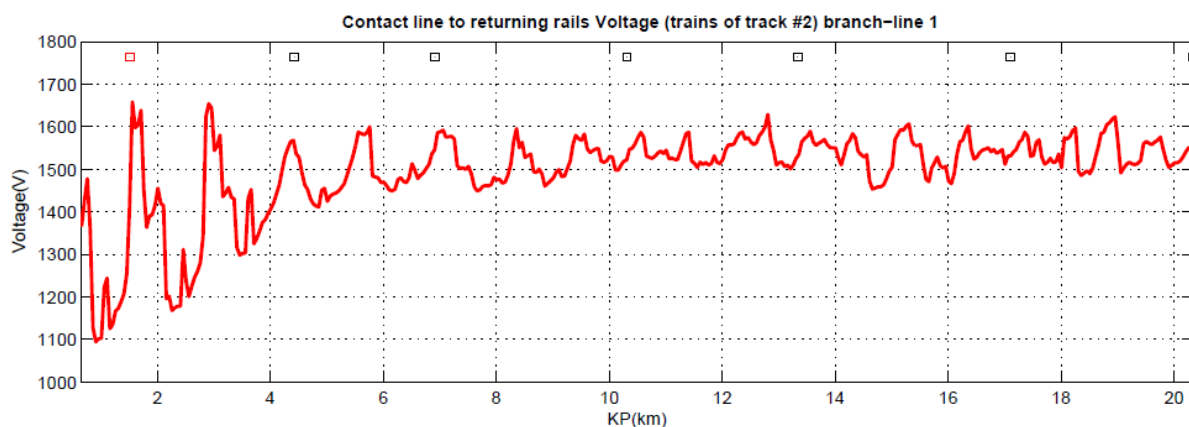


Figura 25 Tensión en pantógrafo vía 2

5.2.2. Potencia en las subestaciones de rectificación

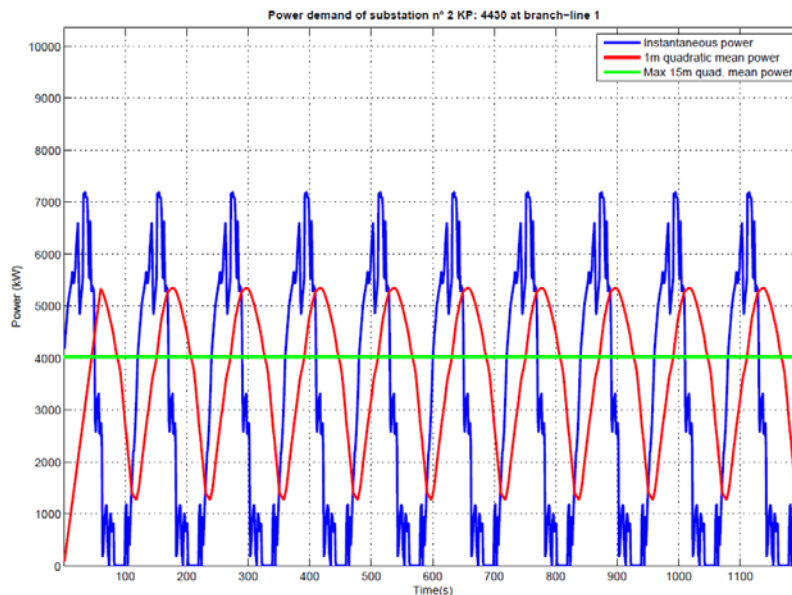
Las potencias obtenidas en cada una de las subestaciones son las que se observan en la siguiente tabla:

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	--	--	--	--
Zappopan Ayuntamiento	4,430	2x2000 kW	7,195.43	5,379.26	4,016.32
Country club	6,915	2x2000 kW	4,911.64	3,698.85	2,751.83
Alcalde	10,315	2x2000 kW	3,905.51	2,695.09	2,291.84
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	3,922.51	2,917.19	2,317.63
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	3,297.57	2,151.20	2,054.17
Central de autobuses	20,340	2x2000 kW	2,660.85	1,901.33	1,523.66

Tabla 17 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

En los siguientes gráficos, se muestran los resultados de potencia obtenida en formato gráfico:


Figura 26 Potencia demandada en subestación de rectificación Zapopan Ayuntamiento

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

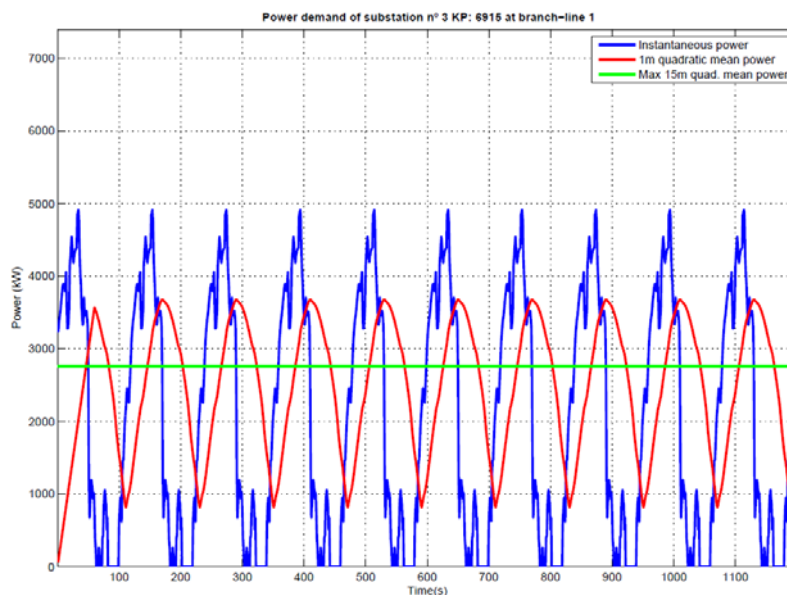


Figura 27 Potencia demandada en subestación de rectificación Country Club

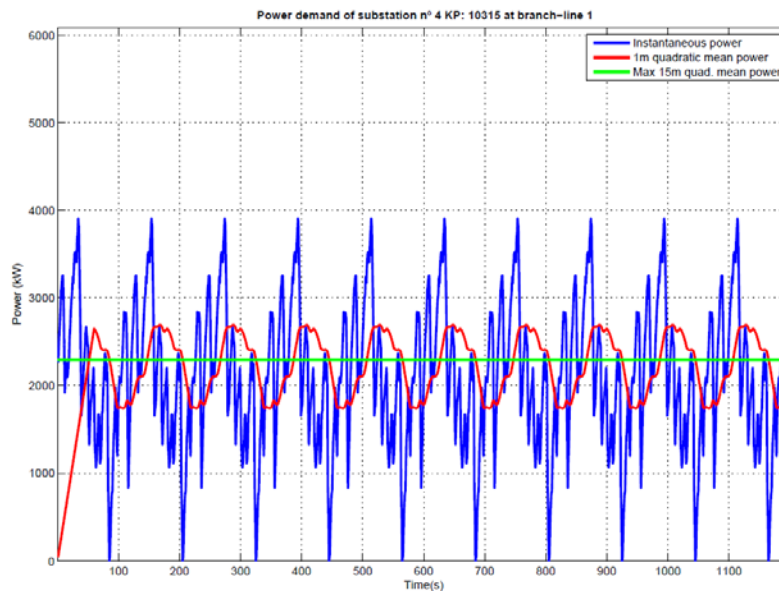


Figura 28 Potencia demandada en subestación de rectificación Alcalde

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

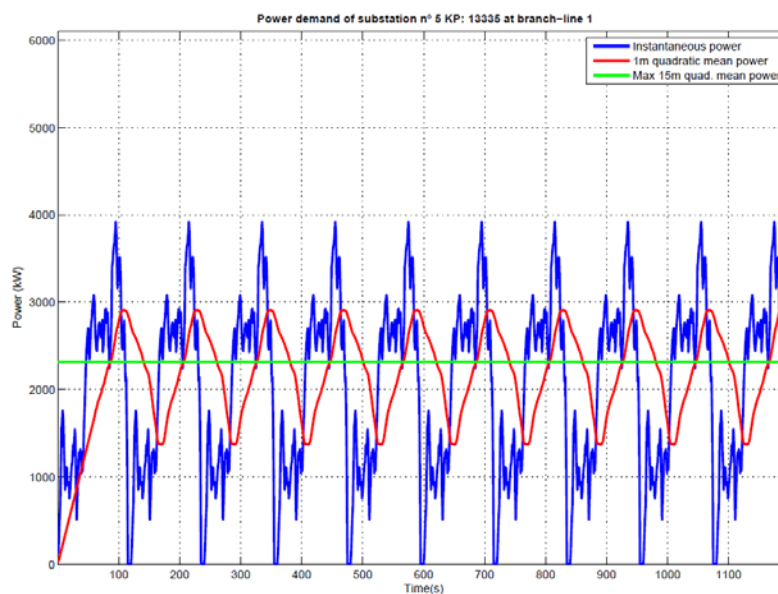


Figura 29 Potencia demandada en subestación de rectificación Plaza de la bandera

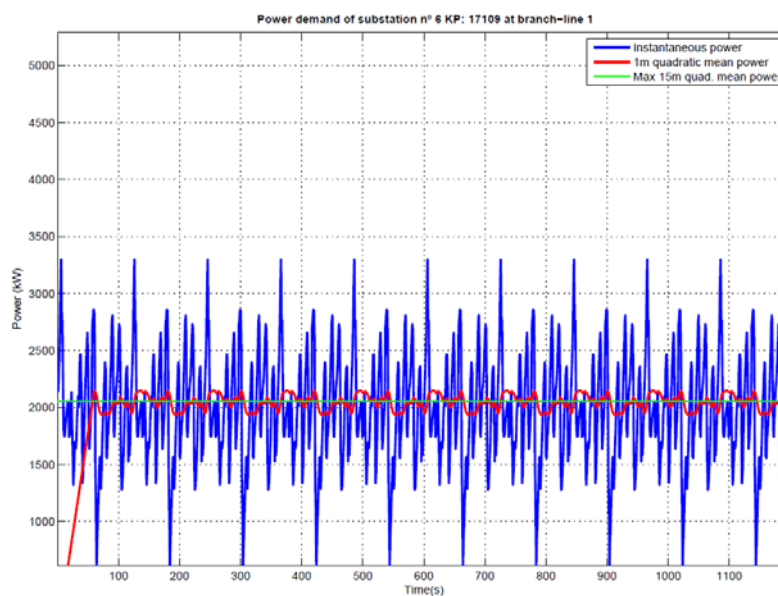


Figura 30 Potencia demandada en subestación de rectificación Revolución / Río Nilo

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

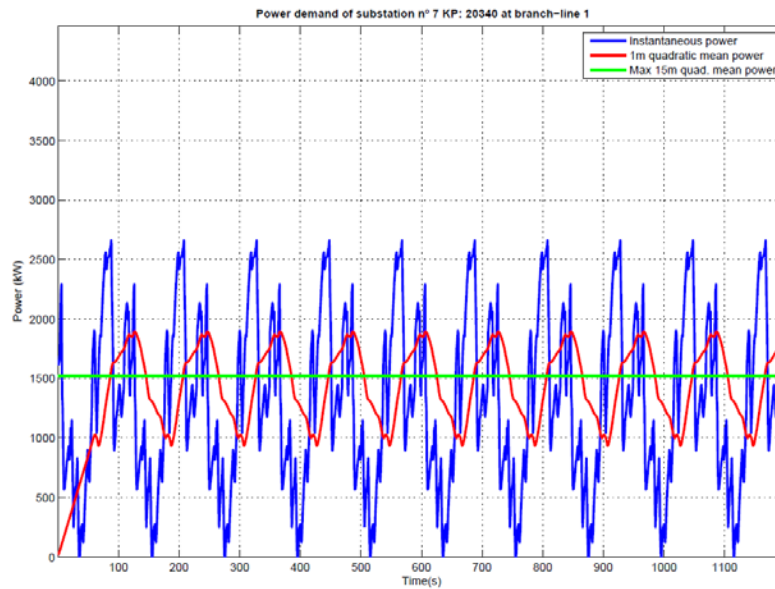


Figura 31 Potencia demandada en subestación de rectificación Central de autobuses

5.2.3. Tensión en catenaria

Tensión min. Catenaria [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión min. Catenaria [V] Vía 2	Pk [m]
1,147.91	0,661	1,094.17	0,911

Tabla 18 Tensión mínima en catenaria [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

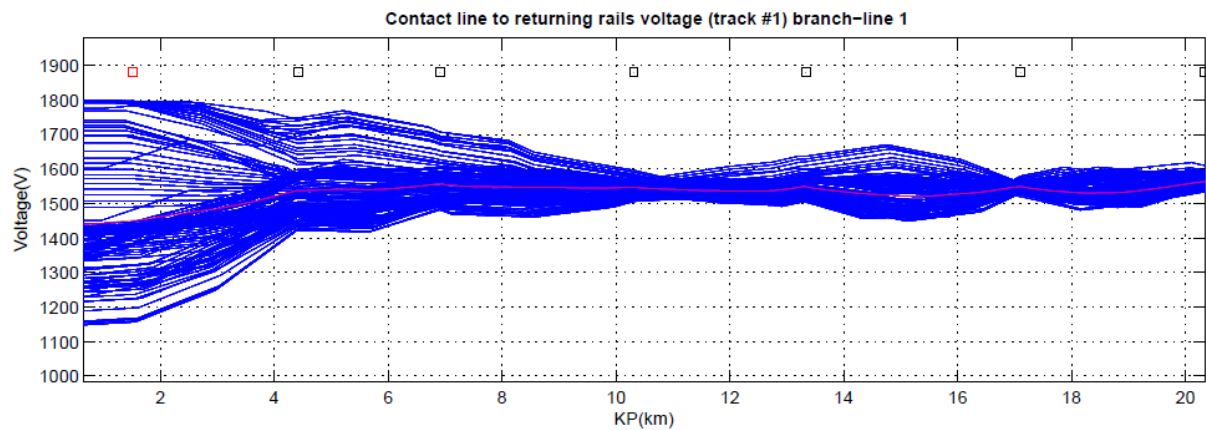


Figura 32 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 1

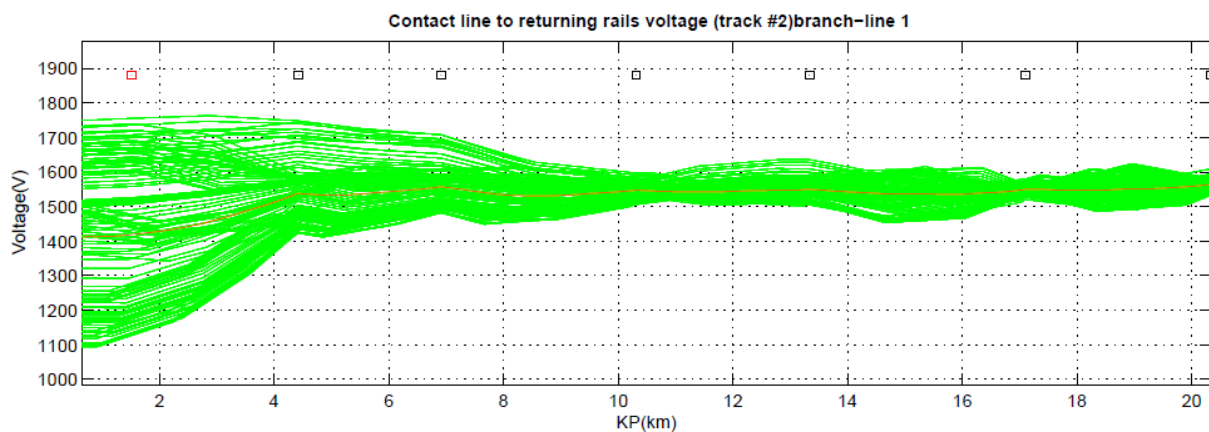


Figura 33 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 2

5.2.4. Tensión riel - tierra

Tensión máx. riel [V]	Pk [m]	Tensión máx. riel [V]	Pk [m]
Vía 1		Vía 2	
68.29	0,661	72.49	1,011

Tabla 19 Tensión máxima en riel [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

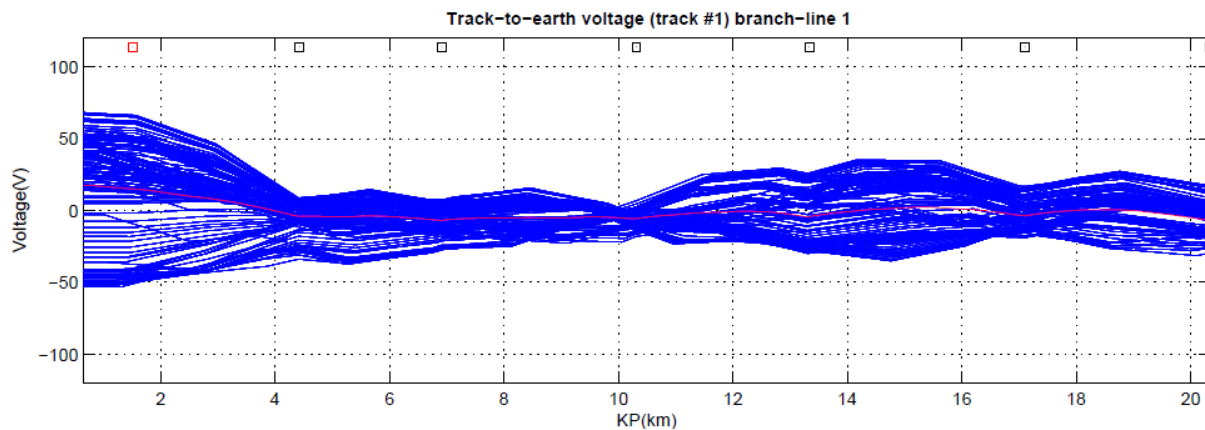


Figura 34 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 1

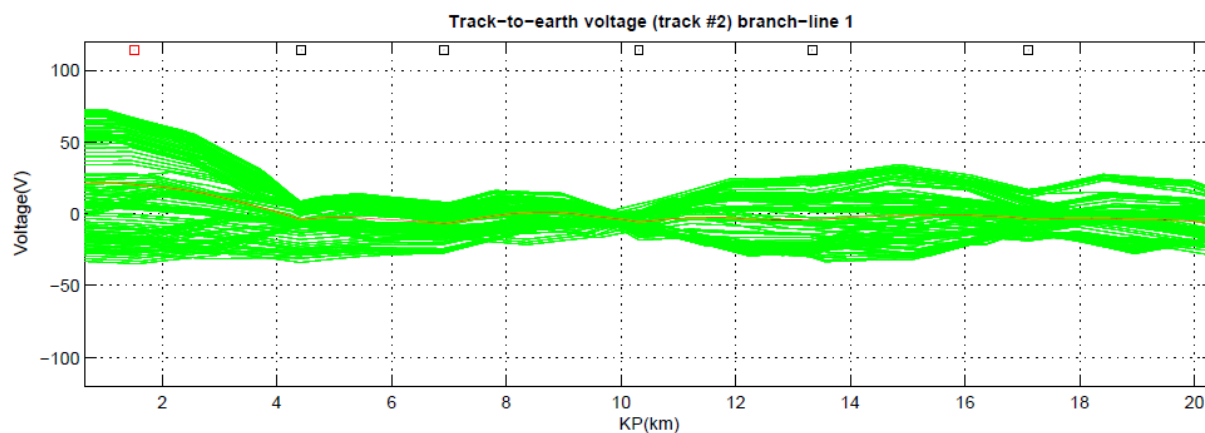


Figura 35 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 2

5.2.5. Corriente en catenaria

Intensidad máx. Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. Cat [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1
2,037.45	1,214.73	2,775.00	1,630.83

Tabla 20 Intensidad en catenaria

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

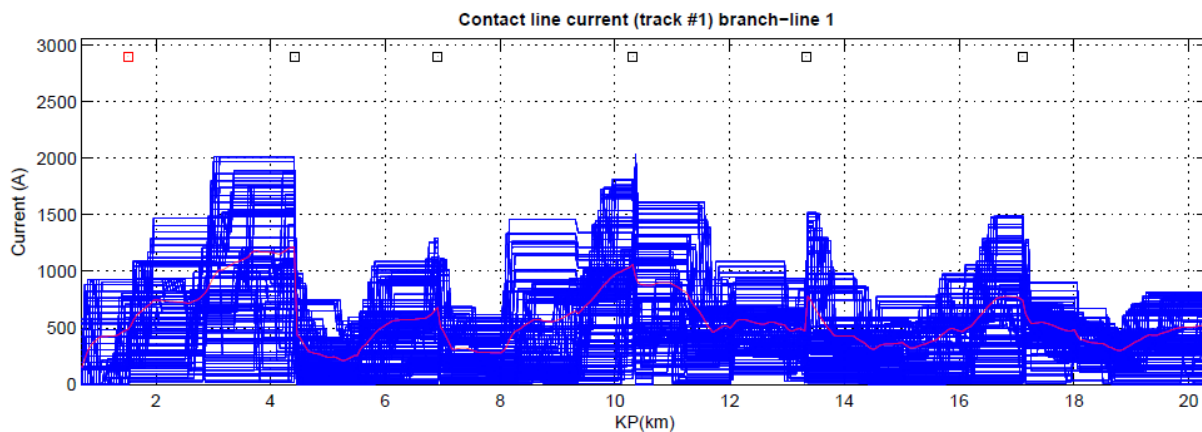


Figura 36 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 1

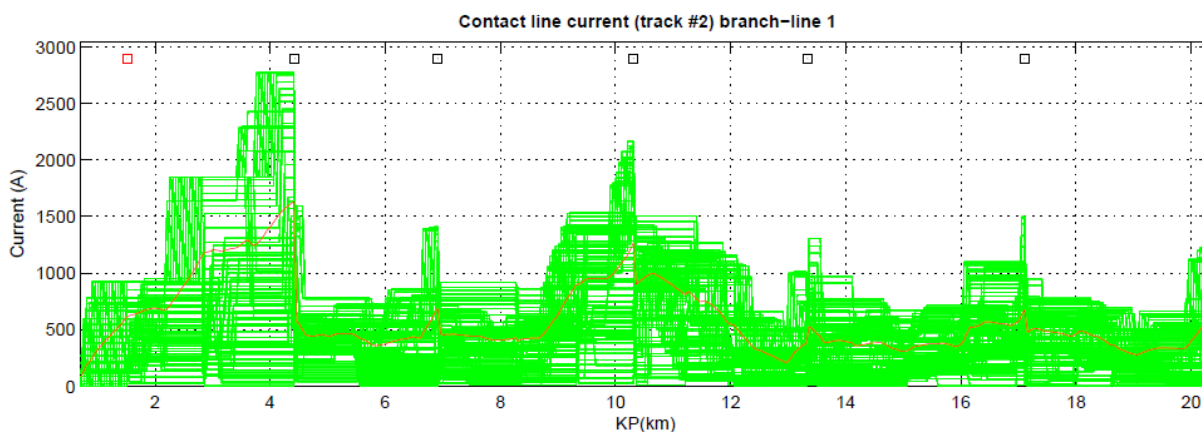


Figura 37 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 2

5.2.1. Corriente en riel

Intensidad máx. riel [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1	Intensidad máx. riel [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1
2,037.45	1,214.73	2,775.00	1,630.83

Tabla 21 Intensidad en riel [A]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

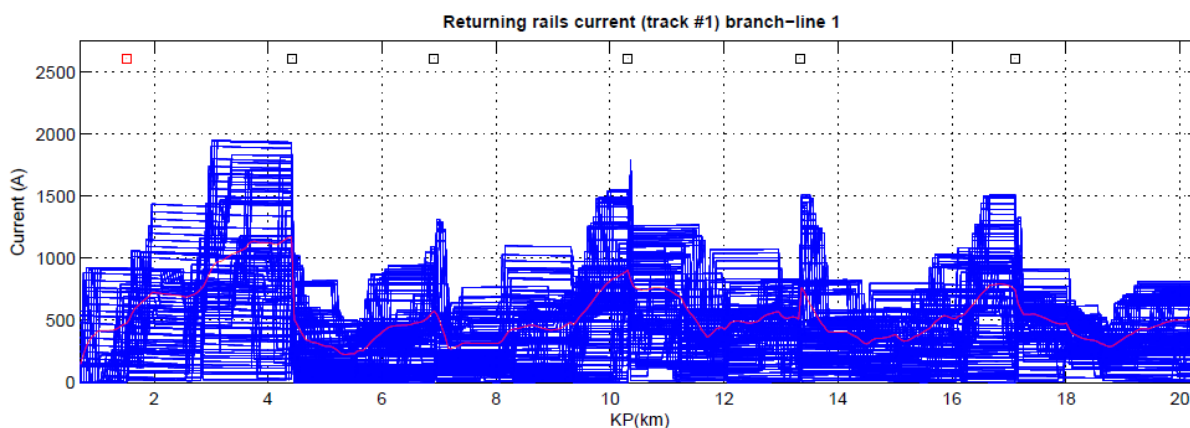


Figura 38 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 1

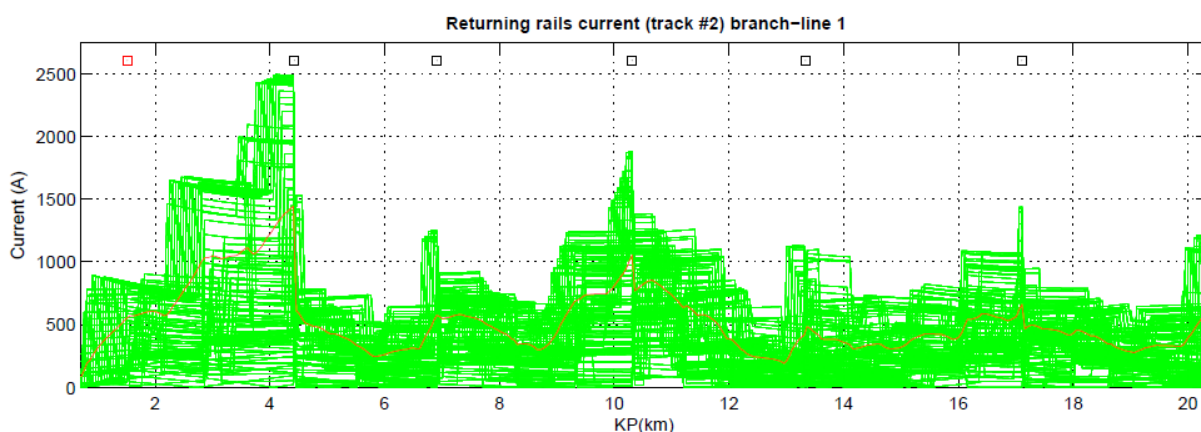


Figura 39 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 2

5.2.1. Corrientes en feeders

En el siguiente punto se detallan la corriente máxima y RMS que soportarán los feeders de cada una de las subestaciones de rectificación. La nomenclatura utilizada para cada uno de los feeders corresponde con la siguiente:

Feeder 1: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado izquierdo

Feeder 2: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado derecho

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Feeder 3: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado izquierdo

Feeder 4: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado derecho

Subestación	Feeder	Intensidad máx. [A]	Intensidad máx. RMS [A]
DIF / CIRT	Feeder 1	--	--
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	--	--
	Feeder 4	--	--
Zapopan Ayuntamiento	Feeder 1	2,013.57	1,214.73
	Feeder 2	978.88	435.76
	Feeder 3	2,775.00	1,630.83
	Feeder 4	640.28	569.10
Country Club	Feeder 1	1,086.63	678.00
	Feeder 2	1,116.83	509.48
	Feeder 3	1,410.58	685.57
	Feeder 4	920.22	463.11
Alcalde	Feeder 1	1,813.55	1,060.20
	Feeder 2	2,037.45	948.78
	Feeder 3	2,166.66	1,265.34
	Feeder 4	1,428.47	902.08
Plaza de la bandera	Feeder 1	936.76	473.24
	Feeder 2	1,519.13	777.85
	Feeder 3	1,014.69	375.15
	Feeder 4	970.76	523.65

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Feeder	Intensidad máx.	Intensidad máx. RMS
		[A]	[A]
Revolución / Rio Nilo	Feeder 1	1,488.64	742.79
	Feeder 2	1,279.26	624.49
	Feeder 3	1,498.75	672.78
	Feeder 4	752.11	474.34
Central de autobuses	Feeder 1	817.97	511.70
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	1224.71	620.72
	Feeder 4	--	--

Tabla 22 Intensidad [A] en cada feeder de las subestaciones rectificadoras

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

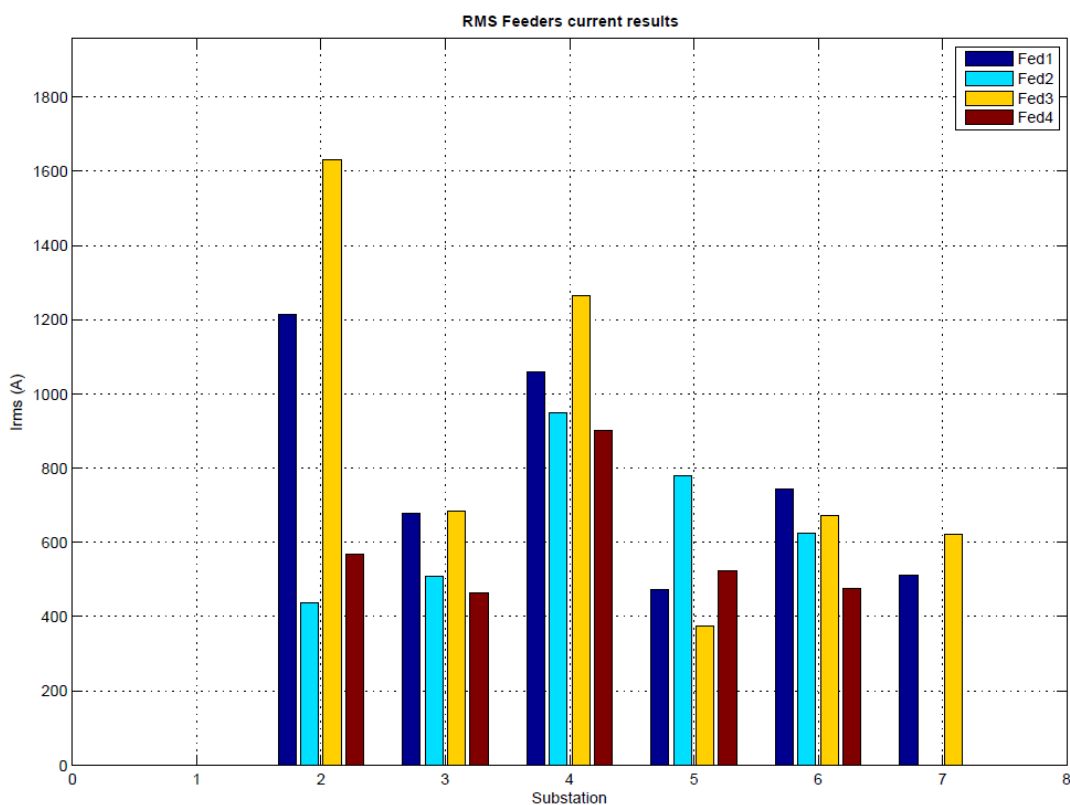


Figura 40 Intensidad RMS [A] en feeders de subestación rectificadora

5.3. SITUACIÓN DEGRADADA 2

La situación degradada 2 considera la falla de la subestación de rectificación Zapopan Ayuntamiento.

5.3.1. Tensión en el tren

A partir del estudio de marcha realizado, y de la flota especificada en puntos anteriores, se obtiene la tensión [V] en pantógrafo del tren a lo largo del trayecto:

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

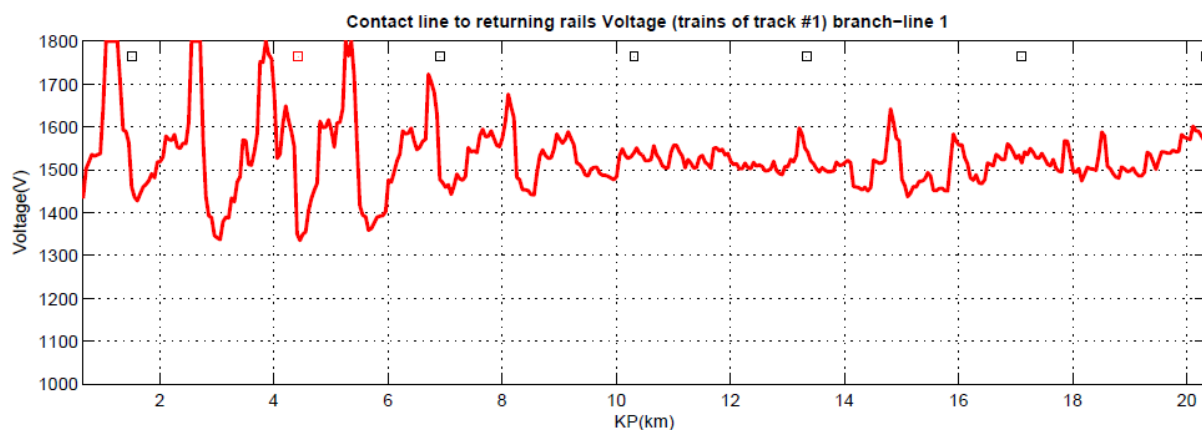


Figura 41 Tensión en pantógrafo vía 1

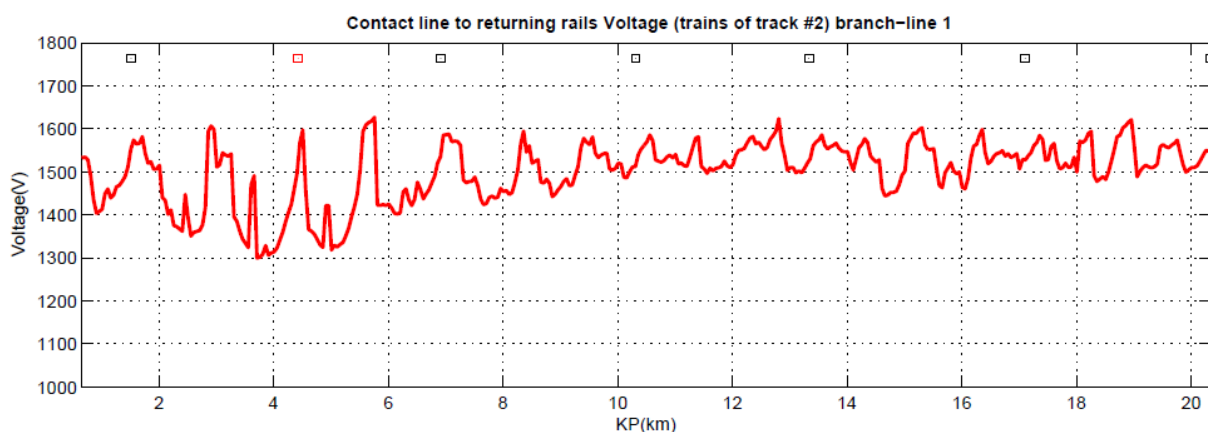


Figura 42 Tensión en pantógrafo vía 2

5.3.2. Potencia en las subestaciones de rectificación

Las potencias obtenidas en cada una de las subestaciones son las que se observan en la siguiente tabla:

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
-------------	--------	---------------------	------------------	-------------------------	-------------------------

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	6,578.67	4,796.71	3,581.01
Zapopan Ayuntamiento	4,430	--	--	--	--
Country club	6,915	2x2000 kW	5,996.32	4,588.99	3,417.70
Alcalde	10,315	2x2000 kW	4,367.79	3,037.68	2,557.44
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	4,050.19	3,092.03	2,476.13
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	3,481.65	2,294.35	2,193.40
Central de autobuses	20,340	2x2000 kW	2,813.45	1,993.86	1,599.48

Tabla 23 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

En los siguientes gráficos, se muestran los resultados de potencia obtenida en formato gráfico:

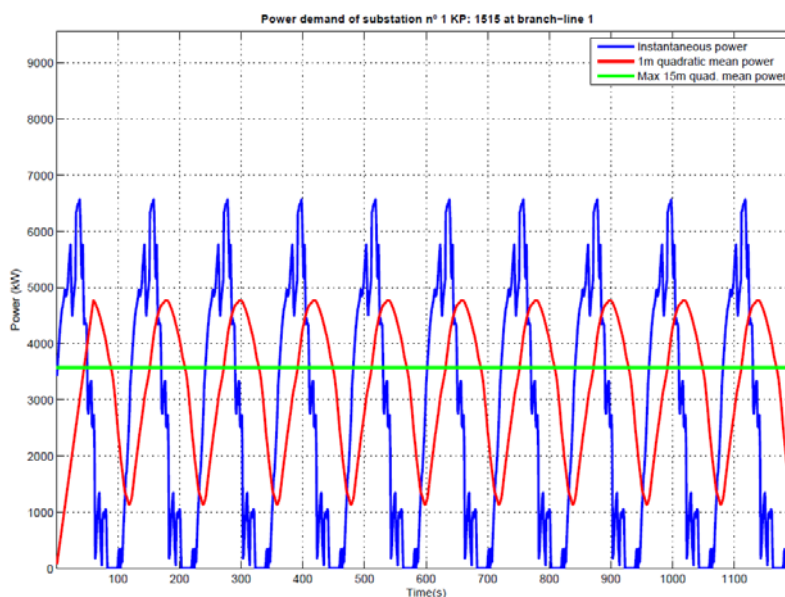


Figura 43 Potencia demandada en subestación de rectificación Dif/Cirt

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

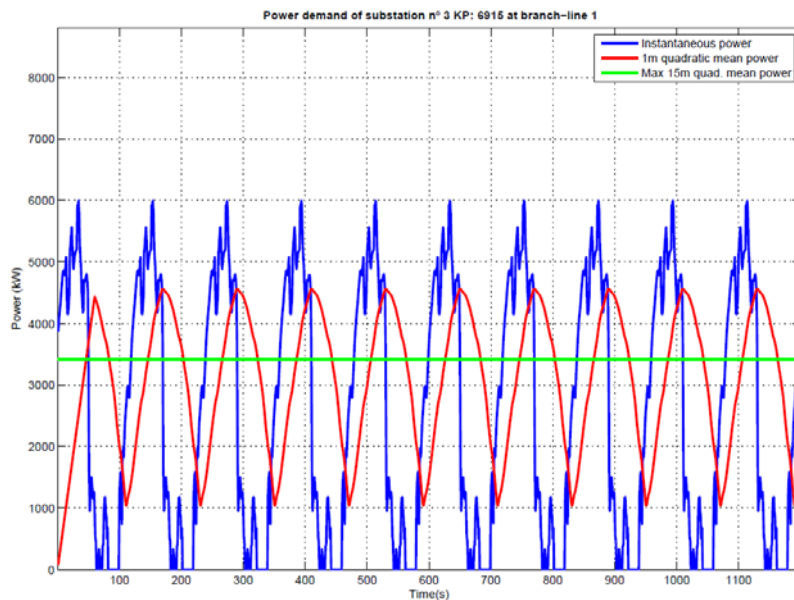


Figura 44 Potencia demandada en subestación de rectificación Country Club

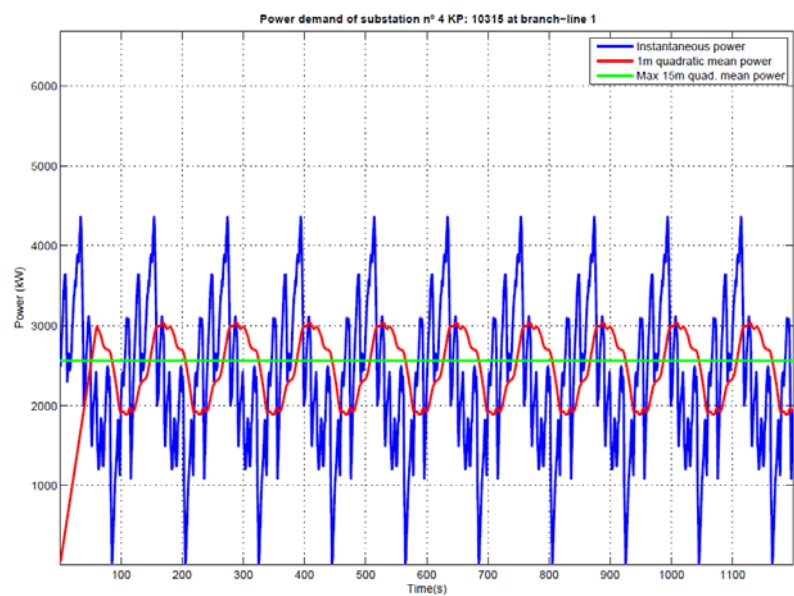


Figura 45 Potencia demandada en subestación de rectificación Alcalde

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

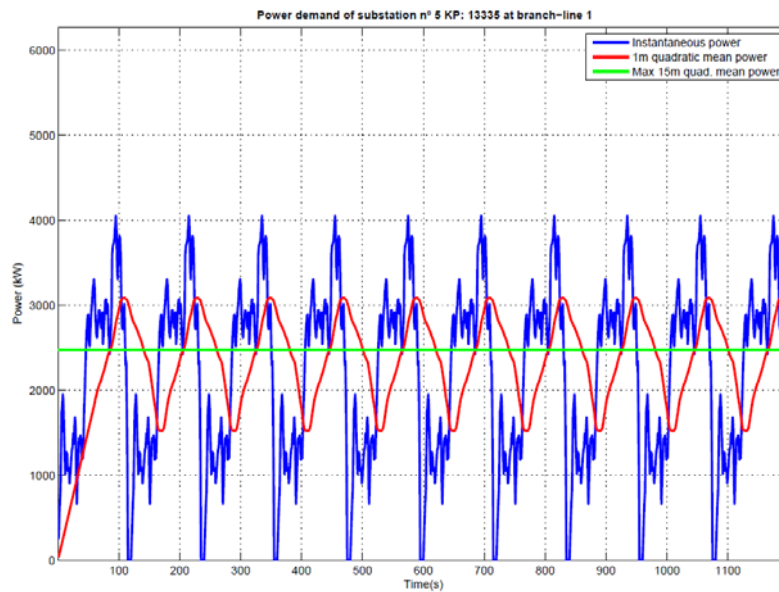


Figura 46 Potencia demandada en subestación de rectificación Plaza de la bandera

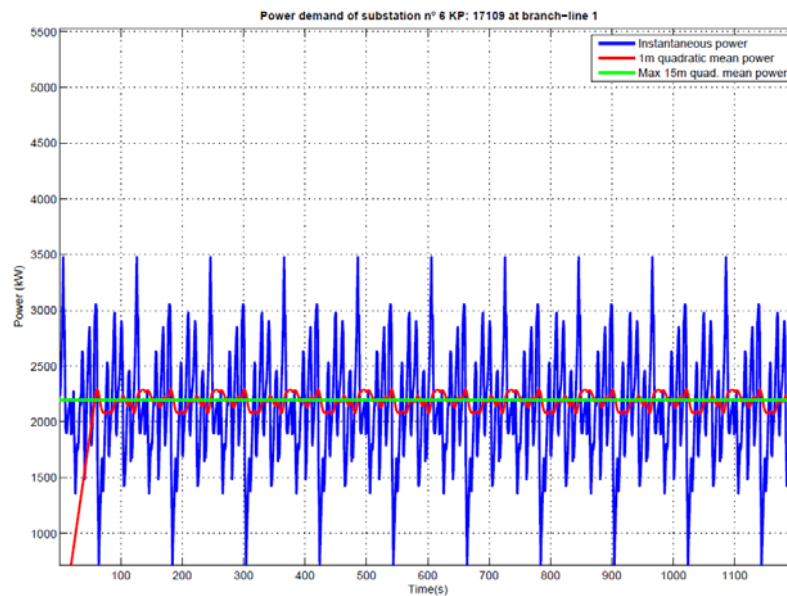


Figura 47 Potencia demandada en subestación de rectificación Revolución / Río Nilo

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

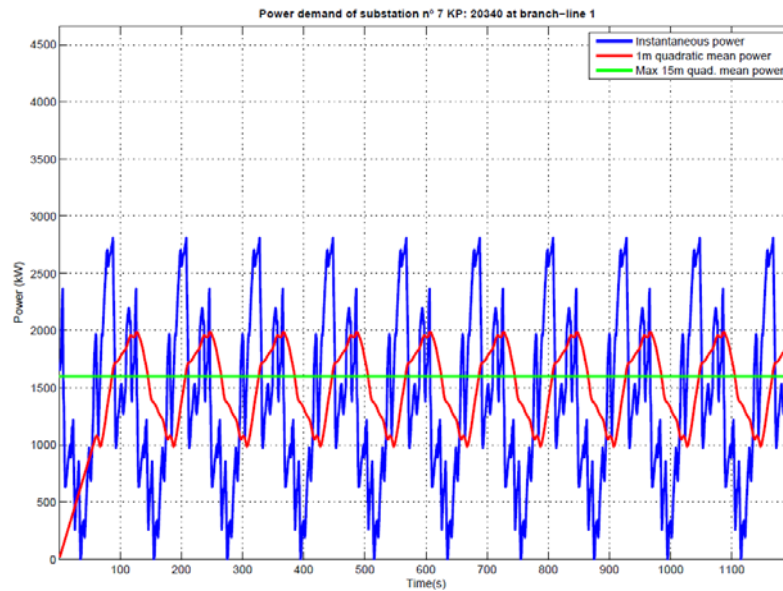


Figura 48 Potencia demandada en subestación de rectificación Central de autobuses

5.3.3. Tensión en catenaria

Tensión min. Catenaria [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión min. Catenaria [V] Vía 2	Pk [m]
1,335.09	4,461	1,299.23	3,711

Tabla 24 Tensión mínima en catenaria [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

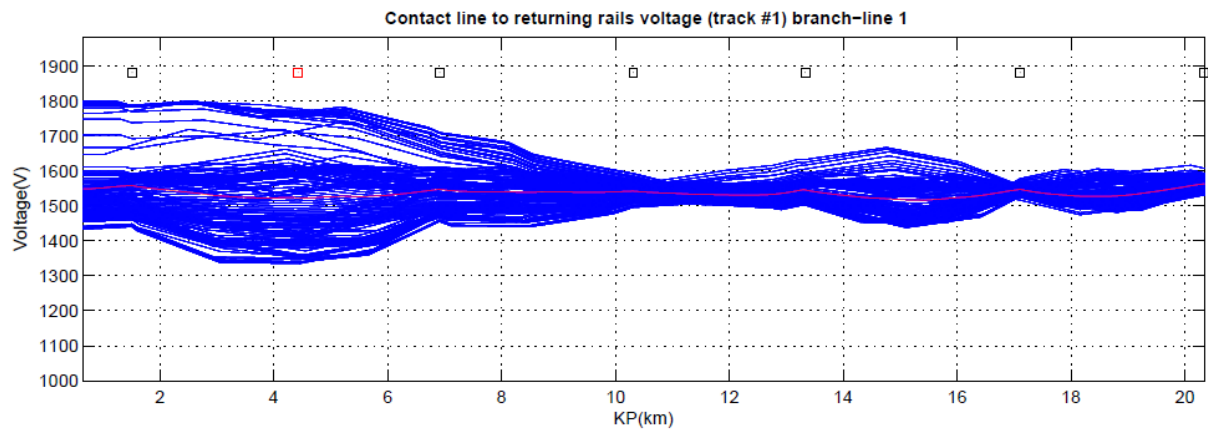


Figura 49 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 1

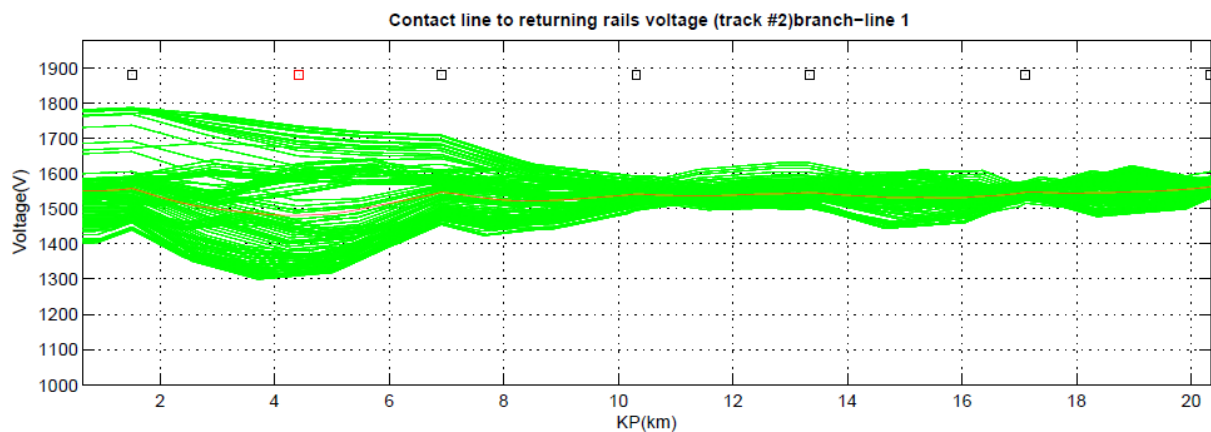


Figura 50 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 2

5.3.4. Tensión riel - tierra

Tensión máx. riel [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión máx. riel [V] Vía 2	Pk [m]
37.51	14,261	43.32	3,811

Tabla 25 Tensión máxima en riel [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

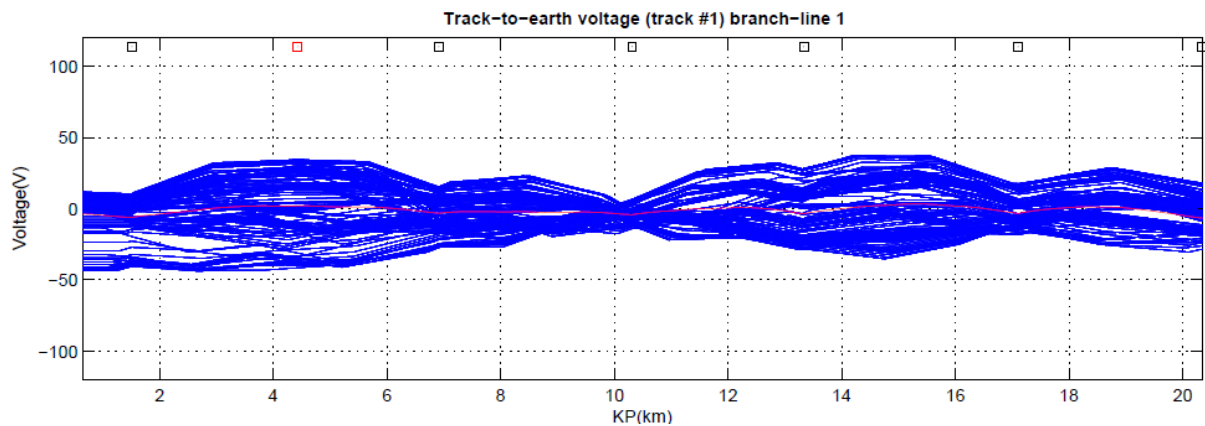


Figura 51 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 1

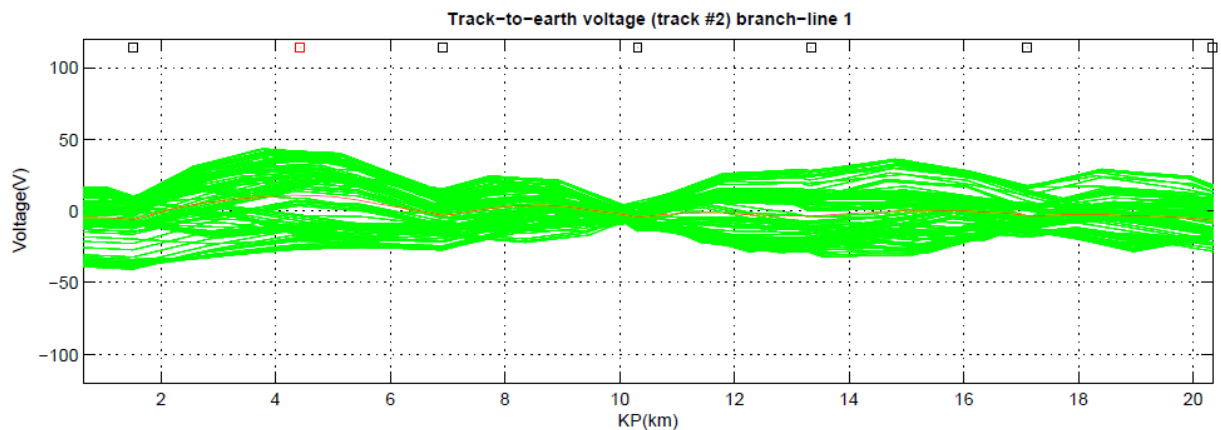


Figura 52 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 2

5.3.5. Corriente en catenaria

Intensidad máx. Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. Cat [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1
2,157.42	1,134.27	2,417.38	1,390.06

Tabla 26 Intensidad en catenaria

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

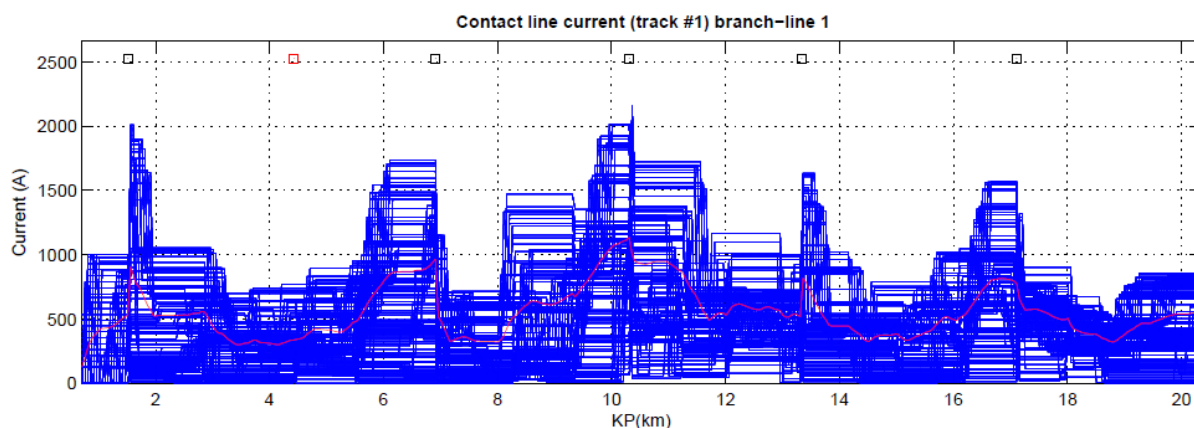


Figura 53 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 1

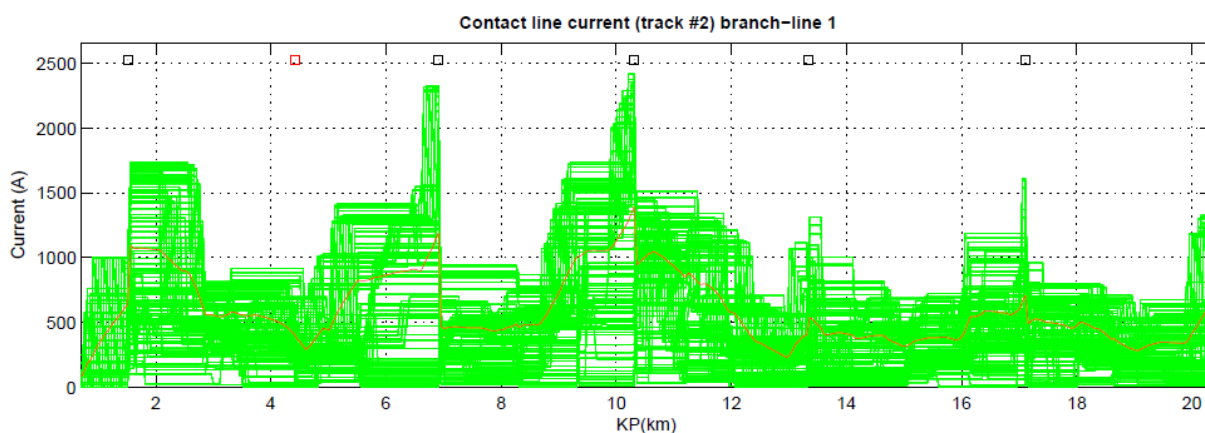


Figura 54 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 2

5.3.6. Corriente en riel

Intensidad máx. riel [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1	Intensidad máx. riel [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1
2,066.17	980.54	2,133.27	1,174.49

Tabla 27 Intensidad en riel [A]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

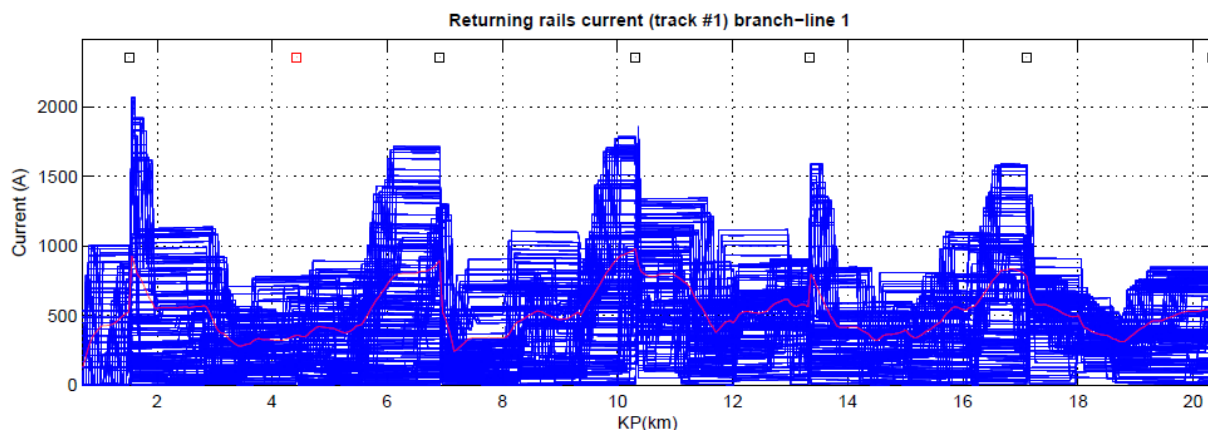


Figura 55 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 1

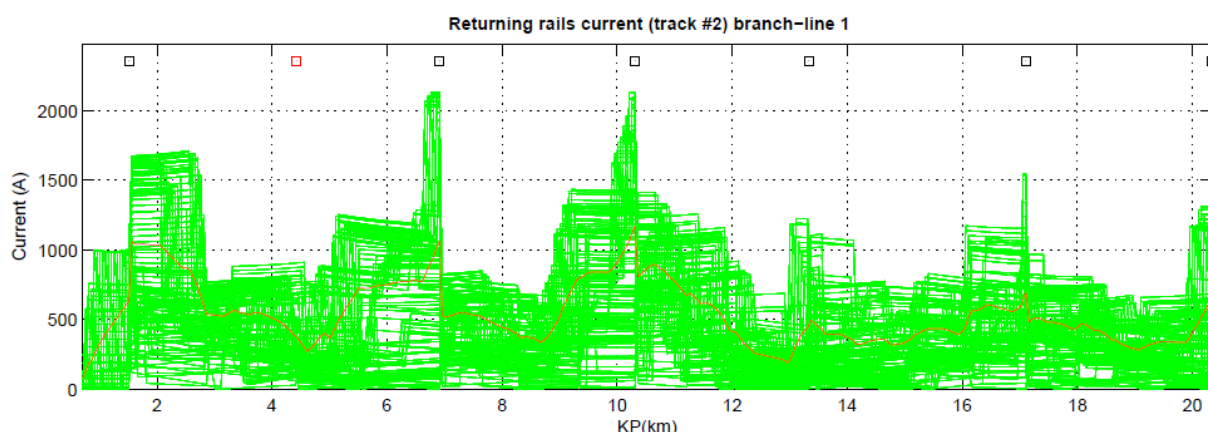


Figura 56 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 2

5.3.7. Corrientes en feeders

En el siguiente punto se detallan la corriente máxima y RMS que soportarán los feeders de cada una de las subestaciones de rectificación. La nomenclatura utilizada para cada uno de los feeders corresponde con la siguiente:

Feeder 1: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado izquierdo

Feeder 2: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado derecho

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Feeder 3: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado izquierdo

Feeder 4: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado derecho

Subestación	Feeder	Intensidad máx. [A]	Intensidad máx. RMS [A]
DIF / CIRT	Feeder 1	1,000.00	526.48
	Feeder 2	2009.92	904.29
	Feeder 3	1,000.00	633.50
	Feeder 4	1,732.91	1,088.93
Zapopan Ayuntamiento	Feeder 1	--	--
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	--	--
	Feeder 4	--	--
Country Club	Feeder 1	1,734.89	965.01
	Feeder 2	1,152.08	515.59
	Feeder 3	2,326.38	1,189.63
	Feeder 4	940.38	463.25
Alcalde	Feeder 1	2,015.18	1,134.27
	Feeder 2	2,157.42	1,003.08
	Feeder 3	2,417.38	1,390.06
	Feeder 4	1,452.91	942.64
Plaza de la bandera	Feeder 1	1,002.65	517.60
	Feeder 2	1,632.52	816.12
	Feeder 3	1,114.19	403.62

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Feeder	Intensidad máx.	Intensidad máx. RMS
		[A]	[A]
Revolución / Rio Nilo	Feeder 4	1,000.74	536.50
	Feeder 1	1,568.56	775.47
	Feeder 2	1,318.29	655.08
	Feeder 3	1,609.26	706.25
	Feeder 4	799.51	489.37
Central de autobuses	Feeder 1	854.91	538.35
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	1,324.98	648.12
	Feeder 4	--	--

Tabla 28 Intensidad [A] en cada feeder de las subestaciones rectificadoras

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

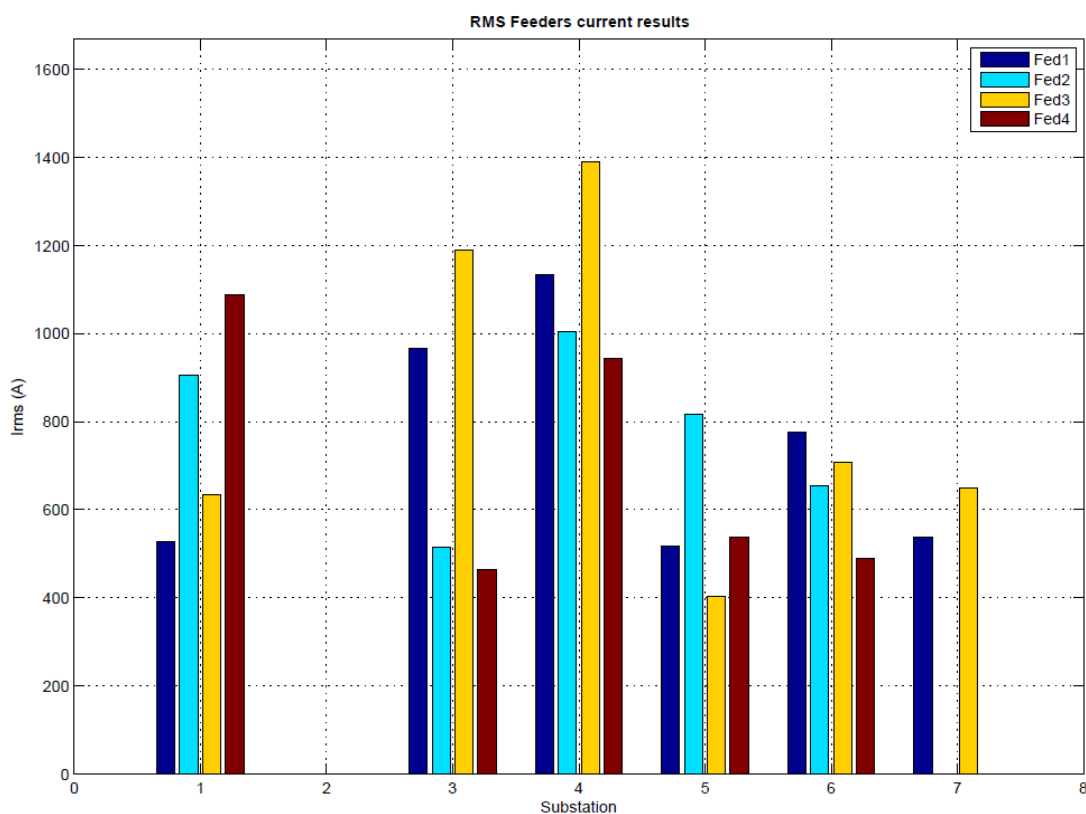


Figura 57 Intensidad RMS [A] en feeders de subestación rectificadora

5.4. SITUACIÓN DEGRADADA 3

La situación degradada 3 considera la falla de la subestación de rectificación Country Club.

5.4.1. Tensión en el tren

A partir del estudio de marcha realizado, y de la flota especificada en puntos anteriores, se obtiene la tensión [V] en pantógrafo del tren a lo largo del trayecto:

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

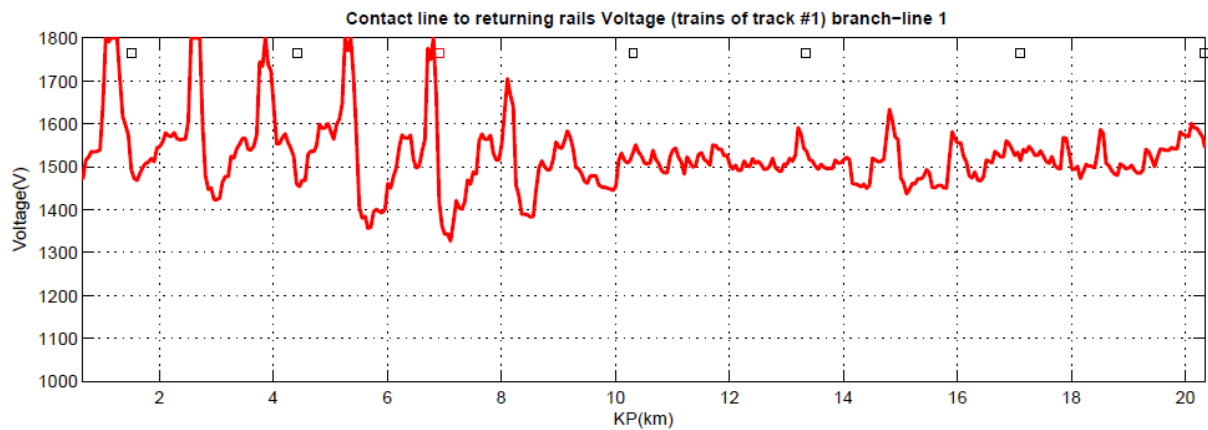


Figura 58 Tensión en pantógrafo vía 1

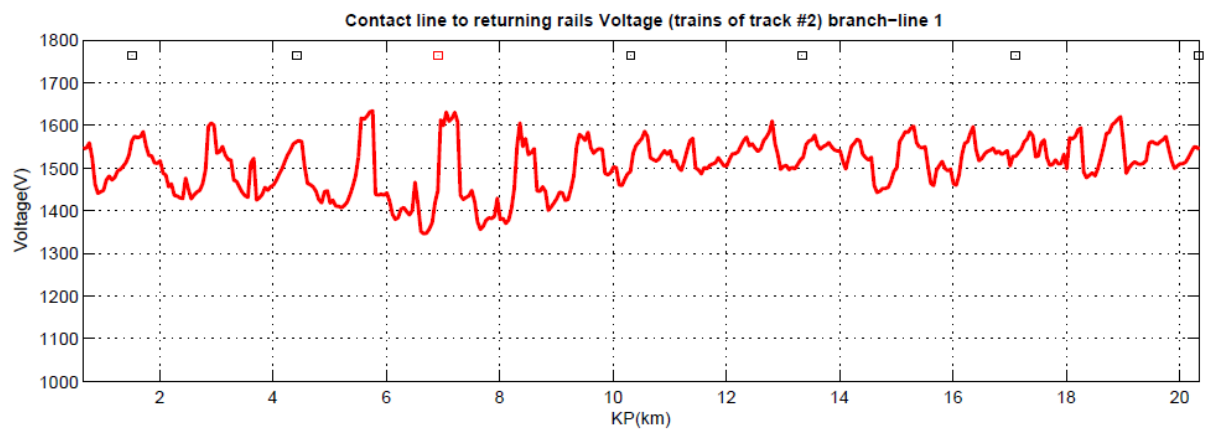


Figura 59 Tensión en pantógrafo vía 2

5.4.2. Potencia en las subestaciones de rectificación

Las potencias obtenidas en cada una de las subestaciones son las que se observan en la siguiente tabla:

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	5,119.64	3,708.13	2,770.79

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Zapopan Ayuntamiento	4,430	2x2000 kW	5,835.98	4,510.85	3,357.38
Country club	6,915	--	--	--	--
Alcalde	10,315	2x2000 kW	5,404.00	3,856.84	3,135.64
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	4,049.35	3,131.16	2,584.49
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	3,548.04	2,346.03	2,231.30
Central de autobuses	20,340	2x2000 kW	2,815.75	2,001.66	1,607.54

Tabla 29 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

En los siguientes gráficos, se muestran los resultados de potencia obtenida en formato gráfico:

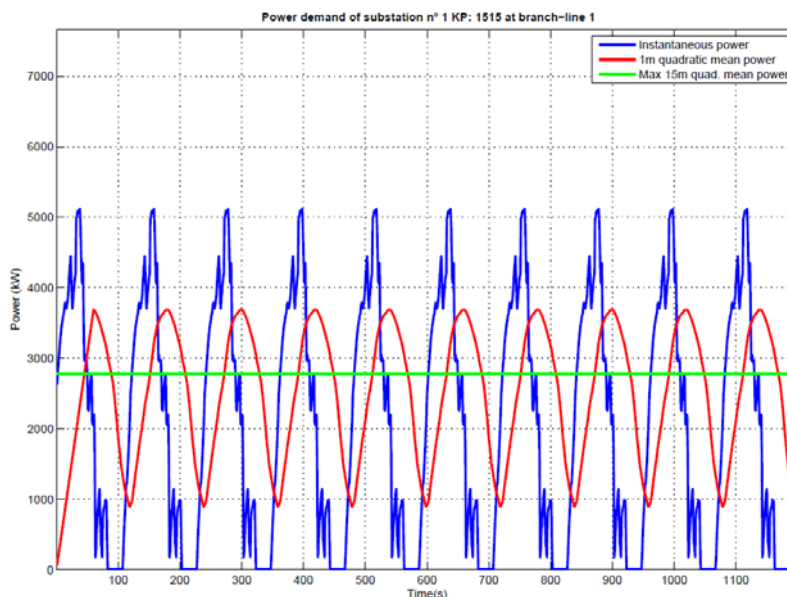


Figura 60 Potencia demandada en subestación de rectificación Dif/Cirt

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

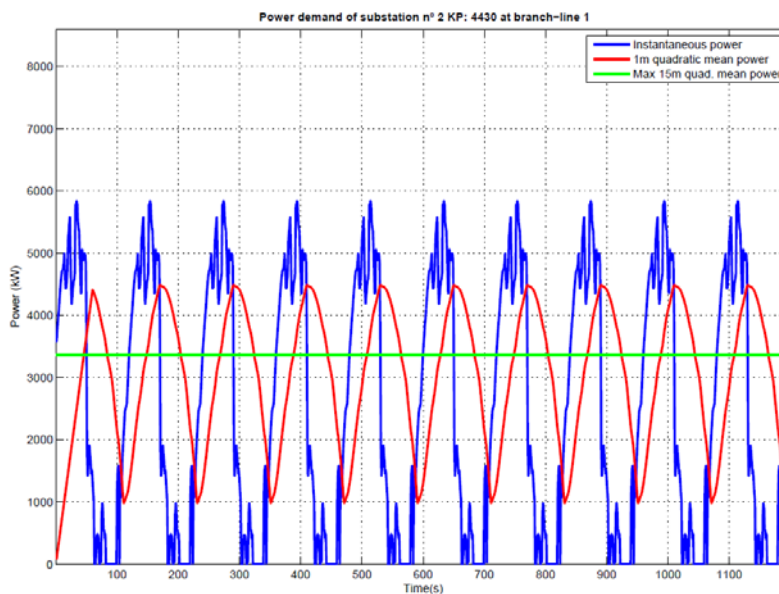


Figura 61 Potencia demandada en subestación de rectificación Zapopan Ayuntamiento

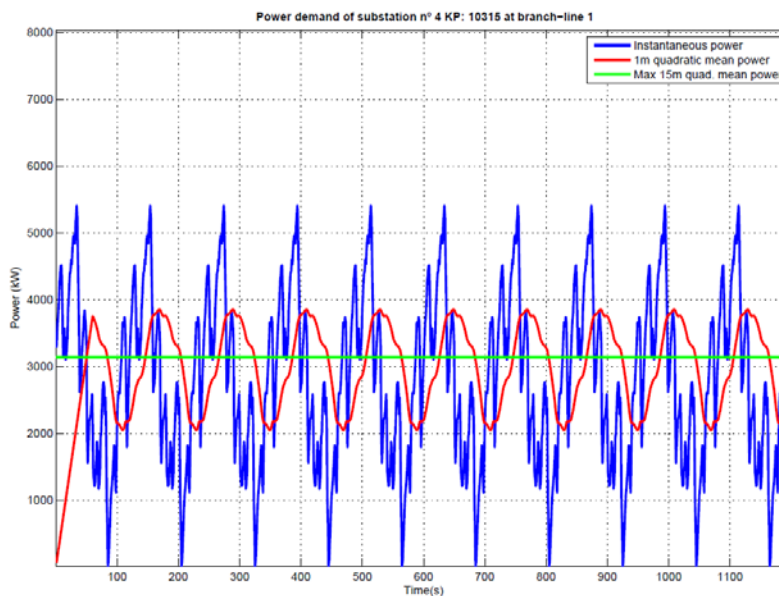


Figura 62 Potencia demandada en subestación de rectificación Alcalde

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

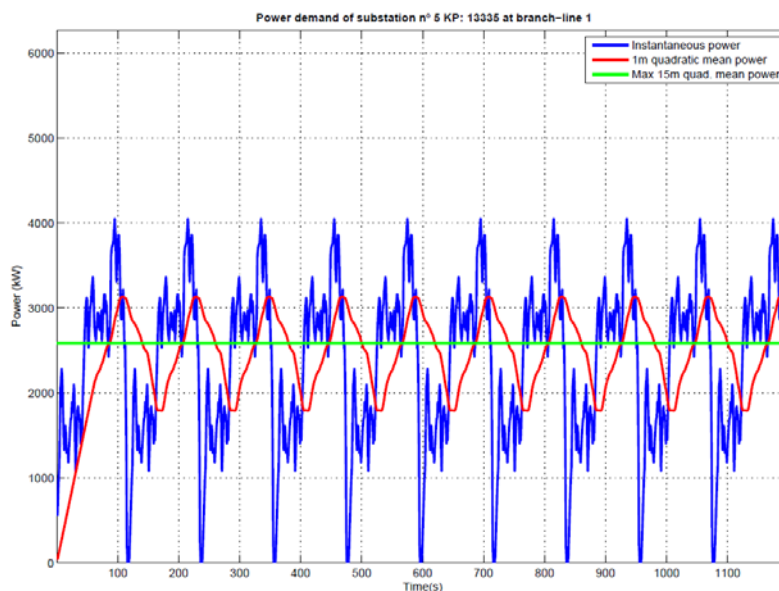


Figura 63 Potencia demandada en subestación de rectificación Plaza de la bandera

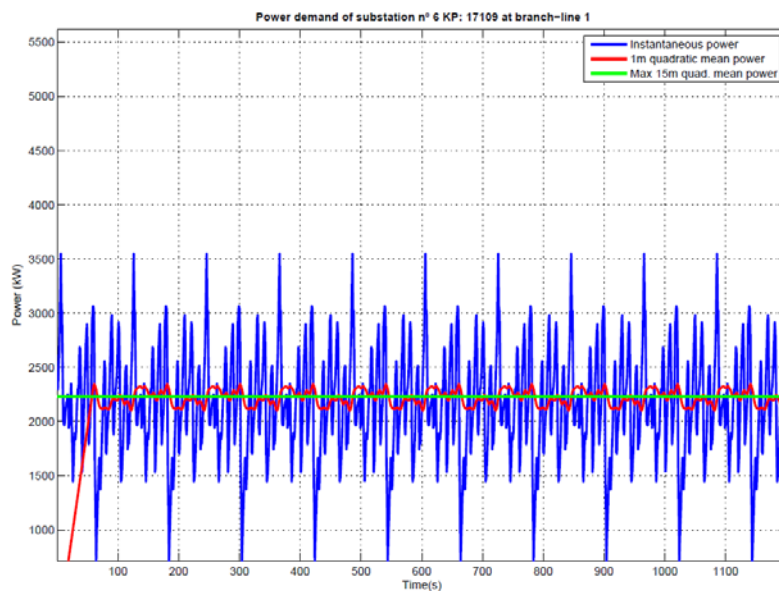


Figura 64 Potencia demandada en subestación de rectificación Revolución / Río Nilo

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

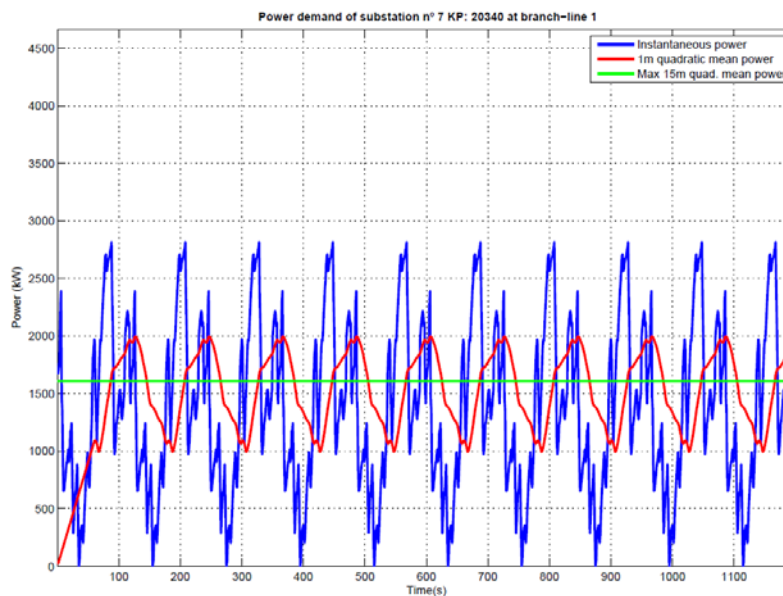


Figura 65 Potencia demandada en subestación de rectificación Central de autobuses

5.4.3. Tensión en catenaria

Tensión min. Catenaria [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión min. Catenaria [V] Vía 2	Pk [m]
1,326.54	7.111	1,345.76	6,661

Tabla 30 Tensión mínima en catenaria [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

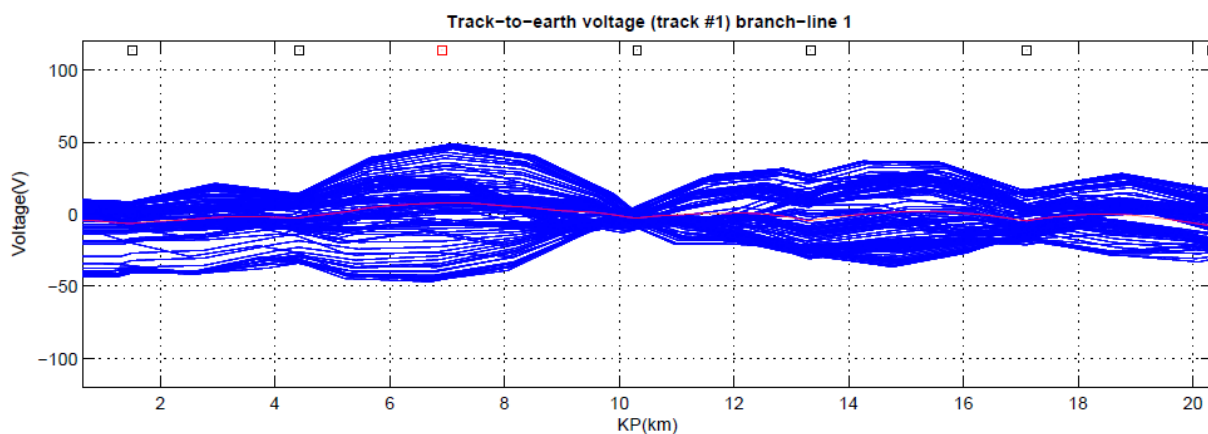


Figura 66 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 1

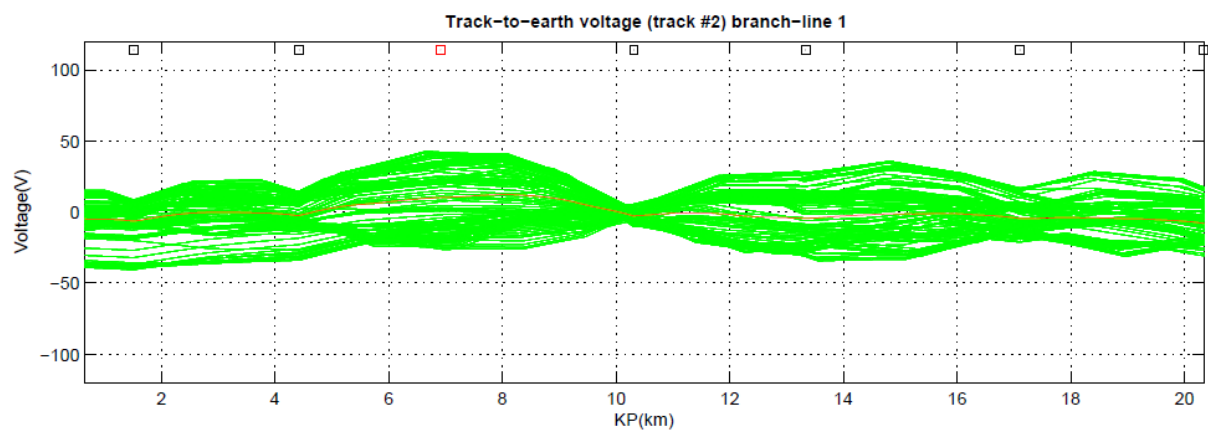


Figura 67 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 2

5.4.4. Tensión riel - tierra

Tensión máx. riel [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión máx. riel [V] Vía 2	Pk [m]
49.1	7,111	42.7	6,661

Tabla 31 Tensión máxima en riel [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

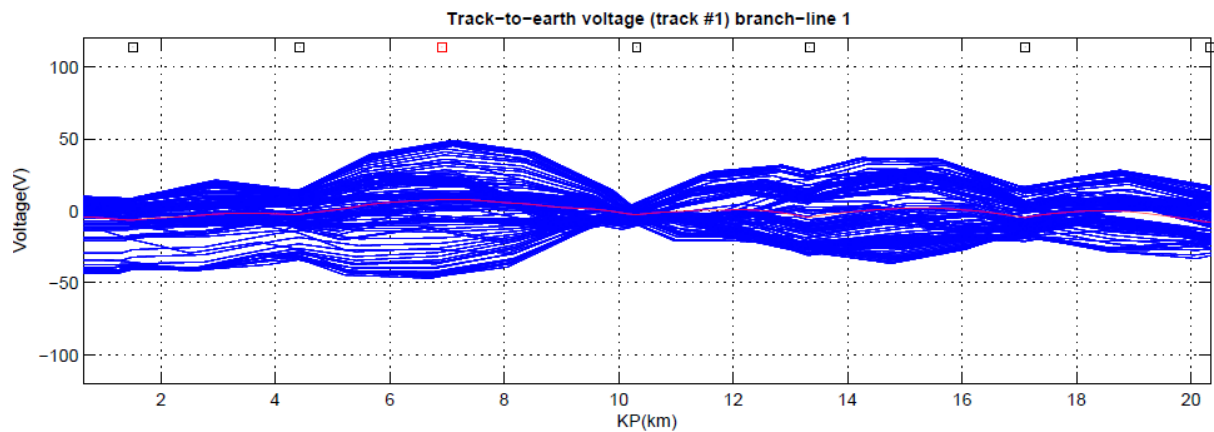


Figura 68 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 1

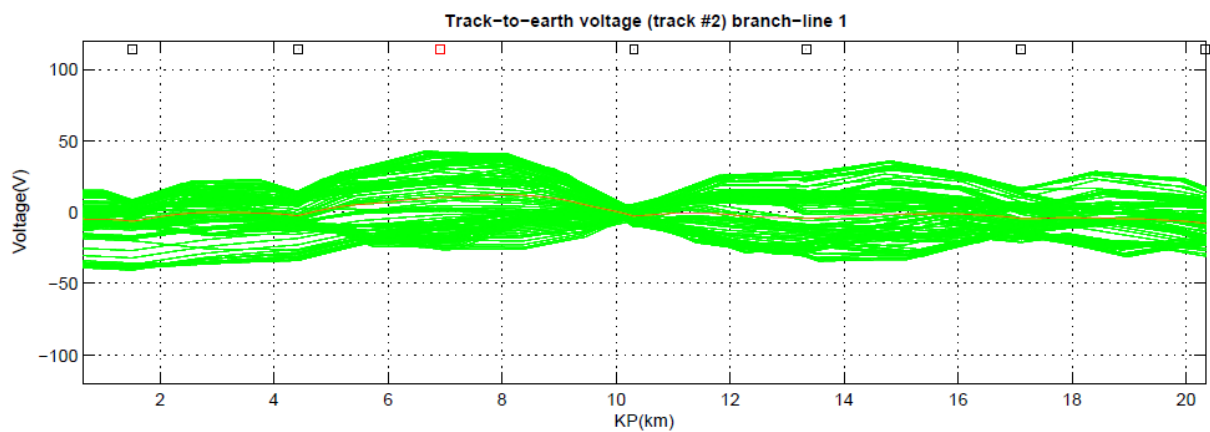


Figura 69 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 2

5.4.5. Corriente en catenaria

Intensidad máx. Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. Cat [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1
2,701.24	1,325.97	2,805.75	1,682.96

Tabla 32 Intensidad en catenaria

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

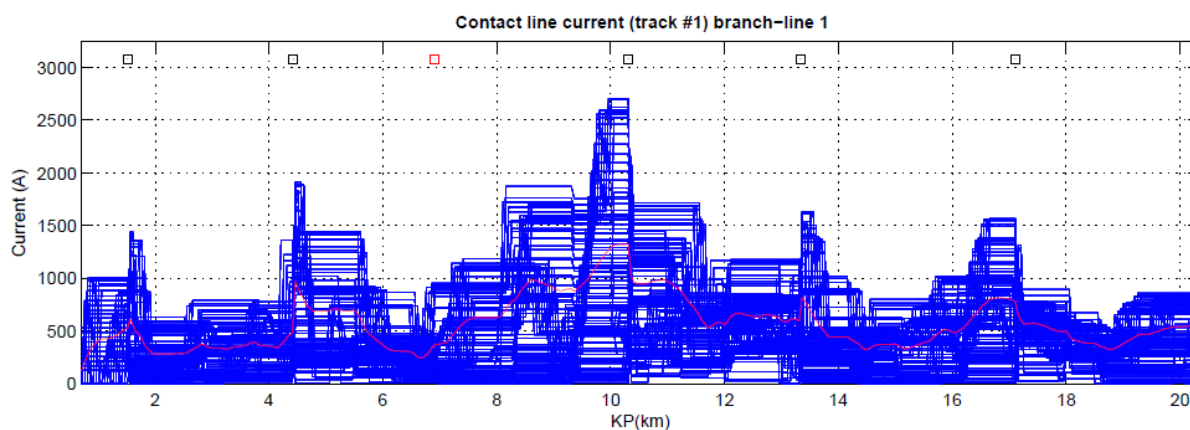


Figura 70 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 1

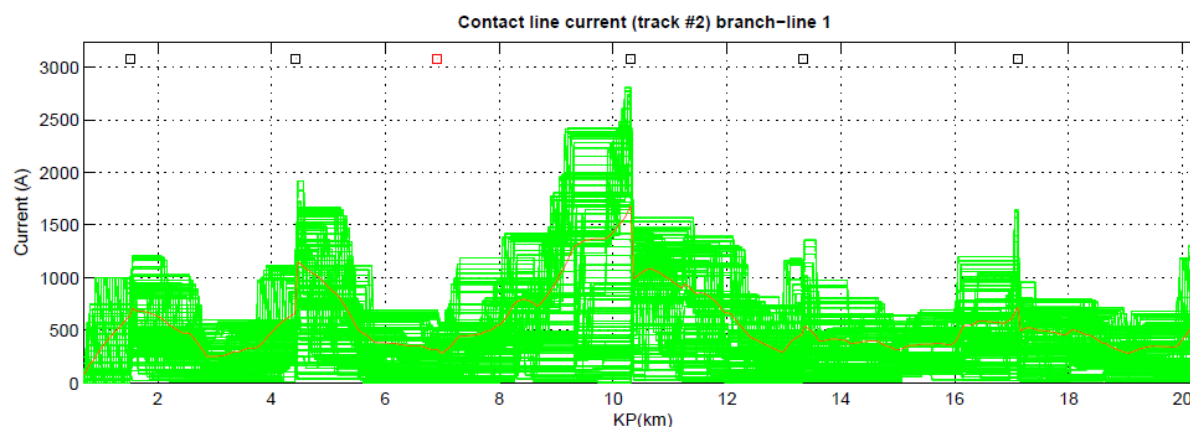


Figura 71 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 2

5.4.6. Corriente en riel

Intensidad máx. riel [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1	Intensidad máx. riel [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1
2,453.40	1,191.52	2,491.96	1,451.49

Tabla 33 Intensidad en riel [A]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

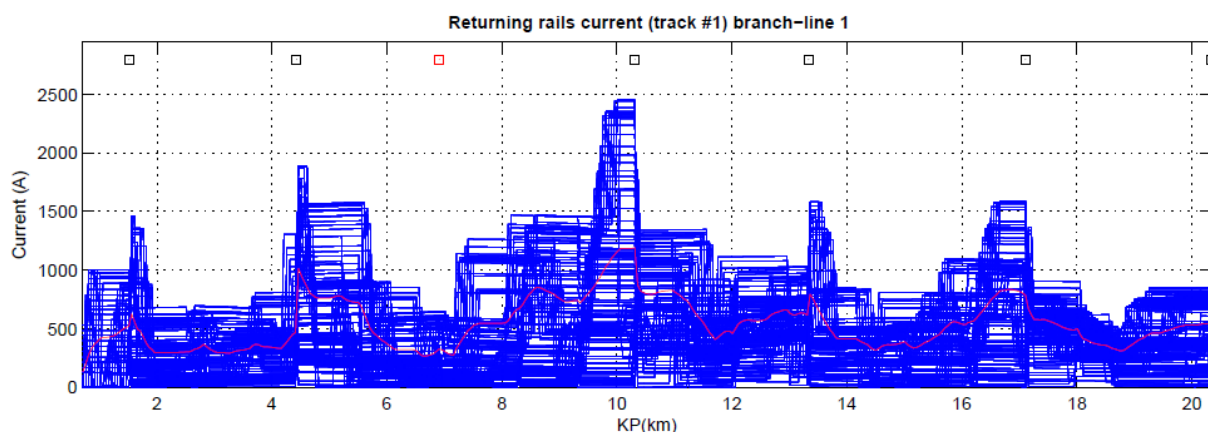


Figura 72 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 1

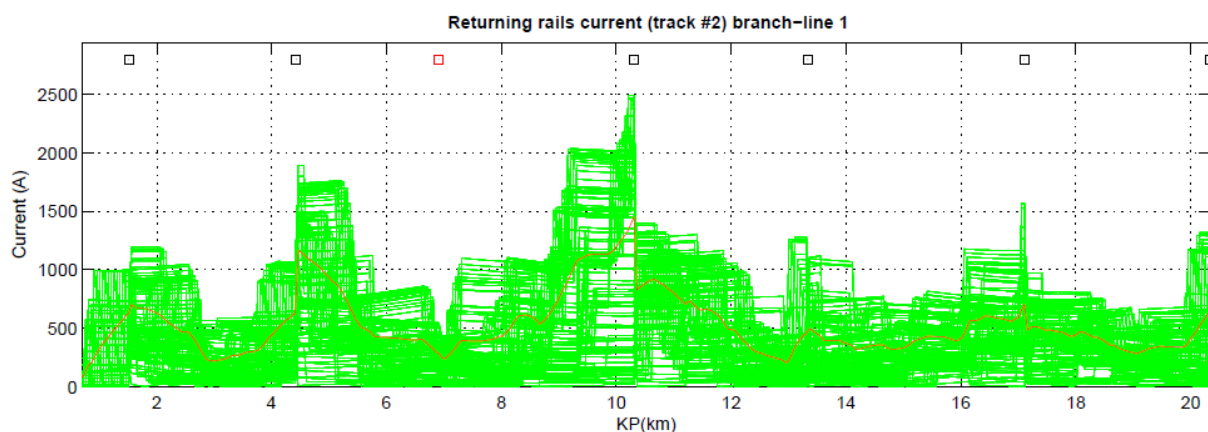


Figura 73 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 2

5.4.7. Corrientes en feeders

En el siguiente punto se detallan la corriente máxima y RMS que soportarán los feeders de cada una de las subestaciones de rectificación. La nomenclatura utilizada para cada uno de los feeders corresponde con la siguiente:

Feeder 1: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado izquierdo

Feeder 2: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado derecho

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Feeder 3: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado izquierdo

Feeder 4: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado derecho

Subestación	Feeder	Intensidad máx. [A]	Intensidad máx. RMS [A]
DIF / CIRT	Feeder 1	1,000.00	522.82
	Feeder 2	1,438.54	615.21
	Feeder 3	1,000.00	631.24
	Feeder 4	1,205.54	707.71
Zapopan Ayuntamiento	Feeder 1	775.43	480.51
	Feeder 2	1,911.54	970.23
	Feeder 3	1,116.58	654.67
	Feeder 4	1,663.28	1,142.97
Country Club	Feeder 1	--	--
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	--	--
	Feeder 4	--	--
Alcalde	Feeder 1	2,701.24	1,325.97
	Feeder 2	2,156.63	1,016.12
	Feeder 3	2,805.75	1,682.96
	Feeder 4	1,429.00	987.98
Plaza de la bandera	Feeder 1	1,177.48	593.34
	Feeder 2	1,632.48	813.58
	Feeder 3	1,178.14	451.56

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Feeder	Intensidad máx.	Intensidad máx. RMS
		[A]	[A]
Revolución / Rio Nilo	Feeder 4	975.21	538.08
	Feeder 1	1,566.31	775.92
	Feeder 2	1,311.66	651.52
	Feeder 3	1,641.13	717.73
	Feeder 4	799.20	488.88
Central de autobuses	Feeder 1	860.57	541.10
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	1,327.21	649.49
	Feeder 4	--	--

Tabla 34 Intensidad [A] en cada feeder de las subestaciones rectificadoras

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

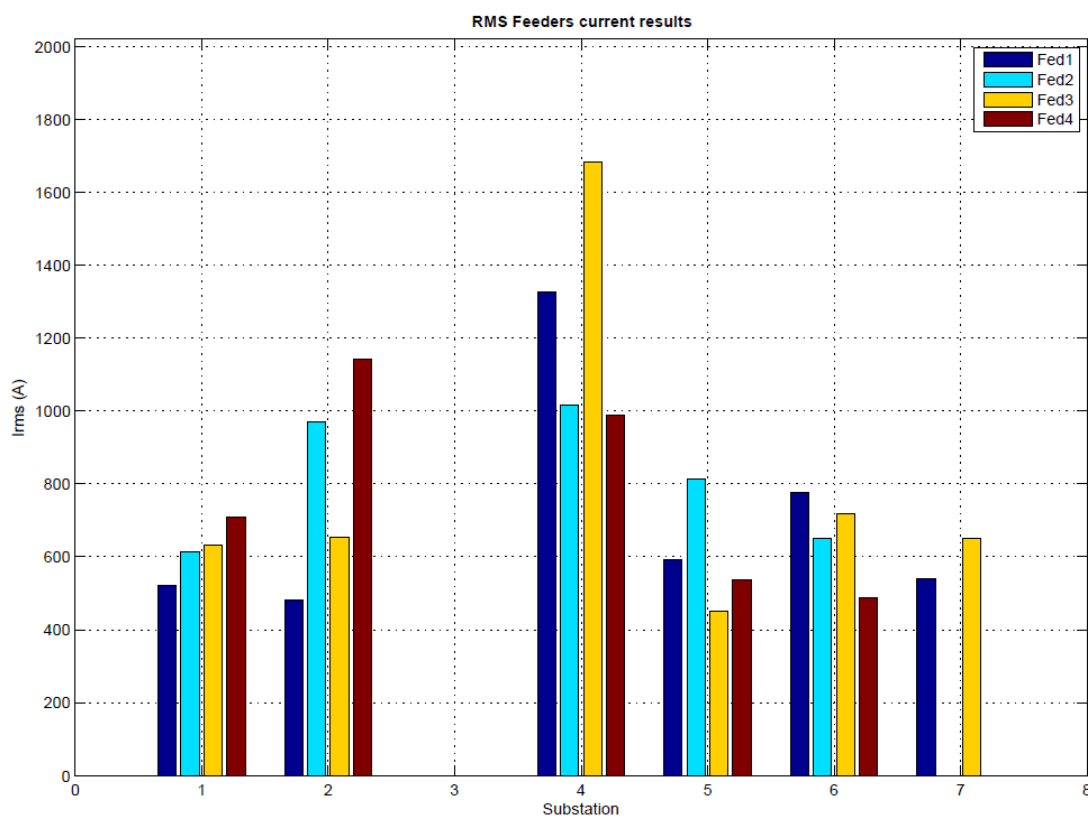


Figura 74 Intensidad RMS [A] en feeders de subestación rectificadora

5.5. SITUACIÓN DEGRADADA 4

La situación degradada 4 considera la falla de la subestación de rectificación Alcalde.

5.5.1. Tensión en el tren

A partir del estudio de marcha realizado, y de la flota especificada en puntos anteriores, se obtiene la tensión [V] en pantógrafo del tren a lo largo del trayecto:

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

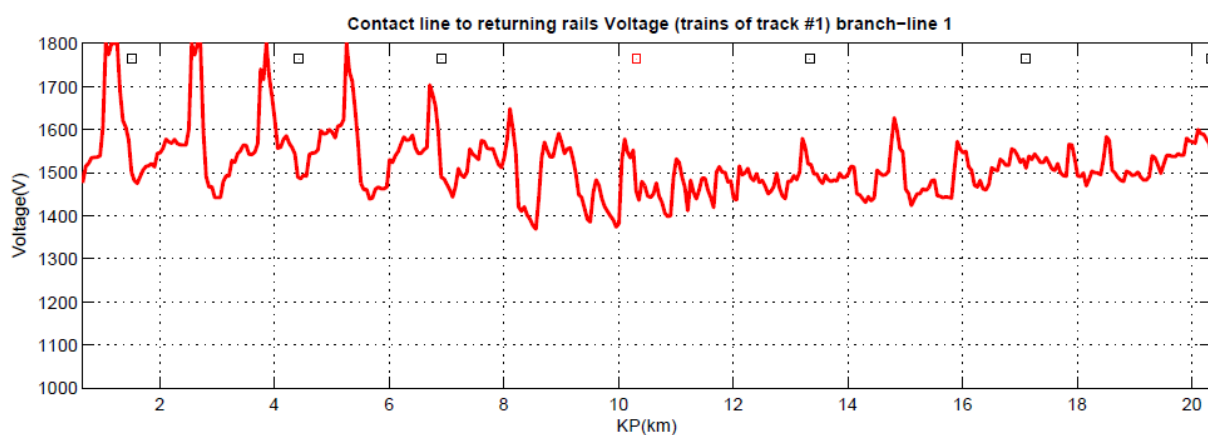


Figura 75 Tensión en pantógrafo vía 1

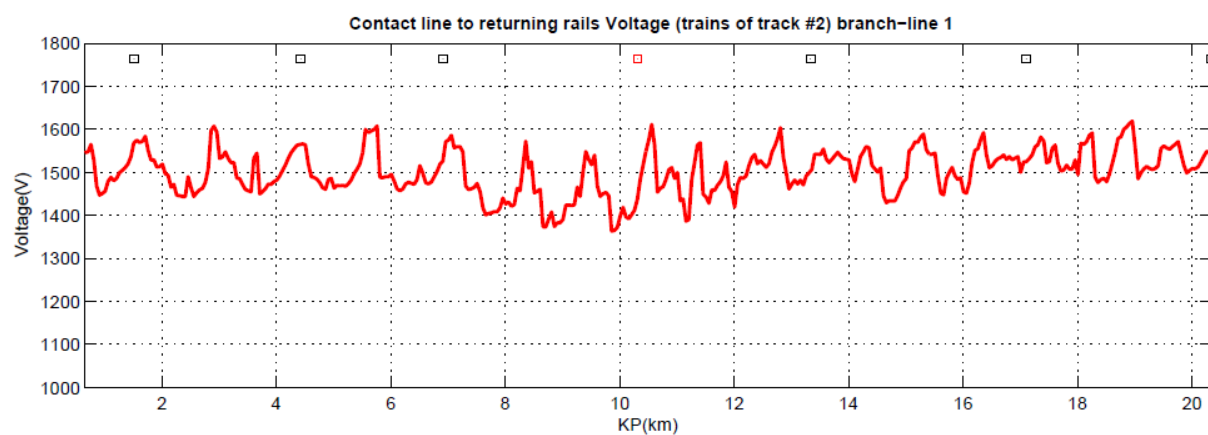


Figura 76 Tensión en pantógrafo vía 2

5.5.2. Potencia en las subestaciones de rectificación

Las potencias obtenidas en cada una de las subestaciones son las que se observan en la siguiente tabla:

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	4,858.44	3,452.06	2,582.47
Zapopan Ayuntamiento	4,430	2x2000 kW	4,626.12	3,544.54	2,648.99

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Country club	6,915	2x2000 kW	5,565.33	4,161.86	3,151.60
Alcalde	10,315	--	--	--	--
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	5,159.88	3,866.72	3,300.99
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	3,727.25	2,490.80	2,373.84
Central de autobuses	20,340	2x2000 kW	2,835.19	2,038.67	1,642.03

Tabla 35 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

En los siguientes gráficos, se muestran los resultados de potencia obtenida en formato gráfico:

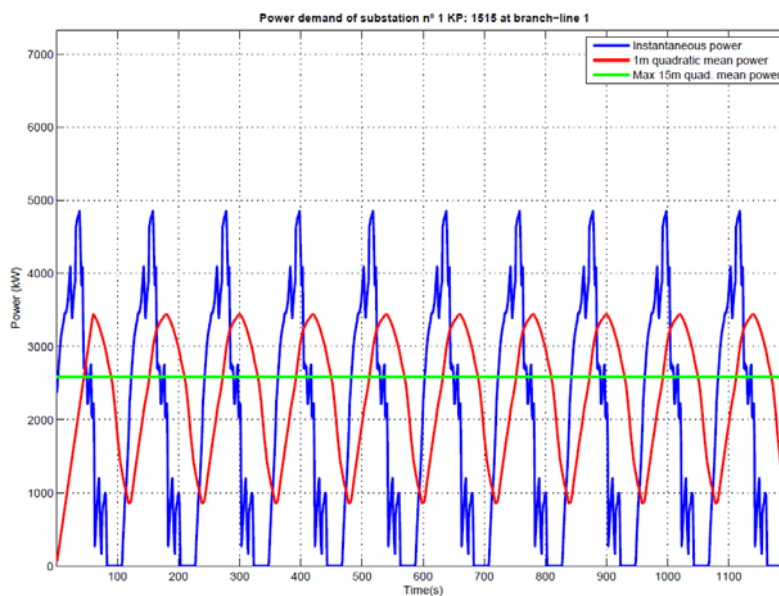


Figura 77 Potencia demandada en subestación de rectificación Dif/Cirt

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

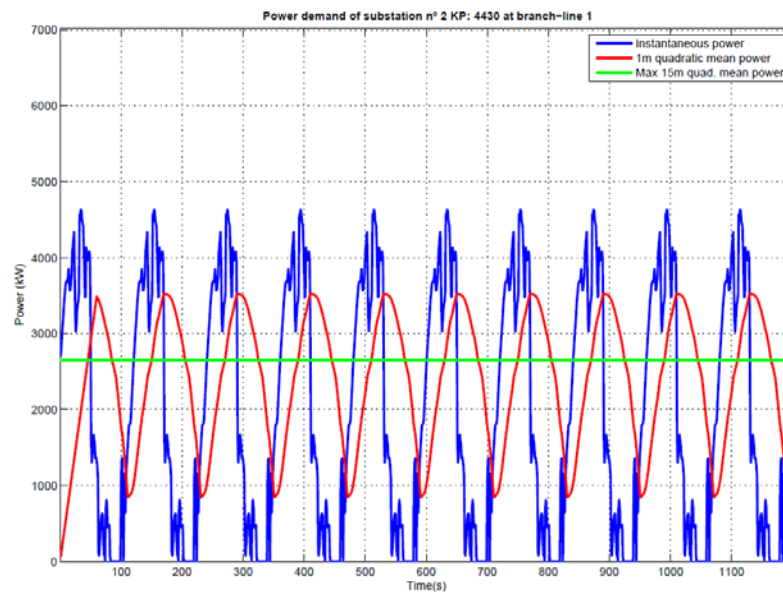


Figura 78 Potencia demandada en subestación de rectificación Zapopan Ayuntamiento

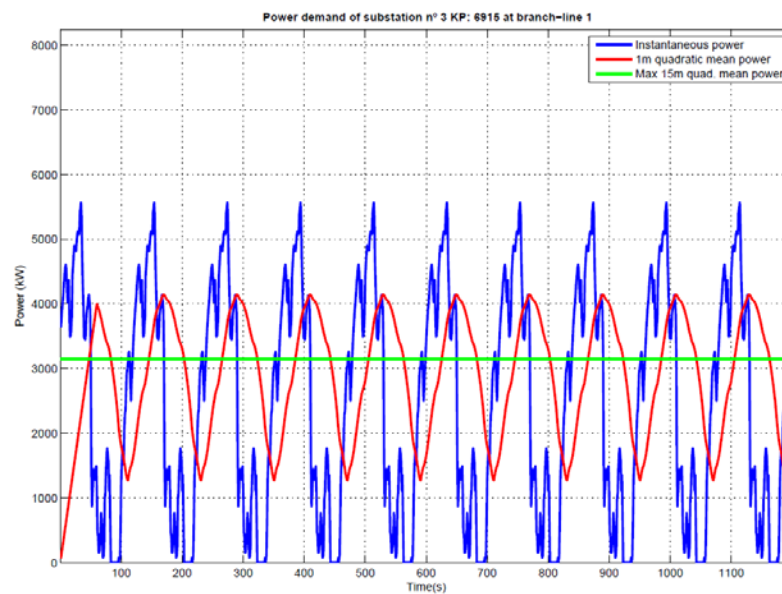


Figura 79 Potencia demandada en subestación de rectificación Country Club

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

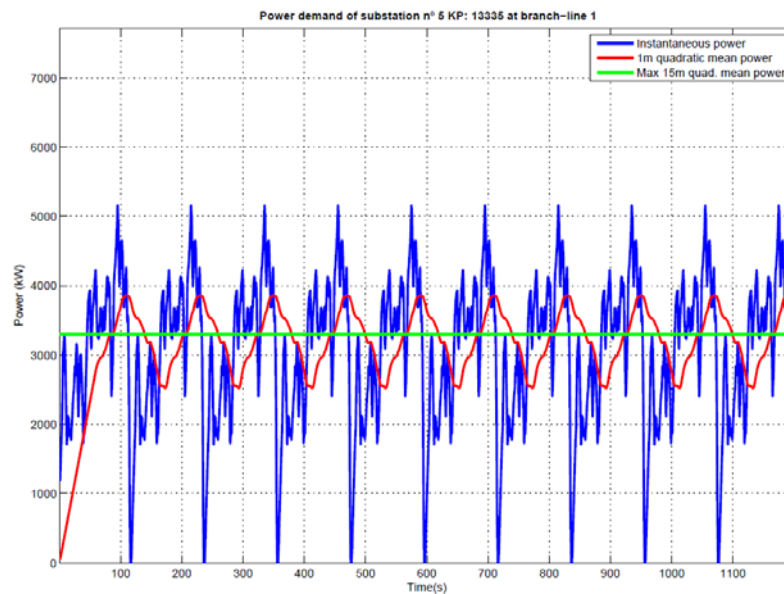


Figura 80 Potencia demandada en subestación de rectificación Plaza de la bandera

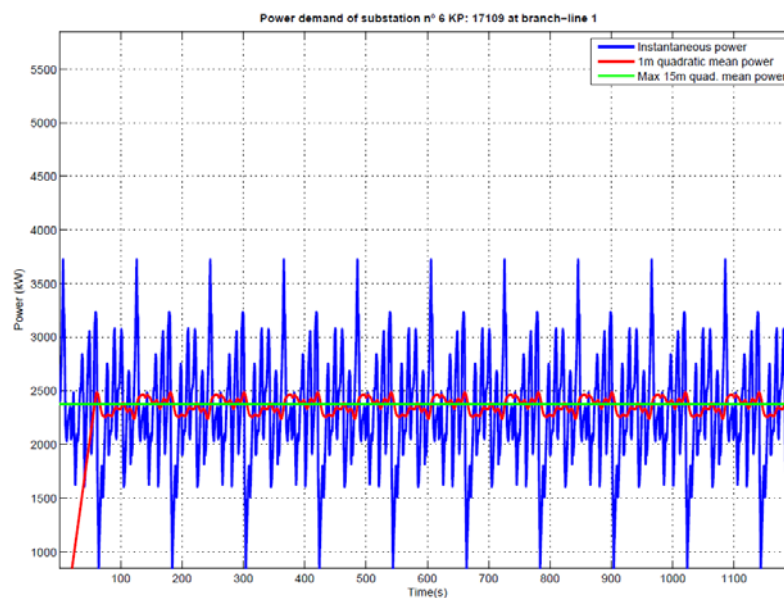


Figura 81 Potencia demandada en subestación de rectificación Revolución / Río Nilo

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

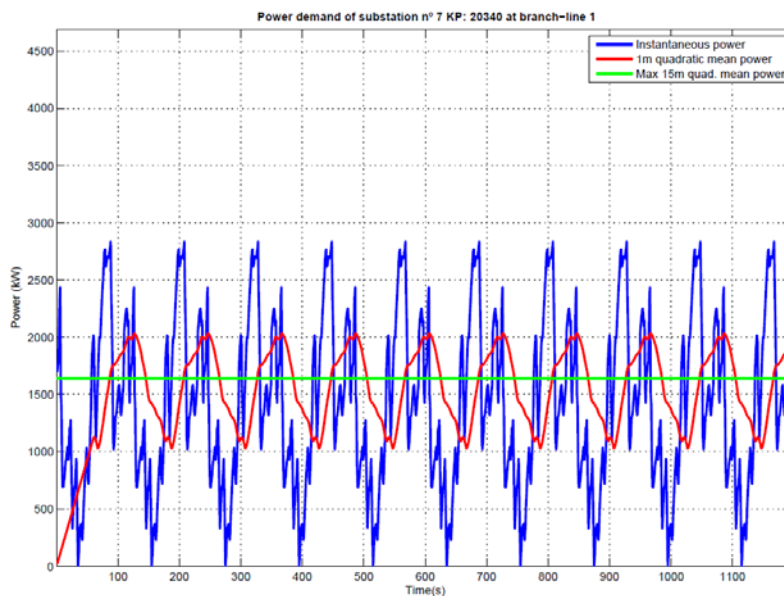


Figura 82 Potencia demandada en subestación de rectificación Central de autobuses

5.5.3. Tensión en catenaria

Tensión min. Catenaria [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión min. Catenaria [V] Vía 2	Pk [m]
1,369.27	8,561	1,363.14	9,861

Tabla 36 Tensión mínima en catenaria [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

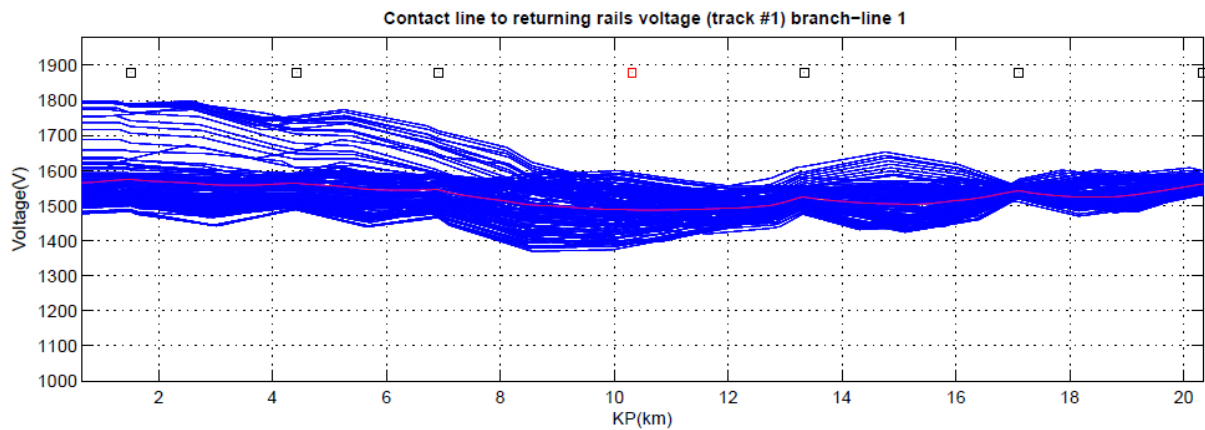


Figura 83 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 1

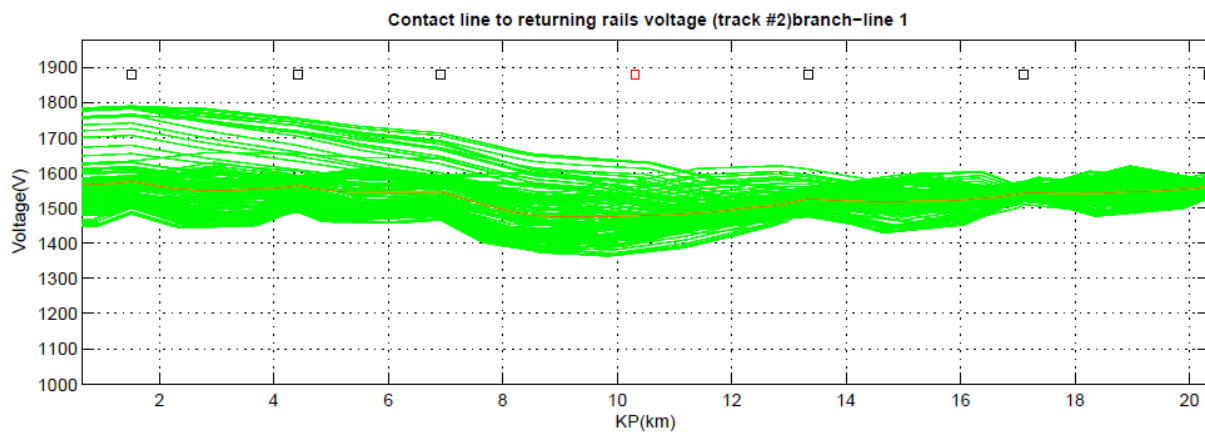


Figura 84 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 2

5.5.4. Tensión riel - tierra

Tensión máx. riel [V]	Pk [m]	Tensión máx. riel [V]	Pk [m]
Vía 1		Vía 2	
44.00	11,661	37.60	9,861

Tabla 37 Tensión máxima en riel [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

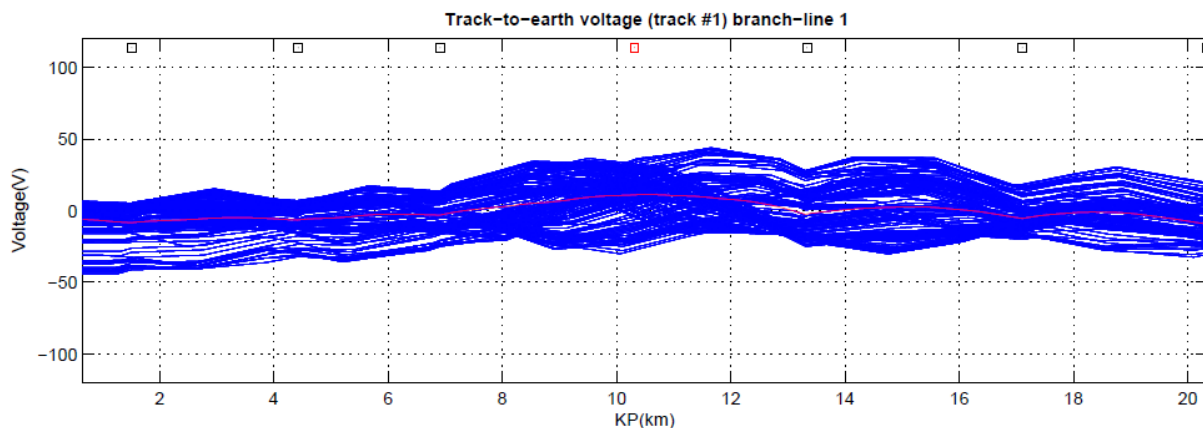


Figura 85 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 1

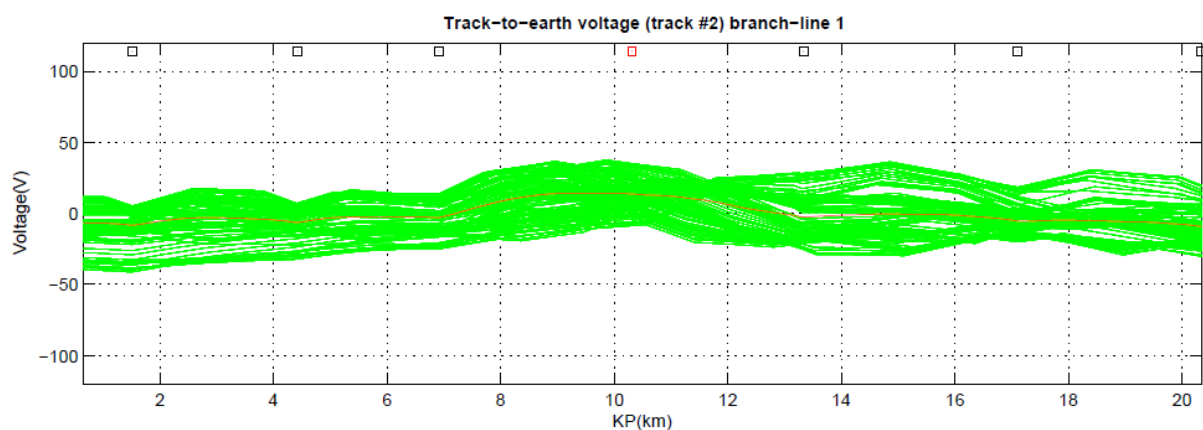


Figura 86 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 2

5.5.5. Corriente en catenaria

Intensidad máx. Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. Cat [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1
1,819.54	1,056.64	1,813.08	1,188.25

Tabla 38 Intensidad en catenaria

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

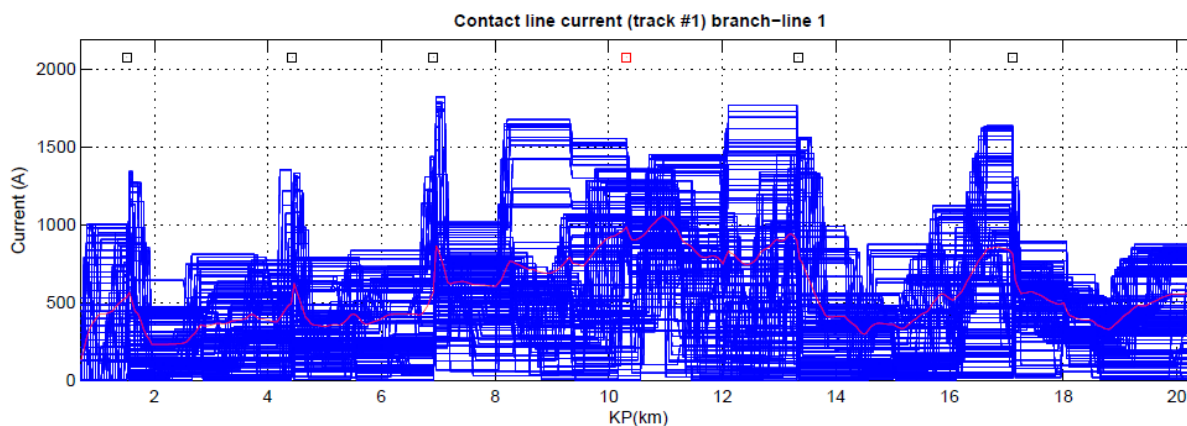


Figura 87 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 1

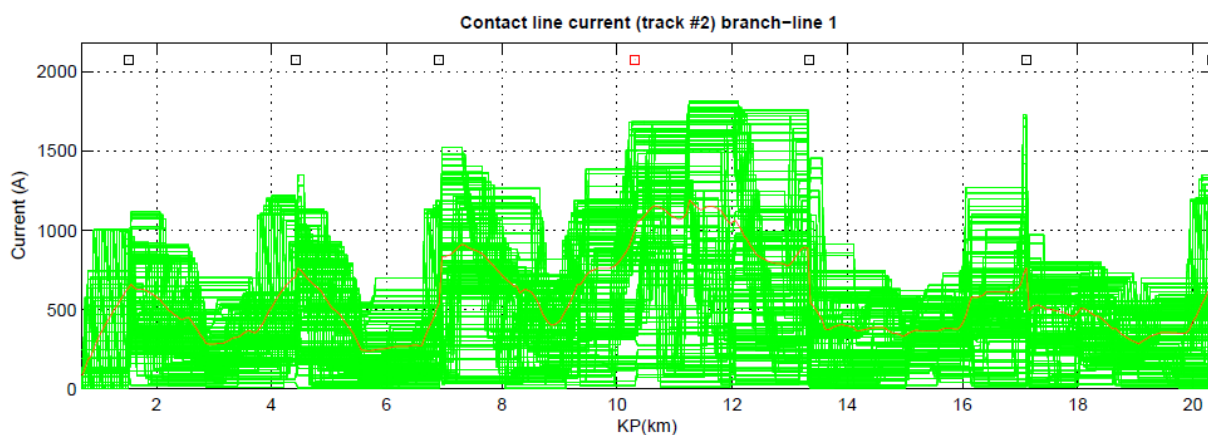


Figura 88 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 2

5.5.6. Corriente en riel

Intensidad máx. riel [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1	Intensidad máx. riel [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1
1,913.60	965.32	1,744.53	966.00

Tabla 39 Intensidad en riel [A]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

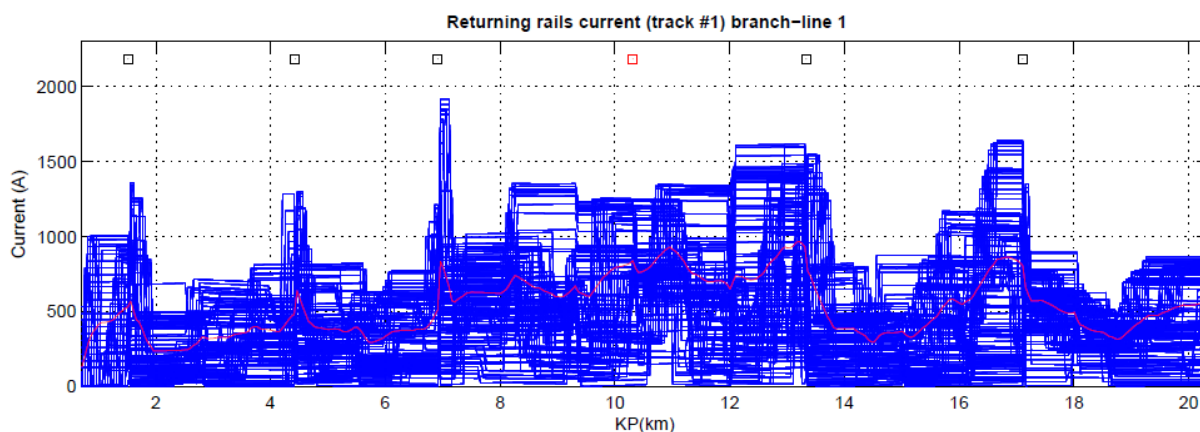


Figura 89 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 1

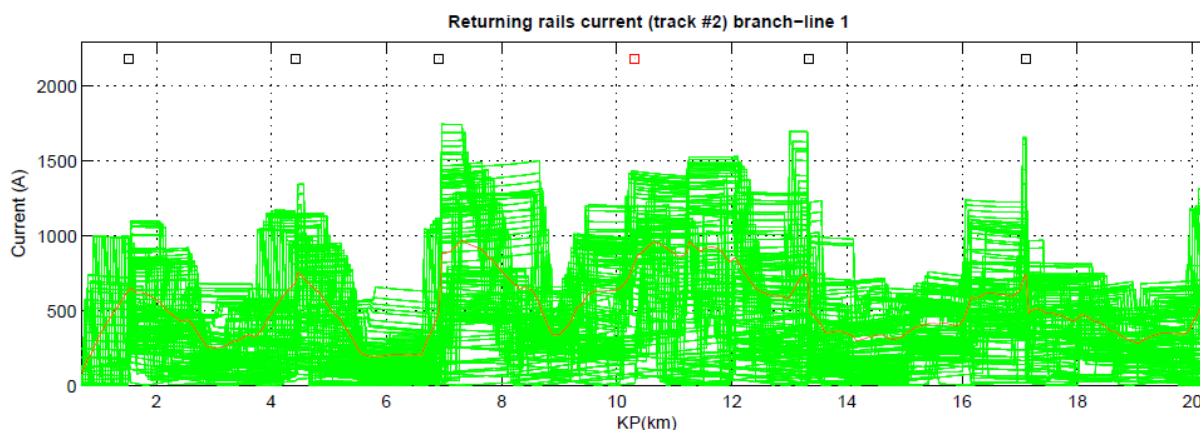


Figura 90 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 2

5.5.7. Corrientes en feeders

En el siguiente punto se detallan la corriente máxima y RMS que soportarán los feeders de cada una de las subestaciones de rectificación. La nomenclatura utilizada para cada uno de los feeders corresponde con la siguiente:

Feeder 1: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado izquierdo

Feeder 2: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado derecho

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Feeder 3: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado izquierdo

Feeder 4: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado derecho

Subestación	Feeder	Intensidad máx. [A]	Intensidad máx. RMS [A]
DIF / CIRT	Feeder 1	1,000.00	530.45
	Feeder 2	1,341.69	563.78
	Feeder 3	1,000.00	630.67
	Feeder 4	1,112.96	656.78
Zapopan Ayuntamiento	Feeder 1	770.58	491.88
	Feeder 2	1,328.34	621.00
	Feeder 3	1,218.10	700.03
	Feeder 4	1,134.19	758.28
Country Club	Feeder 1	733.36	563.58
	Feeder 2	1,819.54	863.26
	Feeder 3	1,184.51	535.12
	Feeder 4	1,520.65	832.43
Alcalde	Feeder 1	--	--
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	--	--
	Feeder 4	--	--
Plaza de la bandera	Feeder 1	1,764.95	898.88
	Feeder 2	1,562.03	778.24
	Feeder 3	1,760.34	886.48

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Feeder	Intensidad máx.	Intensidad máx. RMS
		[A]	[A]
Revolución / Rio Nilo	Feeder 4	909.61	537.55
	Feeder 1	1,634.72	811.31
	Feeder 2	1,302.06	642.05
	Feeder 3	1,726.17	760.92
	Feeder 4	795.20	492.02
Central de autobuses	Feeder 1	872.59	550.02
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	1,345.42	657.95
	Feeder 4	--	--

Tabla 40 Intensidad [A] en cada feeder de las subestaciones rectificadoras

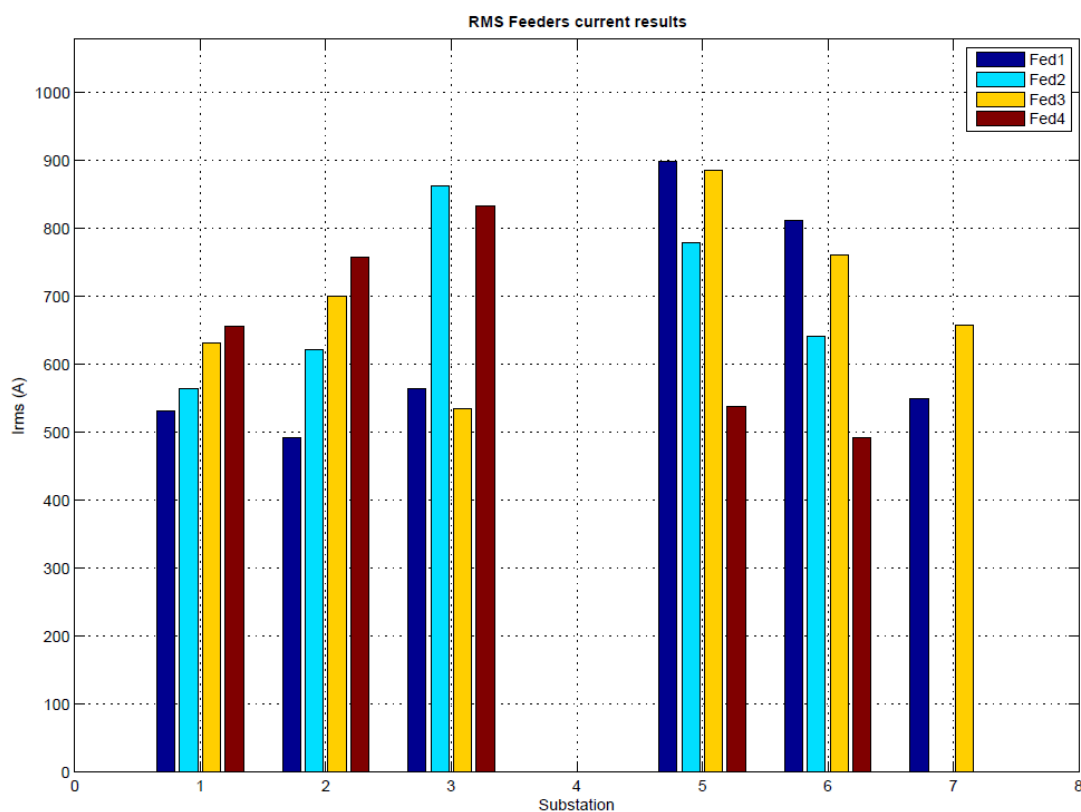


Figura 91 Intensidad RMS [A] en feeders de subestación rectificadora

5.6. SITUACIÓN DEGRADADA 5

La situación degradada 4 considera la falla de la subestación de rectificación Plaza de la bandera.

5.6.1. Tensión en el tren

A partir del estudio de marcha realizado, y de la flota especificada en puntos anteriores, se obtiene la tensión [V] en pantógrafo del tren a lo largo del trayecto:

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

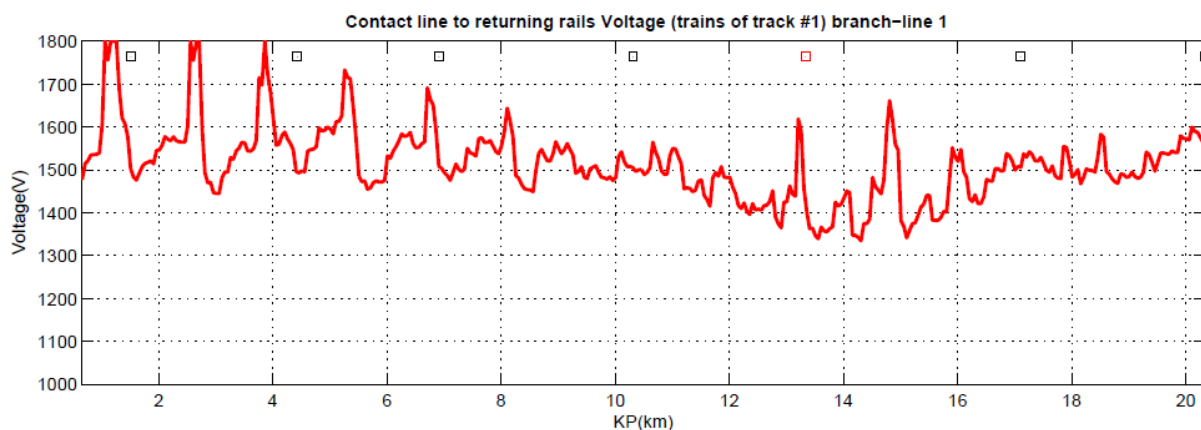


Figura 92 Tensión en pantógrafo vía 1

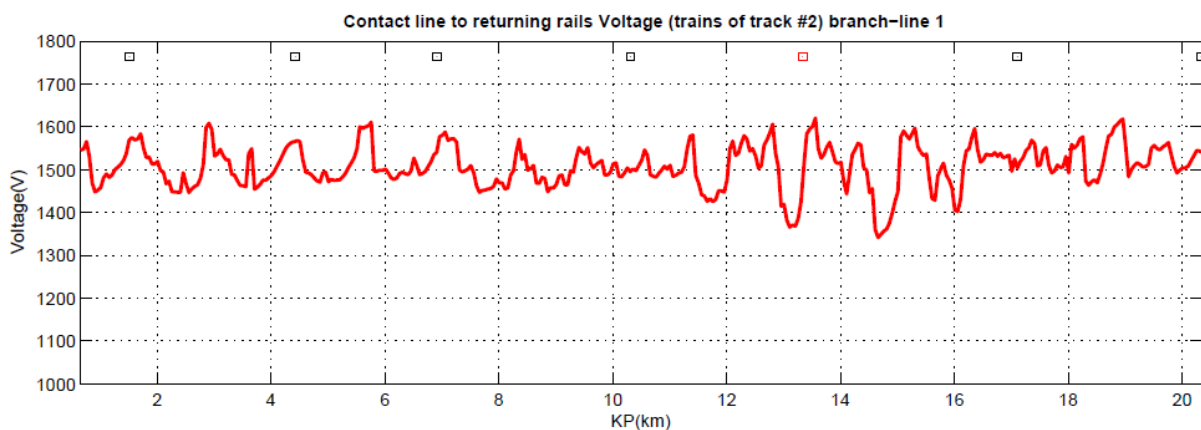


Figura 93 Tensión en pantógrafo vía 2

5.6.2. Potencia en las subestaciones de rectificación

Las potencias obtenidas en cada una de las subestaciones son las que se observan en la siguiente tabla:

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	4,815.61	3,403.12	2,545.65
Zapopan Ayuntamiento	4,430	2x2000 kW	4,351.45	3,367.72	2,515.84

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Country club	6,915	2x2000 kW	4,534.74	3,469.43	2,620.64
Alcalde	10,315	2x2000 kW	4,530.01	3,436.65	3,310.23
Plaza de la bandera	13,335	--	--	--	--
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	4,006.53	3,051.10	2,776.69
Central de autobuses	20,340	2x2000 kW	3,030.07	2,160.39	1,743.31

Tabla 41 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

En los siguientes gráficos, se muestran los resultados de potencia obtenida en formato gráfico:

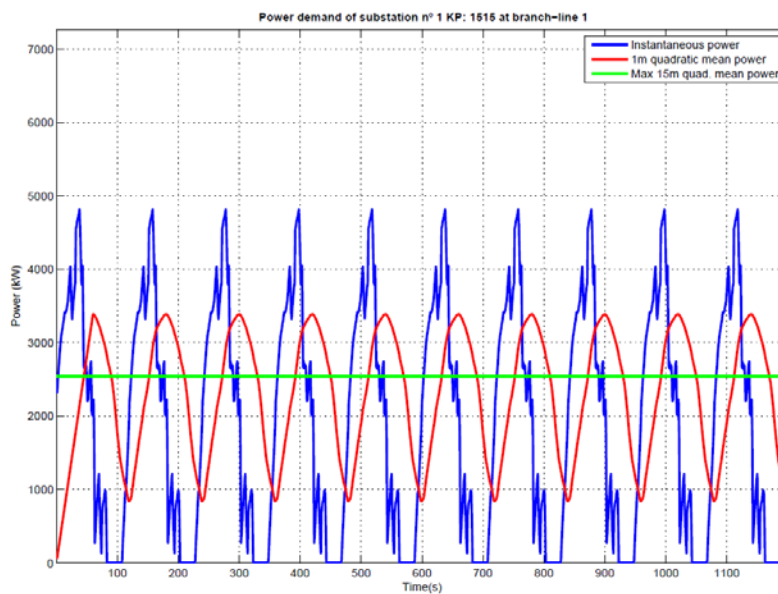


Figura 94 Potencia demandada en subestación de rectificación Dif/Cirt

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

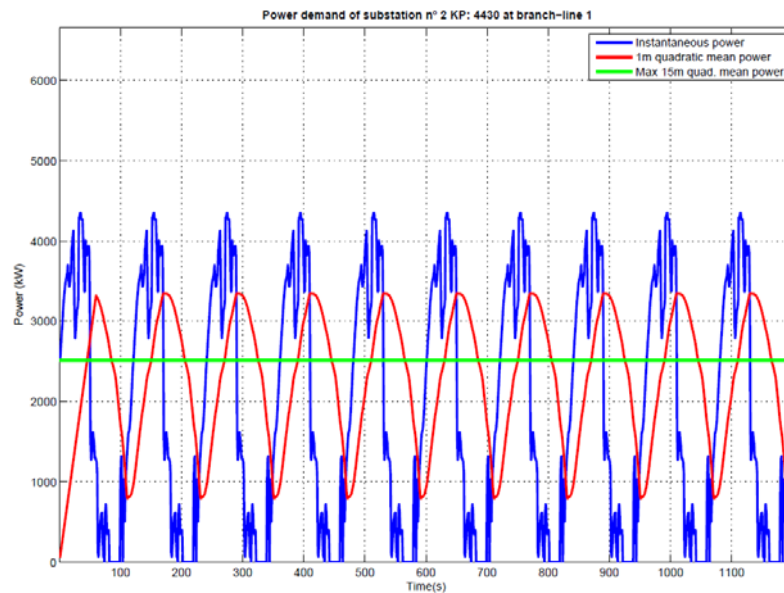


Figura 95 Potencia demandada en subestación de rectificación Zapopan Ayuntamiento

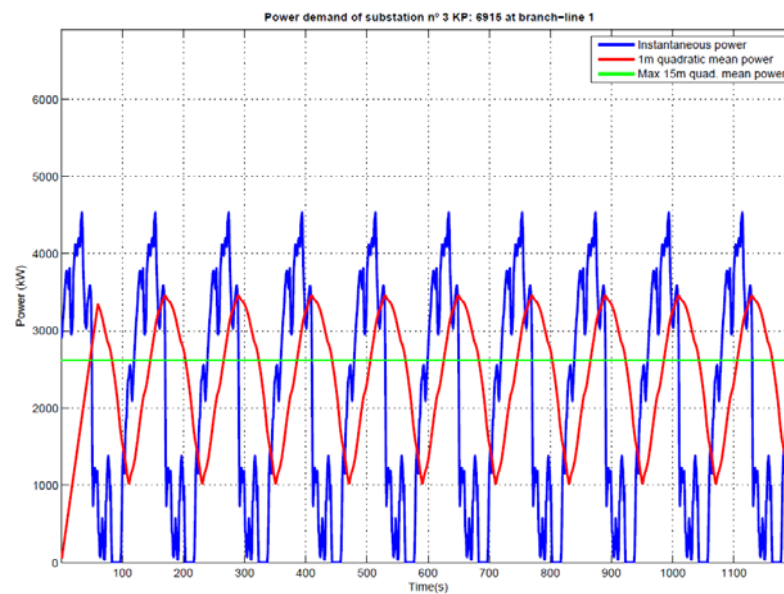


Figura 96 Potencia demandada en subestación de rectificación Country Club

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

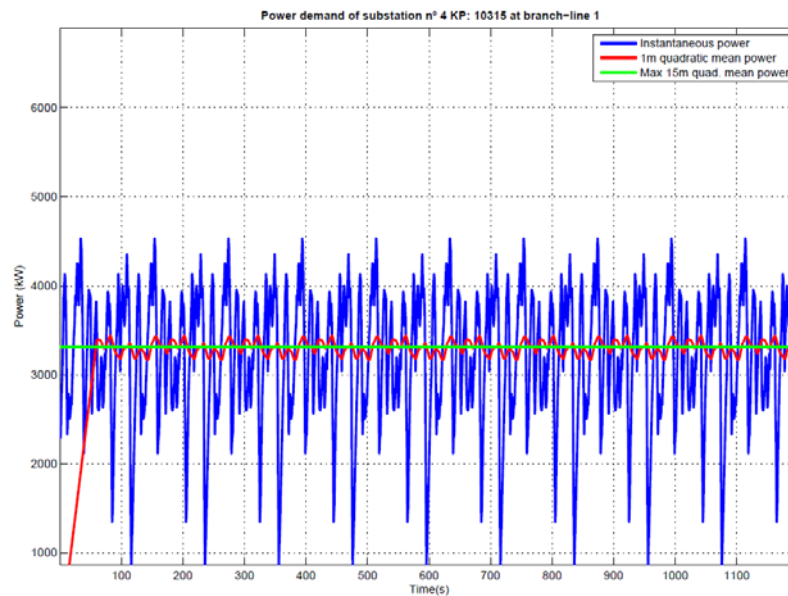


Figura 97 Potencia demandada en subestación de rectificación Alcalde

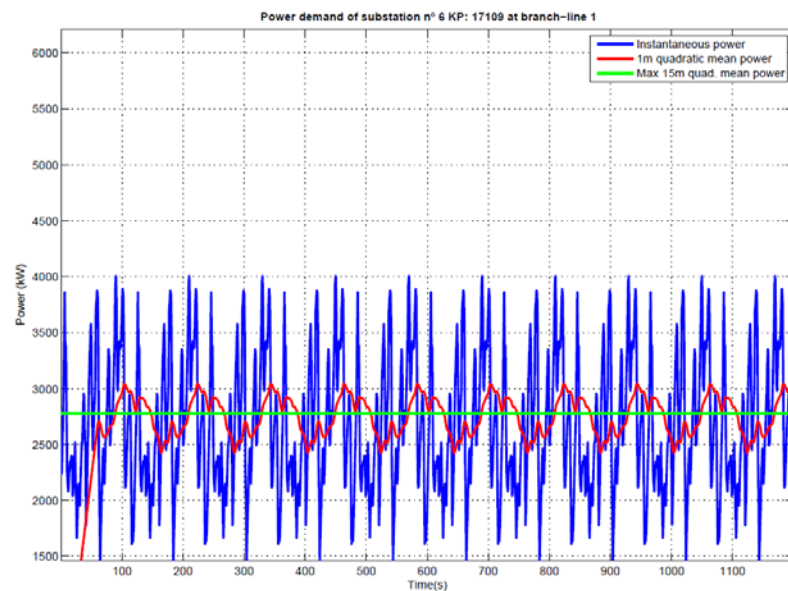


Figura 98 Potencia demandada en subestación de rectificación Revolución / Río Nilo

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

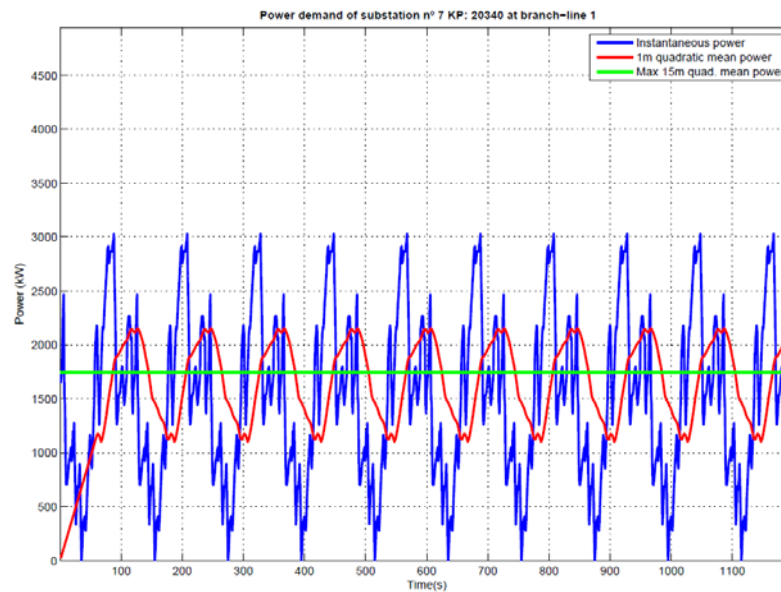


Figura 99 Potencia demandada en subestación de rectificación Central de autobuses

5.6.3. Tensión en catenaria

Tensión min. Catenaria [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión min. Catenaria [V] Vía 2	Pk [m]
1,335.03	14,311	1,341.58	14,661

Tabla 42 Tensión mínima en catenaria [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

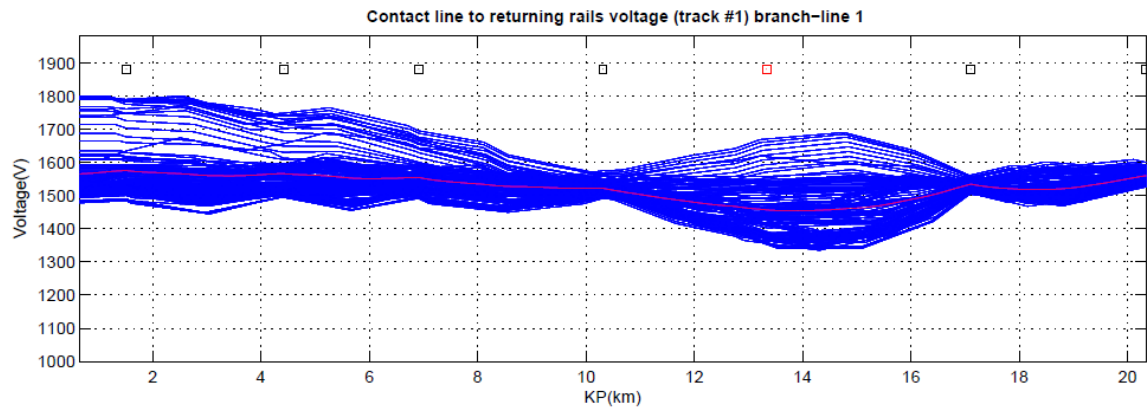


Figura 100 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 1

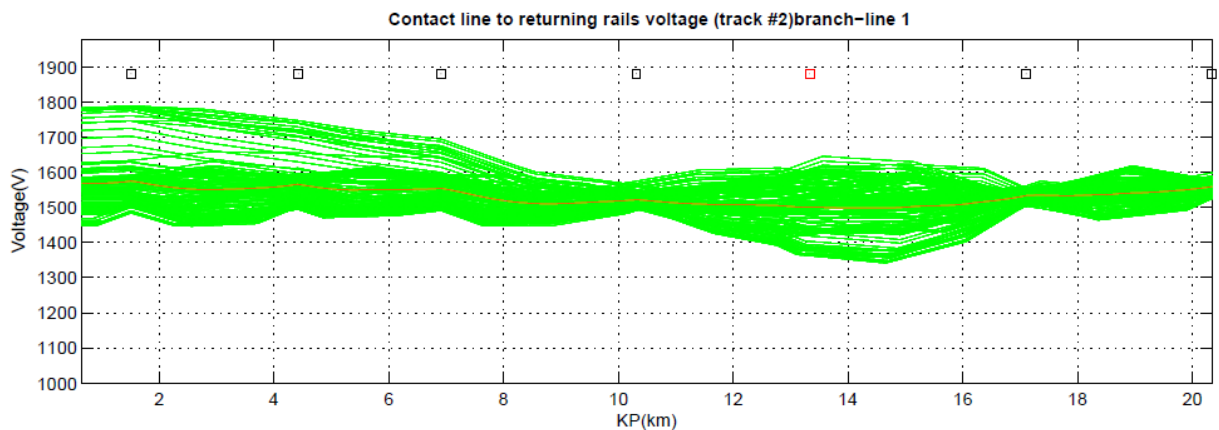


Figura 101 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 2

5.6.4. Tensión riel - tierra

Tensión máx. riel [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión máx. riel [V] Vía 2	Pk [m]
64.31	14,161	51.36	13,211

Tabla 43 Tensión máxima en riel [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

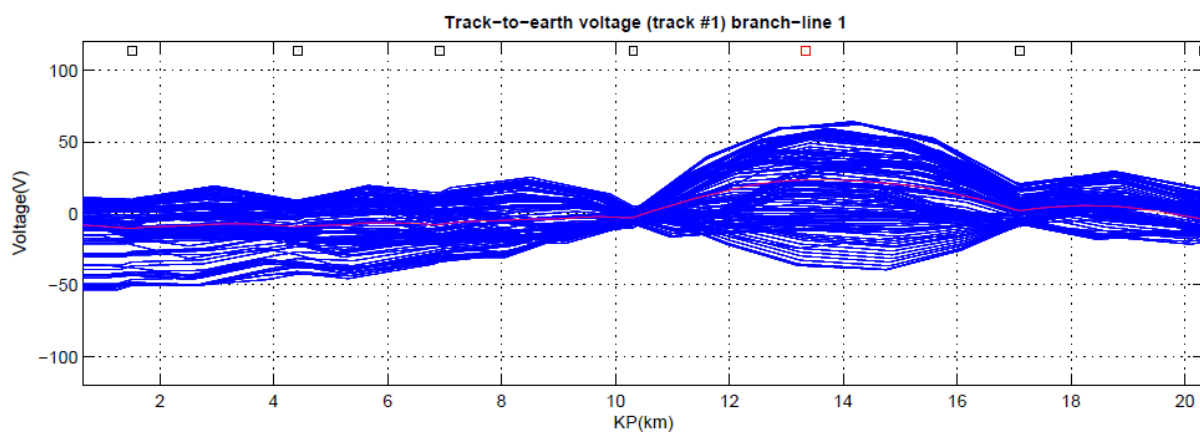


Figura 102 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 1

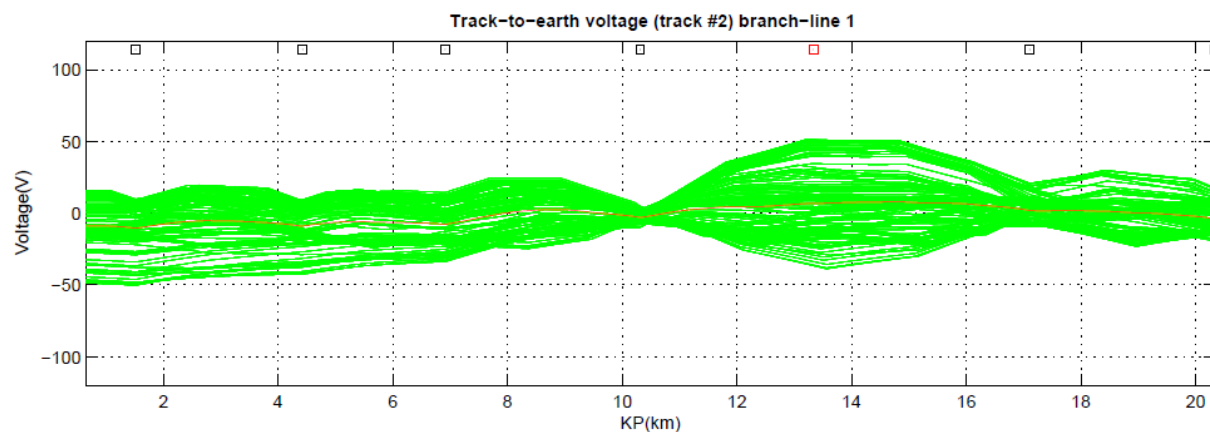


Figura 103 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 2

5.6.5. Corriente en catenaria

Intensidad máx. Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. Cat [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1
3,124.11	1,670.89	2,311.55	1,349.38

Tabla 44 Intensidad en catenaria

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

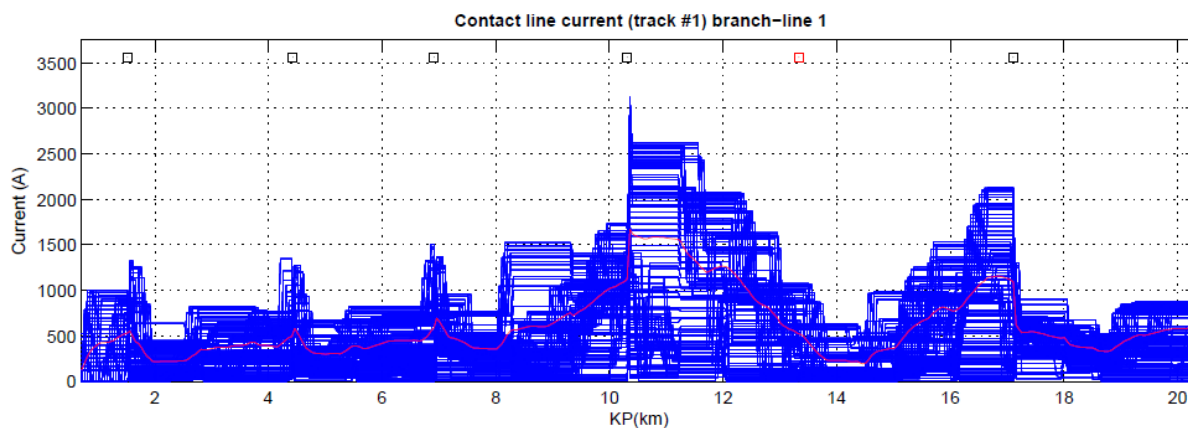


Figura 104 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 1

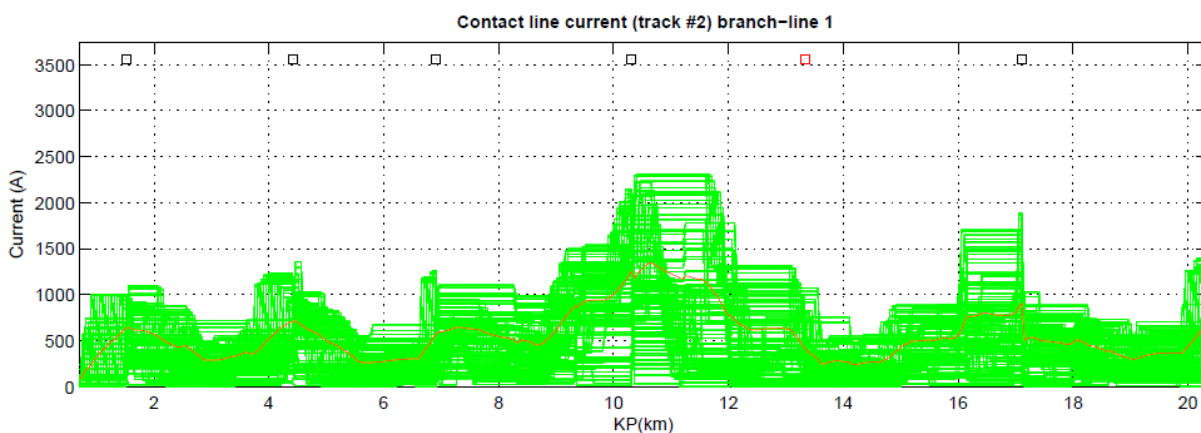


Figura 105 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 2

5.6.6. Corriente en riel

Intensidad máx. riel [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1	Intensidad máx. riel [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1
2,816.98	1,463.50	1,986.19	1,149.64

Tabla 45 Intensidad en riel [A]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

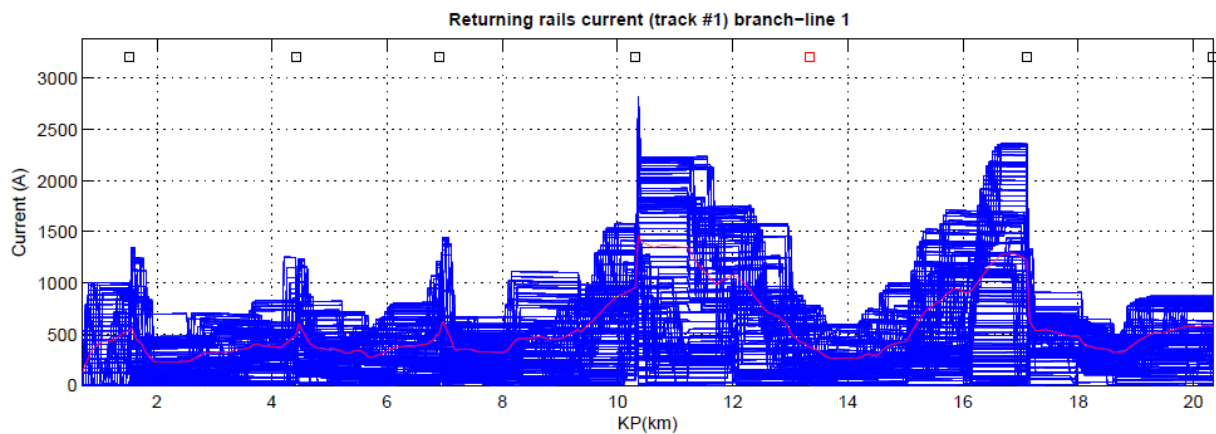


Figura 106 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 1

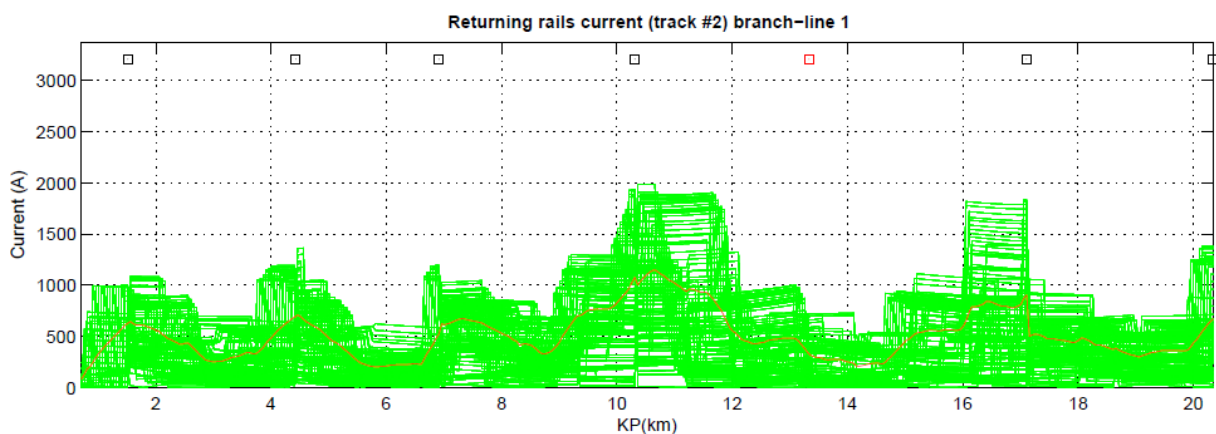


Figura 107 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 2

5.6.7. Corrientes en feeders

En el siguiente punto se detallan la corriente máxima y RMS que soportarán los feeders de cada una de las subestaciones de rectificación. La nomenclatura utilizada para cada uno de los feeders corresponde con la siguiente:

Feeder 1: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado izquierdo

Feeder 2: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado derecho

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Feeder 3: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado izquierdo

Feeder 4: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado derecho

Subestación	Feeder	Intensidad máx. [A]	Intensidad máx. RMS [A]
DIF / CIRT	Feeder 1	1,000.00	531.03
	Feeder 2	1,326.07	554.16
	Feeder 3	1,000.00	630.56
	Feeder 4	1,099.13	648.13
Zapopan Ayuntamiento	Feeder 1	774.77	494.86
	Feeder 2	1,276.81	583.32
	Feeder 3	1,230.66	709.23
	Feeder 4	1,026.00	712.65
Country Club	Feeder 1	751.10	591.15
	Feeder 2	1,372.47	693.69
	Feeder 3	1,261.66	573.48
	Feeder 4	1,107.15	597.36
Alcalde	Feeder 1	1,738.62	1,122.34
	Feeder 2	3,124.11	1,670.89
	Feeder 3	2,144.42	1,255.73
	Feeder 4	2,294.60	1,181.74
Plaza de la bandera	Feeder 1	--	--
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	--	--

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Feeder	Intensidad máx.	Intensidad máx. RMS
		[A]	[A]
Revolución / Rio Nilo	Feeder 4	--	--
	Feeder 1	2,128.00	1,093.51
	Feeder 2	1,302.55	624.49
	Feeder 3	1,889.32	907.78
	Feeder 4	737.87	506.58
Central de autobuses	Feeder 1	875.66	573.47
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	1,394.75	686.36
	Feeder 4	--	--

Tabla 46 Intensidad [A] en cada feeder de las subestaciones rectificadoras

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

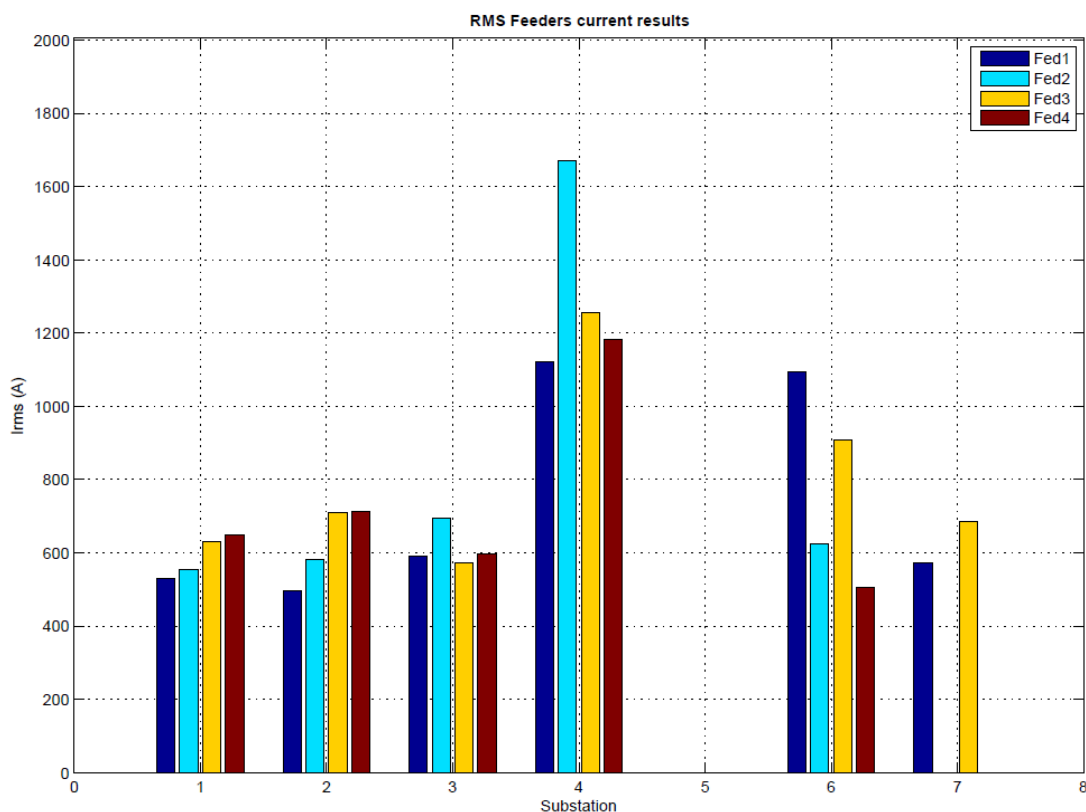


Figura 108 Intensidad RMS [A] en feeders de subestación rectificadora

5.7. SITUACIÓN DEGRADADA 6

La situación degradada 4 considera la falla de la subestación de rectificación Revolución / Río Nilo.

5.7.1. Tensión en el tren

A partir del estudio de marcha realizado, y de la flota especificada en puntos anteriores, se obtiene la tensión [V] en pantógrafo del tren a lo largo del trayecto:

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

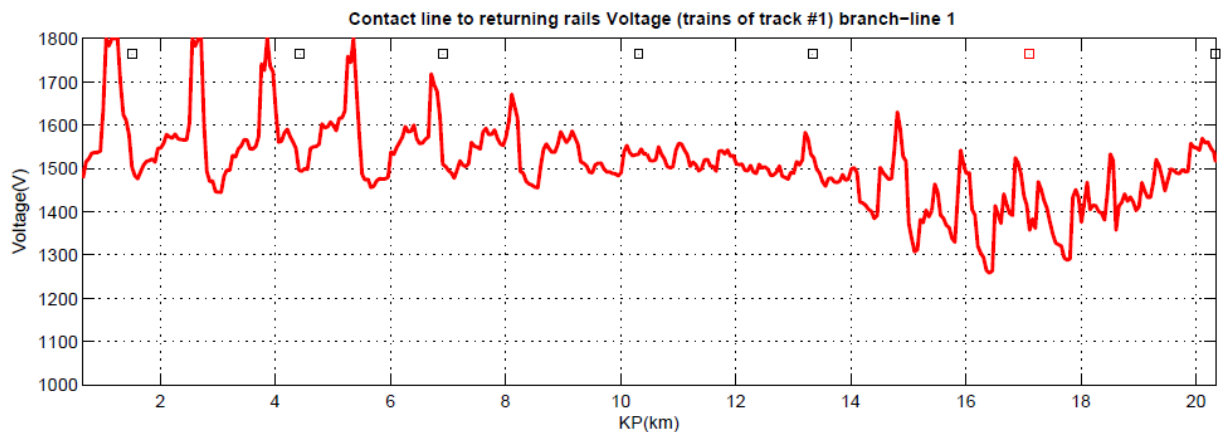


Figura 109 Tensión en pantógrafo vía 1

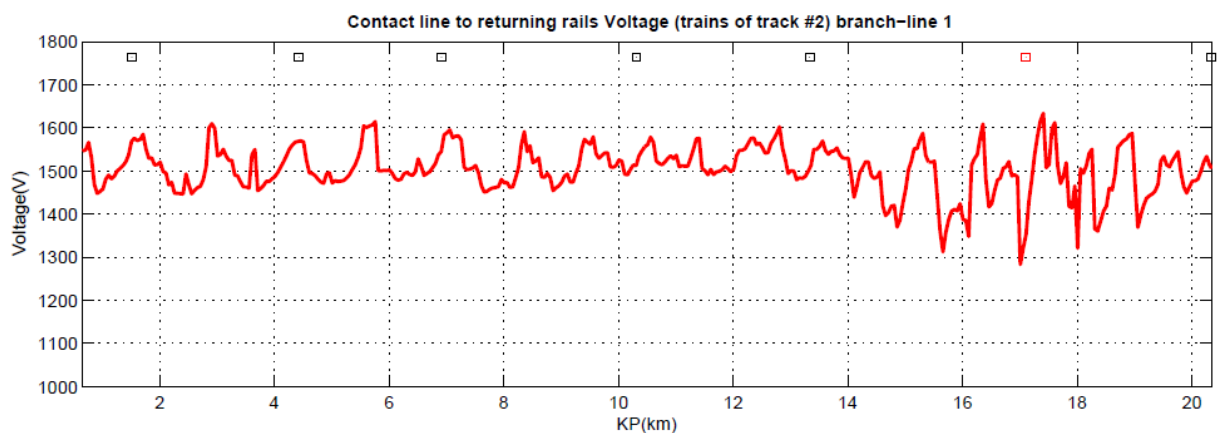


Figura 110 Tensión en pantógrafo vía 2

5.7.2. Potencia en las subestaciones de rectificación

Las potencias obtenidas en cada una de las subestaciones son las que se observan en la siguiente tabla:

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	4,814.97	3,396.21	2,538.55
Zapopan Ayuntamiento	4,430	2x2000 kW	4,332.81	3,349.48	2,493.45

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Country club	6,915	2x2000 kW	4,456.77	3,396.74	2,533.35
Alcalde	10,315	2x2000 kW	4,193.86	2,978.25	2,578.63
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	4,720.88	3,754.16	3,070.42
Revolución / Rio Nilo	17,109	--	--	--	--
Central de autobuses	20,340	2x2000 kW	4,135.68	3,082.86	2,628.00

Tabla 47 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

En los siguientes gráficos, se muestran los resultados de potencia obtenida en formato gráfico:

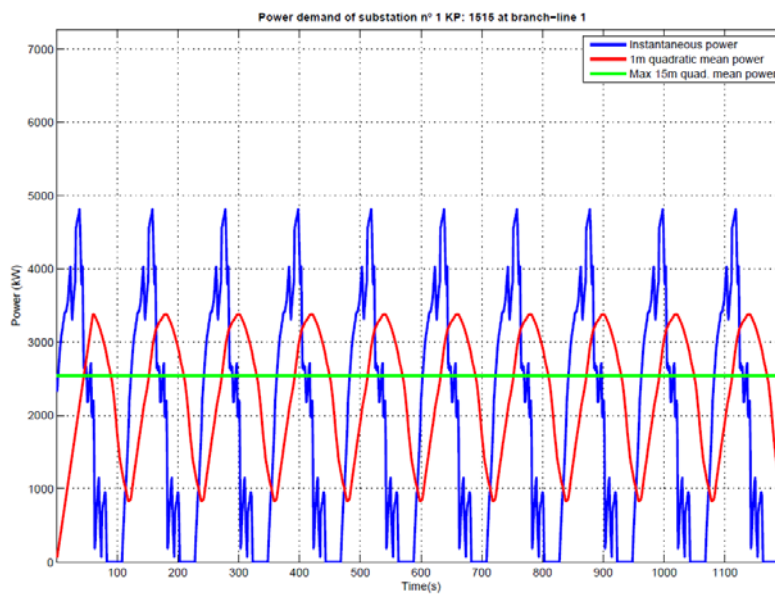


Figura 111 Potencia demandada en subestación de rectificación Dif/Cirt

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

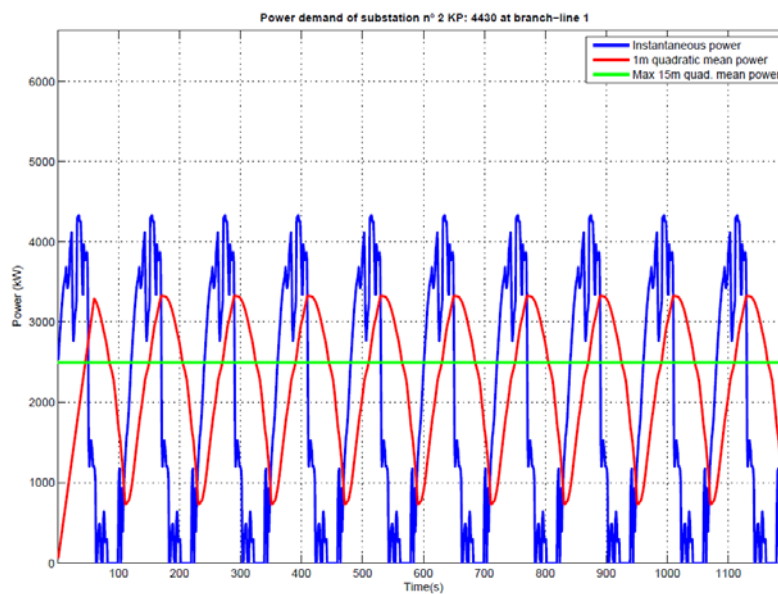


Figura 112 Potencia demandada en subestación de rectificación Zapopan Ayuntamiento

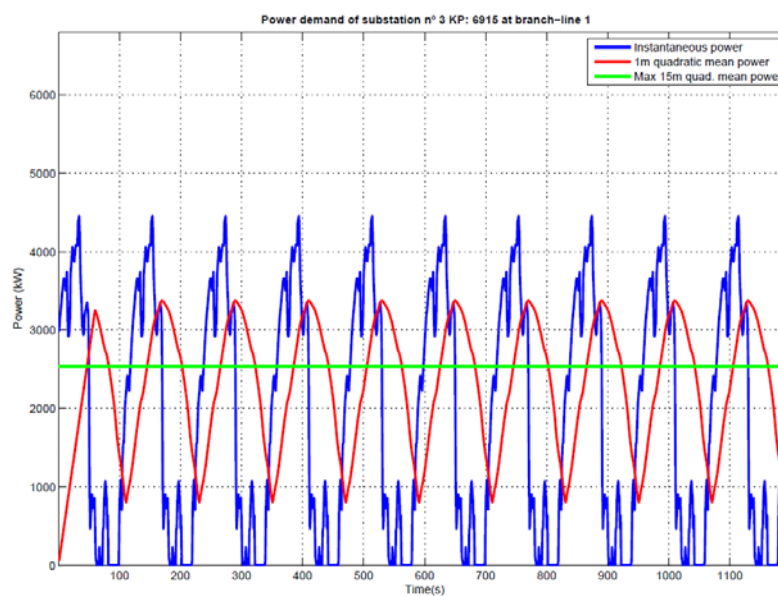


Figura 113 Potencia demandada en subestación de rectificación Country Club

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

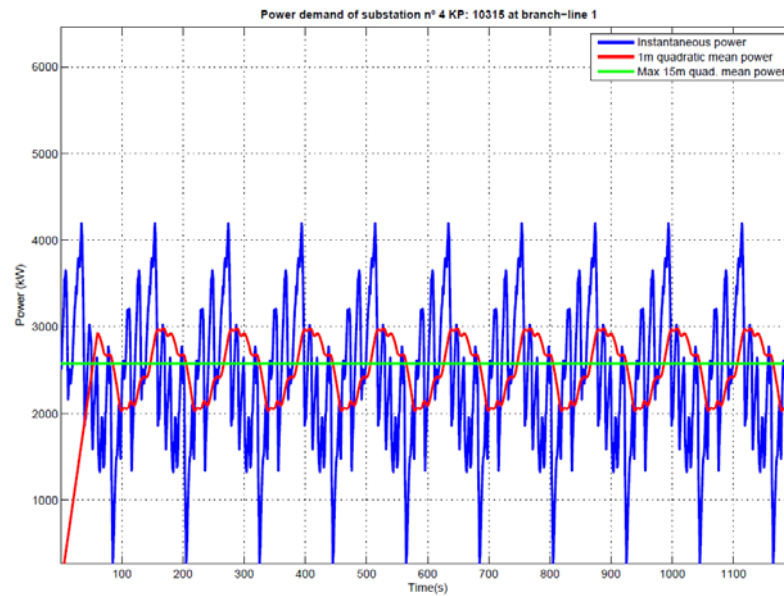


Figura 114 Potencia demandada en subestación de rectificación Alcalde

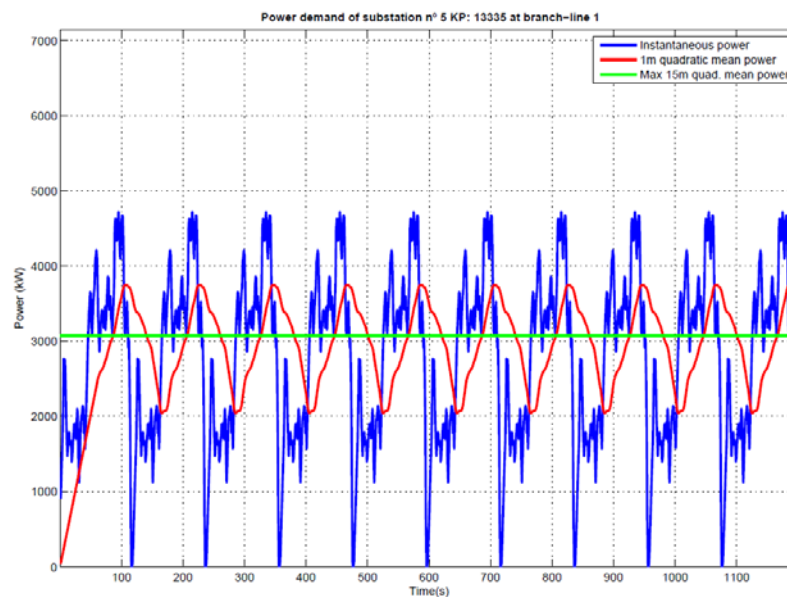


Figura 115 Potencia demandada en subestación de rectificación Plaza de la bandera

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

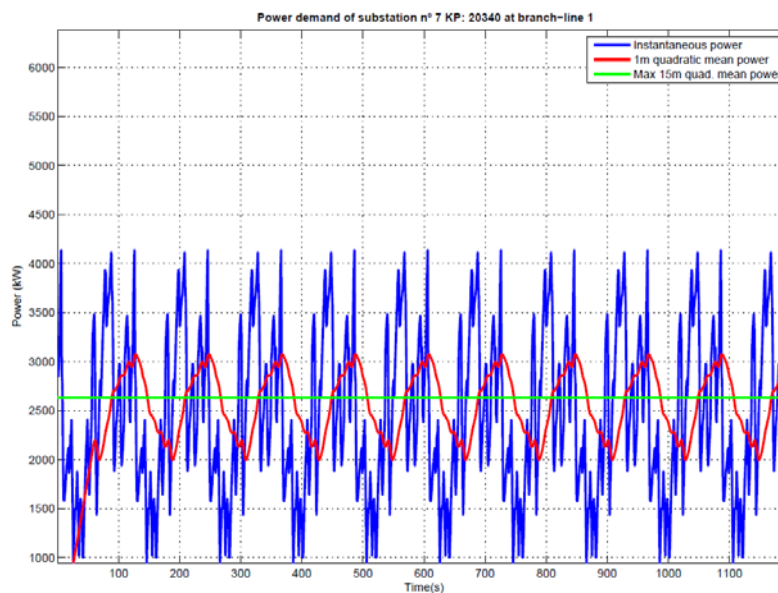


Figura 116 Potencia demandada en subestación de rectificación Central de autobuses

5.7.3. Tensión en catenaria

Tensión min. Catenaria [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión min. Catenaria [V] Vía 2	Pk [m]
1,258.07	16,411	1,282.76	17,011

Tabla 48 Tensión mínima en catenaria [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

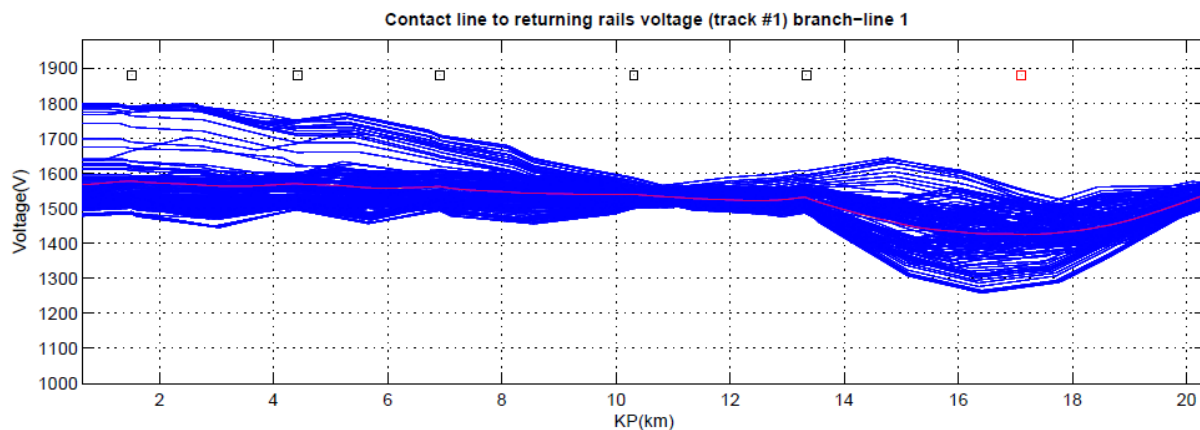


Figura 117 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 1

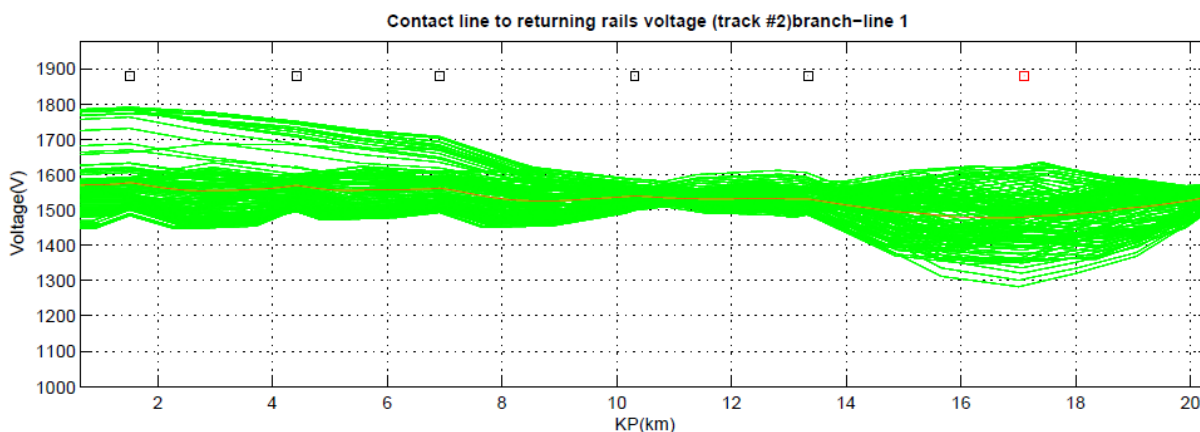


Figura 118 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 2

5.7.4. Tensión riel - tierra

Tensión máx. riel [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión máx. riel [V] Vía 2	Pk [m]
63.07	16,461	47.15	16,111

Tabla 49 Tensión máxima en riel [V]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

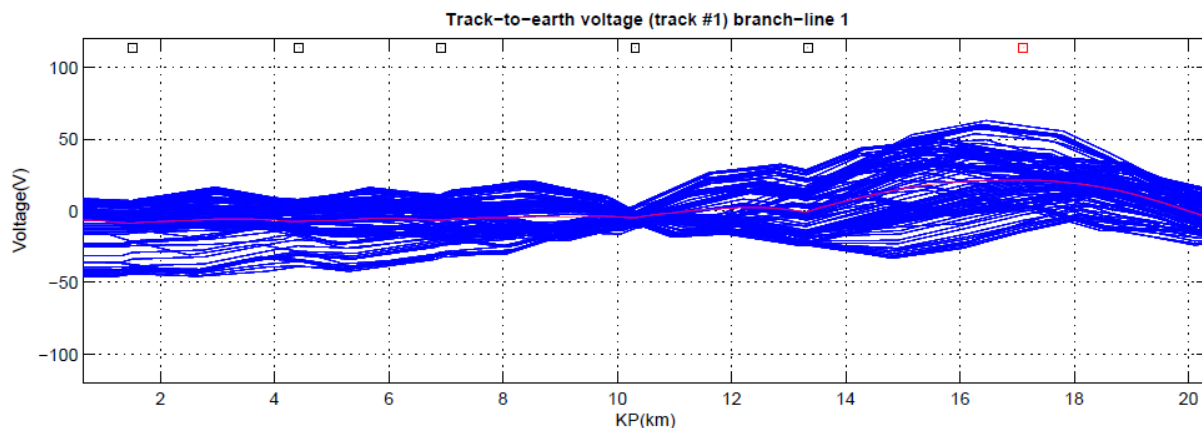


Figura 119 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 1

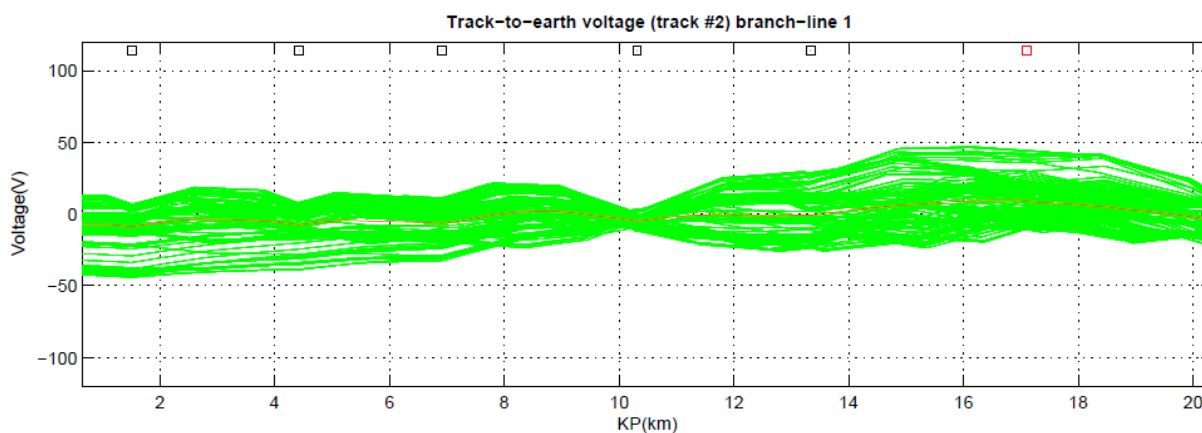


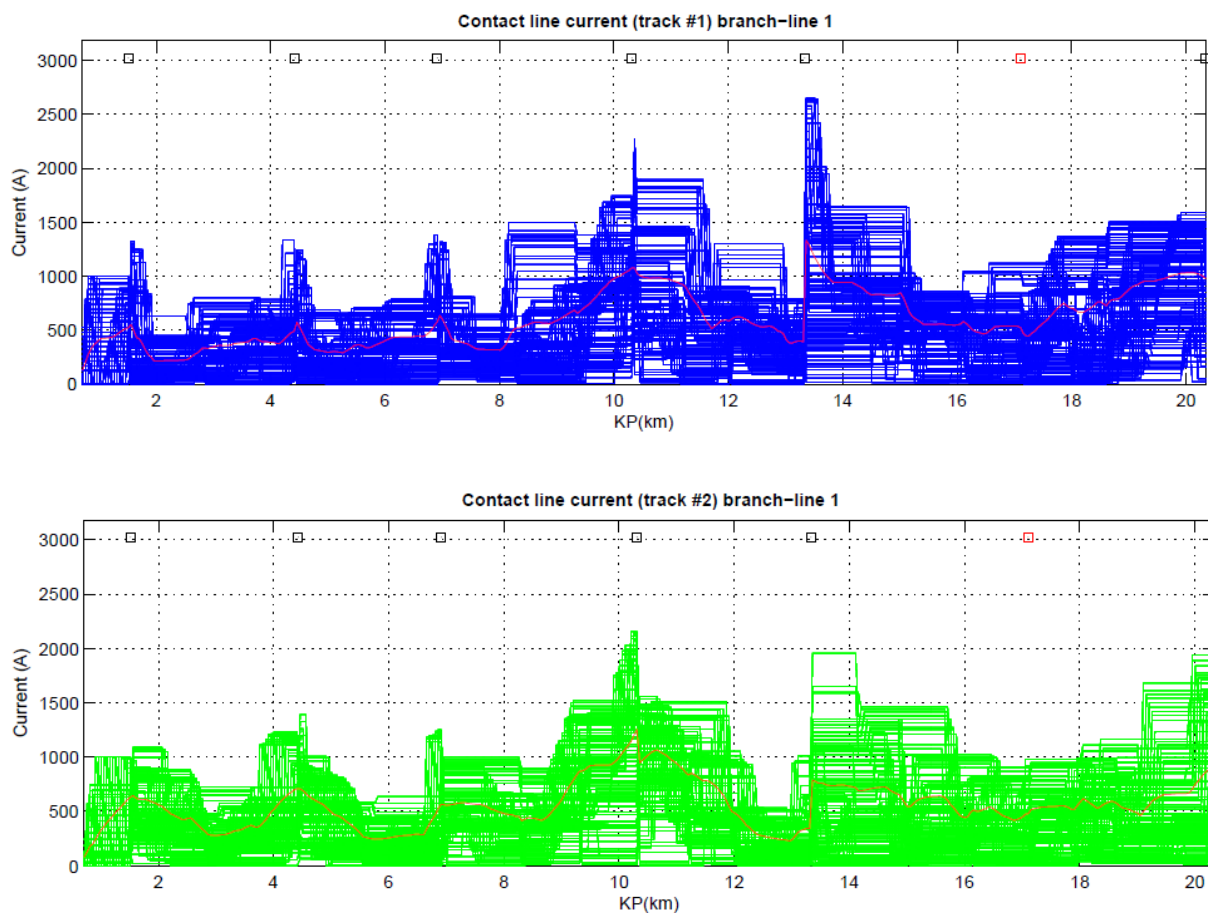
Figura 120 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 2

5.7.5. Corriente en catenaria

Intensidad máx. Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. Cat [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1
2,651.36	1,332.02	2,154.90	1,253.11

Tabla 50 Intensidad en catenaria

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN



5.7.6. Corriente en riel

Intensidad máx. riel [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1	Intensidad máx. riel [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1
2,542.38	1,272.60	1,988.11	1,099.40

Tabla 51 Intensidad en riel [A]

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

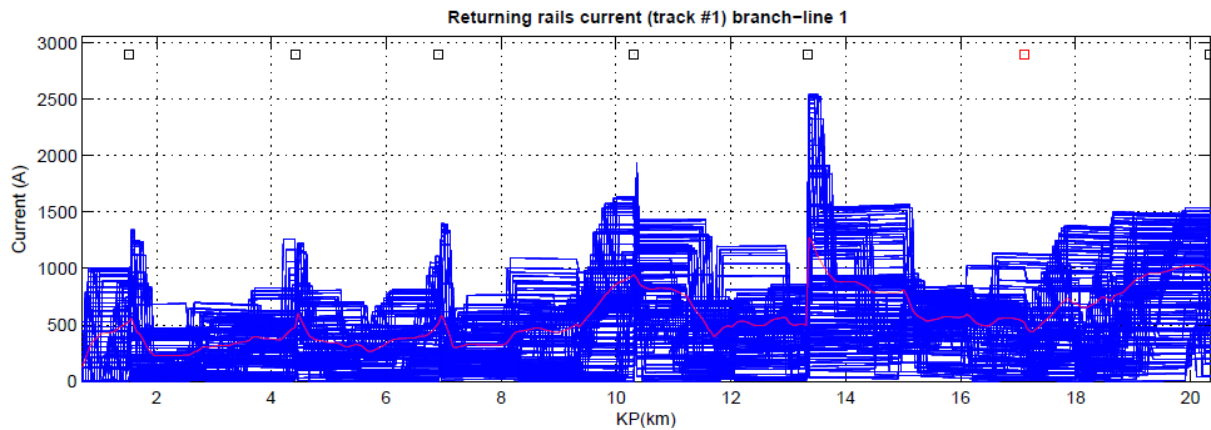


Figura 121 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 1

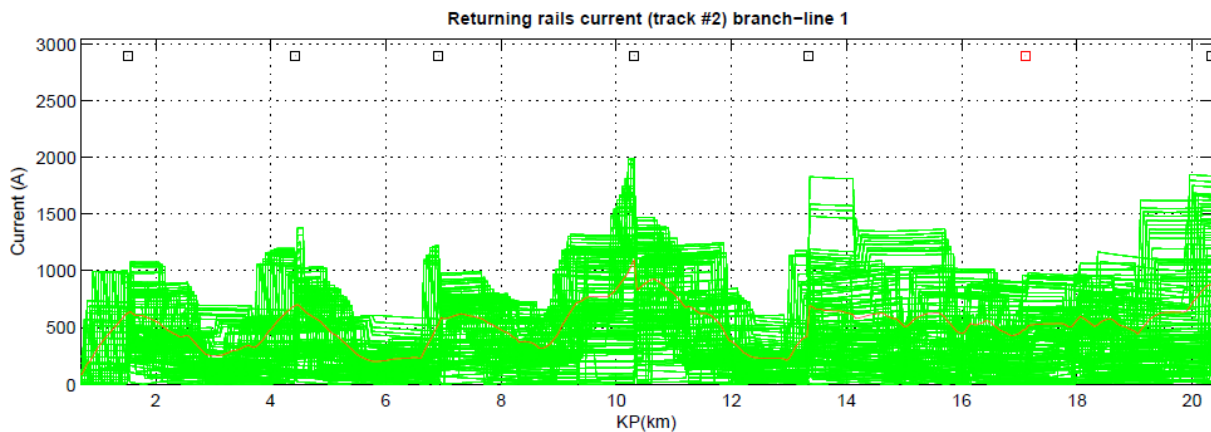


Figura 122 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 2

5.7.7. Corrientes en feeders

En el siguiente punto se detallan la corriente máxima y RMS que soportarán los feeders de cada una de las subestaciones de rectificación. La nomenclatura utilizada para cada uno de los feeders corresponde con la siguiente:

Feeder 1: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado izquierdo

Feeder 2: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado derecho

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Feeder 3: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado izquierdo

Feeder 4: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado derecho

Subestación	Feeder	Intensidad máx. [A]	Intensidad máx. RMS [A]
DIF / CIRT	Feeder 1	1,000.00	523.13
	Feeder 2	1,325.84	551.61
	Feeder 3	1,000.00	630.52
	Feeder 4	1,090.88	645.43
Zapopan Ayuntamiento	Feeder 1	785.10	490.36
	Feeder 2	1,242.99	575.49
	Feeder 3	1,231.49	708.01
	Feeder 4	1,008.99	707.18
Country Club	Feeder 1	787.92	577.03
	Feeder 2	1,316.60	635.32
	Feeder 3	1,251.29	565.84
	Feeder 4	999.05	561.33
Alcalde	Feeder 1	1,747.25	1,076.01
	Feeder 2	2,272.88	1,076.24
	Feeder 3	2,154.90	1,253.11
	Feeder 4	1,559.02	946.63
Plaza de la bandera	Feeder 1	794.21	394.21
	Feeder 2	2,651.36	1,332.02
	Feeder 3	1,011.49	342.10

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Feeder	Intensidad máx.	Intensidad máx. RMS
		[A]	[A]
Revolución / Rio Nilo	Feeder 4	1,957.15	786.81
	Feeder 1	--	--
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	--	--
	Feeder 4	--	--
Central de autobuses	Feeder 1	1,591.58	969.17
	Feeder 2	--	--
	Feeder 3	1,939.1	909.65
	Feeder 4	--	--

Tabla 52 Intensidad [A] en cada feeder de las subestaciones rectificadoras

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

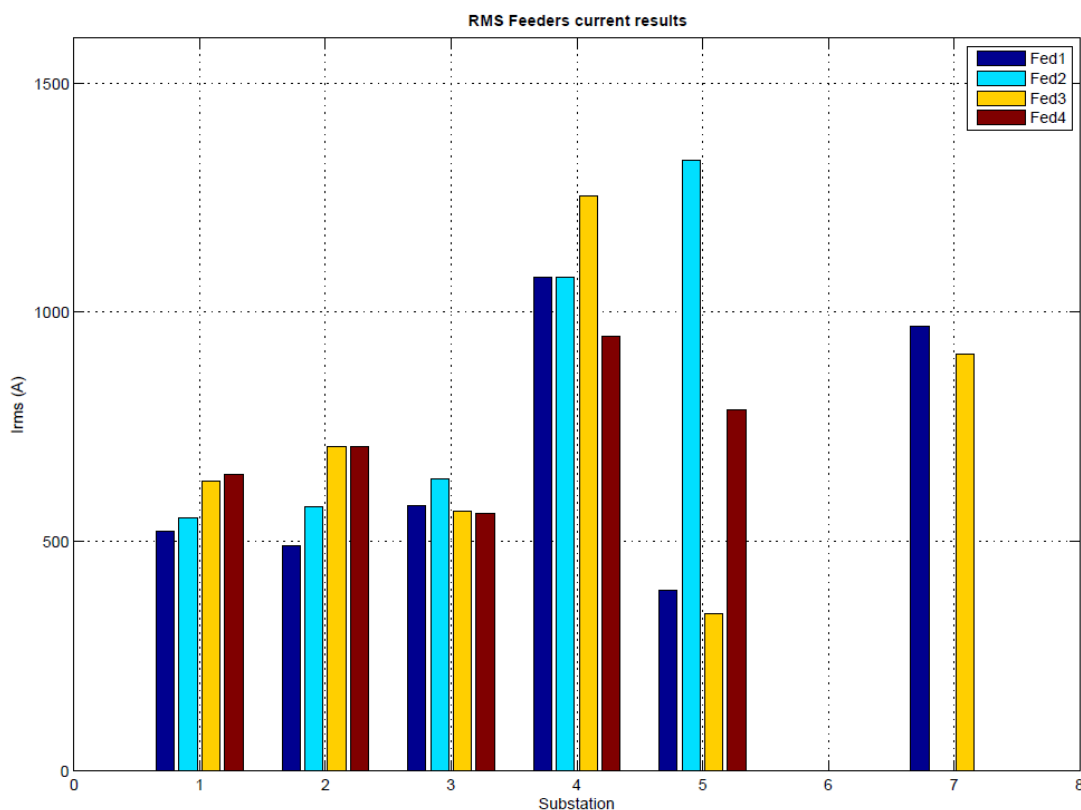


Figura 123 Intensidad RMS [A] en feeders de subestación rectificadora

5.8. SITUACIÓN DEGRADADA 7

La situación degradada 4 considera la falla de la subestación de rectificación Central de autobuses.

5.8.1. Tensión en el tren

A partir del estudio de marcha realizado, y de la flota especificada en puntos anteriores, se obtiene la tensión [V] en pantógrafo del tren a lo largo del trayecto:

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

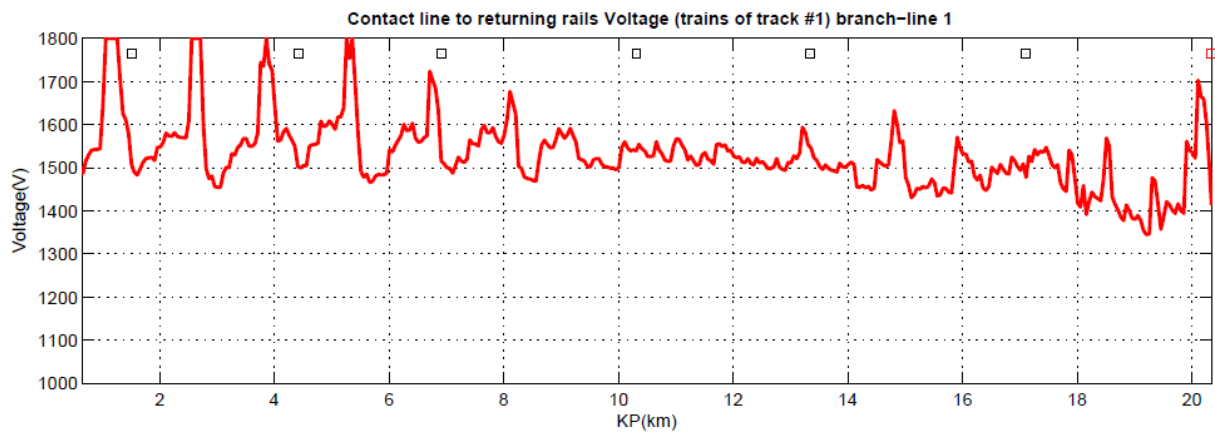


Figura 124 Tensión en pantógrafo vía 1

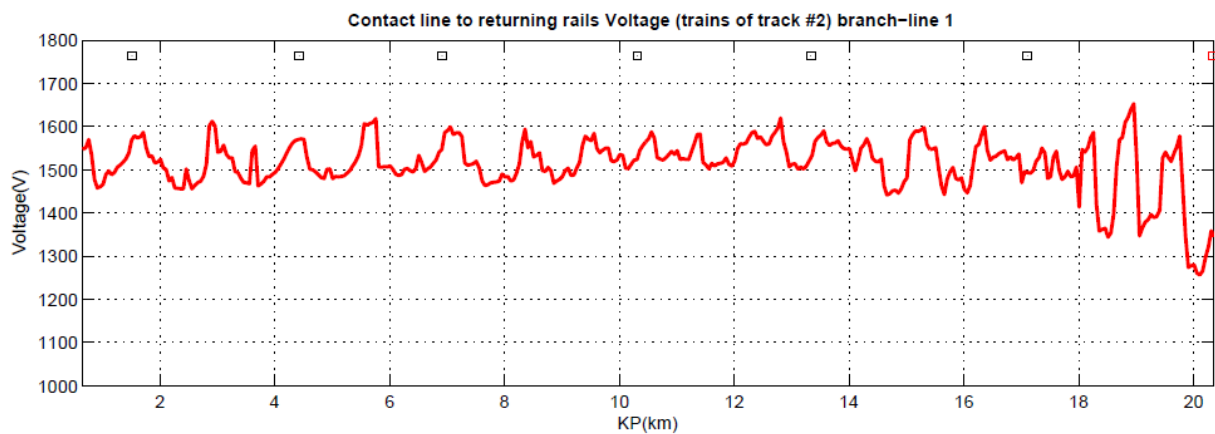


Figura 125 Tensión en pantógrafo vía 2

5.8.2. Potencia en las subestaciones de rectificación

Las potencias obtenidas en cada una de las subestaciones son las que se observan en la siguiente tabla:

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	4,526.02	3,214.47	2,402.76
Zapopan Ayuntamiento	4,430	2x2000 kW	4,084.79	3,150.39	2,343.35

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Country club	6,915	2x2000 kW	4,109.30	3,156.88	2,352.02
Alcalde	10,315	2x2000 kW	3,700.55	2,610.42	2,234.16
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	3,912.17	3,086.24	2,441.72
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	5,084.67	3,542.12	3,139.43
Central de autobuses	20,340	--	--	--	--

Tabla 53 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

En los siguientes gráficos, se muestran los resultados de potencia obtenida en formato gráfico:

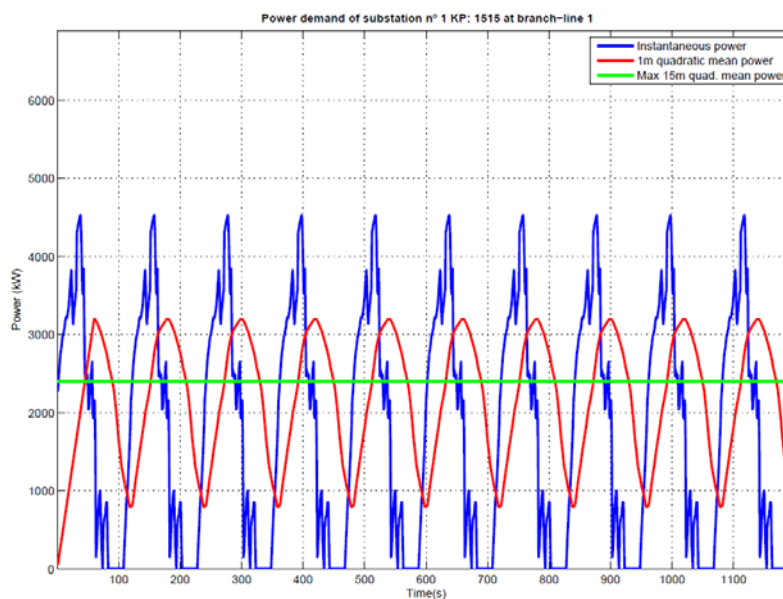


Figura 126 Potencia demandada en subestación de rectificación Dif/Cirt

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

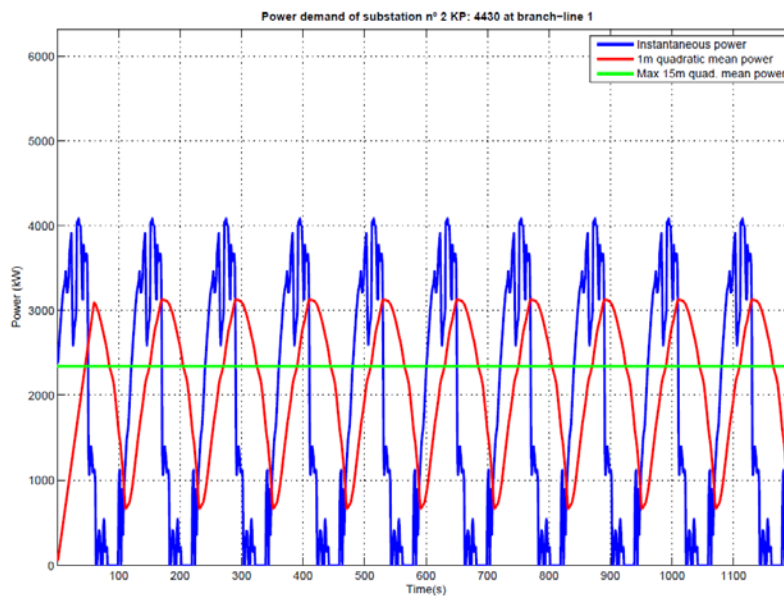


Figura 127 Potencia demandada en subestación de rectificación Zapopan Ayuntamiento

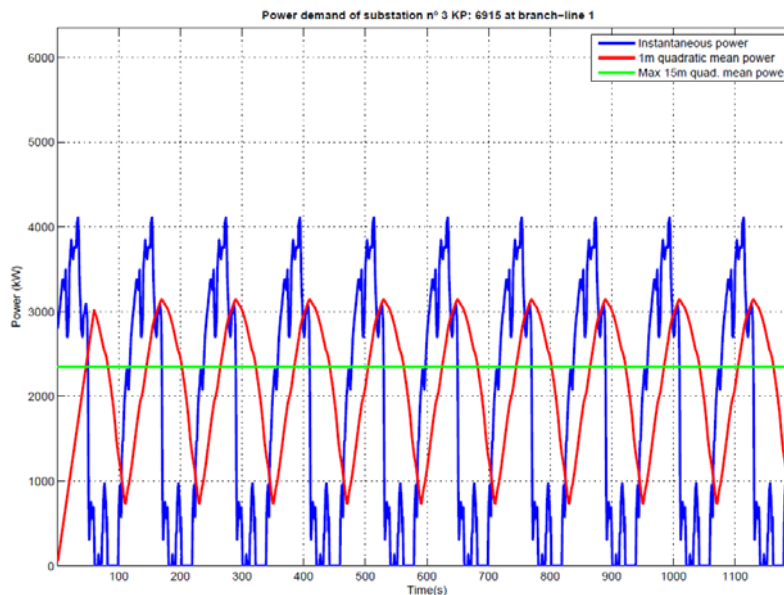


Figura 128 Potencia demandada en subestación de rectificación Country Club

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

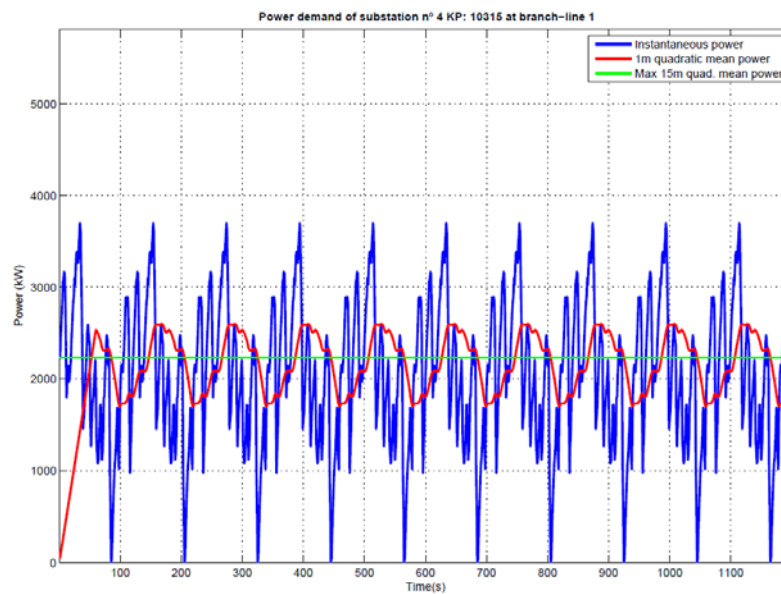


Figura 129 Potencia demandada en subestación de rectificación Alcalde

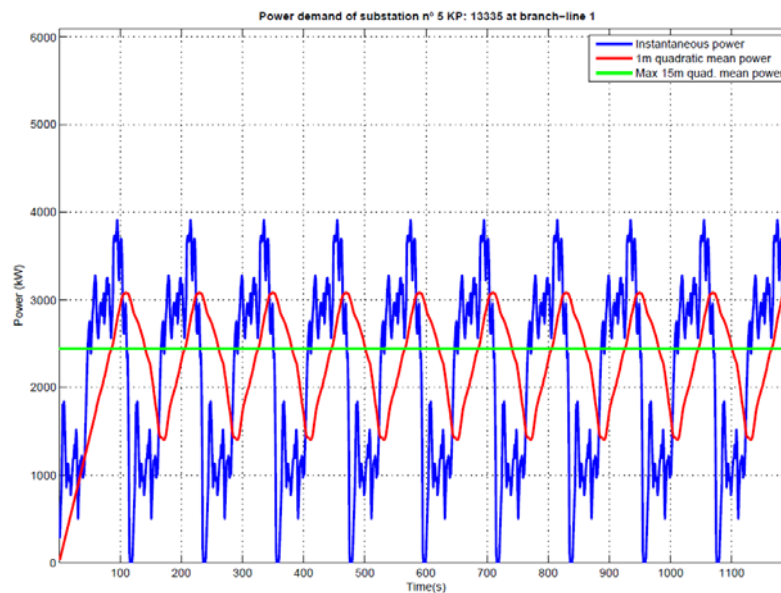
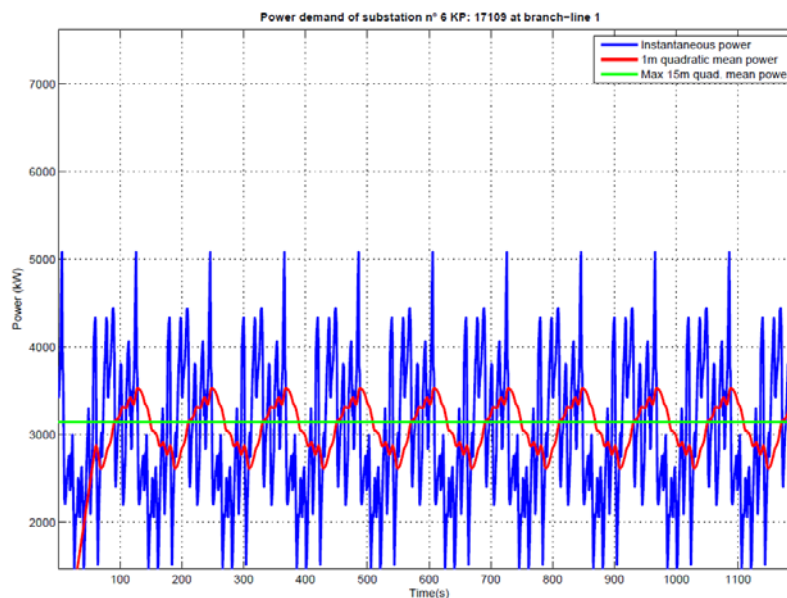


Figura 130 Potencia demandada en subestación de rectificación Plaza de la bandera

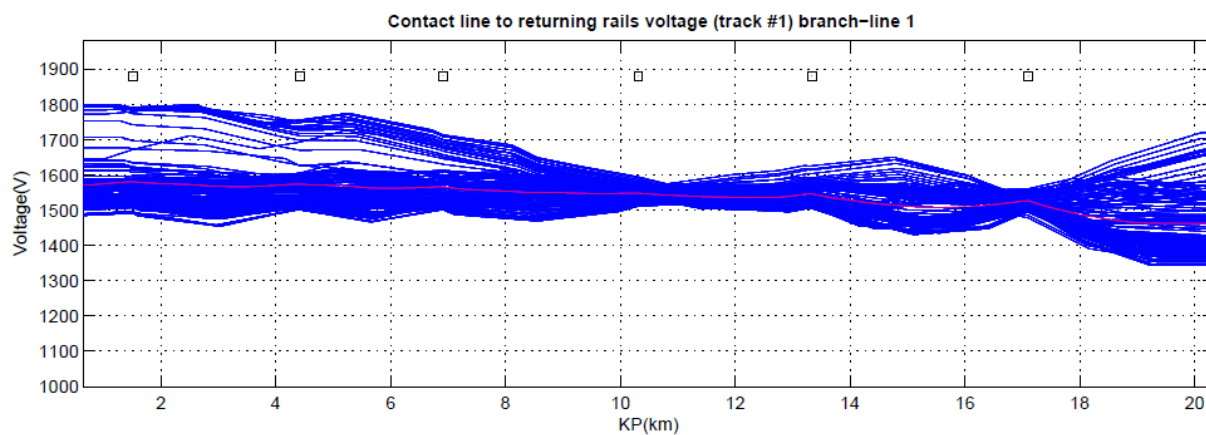
DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN



5.8.3. Tensión en catenaria

Tensión min. Catenaria [V] Vía 1	Pk [m]	Tensión min. Catenaria [V] Vía 2	Pk [m]
1,344.75	19.211	1,256.39	20.111

Tabla 54 Tensión mínima en catenaria [V]



DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Figura 131 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 1

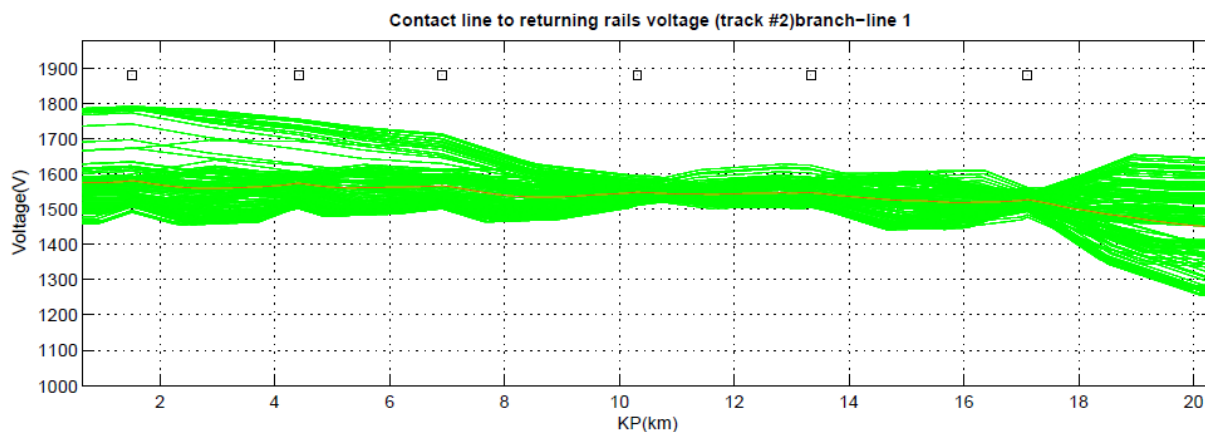


Figura 132 Distribución de tensión [V] en catenaria. Vía 2

5.8.4. Tensión riel - tierra

Tensión máx. riel [V]	Pk [m]	Tensión máx. riel [V]	Pk [m]
Vía 1		Vía 2	
46.62	20,361	62.34	19,961

Tabla 55 Tensión máxima en riel [V]

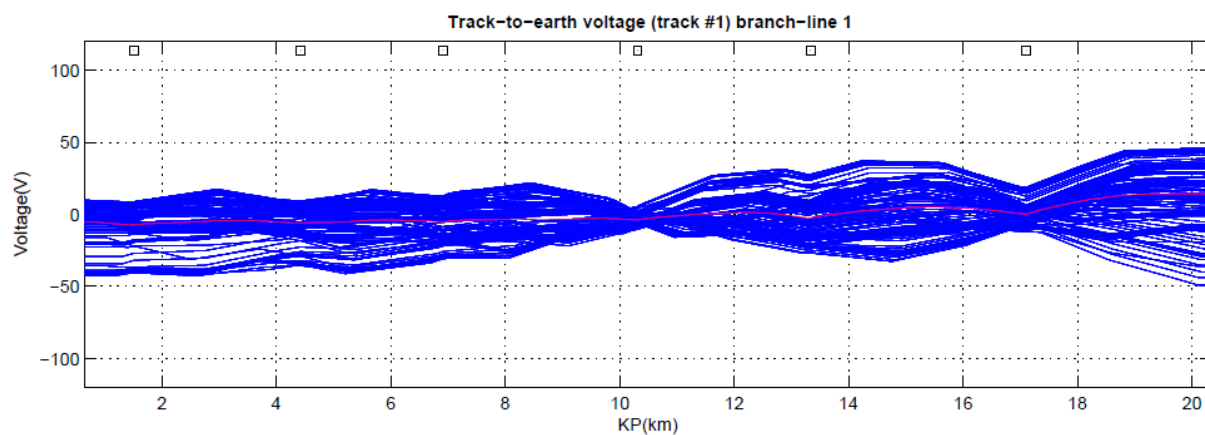


Figura 133 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 1

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

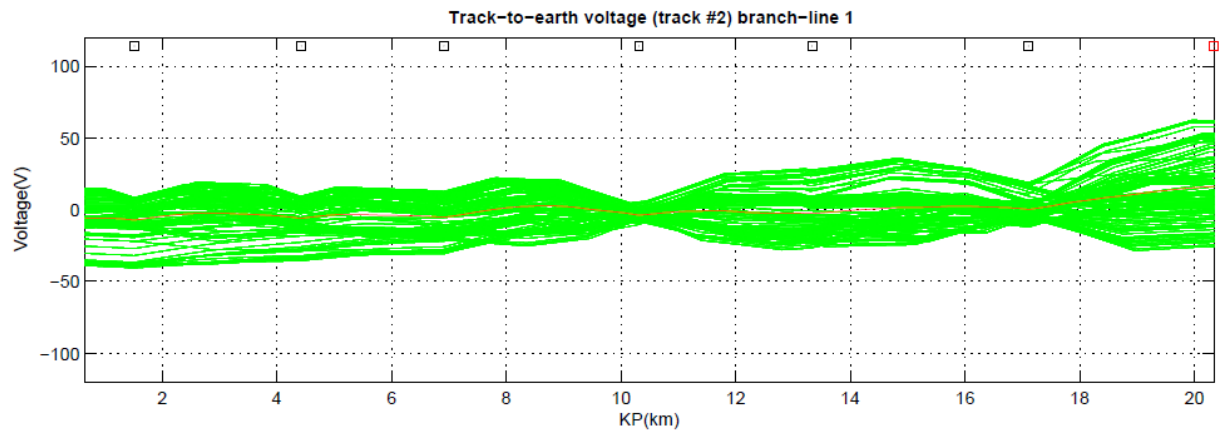


Figura 134 Distribución de tensión [V] en riel. Vía 2

5.8.5. Corriente en catenaria

Intensidad máx. Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1	Intensidad máx. Cat [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS Cat [A] Vía 1
2,116.13	1,121.86	2,022.84	1,208.57

Tabla 56 Intensidad en catenaria

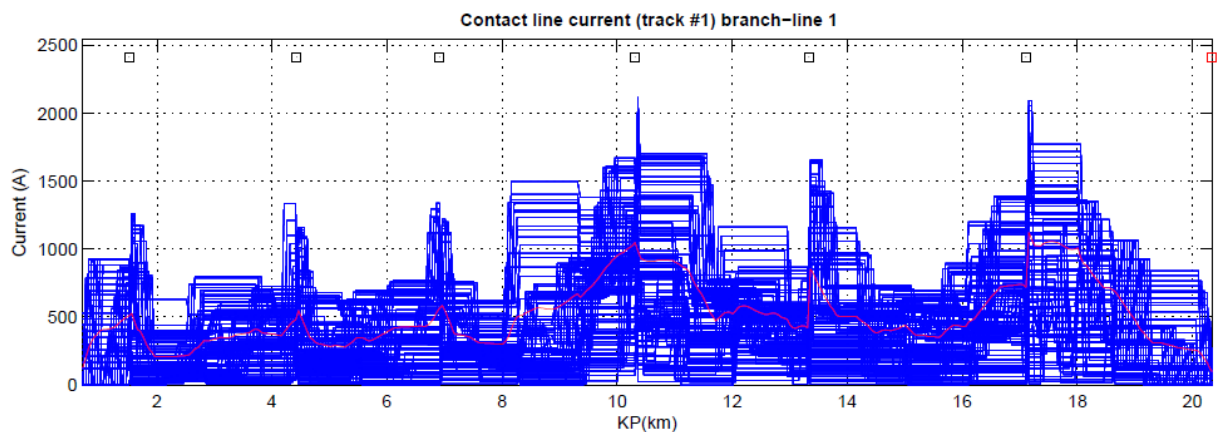


Figura 135 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 1

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

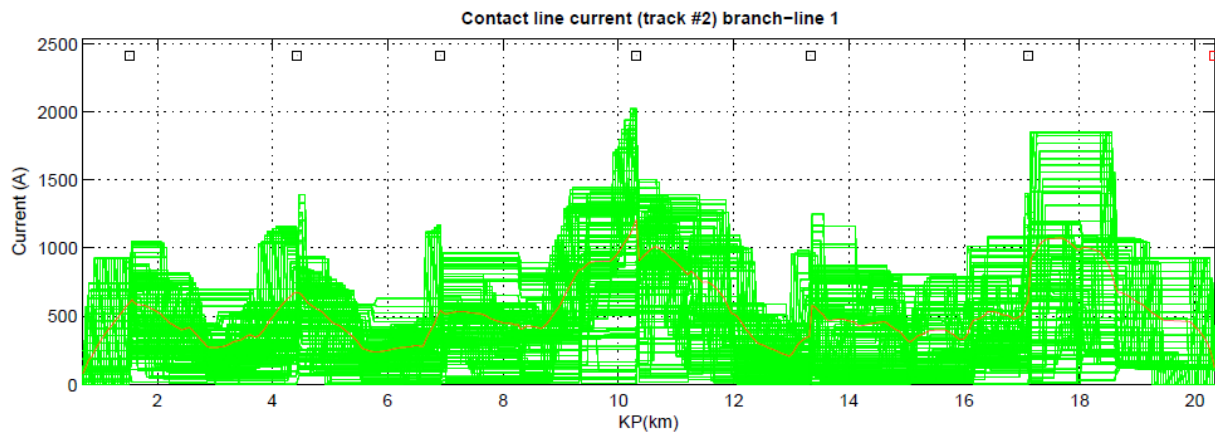


Figura 136 Distribución de corrientes [A] en catenaria. Vía 2

5.8.6. Corriente en riel

Intensidad máx. riel [A] Vía 1	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1	Intensidad máx. riel [V] Vía 2	Intensidad máx. RMS riel [A] Vía 1
2,069.86	1,097.68	1,857.15	1,042.86

Tabla 57 Intensidad en riel [A]

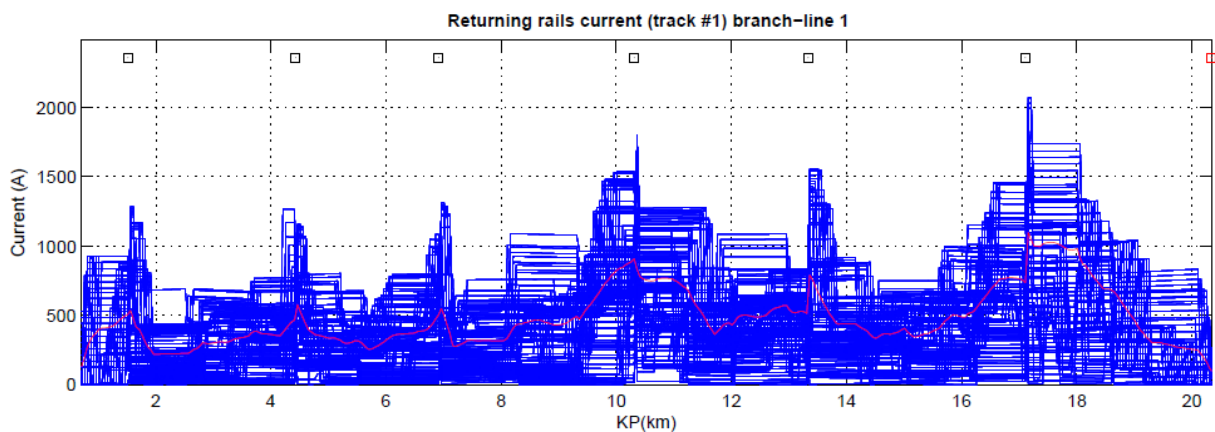


Figura 137 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 1

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

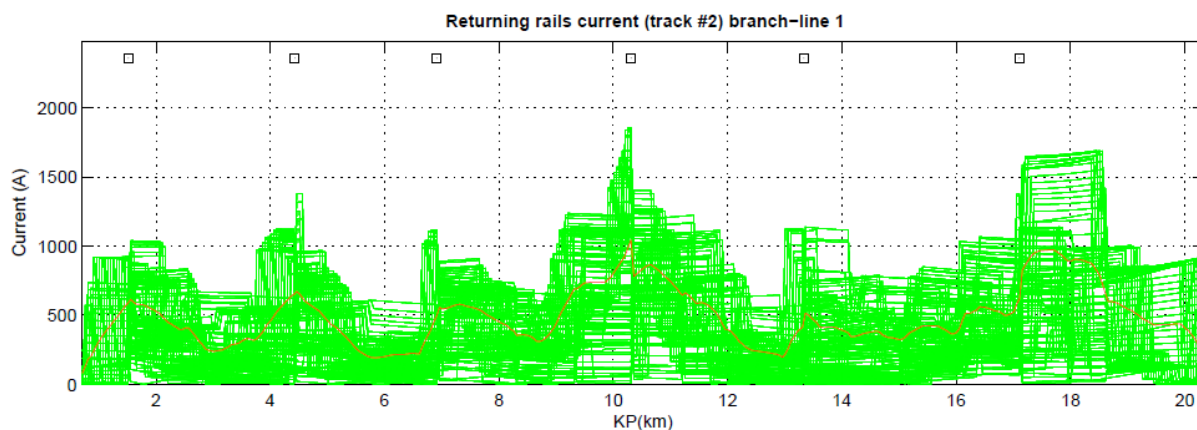


Figura 138 Distribución de corrientes [A] en riel. Vía 2

5.8.7. Corrientes en feeders

En el siguiente punto se detallan la corriente máxima y RMS que soportarán los feeders de cada una de las subestaciones de rectificación. La nomenclatura utilizada para cada uno de los feeders corresponde con la siguiente:

Feeder 1: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado izquierdo

Feeder 2: Corresponde a la alimentación de la vía 1, lado derecho

Feeder 3: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado izquierdo

Feeder 4: Corresponde a la alimentación de la vía 2, lado derecho

Subestación	Feeder	Intensidad máx. [A]	Intensidad máx. RMS [A]
DIF / CIRT	Feeder 1	925.00	507.41
	Feeder 2	1,262.72	525.34
	Feeder 3	925.00	594.21
	Feeder 4	1,050.29	618.87

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Feeder	Intensidad máx.	Intensidad máx. RMS
		[A]	[A]
Zapopan Ayuntamiento	Feeder 1	727.12	478.35
	Feeder 2	1,158.16	547.26
	Feeder 3	1,158.26	674.30
	Feeder 4	934.05	670.47
Country Club	Feeder 1	772.19	564.52
	Feeder 2	1,219.35	584.45
	Feeder 3	1,165.64	541.87
	Feeder 4	964.84	524.54
Alcalde	Feeder 1	1,669.73	1,047.06
	Feeder 2	2,116.13	986.11
	Feeder 3	2,022.84	1,208.57
	Feeder 4	1,502.80	905.92
Plaza de la bandera	Feeder 1	868.60	421.80
	Feeder 2	1,657.02	850.45
	Feeder 3	980.87	347.51
	Feeder 4	1,160.01	577.83
Revolución / Rio Nilo	Feeder 1	1,385.46	719.31
	Feeder 2	2,093.00	1,121.86
	Feeder 3	1,400.93	608.28
	Feeder 4	1,850.00	920.39
Central de autobuses	Feeder 1	--	--
	Feeder 2	--	--

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Feeder	Intensidad máx. [A]	Intensidad máx. RMS [A]
	Feeder 3	--	--
	Feeder 4	--	--

Tabla 58 Intensidad [A] en cada feeder de las subestaciones rectificadoras

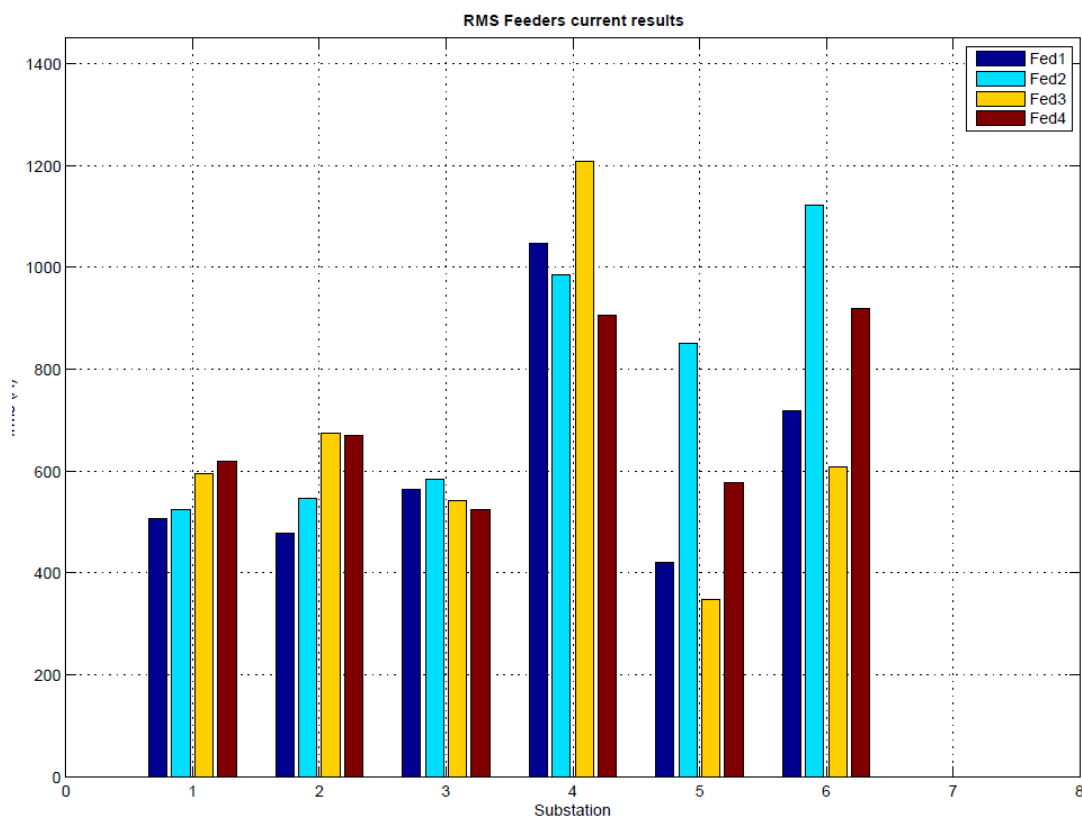


Figura 139 Intensidad RMS [A] en feeders de subestación rectificadora

5.9. RESUMEN DE RESULTADOS

En la siguiente tabla se resumen los resultados más significativos obtenidos en las anteriores simulaciones, desde el punto de vista de diseño del sistema de electrificación.

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Escenario	Potencia máxima RMS 15' (kW)	SR más demandada	Vmin en catenaria (Vcc)	PK (km)	Vmax riel (Vcc)	PK (km)
Normal	2,529	SR-1	1,438	15,111	38	14,261
Falla SR-1	4,016	SR-2	1,094	0,911	72	1,011
Falla SR-2	3,581	SR-1	1,299	3,711	43	3,811
Falla SR-3	3,357	SR-2	1,327	7,111	49	7,111
Falla SR-4	3,301	SR-5	1,363	9,861	44	11,661
Falla SR-5	3,310	SR-4	1,335	14,331	64	14,161
Falla SR-6	3,070	SR-5	1,258	16,411	63	16,461
Falla SR-7	3,139	SR-6	1,256	20,111	62	19,961

Tabla 59 Resumen resultados simulaciones

5.10. BALANCE ENERGÉTICO DE LA LÍNEA

En el presente apartado se muestra el balance energético de la línea para una hora de explotación, considerando una frecuencia de paso de 120 s.

En cuanto a potencia, la potencia máxima demandada en tracción por la totalidad de la línea es de **15,993 kW**, en situación de pico de demanda, lo que representa un ratio de 2,285 kW por subestación de rectificación, y una potencia media por tren de 500 kW (con un total de 32 trenes circulando por la línea).

En términos de energía, en las tablas y gráficas siguientes se cuantifican los diferentes conceptos: energía total de tracción consumida por los trenes, pérdidas en el circuito de tracción (pérdidas óhmicas en todo el sistema de electrificación) y pérdidas reostáticas (frenado reostático de los trenes). Toda la energía total consumida (tracción más pérdidas) procede bien de la energía suministrada por las subestaciones (SR's) o bien por el frenado regenerativo de los propios trenes.

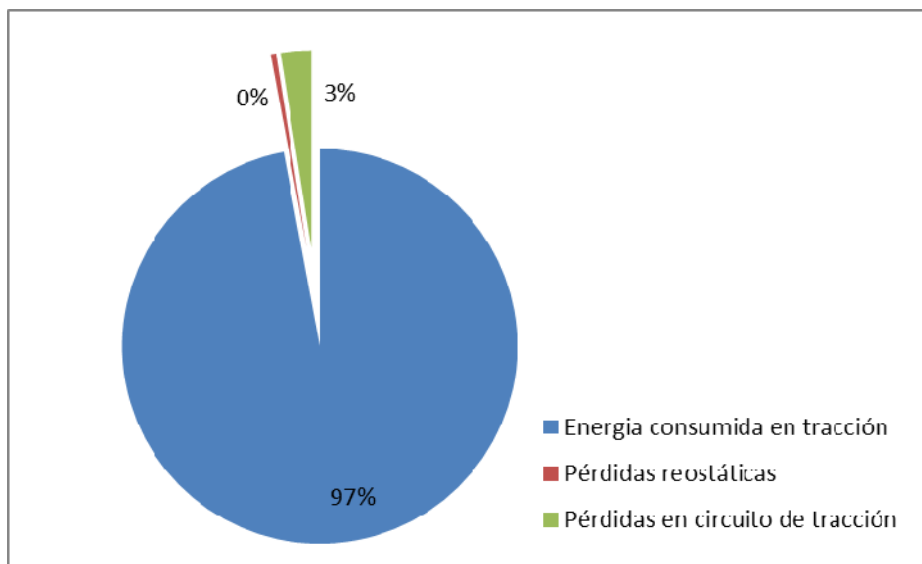
DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Energía consumida por el sistema (1h)	
Energía consumida en tracción	19,727 kWh
Pérdidas reostáticas	88 kWh
Pérdidas en circuito de tracción	508 kWh
Energía total consumida	20,324 kWh

Tabla 60 Energía consumida por el sistema de tracción (1h)

Parte de la energía consumida por el sistema, procede del freno regenerativo de los trenes, según la siguiente tabla:

Energía suministrada al sistema (1h)	
Energía suministrada por SRs	13,349 kWh
Energía suministrada por frenado regenerativo	6,975 kWh
Energía total suministrada	20,324 kWh

Tabla 61 Energía suministrada al sistema de tracción (1h)

Figura 140 Energía consumida y pérdidas del sistema de tracción

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

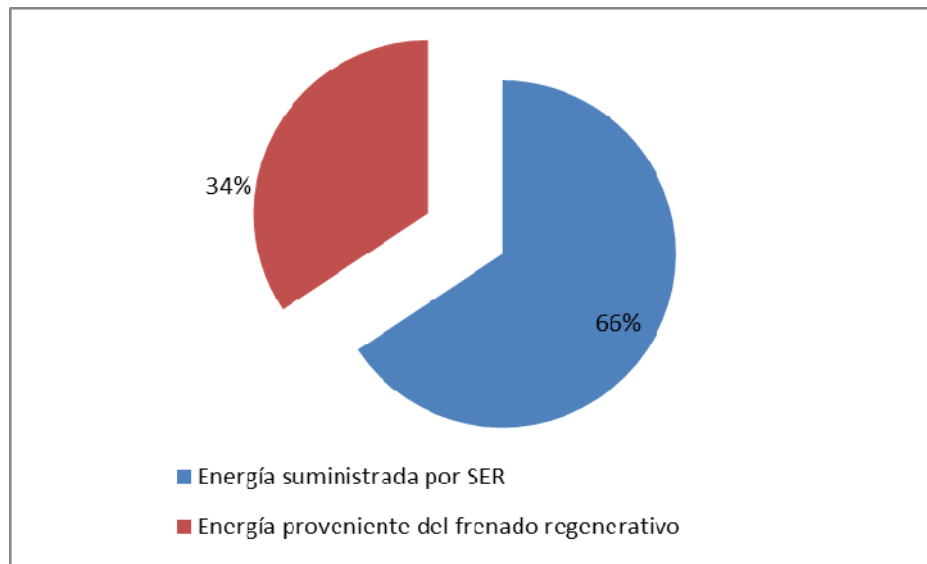


Figura 141 Origen de la energía consumida

En base a la distribución de la demanda de la línea, y de las horas pico consideradas (con un intervalo 120 s) y de las horas valle (con un intervalo 300 s), se estima que el consumo mensual de energía eléctrica para tracción será de aproximadamente:

Estimación consumo total de tracción CDG:	3,808,186 kWh tracción/mes
Estimación regeneración total por frenado:	653.466 kWh/mes
Estimación consumo demandado a la red:	3.154.719 kWh tracción/mes

Considerando las pérdidas en la transformación 230/23 kV y en el anillo de tracción 23 kV, el consumo de tracción a nivel 230 kV será de aproximadamente **3.320.000 kWh tracción/mes**

6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Una vez realizada la simulación de tracción para las condiciones previstas de explotación (120 s), es posible hacer una estimación de qué necesidades tendrá el sistema de tracción en otros escenarios de explotación. De este modo, seguidamente se procede a hacer una estimación de estas necesidades para:

- Escenario inicial de explotación: frecuencia de paso 5 minutos
- Posible escenario de explotación futuro: frecuencia de paso 80 segundos

6.1. ESCENARIO PREVIO DE EXPLOTACIÓN

Considerando una frecuencia de paso de 5 minutos, las potencias demandadas en cada subestación rectificadora, serán aproximadamente las que se detallan en las siguientes tablas:

ESCENARIO NORMAL DE EXPLOTACIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	1,920	1,354	1,012
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	1,722	1,330	989
Country club	6,915	2x2000 kW	1,752	1,327	988
Alcalde	10,315	2x2000 kW	1,578	1,091	933
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	1,618	1,226	969
Revolución / Río Nilo	17,109	2x2000 kW	1,378	909	868
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	1,125	796	637

Tabla 62 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

SITUACIÓN DEGRADADA 1

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	--	--	--	--
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	2,878	2,152	1,607
Country club	6,915	2x2000 kW	1,965	1,480	1,101
Alcalde	10,315	2x2000 kW	1,562	1,078	917
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	1,569	1,167	927
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	1,319	860	822
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	1,064	761	609

Tabla 63 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 2

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	2,631	1,919	1,432
Zapopan Ayuntamiento	4,43	--	--	--	--
Country club	6,915	2x2000 kW	2,399	1,836	1,367
Alcalde	10,315	2x2000 kW	1,747	1,215	1,023
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	1,620	1,237	990
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	1,393	918	877
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	1,125	798	640

Tabla 64 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 3

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	2,048	1,483	1,108
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	2,334	1,804	1,343
Country club	6,915	--	--	--	--
Alcalde	10,315	2x2000 kW	2,162	1,543	1,254
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	1,620	1,252	1,034
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	1,419	938	893
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	1,126	801	643

Tabla 65 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

SITUACIÓN DEGRADADA 4

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	1,943	1,381	1,033
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	1,850	1,418	1,060
Country club	6,915	2x2000 kW	2,226	1,665	1,261
Alcalde	10,315	--	--	--	--
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	2,064	1,547	1,320
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	1,491	996	950
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	1,134	815	657

Tabla 66 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 5

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	1,926	1,361	1,018
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	1,741	1,347	1,006
Country club	6,915	2x2000 kW	1,814	1,388	1,048
Alcalde	10,315	2x2000 kW	1,812	1,375	1,324
Plaza de la bandera	13,335	--	--	--	--
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	1,603	1,220	1,111
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	1,212	864	697

Tabla 67 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 6

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	1,926	1,358	1,015
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	1,733	1,340	997
Country club	6,915	2x2000 kW	1,783	1,359	1,013
Alcalde	10,315	2x2000 kW	1,678	1,191	1,031
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	1,888	1,502	1,228
Revolución / Rio Nilo	17,109	--	--	--	--
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	1,654	1,233	1,051

Tabla 68 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

SITUACIÓN DEGRADADA 7

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	1,810	1,286	961
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	1,634	1,260	937
Country club	6,915	2x2000 kW	1,644	1,263	941
Alcalde	10,315	2x2000 kW	1,480	1,044	894
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	1,565	1,234	977
Revolución / Río Nilo	17,109	2x2000 kW	2,034	1,417	1,256
Central de autobuses	20,34	--	--	--	--

Tabla 69 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

De las anteriores tablas, se puede deducir que en caso de explotar la línea con una frecuencia de paso de 5 min, la potencia demandada en las subestaciones rectificadoras sería sensiblemente menor al caso estudiado (frecuencia de paso 120 s). De este modo, en este escenario inicial de explotación se podría considerar instalar un único grupo transformador – rectificador en cada una de las subestaciones rectificadoras de 2,250 kVA.

6.2. ESCENARIO FUTURO DE EXPLOTACIÓN

Considerando una frecuencia de paso de 80 s (máxima capacidad de un sistema CBTC), las potencias demandadas en cada subestación rectificadora, serán aproximadamente las que se detallan en las siguientes tablas:

ESCENARIO NORMAL DE EXPLOTACIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	7,200	5,077	3,794
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	6,459	4,986	3,709
Country club	6,915	2x2000 kW	6,569	4,978	3,706
Alcalde	10,315	2x2000 kW	5,919	4,090	3,499
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	6,069	4,598	3,635

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	5,168	3,408	3,256
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	4,220	2,983	2,390

Tabla 70 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 1

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	--	--	--	--
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	10,793	8,069	6,024
Country club	6,915	2x2000 kW	7,367	5,548	4,128
Alcalde	10,315	2x2000 kW	5,858	4,043	3,438
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	5,884	4,376	3,476
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	4,946	3,227	3,081
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	3,991	2,852	2,285

Tabla 71 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 2

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	9,868	7,195	5,372
Zapopan Ayuntamiento	4,43	--	--	--	--
Country club	6,915	2x2000 kW	8,994	6,883	5,127
Alcalde	10,315	2x2000 kW	6,552	4,557	3,836
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	6,075	4,638	3,714
Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2000 kW	5,222	3,442	3,290
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	4,220	2,991	2,399

Tabla 72 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 3

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	7,679	5,562	4,156
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	8,754	6,766	5,036
Country club	6,915	--	--	--	--
Alcalde	10,315	2x2000 kW	8,106	5,785	4,703

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	6,074	4,697	3,877
Revolución / Río Nilo	17,109	2x2000 kW	5,322	3,519	3,347
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	4,224	3,002	2,411

Tabla 73 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 4

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	7,288	5,178	3,874
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	6,939	5,317	3,973
Country club	6,915	2x2000 kW	8,348	6,243	4,727
Alcalde	10,315	--	--	--	--
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	7,740	5,800	4,951
Revolución / Río Nilo	17,109	2x2000 kW	5,591	3,736	3,561
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	4,253	3,058	2,463

Tabla 74 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 5

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	7,223	5,105	3,818
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	6,527	5,052	3,774
Country club	6,915	2x2000 kW	6,802	5,204	3,931
Alcalde	10,315	2x2000 kW	6,795	5,155	4,965
Plaza de la bandera	13,335	--	--	--	--
Revolución / Río Nilo	17,109	2x2000 kW	6,010	4,577	4,165
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	4,545	3,241	2,615

Tabla 75 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 6

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	7,222	5,094	3,808
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	6,499	5,024	3,740
Country club	6,915	2x2000 kW	6,685	5,095	3,800
Alcalde	10,315	2x2000 kW	6,291	4,467	3,868
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	7,081	5,631	4,606

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS [kW]	Pot. máx RMS [kW]
Revolución / Río Nilo	17,109	--	--	--	--
Central de autobuses	20,34	2x2000 kW	6,204	4,624	3,942

Tabla 76 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

SITUACIÓN DEGRADADA 7

Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]	Pot. Máx [kW]	Pot. máx RMS 1' [kW]	Pot. máx RMS 15 [kW]
Dif / Cirt	1,515	2x2000 kW	6,789	4,822	3,604
Zapopan Ayuntamiento	4,43	2x2000 kW	6,127	4,726	3,515
Country club	6,915	2x2000 kW	6,164	4,735	3,528
Alcalde	10,315	2x2000 kW	5,551	3,916	3,351
Plaza de la bandera	13,335	2x2000 kW	5,868	4,629	3,663
Revolución / Río Nilo	17,109	2x2000 kW	7,627	5,313	4,709
Central de autobuses	20,34	--	--	--	--

Tabla 77 Potencias [kW] en las subestaciones de rectificación

De las anteriores tablas, se puede deducir que en caso de explotar la línea con una frecuencia de paso de 80 s, sería necesario incrementar la potencia instalada en las subestaciones rectificadoras, ya que los dos grupos de 2,250 kVA considerados serían insuficientes, no en condiciones normales de explotación, pero sí en varias de las situaciones degradadas estudiadas. Es por esto que sería necesario considerar un tercer grupo de 2,250 kVA en caso de querer aumentar el número de circulaciones y pasar a una frecuencia de explotación de 80 s.

En cuanto al criterio de caída de tensión, los valores obtenidos están muy por encima de los valores permitidos por normativa (excepto en caso de falla de la subestación rectificadora DIF/CIRT), en que la tensión llega a alcanzar valores de 1,094 Vcc. Debido a este motivo, seguramente sería necesario considerar un feeder de refuerzo en el tramo correspondiente entre el inicio de la línea y la subestación rectificadora de Zapopan Ayuntamiento para que en caso de pérdida de la subestación rectificadora de DIF/CIRT, los valores de caída de tensión se mantuvieran dentro de los límites admisibles.

7. RESUMEN EJECUTIVO

En el presente documento de Estudio de simulación de tracción del Corredor Diagonal de Guadalajara se ha estudiado el comportamiento del sistema de tracción eléctrica de la línea en estudio, no sólo en condiciones normales, sino también en condiciones degradadas (falla de una subestación) para una frecuencia de paso de vehículos de 120 s.

En el diseño del sistema de electrificación se han considerado siete (7) subestaciones rectificadoras, contando cada una de ellas con dos grupos transformador-rectificador de 2,250 kVA cada una.

Dado que el ámbito de Talleres y Depósito requiere de una subestación de rectificación exclusiva, debido al tratamiento diferente del riel en ese ámbito respecto al riel de vía general, se ha propuesto en TYD una única SR, con tres grupos transformador-rectificadores de tracción: dos dedicados a vía general (SR-7) y un tercero dedicado exclusivamente a Talleres y Depósito.

A partir de la SR-7 las subestaciones se han emplazado en aquellas estaciones más próximas al punto ideal de inyección, según los resultados de la simulación. Las subestaciones de rectificación deben estar ubicadas siempre en salas anexas a las estaciones.

Los diferentes escenarios estudiados han sido los siguientes:

- Situación normal: todas las subestaciones en funcionamiento
- Situación degradada 1: Falla de la subestación DIF / CIRT (pk 1,515)
- Situación degradada 2: Falla de la subestación Zapopan Ayuntamiento (pk 4,430)
- Situación degradada 3: Falla de la subestación Country Club (pk 6,915)
- Situación degradada 4: Falla de la subestación Alcalde (pk 10,315)
- Situación degradada 5: Falla de la subestación Plaza de la Bandera (pk 13,335)
- Situación degradada 6: Falla de la subestación Revolución / Rio Nilo (pk 17,109)
- Situación degradada 7: Falla de la subestación Central de autobuses (pk 20,340)

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

Se ha calculado, para cada una de las situaciones estudiadas, los parámetros que definen un correcto diseño del sistema de electrificación. Estos son:

- Tensión mínima en catenaria
- Sobrecarga en subestaciones
- Tensión máxima riel - tierra

Además, se han calculado otros parámetros que son de utilidad para definir los diferentes elementos del sistema de tracción:

- Intensidad en catenaria
- Intensidad en riel
- Intensidad en feeders

Se ha realizado también un balance energético del sistema de tracción del Corredor Diagonal de Guadalajara (CDG) durante una hora de explotación y considerando una frecuencia de paso de vehículos de 120 s.

Ya por último se han estimado las acciones a considerar en caso de considerar dos nuevos escenarios de explotación, uno previo con una frecuencia de paso de 5 min, y uno posible futuro con una frecuencia de explotación máxima de 80 s.

8. CONCLUSIONES

8.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez realizado el estudio, se puede concluir que el diseño de electrificación propuesto cumple con los requerimientos especificados por normativa en cuanto a mínima tensión en catenaria, sobrecarga en subestaciones rectificadoras y máxima tensión entre riel y tierra, tanto para condiciones normales de explotación (todas las subestaciones rectificadoras en servicio) como para las condiciones degradadas de explotación consideradas (falla de cualquiera de las subestaciones rectificadoras).

De las diferentes situaciones degradadas estudiadas, la de mayor exigencia al sistema es la que considera la falla de la subestación de DIF/CIRT (pk 1,515), ya que en este caso la subestación colateral de Zapopan Ayuntamiento (pk 4,430) es la encargada de alimentar en antena un tramo inicial del recorrido de más de 4 km . En este caso, la demanda de potencia en esta subestación rectificadora alcanza los 4,016 kW (RMS 15'), valor ligeramente superior a la potencia instalada. Se podría considerar en este sentido un grupo transformador-rectificador de mayor potencia para la subestación rectificadora de Zapopan Ayuntamiento, pero el exceso de potencia requerida es tan pequeño que dado que se trata de una situación degradada (no habitual) no se considera necesario. Es también en esta situación degradada en la que se obtiene un valor mínimo de tensión en catenaria más bajo (1,094 V), pero por encima del valor límite fijado por normativa.

Analizando los resultados del balance energético realizado, se observa que al haber considerado una frecuencia de paso relativamente corta 120 s, el aprovechamiento del frenado regenerativo es muy considerable, siendo un 34% de la energía suministrada al sistema proveniente del frenado. Debido a esto, las pérdidas por frenado reostático son poco significativas 88 kWh en una (1) hora de explotación.

Dado que la pequeña magnitud de las pérdidas en frenado reostático (al menos en hora pico, frecuencia de paso 120 s), la conveniencia de considerar alguna de las subestaciones con posibilidad de retorno de energía a la red de suministro (subestaciones reversibles) no parece justificada.

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

8.2. PROPUESTA DE DISEÑO

8.2.1. Subestaciones rectificadoras

Se propone considerar 7 subestaciones rectificadoras, cada una con doble grupo transformador – rectificador de 2,250 kVA de potencia. La ubicación propuesta se muestra en la siguiente tabla:

Código	Subestación	Pk [m]	Pot. instal [kW]
SR-1	Dif / Cirt	1,515	2x2,250 kVA
SR-2	Zapopan Ayuntamiento	4,430	2x2,250 kVA
SR-3	Country club	6,915	2x2,250 kVA
SR-4	Alcalde	10,315	2x2,250 kVA
SR-5	Plaza de la bandera	13,335	2x2,250 kVA
SR-6	Revolución / Rio Nilo	17,109	2x2,250 kVA
SR-7	Central de autobuses	20,340	3x2,250 kVA

Tabla 78 Propuesta de ubicación de las subestaciones de rectificación

En las figuras adjuntas se representa la ubicación de las subestaciones de rectificación propuestas.

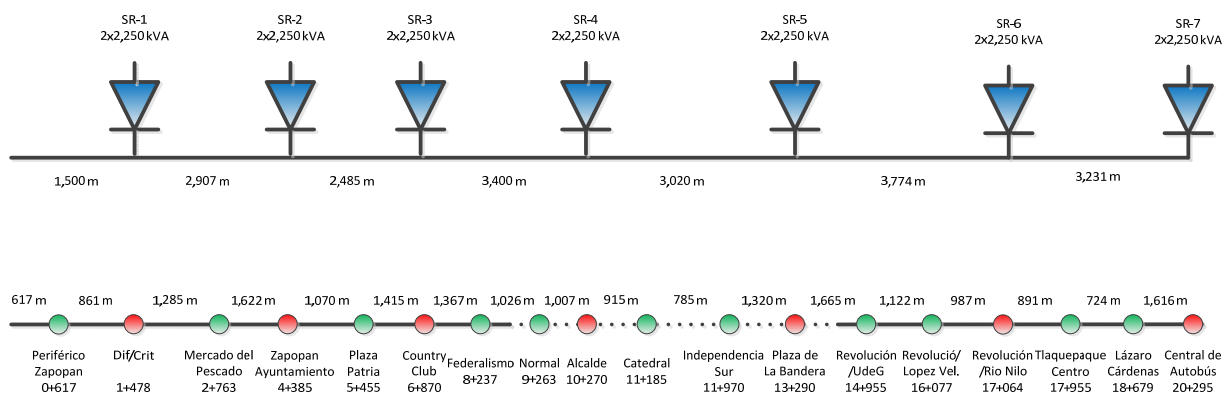


Figura 142 Esquema ubicación subestaciones de rectificación SR's propuestas



DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

La subestación SR-7 Central de Autobuses irá ubicada en las dependencias de Talleres y Depósito, y dispondrá de 3 grupos transformor-rectificador, 2 para vía general (SR-7) y un tercer grupo dedicado al ámbito Talleres y Depósito.

Opcionalmente, cada subestación de rectificación podría estar configurada en base a un único grupo transformador-rectificador, de potencia nominal 4.000 kW (4.500 kVA), pero se considera como solución óptima la configuración de doble grupo transformador-rectificador, para aumentar la redundancia del sistema (grupos redundantes) y conseguir de esta manera un sistema tolerante al segundo fallo, esto es, pueden darse dos fallos simultáneos de grupos rectificadores, y el sistema sería capaz de mantener sus funcionalidades de diseño. Por el contrario, encarece la inversión de la subestación de rectificación por necesitar mayor número de equipos (celda 23 kV, trafo y rectificador).

Además el diseño 2x2.000 kW en lugar de 1x4.000 permite diseño de rectificadores mucho más manejables, en tecnología Metal-Clad, con carros extraíbles.

Cada subestación rectificadora deberá contar con doble acometida de suministro, de este modo se puede garantizar un nivel de redundancia N-2, ya que el sistema sería capaz de soportar dos fallas simultáneas en cualquiera de las subestaciones. Para los servicios auxiliares de la subestación, debe mantenerse también la redundancia, por lo que aparte del transformador de servicios auxiliares, será necesaria una acometida de respaldo desde el tablero de distribución en baja tensión de la propia estación.

8.2.2. Catenaria y riel

La catenaria y riel propuestos son los siguientes:

- Catenaria convencional para los tramos del viaducto, formada por los siguientes conductores:
 - o 1 sustentador: 150 mm² Cu
 - o 2 hilos de contacto: 107 mm² Cu

DGTFM2112-ME-B00-ENTRA-00100 ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRACCIÓN

- Catenaria rígida para los tramos subterráneos PAC 110
- Riel UIC 54

Así mismo será necesario considerar uniones entre los rieles de ambas vías cada 250 m.

Desde el punto de vista del sistema de tracción, es recomendable considerar uniones entre las catenarias de ambas vías (además de los rieles) de forma que la resistencia global del sistema sea menor. Sin embargo, este hecho conlleva ciertas limitaciones en la explotación de la línea que es necesario se tengan en cuenta a la hora de tomar una decisión al respecto.

8.2.3. *Descargadores de intervalo y pararrayos*

Se recomienda considerar la instalación de descargadores de intervalos en todas las estaciones de pasajeros de forma que se proteja de posibles tensiones peligrosas entre el riel y tierra. Si bien según los resultados obtenidos los niveles de tensión de riel no llegan a alcanzar valores peligrosos (fuera de normativa), si es posible que durante la explotación de la línea se den situaciones excepcionales tales como deterioro del aislamiento de carril, sobretensión de carril debido a posibles defectos o explotación en modo degradado no contemplado en el presente estudio.

En cuanto a los pararrayos (surge arresters), se recomienda instalarlos en los siguientes emplazamientos:

- Subestaciones rectificadoras: para proteger los equipos de tracción de posibles sobretensiones que se produzcan en catenaria
- En la entrada / salida de túnel, de forma que una sobretensión producida por una descarga atmosférica no se transmita al interior del túnel.

8.2.4. *Subestaciones reversibles*

No se recomienda la implantación de subestación reversibles, ya que el montante de la energía potencial regenerable en frenado no sería suficiente como para compensar el incremento en la inversión.

8.2.5. *Análisis de sensibilidad*

Para una explotación inicial de la línea a un intervalo de 5 minutos, el sistema de electrificación propuesto estaría sobredimensionado con creces. Con un único grupo-rectificador 1x2.000 kW en cada SR propuesta sería suficiente para hacer frente a la demanda, incluso en situaciones degradadas de pérdida de una subestación SR.

Para el escenario previsto de explotación con un intervalo de 120 s, el sistema de electrificación mantiene sus funcionalidades incluso con la pérdida total de una subestación, o con dos grupos cualesquiera de dos SR's; y en ningún caso se sobrepasa la potencia nominal de los grupos transformadores-rectificadores. Por lo que la capacidad de sobrecarga queda como reserva para hacer frente a situaciones todavía más degradadas.

Para un futuro escenario de explotación a 80 s, el sistema de electrificación propuesto soportaría la nueva demanda total, en condiciones normales, pero se perdería la redundancia N-1 y N-2 iniciales. La pérdida de una subestación implicaría sobrecargas en los grupos rectificadores colaterales que no podrían superar dos horas de duración. Incluso la pérdida de un grupo transformador-rectificador de una SR implicaría la desconexión del grupo restante por sobrecarga. Con este escenario, se debería añadir un tercer grupo transformador-rectificador en todas las SR's y reforzar la catenaria en la parte inicial de la línea.

Material móvil

Tren similar a la serie 8000 de CAF para Metromadrid (en composición simple: M-R-M)

Fichero de datos: C:_pruebas\Pruebas A Andrada\Metro de Guadalajara
(nov-12)\mguadalajara_4.dat

Tipo de tren / circulación: Metro (pesado)
Velocidad máxima: 110 km/h
Potencia total máxima: 1200,00 kW

Convoy tipo 'rama':

Peso total del convoy: 1225,832 kN
Coef. medio de masas rotatorias (c.m.m.r.): 1,07

Número total de ejes del convoy: 12
Número de ejes tractores: 8
Número de ejes no tractores: 4
Peso por eje tractor: 73,30471 kN

Coeficiente aerodinámico: 0,1584 N/(km/h)²
Sección transversal de los vehículos: 7,84 m²
Perímetro de la sección transversal: 12 m

Longitud total del convoy: 55 m

Resistencias R al avance [N]: $R_n + (R_r + R_c + R_t)$

Resistencia normal R_n [N]:

$$R_n = (0 + 2,65 \times P + 0 \times n_1) + (0 + 0 \times P) \times v + 0,6897222 \times v^2$$

(donde, P: peso del convoy (kN), n_1 : número de ejes tractores, v: velocidad (km/h))

Resistencia adicional ($R_r + R_c + R_t$) [N]:

Resistencia R_r en rampa [N]:

$$R_r = (P + Q) \times 1000 \times \text{pend} / \text{raíz cuadrada}([1 + \text{pend}^2])$$

(donde, P + Q: peso total del convoy (kN), pend: pendiente (m/m))

Resistencia R_c en curva [N]:

$$R_c = (P + Q) \times (650 / (\text{radio} - 55)), \text{radio} > 350 \text{ m}$$

$$R_c = (P + Q) \times (530 / (\text{radio} - 35)), 250 < \text{radio} < 350 \text{ m}$$

$$R_c = (P + Q) \times (500 / (\text{radio} - 30)), \text{radio} < 250 \text{ m}$$

(donde, P + Q: peso total del convoy (kN), radio: radio de curvatura en planta (m))

Resistencia R_t en túnel [N]:

$R_t = (R_n' - R_n)$, donde: R_n' se calcula como R_n , pero mayorando el coeficiente aerodinámico por el factor de túnel (en cada caso)

Curva característica de tracción por eje tractor (km/h - kN): 12 puntos

0 13,75
39,27279 13,75
43,53333 12,40431

mguadalajara_4.st2.txt

48,25607	11,19032
53,49117	10,09514
59,29419	9,107143
65,72676	8,215844
72,85717	7,411775
80,76113	6,686394
89,52256	6,03201
99,23447	5,441666
110	4,9091

Curva característica de la fuerza de frenado total (km/h - kN): 4 puntos

0	900
10	950
80	950
90	900

Factor de adherencia en función de la velocidad (km/h - adim.): 12 puntos

0	0,3314545
8,181818	0,3047282
16,36364	0,285247
24,54545	0,2704164
32,72727	0,2587488
40,90909	0,2493298
49,09091	0,2415664
57,27273	0,2350574
65,45454	0,2295216
73,63636	0,2247558
81,81818	0,2206098
90	0,2169701

Material móvil (información adicional)

Tren similar a la serie 8000 de CAF para Metromadrid (en composición simple: M-R-M)

Fichero de datos: C:_pruebas\Pruebas A Andrada\Metro de Guadalajara
(nov-12)\mguadalajara_4.dat

Descripción: Tren similar a la serie 8000 de CAF para Metromadrid

Comentarios: (oferta para el metro de Quito, nov- 2011)

Velocidad: 90,0 km/h

Dimensiones: L = 110,0 m, A x H = 7,8 m2

Tracción: Eléctrica

Motores: ? motores, 16 ejes tractores

Alimentación:

Potencia: 183,3 kW x 16 = 2933,3 kW

Frenado: Eléctrico + mec.

Fabricante: CAF

- Inf. adicional: Sitio de red: s:\PROY\Tmp\D231310\Informacion_Tecnica_Mmv

- Fichero(s) mmv:

Viajeros:

Coches tipo 1:

Coches tipo 2:

mguadalajara_4.st2.txt

Coches tipo 3:
Coches tipo 4:
- Fichero(s) viaj.:

Mercancías:
Vagones tipo 1:
Vagones tipo 2:
Vagones tipo 3:
Vagones tipo 4:
- Fichero(s) merc.: