

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO Y CONTROL DE LAS CORRIENTES DE FUGA EN EL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN PARA TRACCIÓN DE LA C. A. METRO DE CARACAS.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Rivero O., Roger F.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2006

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO Y CONTROL DE LAS CORRIENTES DE FUGA EN EL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN PARA TRACCIÓN DE LA C. A. METRO DE CARACAS.

PROF. GUÍA: Nerio Ojeda
TUTOR INDUSTRIAL: Esp., Ramón Muñoz

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Rivero O., Roger F.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2006

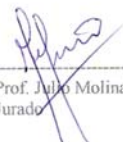
CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 2006

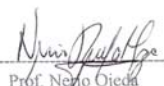
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Roger Rivero, titulado:

"ESTUDIO Y CONTROL DE LAS CORRIENTES DE FUGA EN EL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN PARA TRACCIÓN DE LA C. A. METRO DE CARACAS"

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas con el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Julio Molina
Jurado


Prof. Carmen Pahmer
Jurado


Prof. Nery Ojeda
Profesor guía.



DEDICATORIA

El presente trabajo de grado muestra el logro de una de mis metas, de ser Ingeniero Electricista, y lo dedico a:

- *A Dios todopoderoso, por darme la oportunidad de cumplir con una de las metas más importante de mi vida, llenándome de dicha y felicidad.*
- *A mis padres **Miguel Rivero** y **Carmen de Rivero**, por tener en todo momento su apoyo incondicional en los momentos de tristezas y alegrías, y depositar tanto cariño y amor para ayudarme a cumplir la meta de ser ingeniero electricista.*
- *A toda la familia **Ortiz López**, especialmente a la Señora **Joaquina Ortiz**, por brindarme su apoyo en todo momento, llenándome de fortaleza y buenos deseos para lograr mis objetivos y a su hijo el Ingeniero **Luis Ortiz**, por su amistad sincera y especial ayuda en las buena y malas para el logro de esta meta.*
- *A mis hermanos **Miguel Rivero** y **Romell Rivero**, por ser ejemplo para la culminación de este trabajo y apoyo incondicional.*
- *A **Danira Martínez**, por ser la persona más especial que tengo siempre a mi lado y darme su apoyo incondicional en todo momento y estar pendiente de mí en los momentos difíciles en el desarrollo de este proyecto, y ser un estímulo para la culminación de este trabajo.*
- *A los esposos **Richard Martínez** y **Rosa Ortiz**, por su valioso apoyo en los momentos difíciles en la realización de este proyecto y por ser un ejemplo a seguir en la vida, como persona y profesionales.*

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido al desarrollo y culminación del presente trabajo, especialmente:

- *A la Universidad Central de Venezuela, en especial a mi tutor el Prof. **Nerio Ojeda**, por depositar en mí la confianza, su amistad, y colaboración para encaminarme hacia el ejercicio de la profesión.*
- *Mención especial a mi tutor industrial Esp. **Ramón Muñoz**, por su accesoria, orientación y suministro de información requerida para la culminación de este proyecto.*
- *Al Ing. **Norbeth Figueira**, por su asesoramiento y disponibilidad para atender las dudas, a pesar de su labor, y por brindarme su amistad.*
- *Al Ing. **Mario Cantone**, por su guía y su interés en ofrecerme toda la información posible y necesaria para la realización de este proyecto, además de su innegables conocimiento que está dispuesto a brindar.*
- *A mis amigos incondicionales, **Carlos Alonso Bello, Carlos Cruz, Will Figuera, Eduardo Marcano, German González, Aldo Valentini, José Luis González, Shirley Carrasco y Victor Delgado** que desde hace tanto años me ha dado su amistad y han estado presente en los momentos más duro de mi vida, apoyándome y compartiendo victorias y penas.*
- *A los Ingenieros **Uxmal Amézquita y Héctor González**, por su inmensa colaboración desde el primer momento, por guiarme en el instante indicado cuando no contaba con las bases sólidas para continuar el trabajo.*

- *A el Ing. **José Peña**, por su participación directa en este proyecto a quien considero un excelente profesional y personal, y demostrar una gran disponibilidades el momento de aportar nuevas ideas para el trabajo.*

- *A los Técnicos **Luis Romero y José Quintero**, por su amistad y colaboración en los momentos de las mediciones de campo todo el tiempo que tuvimos realizando el trabajo, además de su sincera e incondicional amistad.*

- *A la **C. A. Metro de Caracas** por permitir y facilitar material, equipos y transporte en el desarrollo de este trabajo. De igual modo a todos mis compañeros de la Sección de Electrificación para Tracción:*

T.S.U. Adrián Torres

T.S.U. Matías Gamboa.

T.S.U. Luis Concha

T.S.U. Pablo García

T.S.U. Alfredo Pirona.

T.S.U. Juan Carranza

T.S.U. Norma Cuadro

T.S.U. Arturo Díaz

T.S.U. Luis Quintero

Rivero O., Roger F.

ESTUDIO Y CONTROL DE LAS CORRIENTES DE FUGA EN EL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN PARA TRACCIÓN DE LA C. A. METRO DE CARACAS

Prof. Guía: Nerio Ojeda. Tutor Industrial: Esp. Ramón Muñoz. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero electricista. Opción : Potencia. Institución: C. A. Metro de Caracas. 2006.94 h. + anexos.

Palabras Claves: Corrientes de fuga, electrificación para la tracción de trenes, métodos para el control de las corrientes de fuga.

Resumen. Las corrientes de fuga asociadas a los sistemas eléctricos de transporte (Metros, ferrocarriles, trolleybuses, tranvías, etc) deben ser monitoreados con cuidado; ya que pueden causar daños irreversibles por corrosión galvánica a estructuras propias o externas a las mismas. El presente trabajo cuantificó las corrientes de fuga en diferentes puntos del sistema de electrificación para tracción de la C. A. Metro de Caracas, como fueron en las sub-estaciones de tracción: Las Adjuntas (**SAJ**), Caricuao (**SCC**), Propatria (**SPP**), Antimano (**SAM**), Mamera (**SMM**) y La California (**SCF**). Para la estimación de las corrientes de fuga en el mencionado sistema se midieron las corrientes de tracción a través de los disyuntores de vía (B3, B4, B5, B6) y tramo (B35, B46), la corriente de retorno negativo a través del rectificador de potencia (RCT) y la corriente de fuga a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN). Los equipos utilizados para lo anterior fueron un registrador digital de 16 canales de entradas y para el almacenamiento se utiliza un programa llamado Snap Master. También se realizó simulaciones del mencionado sistema con datos normalizados a fin de compararlo con las corrientes de fuga obtenidas de las mediciones, teniendo como resultado que de las seis sub-estaciones de tracción medida cuatro de estas presentan un valor de corrientes de fuga superior a el valor simulado esperado por el sistema. Adicionalmente se presenta un estudio técnico-económico para la instalación de un conductor de aluminio (feeder negativo), el cual estaría colocado en paralelo a los rieles de rodamiento y permitiría fundamentalmente obtener las siguientes ventajas: disminución de las tensiones riel-suelo y disminución de las corrientes de fuga.

INDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	v
INDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
LISTA DE SIGLAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS	xv
CAPÍTULO I.....	3
1 GENERALIDADES SOBRE LA EMPRESA Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Reseña histórica de la C. A. Metro de Caracas.....	3
1.2 Configuración de la red básica de la empresa.....	4
1.3 Objetivo del trabajo.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Planteamiento del problema.....	5
1.5 Factibilidad.....	6
1.5.1 Factibilidad técnica.....	6
1.5.2 Factibilidad económica.....	6
1.5.3 Factibilidad operativa.....	6
CAPÍTULO II	7
2 CORRIENTES DE FUGA.....	7
2.1 Definición [20].....	7
2.2 Consecuencia [20].....	7
2.3 Cuantificación [20].....	8
2.4 Corrosión por corrientes de fuga [4]	8
2.5 Variables que incrementan la magnitud de las corrientes de fuga [9]	9
2.6 Criterios para el control de las corrientes de fuga [9]	9
CAPÍTULO III.....	11
3 MARCO METODOLÓGICO.....	11
3.1 Tipo de estudio.....	11
3.2 Población [1].....	11
3.3 Muestra [1].....	11
3.4 Técnicas de recolección de datos [1].....	12
3.5 Fases de la investigación.....	12
3.5.1 Fase I: Revisión bibliográfica.....	12
3.5.2 Fase II: Obtención de los diagramas unifilares y de señalización.....	12
3.5.3 Fase III: Información de las sub-estaciones de tracción.....	13

3.5.4 Fase IV: Instrumentos utilizados para las mediciones de corrientes en las sub-estaciones de tracción.....	13
3.5.5 Fase V: Especificaciones del equipo digital utilizados en las mediciones de corrientes en las sub-estaciones de tracción.....	14
3.5.6 Fase VI: Procedimiento para las mediciones de corrientes en las sub-estaciones de tracción.....	16
3.5.7 Fase VII: Condiciones para la medición de las corrientes en las sub-estaciones de tracción.....	21
3.5.8 Fase VIII: condiciones técnicas y operativas para realizar las pruebas.....	22
3.5.9 Fase IX: Análisis de datos y tratamiento de la información.....	24
3.5.10 Fase X: Simulación de las corrientes de fuga.....	25
3.5.11 Fase XI: Modelo eléctrico pasivo a simular.....	26
3.6 Limitaciones del trabajo.....	32
CAPÍTULO IV.....	33
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	33
4.1 Introducción.....	33
4.2 Análisis de la sub-estación de tracción Las Adjuntas (SAJ).....	37
4.3 Análisis de la sub-estación de tracción Caricuao (SCC).....	43
4.4 Análisis de la sub-estación de tracción Propatria (SPP).....	49
4.5 Análisis de la sub-estaciones de tracción Antímano (SAM).....	55
4.6 Análisis de la sub-estación de tracción Mamera (SMM).....	62
4.7 Análisis de la sub-estación de tracción La California (SCF).....	68
CAPÍTULO V.....	76
5 ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA INSTALACIÓN DE UN CONDUCTOR DE ALUMINIO PARA LA LÍNEA 1 Y LÍNEA 3 DE LA C.A. METRO DE CARACAS.....	76
5.1 Escogencia del aluminio como alternativa ante el problema planteado.....	76
5.2 Estudio técnico.....	76
5.3 Análisis para el caso del sistema sin la colocación del conductor de aluminio (feeder negativo).....	77
5.4 Análisis para el caso del sistema con la colocación del conductor de aluminio (feeder negativo).....	78
5.5 Especificaciones del conductor de aluminio.....	78
5.6 Costo vs. ahorro de la instalación del conductor de aluminio.....	79
5.7 Consideraciones tomadas en el estudio económico.....	79
5.8 Costo de la inversión.....	80
5.8.1 Estudio detallado.....	80
5.8.2 Suministro de materiales importados.....	80
5.8.3 Suministro de materiales nacionales.....	80
5.8.4 Instalación.....	80
5.9 Costo estimado de la instalación del conductor de aluminio Línea 3.....	81
5.10 Costo estimado de la instalación del conductor de aluminio Línea 1.....	81
5.11 Corriente ahorrada.....	82
5.12 Tiempo de recuperación de la inversión.....	83
5.13 Ventajas y desventajas de la instalación de un conductor de aluminio.....	83

5.13.1 Ventajas.....	83
5.13.2 Desventajas.	83
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
BIBLIOGRAFÍAS	89
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ).	37
Tabla 4.2 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ).	38
Tabla 4.3 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas en la S/E de tracción Caricuao (SCC).	43
Tabla 4.4 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Caricuao (SCC).	44
Tabla 4.5 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas en la S/E de tracción Propatria (SPP).	49
Tabla 4.6 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Propatria (SPP).	51
Tabla 4.7 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Antímano (SAM).	56
Tabla 4.8 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción Antímano (SAM).y la S/E de tracción La Yaguara (SYG).	56
Tabla 4.9 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Antimano (SAM).	58
Tabla 4.10 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción Y (SYE) y la S/E de tracción Mamera (SMM).	62
Tabla 4.11 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Mamera (SMM).	62
Tabla 4.12 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Mamera (SMM).	64
Tabla 4.13 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción Los Cortijos (SIC) y la S/E de tracción La California (SCF)	69

Tabla 4.14 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción La California (SCF) y la S/E de tracción Petare (SPE).	69
Tabla 4.15 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Mamera (SMM).	70
Tabla 5.1 Costo de instalación en la Línea 3 tramo 2 “Plaza Venezuela-El Valle” ...	81
Tabla 5.2 Costo de instalación en la Línea 1 “La Adjuntas-El Silencio”.	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.1 Red actual de la C. A. Metro de Caracas.....	96
Anexo 1.2 Red para el 2010 de la C. A. Metro de Caracas	97
Anexo 2.1 Sistema de electrificación para tracción de la C.A. Metro de Caracas.....	99
Anexo 2.2 Corrosión de metales	124
Anexo 2.3 Tabla de la serie electroquímica	142
Anexo 2.4 Tabla de la serie galvánica	143
Anexo 2.5 Metodología para la medición de la resistencia de aislamiento “Rr-s”	144
Anexo 2.6 Corrientes vagabundas: corrosión y modos de protección	148
Anexo 2.7 Norma Francesa NF C 15-100. Tensión máxima aguantable por el hombre	149
Anexo 2.8 Norma Alemana VDE 115/365. Tensión máxima aguantable por el hombre	152
Anexo 3.1 Longitud de los conductores asociados desde cada rectificador de potencia hasta la malla de puesta a tierra.....	156
Anexo 4.1 Manual de diseño y mantenimiento de cables eléctricos ALCAVE C. A.....	158
Anexo 4.2 Tablas de datos técnicos de la Línea 1 tramo “Propatria-Palo Verde”....	162
Anexo 4.3 Tablas de datos técnicos de la Línea 2 tramo “Las Adjuntas-Zoológico-El Silencio”	177
Anexo 4.4 Tablas de datos técnicos de la Línea 3 tramo “Plaza Venezuela-El Valle” ..	187
Anexo 4.5 Aislamiento riel-suelo de diversos informes realizados en la C. A. Metro de Caracas [2].....	192

Anexo 4.6 Características técnicas de los rectificadores de potencia correspondientes a las Línea 1 y 2 [3].....	194
Anexo 4.7 Característica de la explotación comercial de los trenes correspondiente los trenes en la C. A. Metro de Caracas [3]	196
Anexo 4.8 Características físicas y eléctricas de los conductores utilizados en la C.A. Metro de Caracas [3].....	198
Anexo 4.9 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ) y la S/E de tracción Y (SYE) respecto a la vía 1 y la vía 2.....	200
Anexo 4.10 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ) y la S/E de tracción Y (SYE)	205
Anexo 4.11 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ).....	213
Anexo 4.12 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Caricuao (SCC) y la S/E de tracción Y (SYE) respecto a la vía 1 y la vía 2.....	219
Anexo 4.13 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Caricuao (SCC) y la S/E de tracción Y (SYE)	224
Anexo 4.14 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción Caricuao (SCC)	232
Anexo 4.15 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Propatria (SPP) y la S/E de tracción Plaza Sucre (SPS) respecto a la vía 1 y la vía 2.....	239
Anexo 4.16 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Propatria (SPP) y la S/E de tracción Plaza Sucre (SPS)	244
Anexo 4.17 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción Propatria (SPP)	251
Anexo 4.18 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Antímano (SAM) respecto a la vía 1 y la vía 2	257
Anexo 4.19 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Antímano (SAM).....	262
Anexo 4.20 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Antímano (SAM) y la S/E de tracción La Yaguara (SYG) respecto a la vía 1 y la vía 2	269

Anexo 4.21 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Antímano (SAM) y la S/E de tracción La Yaguara (SYG)	275
Anexo 4.22 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción Antímano (SAM)	283
Anexo 4.23 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Y (SYE) y la S/E de tracción Mamera (SMM) respecto a la vía 1 y la vía 2	290
Anexo 4.24 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Y (SYE) y la S/E de tracción Mamera (SMM)	295
Anexo 4.25 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Antímano (SAM) respecto a la vía 1 y la vía 2	302
Anexo 4.26 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Antímano (SAM)	307
Anexo 4.27 Registros parciales de las corrientes medidas en la S/E de tracción Mamera (SMM)	314
Anexo 4.28 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Los Cortijos (SLC) y la S/E de tracción La California (SCF) respecto a la vía 1 y la vía 2	319
Anexo 4.29 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Los Cortijos (SLC) y la S/E de tracción La California (SCF)	324
Anexo 4.30 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción La California (SCF) y la S/E de tracción Petare (SPE) respecto a la vía 1 y la vía 2	330
Anexo 4.31 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción La California (SCF) y la S/E de tracción Petare (SPE)	335
Anexo 4.32 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción La California (SCF)	342
Anexo 5.1 Valores máximo de tensión riel-suelo, sin la instalación del sistema feeder [14]	349
Anexo 5.2 Valores máximo de tensión riel-suelo, con la instalación del sistema feeder [14]	351
Anexo 5.3 Costo de un kilogramo de acero	353
Anexo 5.4 Porcentaje utilizados para la evaluación de proyectos	355

LISTA DE SIGLAS

▪ AENOR	Asociación Española de Normalización.
▪ AFNOR	Asociación Francesa de Normalización
▪ ANSI	American National Standards Instant.
▪ ASTM	American Society of Testing and Materials.
▪ AWG	American Wire Gare.
▪ CEN	Código Eléctrico Nacional.
▪ E.D.C.	Electricidad de Caracas.
▪ IEC	International electrotechnical Comisioné.
▪ IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
▪ INVEDI	Instituto de Investigación y Desarrollo Industrial.
▪ UCV	Universidad Central de Venezuela.
▪ USB	Universidad Simón Bolívar.
▪ VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker

LISTA DE ABREVIATURAS

▪ Ω	Ohmios.
▪ μF	Microfaradio.
▪ 127	Relé de mínima tensión en la red de 750 Vcc.
▪ 132	Dispositivo direccional de corriente en la red de 750 Vcc.
▪ 150	Relé de sobrecorriente en la red de 750 Vcc.
▪ 176	Dispositivo de sobrecorriente en la Red de 750 Vcc.
▪ 182	Relé de medida de carga en la red de 750 Vcc.
▪ 183	Relé de medida de carga en la red de 750 Vcc.
▪ 76	Relé de sobrecorriente de tiempo inverso en la red de 750 Vcc.
▪ A	Amperios.
▪ B3	Disyuntor de vía N°3.
▪ B35	Disyuntor de vía N°35.
▪ B4	Disyuntor de vía N°4.
▪ B46	Disyuntor de vía N°46.
▪ B5	Disyuntor de vía N°5.
▪ B6	Disyuntor de vía N°6.
▪ BP	Disyuntor principal.
▪ BS	Disyuntor de sección.
▪ BT	Disyuntor de tramo.
▪ BTS	Disyuntor de tramo de sección.
▪ BV	Disyuntor de vía.
▪ C/LC	Durmiente de concreto sobre losa de concreto.
▪ C/B	Durmiente de concreto sobre balasto.
▪ C.A.	Compañía Anónima.
▪ C.C.	Corriente continua.
▪ CCO	Centro de control de operaciones.
▪ CDV	Circuitos de vías.
▪ CRN	Caja de retorno negativo.
▪ CTN	Contactador de puesta a tierra del negativo.
▪ E/I	Estación interruptora.
▪ g	gramo.
▪ Ia	Corriente de carga.
▪ Ib	Corriente de carga
▪ Ia*	Corriente de retorno negativo.
▪ Ib*	Corriente de retorno negativo.
▪ Ia**	Corriente de fuga.
▪ Ib**	Corriente de fuga.
▪ Irnt	Corriente de retorno negativo a tierra .
▪ Iumbral	Corriente umbral.

▪ IPP	Sub-estación interruptora Propatria.
▪ ILH	Sub-estación interruptora La Hoyada.
▪ IDC	Sub-estación interruptora Los Dos Caminos.
▪ IZO	Sub-estación interruptora Zoológico
▪ IRP	Sub-estación interruptora Ruiz Pineda.
▪ IAM	Sub-estación interruptora Antímano Sur.
▪ IPZ	Sub-estación interruptora Paz Norte.
▪ ICU	Sub-estación interruptora Capuchinos Sur.
▪ ISL	Sub-estación interruptora El Silencio.
▪ kg	Kilogramo.
▪ km	Kilómetro.
▪ kV	Kilovoltio.
▪ M/LC	Durmiente de madera sobre losa de concreto.
▪ M/B	Durmiente de madera sobre balasto.
▪ MΩ	Megaohmios.
▪ m	Metro.
▪ mΩ	Miliohmios.
▪ m²	Metro cuadrado.
▪ MCM	Mil circular mil.
▪ mH	Milihenrio.
▪ mm	Milímetro.
▪ MV	Megavoltio.
▪ MW	Megavatio.
▪ PVC	Policloruro de vinilo.
▪ PPZ	Sub-estación eléctrica principal La Paz de 69/30 kV.
▪ PCA	Sub-estación eléctrica principal Catia de 69/30 kV.
▪ PMM	Sub-estación eléctrica principal Mamera de 69/30 kV.
▪ PCR	Sub-estación eléctrica principal Los Cortijos de 69/30 kV.
▪ R3r	Resistencia eléctrica del tercer riel.
▪ Ra	Continuidad eléctrica de las estructuras.
▪ Rrr	Resistencia eléctrica de los rieles de rodamiento.
▪ Rr-s	Resistencia de aislamiento riel-suelo.
▪ Rr-s(3r)	Resistencia de aislamiento riel-suelo del tercer riel.
▪ Rr-s(rr)	Resistencia de aislamiento riel-suelo de los rieles de rodamiento.
▪ L1	Línea 1.
▪ L2	Línea 2.
▪ L3	Línea 3.
▪ S/E	Sub-estación.
▪ STP	Sub-estación de Patios y Talleres Propatria.
▪ SPP	Sub-estación de tracción Propatria.
▪ SPS	Sub-estación de tracción Plaza Sucre.
▪ SAS	Sub-estación de tracción Agua Salud.
▪ SCP	Sub-estación de tracción Capitolio.

▪ SPC	Sub-estación de tracción Parque Carabobo.
▪ SSR	Sub-estación de tracción Santa Rosa.
▪ SPVI	Sub-estación de tracción Plaza Venezuela I.
▪ SCO	Sub-estación de tracción Chacaito.
▪ SCH	Sub-estación de tracción Chacao.
▪ SDE	Sub-estación de tracción Parque del Este.
▪ SLC	Sub-estación de tracción Los Cortijos.
▪ SCF	Sub-estación de tracción La California.
▪ SPE	Sub-estación de tracción Petare.
▪ SPL	Sub-estación de tracción Palo Verde.
▪ SPJ	Sub-estación de Patios y Talleres Las Adjuntas.
▪ SAJ	Sub-estación de tracción Las Adjuntas.
▪ SCC	Sub-estación de tracción Caricuao.
▪ SYE	Sub-estación de tracción Y.
▪ SMM	Sub-estación de tracción Mamera.
▪ SAM	Sub-estación de tracción Antímamo.
▪ SYG	Sub-estación de tracción La Yaguara.
▪ SPZ	Sub-estación de tracción La Paz.
▪ SMD	Sub-estación de tracción Maternidad.
▪ SCU	Sub-estación de tracción Capuchinos.
▪ SPVII	Sub-estación de tracción Plaza Venezuela II.
▪ SSL	Sub-estación de tracción Los Símbolos.
▪ SEV	Sub-estación de tracción El Valle.
▪ S0	valor máximo de la señal medida correspondiente al CTN.
▪ S1	valor mínimo de la señal medida correspondiente al CTN.
▪ S2	valor promedio de la señal medida correspondiente al CTN.
▪ S3	valor eficaz de la señal medida correspondiente al CTN.
▪ S4	valor máximo de la señal medida correspondiente al RCT.
▪ S5	valor mínimo de la señal medida correspondiente al RCT.
▪ S6	valor promedio de la señal medida correspondiente al RCT.
▪ S7	valor eficaz de la señal medida correspondiente al RCT.
▪ S8	valor máximo de la señal medida correspondiente al B3.
▪ S9	valor mínimo de la señal medida correspondiente al B3.
▪ S10	valor promedio de la señal medida correspondiente al B3.
▪ S11	valor eficaz de la señal medida correspondiente al B3.
▪ S12	valor máximo de la señal medida correspondiente al B4.
▪ S13	valor mínimo de la señal medida correspondiente al B4.
▪ S14	valor promedio de la señal medida correspondiente al B4.
▪ S15	valor eficaz de la señal medida correspondiente al B4.
▪ S16	valor máximo de la señal medida correspondiente al B5.
▪ S17	valor mínimo de la señal medida correspondiente al B5.
▪ S18	valor promedio de la señal medida correspondiente al B5.
▪ S19	valor eficaz de la señal medida correspondiente al B5.
▪ S20	valor máximo de la señal medida correspondiente al B6.
▪ S21	valor mínimo de la señal medida correspondiente al B6.

▪ S22	valor promedio de la señal medida correspondiente al B6
▪ S23	valor eficaz de la señal medida correspondiente al B6.
▪ S24	valor máximo de la señal medida correspondiente al B35.
▪ S25	valor mínimo de la señal medida correspondiente al B35.
▪ S26	valor promedio de la señal medida correspondiente al B35
▪ S27	valor eficaz de la señal medida correspondiente al B35.
▪ S28	valor máximo de la señal medida correspondiente al B46.
▪ S29	valor mínimo de la señal medida correspondiente al B46.
▪ S30	valor promedio de la señal medida correspondiente al B46
▪ S31	valor eficaz de la señal medida correspondiente al B46.
▪ V	Voltio.
▪ Vr-s	Potencial riel-suelo.
▪ Vumbral	Tensión umbral.
▪ ΔVr-s	Diferencia de potencial riel-suelo.

INTRODUCCIÓN

La C. A. Metro de Caracas utiliza un sistema de electrificación para tracción el cual es el encargado de suministrar la energía eléctrica para el consumo de los trenes. Este sistema de distribución es en corriente continua y alimenta tanto equipos de potencia como los servicios eléctricos auxiliares del vagón.

Este sistema consiste en una red de distribución de energía en 750 Vcc, donde el polo positivo se conecta al riel de contacto o tercer riel a través de los disyuntores de vía y de tramo y el polo negativo se conecta a los rieles de rodamiento o retorno negativo, ambos polos están flotantes sin conexión a tierra. Cualquier sistema de transporte subterráneo que posee un sistema de tracción por corriente continua y utilice los rieles como retorno de corriente, se define como flotante y por naturaleza está expuesto al efecto de las corrientes de fuga.

Las corrientes de fuga abandonan el circuito eléctrico del sistema de tracción, drenándose a tierra tomando caminos impredecibles, pudiendo ser captada por elementos metálicos que se encuentran a su paso pudiendo originar la corrosión del mismo.

El presente trabajo de grado es un proyecto de investigación que consistió en un estudio y control de las corrientes de fuga, con la finalidad de poder establecer niveles críticos y de proponer métodos para el control de dichas corrientes, la esquematización de este trabajo se divide en cinco capítulos, los cuales contienen lo siguiente:

(a) **CAPÍTULO I:** Presenta una reseña histórica de la empresa, objetivo general, objetivos específicos y el planteamiento del problema.

(b) **CAPÍTULO II:** Describe el marco teórico conceptual que hace referencia sobre los términos que se manejarán para una mejor comprensión del tema.

(c) **CAPÍTULO III:** Describe las consideraciones de las teorías metodológicas y se establece la logística y planificación para la realización de las mediciones, instrumentos utilizados y limitaciones del trabajo.

(d) **CAPÍTULO IV:** Presenta los datos obtenidos y resultados de las mediciones de campo, mediante un análisis cuantitativo y cualitativo de los datos obtenidos, y la comparación de los resultados teóricos (simulaciones) y experimentales obtenidos en las mediciones.

(e) **CAPÍTULO V:** Presenta un estudio técnico-económico del método propuesto para atenuar o controlar las corrientes de fuga con su afectación a nivel de corrosión.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES SOBRE LA EMPRESA Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 Reseña histórica de la C. A. Metro de Caracas.

El 8 de Agosto de **1977** se funda legalmente la C. A. Metro de Caracas, designando como presidente de la empresa al Ingeniero José González Lander.

Para finales de **1977** se inicia la construcción de la **Línea 1** correspondiente al tramo Catia–Petare, y para **1978** se encuentran en ejecución las diez primeras estaciones, de las quince pertenecientes al tramo “Propatria–Chacaito”, será en octubre de **1988** cuando entra en servicio el tramo “Chacaito–Los Dos Caminos” de la **Línea 1**.

1978 se da inicio al proyecto de la línea “Caricuao–Centro” y será para el 4 de octubre de **1987** cuando entra en servicio el tramo “Las Adjuntas-La Zoológico-Paz” y a finales del año **1988** se concluye la **Línea 2** al ponerse en servicio el tramo “La Paz–El Silencio”.

1987 se realiza la conexión a nivel de sistema integral del tramo “Propatria-Chacaito” de la **Línea 1** con la construcción del tramo “Chacaito-Los Dos Caminos”.

1989 se inaugura el cuarto tramo “Los Dos caminos-Palo Verde” de la **Línea 1**, con la puesta en marcha de este tramo se termina la construcción de la **Línea 1** con veintidós estaciones de pasajeros. Para finales de **1994**, se inaugura la **Línea 3-Etapa 1** tramo “Plaza Venezuela-El Valle” con cinco estaciones de pasajeros en funcionamiento.

1999 se inicia la construcción del tramo “Capuchino-Plaza Venezuela” al consorcio **Línea 4**, actualmente en construcción. Para finales del **2004** asume la presidencia de la C. A. Metro de Caracas la Ingeniero Dolores González.

1.2 Configuración de la red básica de la empresa.

Actualmente la red básica de la C. A. Metro de Caracas esta constituida de la siguiente manera:

- (a) **Línea 1** correspondiente a el tramo “**Propatria–Palo Verde**”, la cual está conformada por 22 estaciones de pasajero y una longitud de 21 kilómetros.
- (b) **Línea 2** correspondiente a el tramo “**Las Adjuntas–Zoológico–El Silencio**”, la cual está conformada por 13 estaciones de pasajeros y una longitud 19 kilómetros.
- (c) **Línea 3** correspondiente a el tramo, “**Plaza Venezuela–El Valle**”, la cual está conformada por 5 estaciones de pasajero y una longitud de 5 kilómetros.
- (d) Actualmente esta en construcción la **Línea 3-Etapa 2** tramo “**EL Valle-La Rinconada**”, **Línea 4** tramo “**Zona Rental-Capuchino**” y la Línea “**Metro de Los Teques**”, estas tres obras estarán en funcionamiento para finales de Octubre del 2006.

1.3 Objetivo del trabajo.

1.3.1 Objetivo general.

Proponer y desarrollar un método que permita cuantificar y minimizar las corrientes de fuga causante de la corrosión galvánica en el sistema de electrificación para tracción de la C. A. Metro de Caracas.

1.3.2 Objetivos específicos.

- (a) Identificar los factores que originan la corrosión galvánica.
- (b) Identificar el estado real de las corrientes de fuga en los sistemas de distribución de energía en 750 Vcc (grado de criticidad) mediante un estudio de campo.
- (c) Establecer y desarrollar un método que permita minimizar las corrientes de fuga con el fin de controlar la corrosión galvánica en los sistemas de la empresa.

(d) Determinar la factibilidad técnica y operativa para evaluar las corrientes de fuga en el sistema de tracción.

(e) Realizar un estudio técnico-económico del método propuesto a ser implementado por la empresa.

1.4 Planteamiento del problema.

La empresa C. A. Metro de Caracas posee estudios de años anteriores [2, 6, 9, 17, 18], sobre el tema de la corrosión por los efectos de diversos factores que la origina, como lo son: las corrientes de fuga, humedad del aire, contaminación atmosférica, temperatura, factores químicos, etc. En pruebas recientes realizadas en Los Patios y Talleres de Propatria se demostró que existen corrientes de fuga, por tanto existe una preocupación por parte de las unidades que le compete esta materia, ya que actualmente no se conoce las magnitudes y el nivel crítico de estas corrientes en el sistema de electrificación para tracción, lo cual está probablemente generando el deterioro de las propiedades de los metales y aleaciones generando como consecuencia la afectación a equipos y estructuras propias de la empresa, así como a terceros. Entre los componentes afectados se puede citar: cabillas embutidas en concreto, acero de refuerzo, tuberías de gas, tuberías de agua, cubiertas metálicas de cables eléctricos y telefónicos enterrados, sistema eléctrico, etc.

La corrosión puede producir entre otros efectos, fallas en algunos componentes de la vía férrea (rieles, durmientes, grapas, conductores desnudos, pernos, poste de alumbrados, canalizaciones eléctricas, estructuras civiles, etc.) lo que podría afectar el servicio comercial. La propuesta de solución de este problema representa un interés para la empresa, ya que siempre se ha planteado que el sistema de transporte subterráneo sea el medio más seguro y confiable, condición que no se puede garantizar mientras exista la posibilidad de fallas debido al deterioro de estructuras y elementos metálicos por causa de la corrosión.

La economía de la empresa también se ve afectada ya que se generan gastos de dinero imprevistos en la adquisición de materiales, equipos, horas-hombres, entre otros factores que desequilibran su estado financiero.

1.5 Factibilidad.

1.5.1 Factibilidad técnica.

La empresa aportó para la ejecución de este proyecto un apoyo técnico conformado por un registrador digital de 16 canales de entradas que utiliza un programa llamado Snap Master para la medición de las corrientes de fuga en las sub-estaciones de tracción, además de la asistencia técnica, operativa y apoyo instrumental, como acceso a la información técnica, uso de equipo de oficina y de protección contra alta tensión.

1.5.2 Factibilidad económica.

Se ha tenido la disponibilidad y el apoyo por parte de la empresa en cuanto a requerimiento que no han sido requerido en esta fase que es de estudio, sin embargo, cabe destacar que la implementación del método propuesto estará en la evaluación financiera y económica basada en un análisis costo beneficio sujeto a los procedimiento administrativo de la C. A. Metro de Caracas.

1.5.3 Factibilidad operativa.

La C. A. Metro de Caracas tuvo a la disposición al AUTOR, en cuanto al aspecto operativo, además de todos los requerimientos que implique: personal capacitado en el manejo de las herramientas necesarias (Sección de Electrificación para Tracción de la Gerencia de Electromecánica), personal para instalación y manejo de equipo para medición (Unidad de Mediciones Especial de la Gerencia de Material Rodante y Unidad de Área Técnica de la Gerencia de Electromecánica) y personal con experiencia en el Área de Electrificación.

CAPÍTULO II

CORRIENTES DE FUGA.

2.1 Definición [20].

Las corrientes de fuga son las que retornan a la fuente o abandonan un circuito eléctrico drenándose a tierra tomando caminos impredecibles, estas corrientes pueden ser captadas por la malla de puesta a tierra o siguen un camino de menor resistencia eléctrica pudiendo ser captadas por elementos metálicos a su paso.

2.2 Consecuencia [20].

Si una estructura o elemento metálico está inmerso en un medio electrolítico, por ejemplo un ambiente salino o enterrado en el suelo, las corrientes de fuga de alguna instalación eléctrica pueden fluir a través de partes mal aislada y circular por dichas estructuras o elementos metálicos. en la parte por donde penetran las corrientes de fuga a la estructura o elementos metálico el potencial eventualmente disminuirá pudiendo darse lugar a una especie de protección eléctrica total o parcial. En aquellos lugares donde las corrientes de fuga abandonan la estructura o elemento metálico inmerso el potencial llega a ser más positivo y podrían ocurrir daños severos por corrosión. Con la circulación de las corrientes de fuga se puede generar las siguientes afectaciones:

- (a) Corrosión a equipos y estructuras propia de la empresa.
- (b) Corrosión a terceros (cabillas embutida en concreto, acero estructural, tuberías de gas, tuberías de agua, cubiertas metálicas de canales eléctricos y telefónicos enterrados, sistemas eléctricos, degradación del refuerzo estructural del concreto (túneles), degradación del material metálico y pérdida de sus características, etc.)
- (c) Pérdidas energéticas.
- (d) Explosión de tuberías de alta presión.

2.3 Cuantificación [20]

En la Tabla 2.2 se indica la cantidad de metal que se corroe por efecto de la circulación de un amperio de corriente continuo por año.

Tabla 2.2 Peso del material corroído.

Metal	Peso del metal corroído
Hierro (Fe)	10,0 kg/A * Año
Cobre (Cu)	10,9 kg/A * Año
Plomo (Pb)	33,8 kg/A * Año
Zinc (Zn)	10,7 kg/A * Año
Aluminio (Al)	2,9 kg/A * Año

2.4 Corrosión por corrientes de fuga [4]

La corrosión de estructuras y elementos metálicos pueden tener lugar cuando fluye corrientes directas asociadas a un sistema eléctrico, sistema de tracción por rieles, vehículos trolebuses, etc. Este tipo de ataque se conoce como corrosión galvánica por corrientes de fuga y es particularmente dañina en vecindad de los sistema de tracción, sobre rieles en contacto directo con el suelo o cuando ocurre fugas de energía eléctrica a tierra desarrollado por un sistema eléctrico.

Cuando ocurren corrientes de fuga generadas por un sistema de tracción del tipo DC, la corrosión tendrá lugar en los sitios cercanos a las sub-estaciones de tracción o cerca de los alimentadores negativos en donde las corrientes de fuga abandonan las estructuras enterradas o retornan a la barra de negativo de las sub-estaciones de tracción.

Las mayorías de las investigaciones realizadas coinciden en que los efectos electroquímicos atribuidos a las operaciones de un sistema de tracción del tipo DC están asociados a la cantidad neta de corriente por unidad de área que pasa por un elemento metálico.

Cuando una corriente de fuga vaga de manera aleatoria por el suelo, entra en contacto con elementos metálicos que encuentra a su paso, penetrando en ellos debido a que le ofrecen menor resistencia eléctrica que la que le ofrece el suelo circundante, luego de recorrer una cierta distancia en su interior, abandona la misma para retornar a su fuente de origen.

El área de salida de la corriente de fuga que circula por una estructura o elemento metálico hacia tierra sufre un proceso llamado corrosión por electrólisis; si el área de salida es suficientemente grande, el efecto producido sobre la estructura o elemento metálico será una disminución uniforme del espesor metálico, que estará en relación directa con la densidad de la corriente, no sucederá lo mismo si el área de salida es pequeña, en este caso se produciría una deformación de la estructura o elemento metálico.

2.5 Variables que incrementan la magnitud de las corrientes de fuga [9]

- (a) La corriente de operación del tren y la ubicación del mismo.
- (b) Resistencia eléctrica longitudinal de los rieles de rodamiento.
- (c) Resistencia de aislamiento riel-suelo R_{r-s} .
- (d) Resistencia eléctrica de la malla de puesta a tierra.
- (e) Resistencia eléctrica longitudinal del riel de contacto
- (f) Resistencia de aislamiento del riel de contacto.

2.6 Criterios para el control de las corrientes de fuga [9]

- (a) Maximizar la resistencia de aislamiento del riel de contacto.
- (b) Maximizar la resistencia de aislamiento de los rieles de rodamiento.
- (c) Minimizar la resistencia eléctrica longitudinal de los rieles de rodamiento.
- (d) Minimizar la resistencia eléctrica longitudinal del riel de contacto.

Los Rieles de Rodamiento o retorno negativo por estar sometido a la contaminación atmosférica, humedad y a los esfuerzos que introducen el tránsito de los trenes, son las causante de la mayor parte de las corrientes de fuga, ya que el tercer riel o riel de contacto está separado del suelo por sus aisladores que tienen por características físicas geométricas y dieléctrica mejores propiedades aislantes, manteniéndose estos con un nivel de aislamiento mayor que de los rieles de rodamiento.

Es importante saber que si el aislamiento de las vías es bajo en uno o varios puntos del sistema de fijación y apoyo, es necesario asegurar que las corrientes que se drenan a tierra por causa del retorno negativo, deban circular por un camino conductor para tal fin, con éste propósito se ha diseñado todos los circuitos de conexión a tierra de manera de formar un sistema único que tiene como meta la reducción de las corrientes de fuga a niveles lo suficientemente bajo para que genere el menor daño posible a las estructuras o equipos de la empresa, aún cuando estas corrientes en su camino entren y salgan de los elementos metálicos.

Es por ello que el sistema Metro de Caracas posee un sistema de aterramiento de equipos y estructuras propio de la empresa que garantiza la seguridad del usuario y personal de trabajo en el sistema bajo la aparición de fallas eléctricas a tierra, tanto en 750 Vcc; 480 V; 12,47 kV y 30 kV, además para el control de las corrientes de fuga, es por ello que se ha implantado una red única de tierra (malla de puesta a tierra) la cual extiende a todo lo largo de todas las Líneas.

El control de las corrientes de fuga es un aspecto de suma importancia que se deva tomar en cuenta, ya que el sistema de tracción por corriente continua en el Metro podría ocasionar severos problemas de corrosión, como ya es conocido. La prioridad de establecer donde estas corrientes se generan, podría contribuir en una disminución problema de la corrosión si se encuentra un apropiado método de control.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO.

3.1 Tipo de estudio.

El presente trabajo está basado en una investigación de campo la cual consiste en una serie de mediciones en algunas sub-estaciones de tracción del sistema de electrificación para tracción de la empresa, por ello el investigador se ve obligado a indagar el ambiente donde se encuentran instalados dicho sistema.

3.2 Población [1].

La población en este estudio esta conformada por: quince sub-estaciones de tracción correspondiente a la **Línea 1**, diez sub-estaciones de tracción correspondiente a la **Línea 2** y tres sub-estaciones de tracción correspondiente a la **Línea 3**, en total son veintiocho sub-estaciones de tracción.

3.3 Muestra [1].

La muestra a considerar corresponde a dos sub-estaciones de tracción correspondiente a la **Línea 1** tramo “**Propatria-Palo Verde**” las cuales fueron: la sub-estación de tracción Propatria (**SPP**) y la sub-estación de tracción La California (**SCF**), y cuatro sub-estaciones de tracción correspondiente a la **Línea 2** tramo “**Las Adjuntas-Zoológico-EL Valle**”, las cuales fueron: la sub-estación de tracción Las Adjuntas (**SAJ**), sub-estación de tracción Antímano (**SAM**), sub-estación de tracción Mamera (**SMM**) y la sub-estación de tracción Caricuao (**SCC**).

3.4 Técnicas de recolección de datos [1].

Inicialmente para obtener toda la información concerniente a la investigación se procedió a recorrer algunas de las sub-estaciones de tracción para registrar: capacidad de los transformadores y rectificadores de potencia, tipo y calibre de conductores en la sub-estación de tracción, distancia y ubicación de los disyuntores de vía y tramo, equipos de protección asociado a la sub-estación, luego se fue recolectando información bibliográfica sobre el tema y el equipo de medición a utilizar.

3.5 Fases de la investigación.

Para el cumplimiento del objetivo del proyecto, se presenta a continuación las fases que se ejecutaron para la realización del presente trabajo.

3.5.1 Fase I: Revisión bibliográfica.

Para la realización de este trabajo se efectuó la búsqueda de fuentes bibliográficas, tales como: Norma de Instalaciones Eléctricas de la C. A. Metro de Caracas, Código Eléctrico Nacional, norma Francesa [10], norma Alemana [11], consulta de textos, trabajos publicados sobre el tema.

3.5.2 Fase II: Obtención de los diagramas unifilares y de señalización.

Se procedió a analizar y estudiar los diagramas unifilares de electrificación y señalización de las Líneas que conforman el sistema de electrificación para tracción de la empresa como una de las piezas más importante para esta investigación. Luego se obtuvo la información de cada una de las sub-estaciones de tracción, mediante un trabajo de campo, el cual se llevó a cabo por medio de visitas a las mismas, donde gracias a la observación directa, “inspección visual”, se fue identificando el calibre y tipo de conductores de retorno a la S/E de tracción a través de los rieles de rodamiento, ubicación y punto de conexión en los disyuntores de vía (B3,B4,B5 y

B6) y tramo (B35 y B46), rectificador de potencia (RCT) y contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

3.5.3 Fase III: Información de las sub-estaciones de tracción.

Luego de aclarar cada una de las configuraciones de los sistemas se recopiló la siguiente información para cada sub-estación de tracción estudiada:

- (a) Capacidad y tipo de conexión de los transformadores de potencia de la sub-estación de tracción.
- (b) Capacidad y tipo de conexión de los rectificadores de potencia de la sub-estación de tracción.
- (c) Características nominales de los disyuntores de vía (B3,B4,B5 y B6) y de tramo (B35 y B46).
- (d) Rango y ajustes actuales del relé de sobrecorriente 150 y del relé de sobrecorriente de tiempo inverso 76.
- (e) Características y elementos que conforman el sistema de protección denominado contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

3.5.4 Fase IV: Instrumentos utilizados para las mediciones de corrientes en las sub-estaciones de tracción.

Para la realización de las actividades de campo se emplearon los siguientes instrumentos:

- (a) Un computador portátil, Pentium III, marca DELL.
- (b) Fuente regulada. 6237 TRIPLE OUTPUT POWER SUPPLY, Hewlett Packard 0-18V; 0-1A/0 $\pm$ 20V; 0-0.5A.
- (c) Amplificadores. DSCA-43, ISOLETED ANALOG, INPUT: 0-5V; OUTPUT: 0-10V.
- (d) Un transformador monofásico, Serial 04-90, tensión de entrada de 120V, tensión de salida de 120 V.

- (e) Multímetro Digital METRA hit 28S. Autoescala.
- (f) Instrumentos y equipos diversos: caja de prueba, cableado, cámara filmadora, caja de herramientas.
- (g) Una tarjeta de adquisición de datos marca QUATECH DAQP-12.
- (h) Equipos de seguridad: botas aislante, linternas, casco y guantes aislantes.

3.5.5 Fase V: Especificaciones del equipo digital utilizados en las mediciones de corrientes en las sub-estaciones de tracción.

El equipo digital esta conformado por un computador portátil que posee una tarjeta de adquisición de datos que posee las siguientes especificaciones:



Tarjeta de adquisición de datos Daqp-12.

3.5.5.1 Descripción.

El adaptador de la adquisición de datos de Daqp-12 proporciona ocho entradas diferenciales o 16 entradas analógicas, extensibles a 256 de los adaptadores de la extensión de la entrada. Su gama bipolar de la entrada extiende de $\pm 1.25V$ (aumento de 8) a $\pm 10V$ (aumento de 1). Los aumentos programables están en pasos de 1, 2, 4, y 8. El Daqp-12 apoya índices del muestreo hasta de 100kHz en la resolución 12-bit.

Se proporciona un conductor de software que apoya varios lenguajes de programación, incluyendo el PASCAL de Microsoft C/C++, de Borland C/C++, de QuickBasic, de Turbo, y VisualBasic. Las bibliotecas de acoplamiento dinámicas se proporcionan como un interfaz de programación universal para las idiomas del desarrollo apuntadas para Microsoft Windows

3.5.5.2 Característica.

- ❖ 8 entradas diferenciales o 16 entradas analógicas.
- ❖ 12-bit resolución.
- ❖ Aumento programable verdadero de 1, 2, 4, 8.
- ❖ Exploración del canal y selección programables para cada canal, hasta 256 canales del aumento.
- ❖ Tarifa del muestreo a partir de 0,01 Hz a 100 kHz.
- ❖ Datos primero en entrar, primero en salir y de la muestra 2K lista 2048 de la exploración de la entrada primero en entrar, primero en salir.
- ❖ Windows 95 compatible.

3.5.5.3 Especificaciones.

Interfaz De Autobús: Estándar 2,1.

Dimensiones Físicas: Tarjeta del tipo II (5 milímetros).

Resolución: 12-bit

Análogo a Digital:

- ❖ Tiempo de analógico digital de la Conversión: 8 μ s.
- ❖ Error integral de las linealidades: +/- 1 LSB.
- ❖ Error diferenciado de las linealidades: +/- 1 LSB.
- ❖ Error a gama completa: +/-0.5%.
- ❖ Aumento programable: 1, 2, 4, 8 (estándar) 1, 10, 100, 1000 (opcional).
- ❖ Gama de la entrada: +/-10V, +/-5V, +/-2.5V, +/-1.25V.
- ❖ Sobretensión máxima: +/-30V.
- ❖ Impedancia de la entrada: el 100M Ω (C.C.).
- ❖ Tamaño de la exploración primero en entrar, primero en salir: 2048 entradas.
- ❖ Tamaño de los datos primero en entrar, primero en salir: muestras 2K.
- ❖ Fuente Del Disparador: Interno (software)/Ext. (TTL).

- ❖ Tarifa Del Muestreo: 0.01-100kHz.
- ❖ Tarifa De Reloj Externa: DC-5MHz.

Digital:

- ❖ Inputs/Outputs: 4 por cada uno.
- ❖ Entrada alta-baja: 2,3 V/8 V.
- ❖ Salida alta-baja: 3,4 V/.35 V típico.
- ❖ Corriente De Salida Alta-baja: 25 mA/5 mA.

Consumo de energía: 160 mA @ 5 V (máximo.) 60mA @ 5 V (mínimo)

3.5.6 Fase VI: Procedimiento para las mediciones de corrientes en las sub-estaciones de tracción.

Para las mediciones de corrientes que se explican a continuación en las sub-estaciones de tracción se realizaron pruebas preliminares en la sub-estación de tracción Y (SYE) el día 02 de Noviembre 2004 bajo la supervisión del Ingeniero José Peña jefe de la Unidad de Mediciones Especiales de la Gerencia de Material Rodante y la supervisión del Ingeniero Norbeth Figueira de la Unidad de Área Técnica de la Gerencia de Electromecánica, para la calibración y ajuste del equipo digital para las mediciones posteriores. Con el registrador digital de 16 canales de entrada, que está unido a un computador portátil (laptop) mediante una tarjeta de adquisición de datos, se mide las siguientes corrientes:

(a) La “**corriente de tracción**” que consume los trenes que se encuentran en las vías, se mide mediante la utilización de seis canales del registrador digital, donde cuatro canales se utilizan para medir las corrientes a través de los disyuntores de vía (172.B3;172.B5;172.B4;172.B6) mediante la conexión en paralelo con la salida del shunt de 4000 A a 8000 A/ 50 mV, los otros dos canales restantes se utilizan para medir la corrientes a través de los disyuntores de tramo (172.B35;172.B46) mediante la conexión en paralelo del shunt de 2000 A a 4000 A/ 50 mV. Para la conexión a los shunt de los disyuntores de vía y de tramo se utiliza la conexión a los reles de protección 150 como se indica en la Figura 3.1 y Fotografía 3.1.

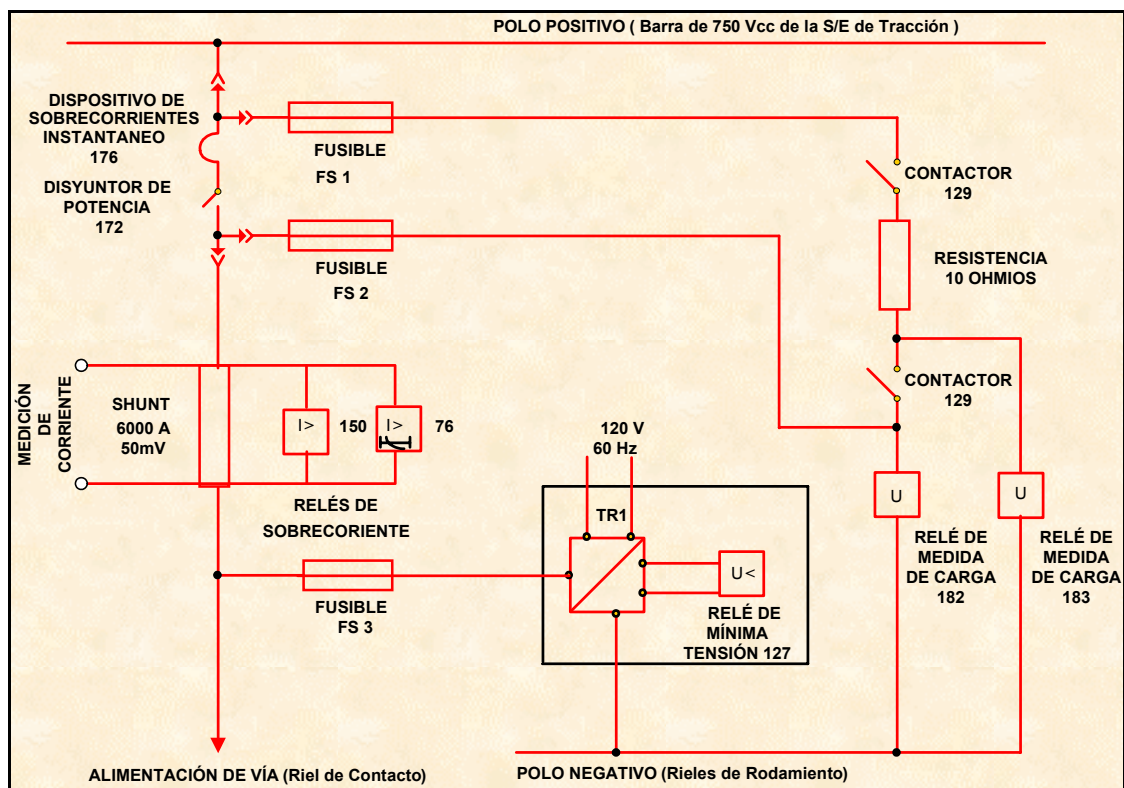


Figura 3.1 Diagrama de conexión de los disyuntores de la sub-estación.



Fotografía 3.1 Conexión en el shunt de los disyuntores de vía y tramo de la sub-estación la corriente de tracción.

Este montaje permite conocer el valor de tensión en milivoltio en el shunt, de cada uno de los disyuntores de vía (B3,B4,B5 y B6) y de tramo (B35 y B46), este valor es procesado a través del equipo digital y se obtiene una relación directa de la corriente por cada disyuntor, donde luego se realiza la sumatoria simultanea de las corrientes medidas, obteniendo de esta manera la corriente de tracción adquirida por el tren, esta sumatoria de corriente se puede realizar ya que cada corriente fue tomada a una misma referencia de tiempo y una misma tasa de muestreo.

(b) La “**corriente de retorno negativa**” a las sub-estaciones de tracción, se mide mediante la utilización de un canal del registrador digital, a través de la conexión al shunt de 7500 A/ 50 mV del rectificador de potencia del grupo **transfo-rectificador 1**, mediante la conexión a dos bornes ubicados en el panel de control de dicho equipo, estos bornes son la conexión directa al “shunt” del rectificador de potencia (RCT) que se encuentra ubicado dentro del mismo y el cual por medidas de seguridad no es accesible con facilidad (ver Figura 3.2 y Fotografía 3.2).

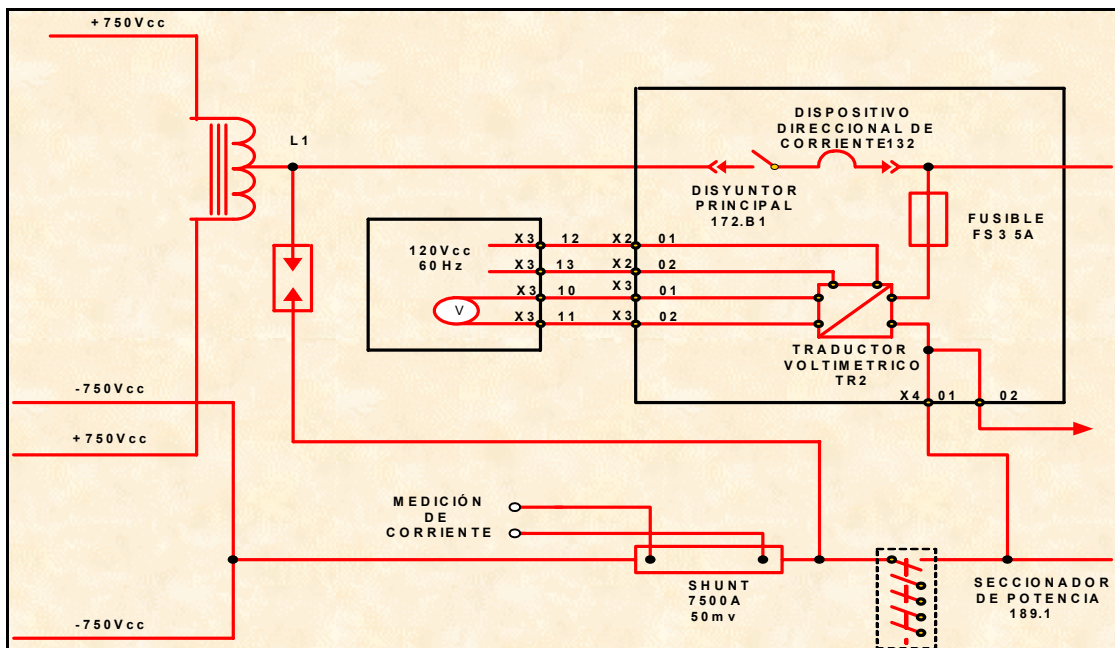
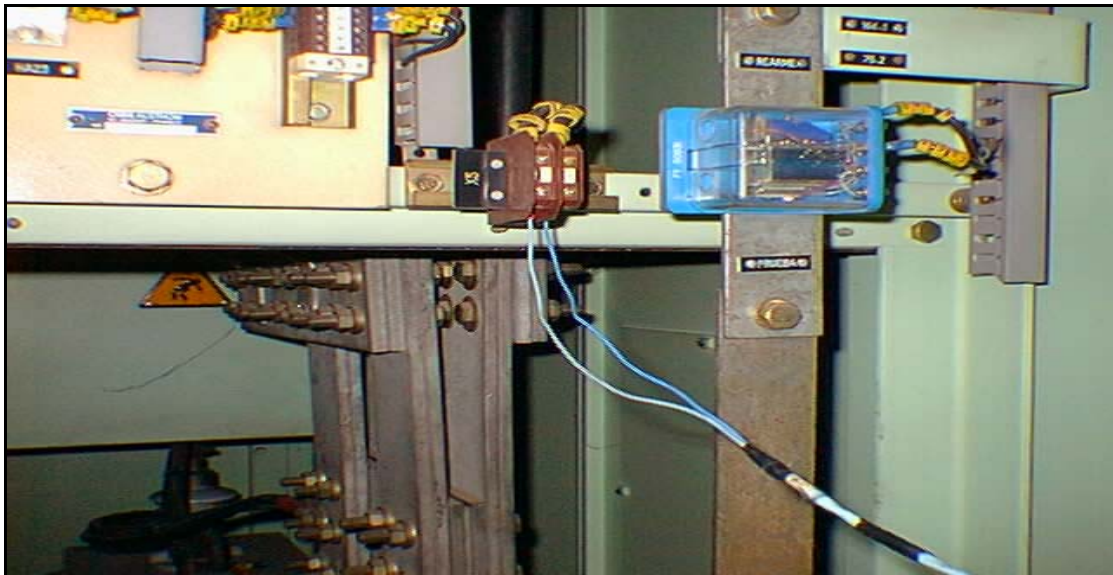


Figura 3.2 Diagrama de conexión para la medición de la corriente de retorno negativo a través del rectificador de potencia.



Fotografía 3.2 Conexión en los bornes del tablero de control del rectificador de potencia para medir la corriente de retorno negativo a la S/E de tracción.

(c) Las “corrientes de fuga” proveniente de tierra a la sub-estación de tracción, se mide mediante la utilización de un canal del registrador digital, a través de la conexión de manera directa a el shunt de 2000 A / 100 mV del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), ya que el mismo es de fácil acceso, como se indica en la Figura 3.3 y Fotografía 3.3.

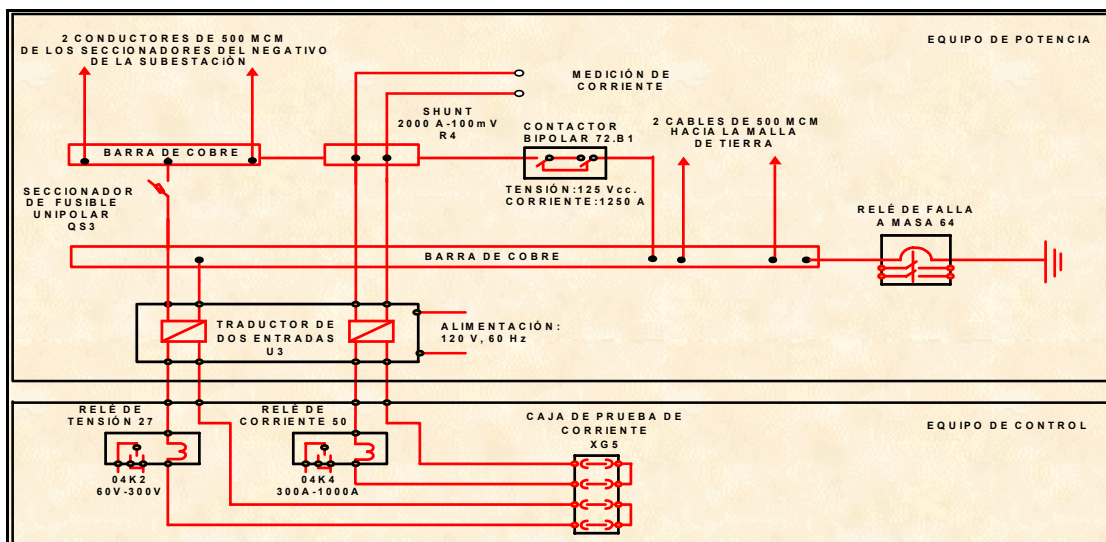
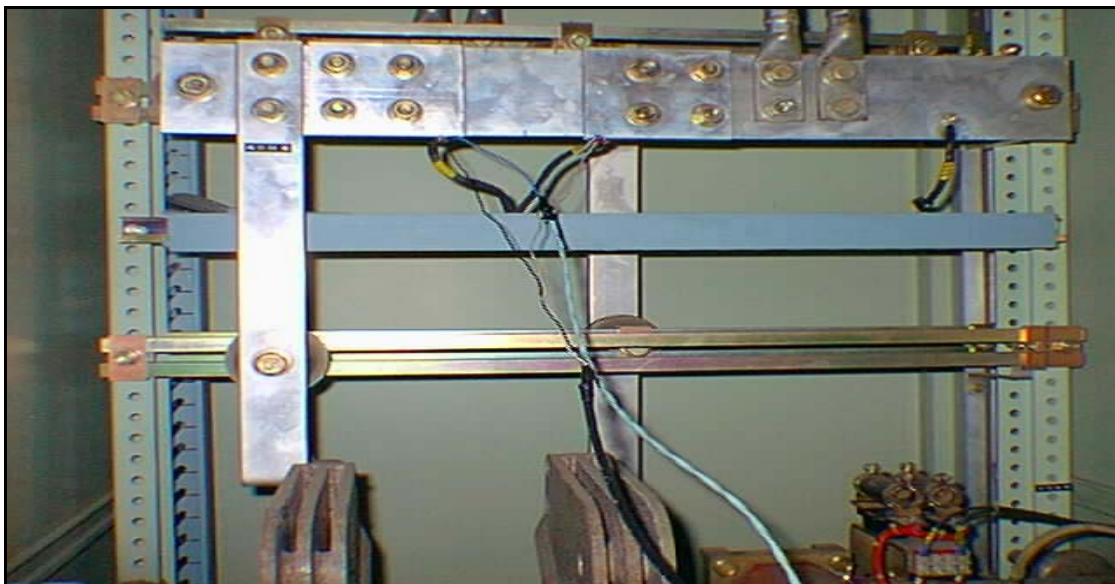


Figura 3.3 Diagrama de conexión para las mediciones de las corrientes de fuga a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).



Fotografía 3.3 Conexión en el shunt del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) para medir las corrientes de fuga.

Para las mediciones de cada una de las corrientes indicadas anteriormente se utilizaron cables blindados par evitar el ruido electromagnético, como se indica en la Fotografía 3.4. Con el equipo de medición se tomaron registros durante un intervalo de tiempo máximo de dos horas y media (9000 segundos).



Fotografía 3.4 Conexión a la caja de mediciones donde se encuentran los amplificadores operacionales.

Con el equipo de medición se fijó como tiempo máximo de estudio un periodo de hasta dos horas y media motivado a la logística de intervención operativa y del tiempo de autorización por parte de la empresa para estas evaluaciones, ya que la empresa dispone de personal técnico que son los únicos autorizados para realizar las operaciones dentro de las instalaciones eléctricas de la C. A. Metro de Caracas. Es importante destacar que el equipo de medición no se puede dejar solo midiendo en las sub-estaciones de tracción ya que en horas nocturnas puede ocurrir el robo del mismo, por lo tanto los datos obtenidos son referencias representativas válidas de lo que ocurre en el sistema en los intervalos de observación.

3.5.7 Fase VII: Condiciones para la medición de las corrientes en las sub-estaciones de tracción.

- (a) Se prepara una orden de trabajo con la sección de electrificación para tracción con las actividades y previsiones a ser tomadas durante las mediciones.
- (b) Se solicita la aprobación por CTM y se espera por la fecha de ejecución.
- (c) Para el inicio de la prueba se deberá informar al centro de control de operaciones (CCO) sobre las mediciones a realizarse en la sub-estación de tracción para luego realizar la maniobra de manera local.
- (d) El contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la sub-estación de tracción estará en la condición de marcha forzada (modo cerrado), ya que de esta manera se tiene la conexión física de los rieles de rodamiento a la malla de tierra y se puede medir la corriente de fuga que retorna a el rectificador de potencia (RCT) proveniente de tierra.
- (e) Las mediciones se realizaron en Noviembre y Diciembre del año 2004, Febrero y Marzo del año 2005, la validación de las mediciones estuvo a cargo del Ingeniero José Peña jefe de La Unidad de Mediciones Especiales de la Gerencia de Material Rodante.

(e) El grupo **transfo-rectificador 1** de la S/E de tracción estará FUERA DE SERVICIO, durante la primera hora de la mañana, desde las 9:00 a.m. hasta 10:00 a.m., para realizar la conexión del equipo de medición.

(f) En la S/E de tracción se pondrá en funcionamiento el grupo **transfo-rectificador 1** desde 10:00 a.m. hasta las 12:30 p.m., estando FUERA DE SERVICIO el grupo **transfo-rectificador 2**, regresando luego a su normal funcionamiento, es decir ambos grupos en normal funcionamiento. Es importante destacar que con el registrador digital se puede medir simultáneamente en ambos rectificadores de potencia de las sub-estaciones de tracción, pero por motivo de logística y tiempo de autorización por parte de la empresa para realizar las mediciones, se acordó hacer todas las lecturas con un solo grupo rectificador, esto debido a que la desenergización de un grupo transfo-rectificador, montar y desmontar la instrumentación para las mediciones reducen considerablemente el tiempo de autorización.

3.5.8 Fase VIII: condiciones técnicas y operativas para realizar las pruebas.

3.5.8.1 Preliminares de las pruebas: se colocó las conexiones de los conductores blindados a los shunt de los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6), disyuntores de tramo (B35,B46), rectificador de potencia (RCT) y contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

3.5.8.2 Lugar donde se efectuaron las pruebas: las sub-estación de tracción Propatria (SPP) y La California (SCF) perteneciente a la Línea 1 tramo “Propatria-Palo Verde”, las sub-estaciones de tracción Caricuaio (SCC), Las Adjuntas (SAJ), Mamera (SMM) y Antímano (SAM) pertenecientes a la Línea 2 tramo “ Las Adjuntas-Zoológico-El Silencio”.

3.5.8.3 Día y tiempo de las pruebas: Lunes 03 de Noviembre del 2004 en la sub-estación de tracción Antímano (SAM) con una medición dos horas y media, Martes 03 de Diciembre del 2004 en la sub-estación Las Adjuntas (SAJ) con una medición de una hora, Viernes 06 de Diciembre del 2004 en la sub-estación de tracción

Caricuao (SCC) con una medición de una hora, Jueves 17 de Febrero del 2005 en la sub-estación de tracción Propatria (SPP) con una medición de veintes minutos, Martes 14 de Marzo del 2005 sub-estación de tracción La California (SCF) con una medición de veintes minutos.

3.5.8.4 Hora estimada de inicio: el ingreso del personal técnico a las sub-estaciones de tracción está previsto para las 9:00 a.m. previa autorización del centro de control de operaciones (CCO).

3.5.8.5 Hora estimada de finalización: la salida del personal será a las 2:00 p.m. donde se le deberá informar a el centro de control de operaciones (CCO) sobre la finalización de la actividad.

3.5.8.6 Definición de los canales a medir: se midieron ochos canales analógicos del equipo digital.

3.5.8.7 Coordinación: los trabajos de medición a realizar serán coordinados entre el personal de la Unidad de Mediciones Especiales de la Gerencia de Material Rodante y Unidad de Área Técnica de la Gerencia de Electromecánica.

3.5.8.8 Precauciones:

- ❖ El personal en sitio deberá tener un teléfono para comunicarse con el centro de control de operaciones (CCO), con el fin de informar y agilizar cualquier situación en el sitio.
- ❖ Verificación de la ubicación y utilización de los instrumentos de medición a implementar.
- ❖ Verificación del sistema de adquisición de datos.

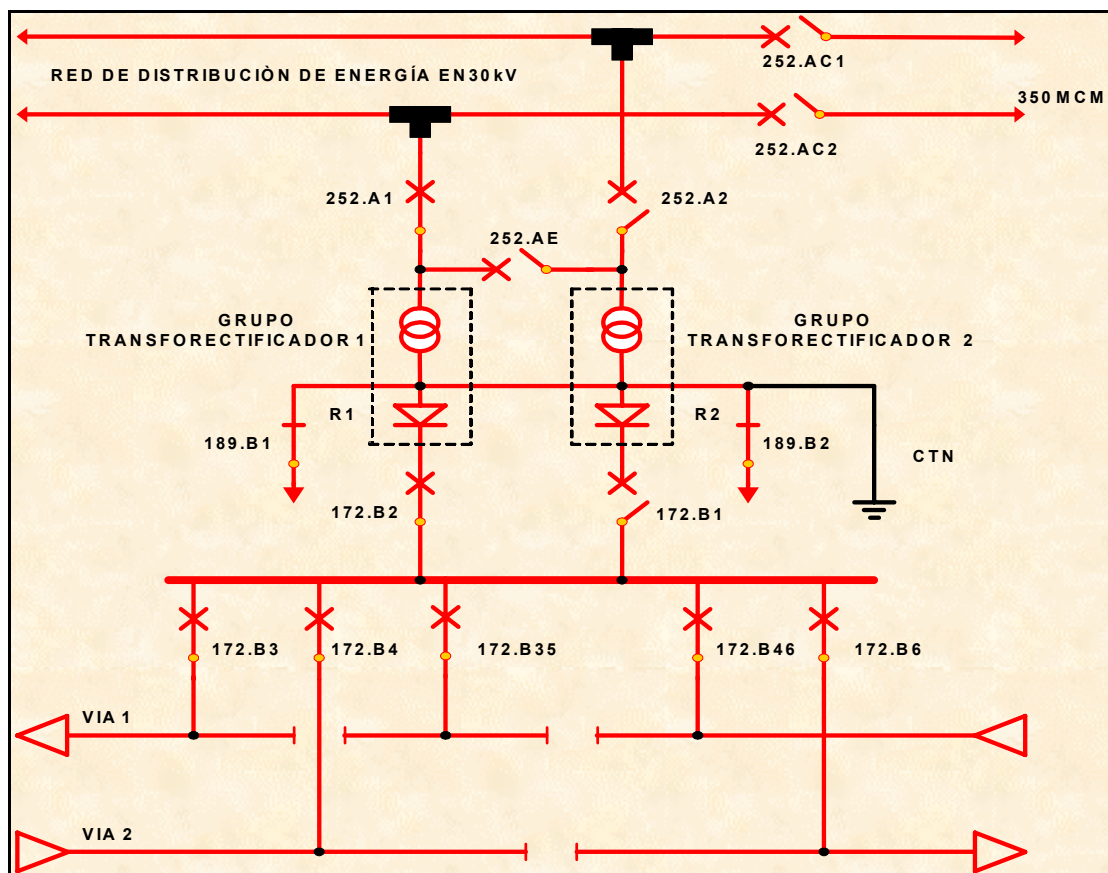


Figura 3.4 Condiciones de los disyuntores en las sub-estaciones de tracción durante las mediciones de corrientes de fuga.

3.5.9 Fase IX: Análisis de datos y tratamiento de la información.

Una vez obtenido los valores de tensión en milivoltio con respecto al shunt correspondiente a los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6), disyuntores de tramo (B35 y B46), rectificador de potencia (RCT) y el contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), se transfieren los valores de tensión a través de los conductores blindados a una caja de prueba donde se encuentran los filtros pasa bajo, luego se transfiere los datos al equipo digital (laptop) a través de un cable de interfase desde la caja de mediciones a el computador, donde mediante el programa Snap Master el cual posee un módulo de procesamiento de datos se manipula cada señal de entrada y se obtienen los valores de corrientes a través de cada shunt que se está midiendo, ver Figura 3.5

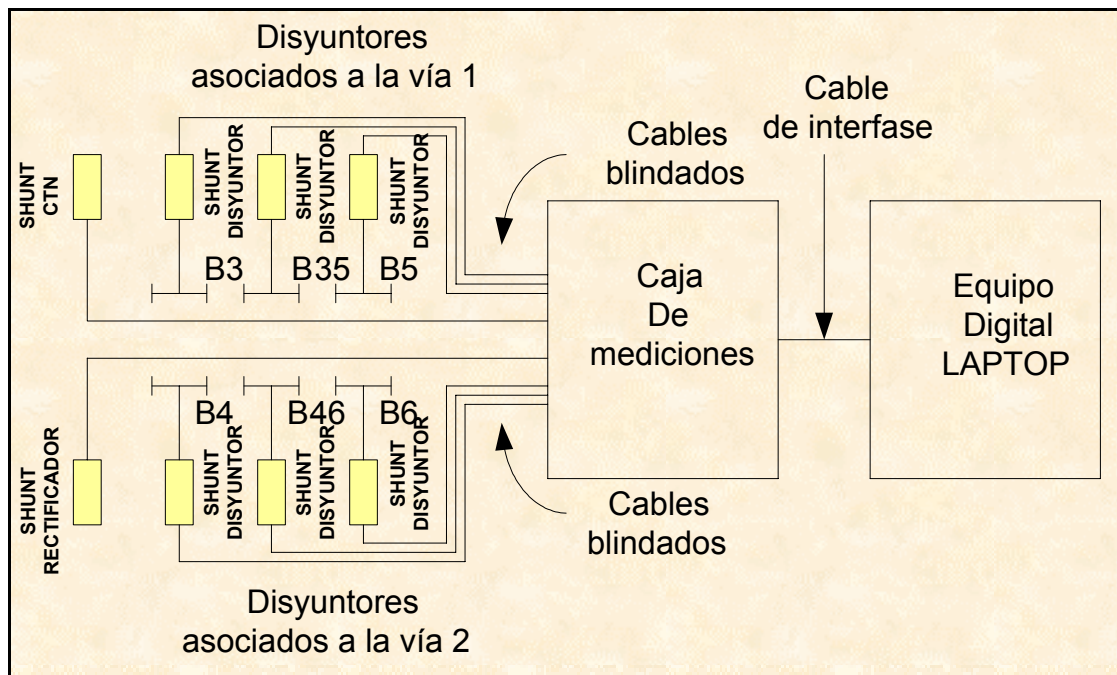


Figura 3.5 Esquema de medición de las corrientes en la sub-estación de tracción.

3.5.10 Fase X: Simulación de las corrientes de fuga.

Por medio del programa Matlab, se hallaron los niveles de corriente de fuga simulada (teórica) a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la sub-estación de tracción bajo estudio, utilizando un modelo eléctrico pasivo, asumiendo que existe una carga (tren) por cada vía, ubicada en el punto medio entre dos sub-estaciones de tracción, donde se ajustó la corriente consumida por cada carga (tren) como el valor de corriente del tipo DC de los disyuntores de vía obtenido a través del Snap Master. Para llevar a cabo el cálculo de la corriente de fuga simulada, se buscó los datos técnicos referentes a los circuitos de vía y zonas de maniobras entre dos sub-estaciones de tracción, cantidad y tipos de conductores que van desde el rectificador de potencia hasta la conexión a los rieles de rodamiento, sus características técnicas de los conductores utilizados en la empresa, características del shunt del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), características del rectificador de potencia y la característica de la resistencia de la malla de tierra considerada en la simulación del modelo eléctrico pasivo.

3.5.11 Fase XI: Modelo eléctrico pasivo a simular.

3.5.11.1 Objetivo de la simulación del modelo eléctrico.

Obtener mediante el programa de Matlab un valor de corriente a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) de la sub-estación de tracción bajo estudio para usarlo como valor de referencia y compararlo con el obtenido en las mediciones de campo.

3.5.11.2 Condiciones de los parámetros generales del modelo eléctrico a simular.

Para analizar las corrientes de fuga y potenciales riel-suelo, se utilizaron las siguientes suposiciones y consideraciones:

(a) La tensión de la S/E de tracción en la simulación se ha establecido en 800 voltios, ya que en el ajuste y calibración del equipo en la sub-estación de tracción Y (SYE) (Ver página 16) se midió la tensión entre el positivo y el negativo de la sub-estación, por un periodo de treinta minutos y la tensión registrada por el equipo fue de 800 voltios DC constante, por tanto se tomó este valor como referencia para ser usado en la simulación.

(b) Para el modelo eléctrico a simular se considera los siguientes valores de resistencia eléctrica longitudinal de los rieles:

Resistencia eléctrica del riel de contacto a nivel de vía = $6,8 \text{ m}\Omega/\text{km}$ [18].

Resistencia eléctrica de los rieles de rodamiento por vía = $16,4 \text{ m}\Omega/\text{km}$ [18].

(c) Para el modelo eléctrico a simular se considera los siguientes valores de resistencia de aislamiento riel-suelo, los datos que se presentan a continuación son información de estudios de la C. A. Metro de Caracas (Ver Anexo 4.5).

Resistencia de aislamiento del riel de contacto = $70000 \text{ }\Omega/\text{km}$ (valor medido por el Centro de Investigación Tecnológica de la C.A. Metro de Caracas.)

Resistencia de aislamiento de los rieles de rodamiento sobre durmiente de concreto sobre losa de concreto = $150 \text{ }\Omega/\text{km}$.

Resistencia de aislamiento de los rieles de rodamiento sobre durmiente de concreto sobre balasto = $44 \text{ }\Omega/\text{km}$.

Resistencia de aislamiento de los rieles de rodamiento sobre durmiente de madera sobre losa de concreto = 1,5 Ω /km.

Resistencia de aislamiento de los rieles de rodamiento sobre durmiente de madera sobre balasto = 8,3 Ω /km.

(d) Para el modelo eléctrico a simular se calculo la resistencia eléctrica en C.C. efectuando el ajuste de temperatura para 30 °C para los conductores de 500 MCM, 750 MCM y 4/0 AWG, mediante la utilización de la siguiente ecuación:

$$R = R_o [1 + 0.00393(T - 20)] \text{ (ver Anexo 4.1)}$$

R_o = resistencia eléctrica en C.C. para 20 °C.

R = resistencia eléctrica en C.C. para 30 °C.

T = temperatura de operación del conductor, para nuestro caso 30 °C.

(e) Por tanto mediante la resistencia eléctrica en C.C. a 20 °C de los conductores descritos anteriormente (ver Anexo 4.8) se obtuvieron los nuevos valores de resistencia eléctrica en C.C., para los cuales los valores fueron los siguientes:

Resistencia eléctrica del conductor de 500 MCM = 0,0721 Ω /km.

Resistencia eléctrica del conductor de 750 MCM = 0,0481 Ω /km.

Resistencia eléctrica del conductor de 4/0 AWG = 0,1704 Ω /km.

(f) Para el modelo eléctrico a simular se consideran los valores de resistencia aislamiento de los conductores de 500 MCM, 750 MCM y 4/0 AWG del Manual de diseño y mantenimiento del cables eléctricos ALCAVE C.A. (ver Anexo 4.1).

Resistencia de aislamiento del conductor de 500 MCM = 475 M Ω /km.

Resistencia de aislamiento del conductor de 750 MCM = 475 M Ω /km.

Resistencia de aislamiento del conductor de 4/0 AWG = 475 M Ω /km.

(g) En el modelo eléctrico a simular en Matlab el rectificador de potencia (RCT) se incluyó como una resistencia de regulación del rectificador (R_{reg}) de un valor de 0.0049 Ω en serie con una fuente de tensión de 800 VDC, información de estudios de la C.A. Metro de Caracas.

(h) Se desprecia en el modelo eléctrico las capacitancias y las inductancias debido a que las corrientes de fuga se consideran de baja frecuencia.

(i) Debido a que la resistencia de aislamiento del conductor de 500 MCM es muy alta (ver punto f), se desprecia la corriente de fuga a través del mismo debido a que es de un valor muy bajo.

(j) En el modelo eléctrico pasivo a simular en Matlab se establece que resistencia eléctrica de la malla de puesta a tierra ubicadas en las sub-estaciones de tracción y en las estaciones de pasajero, es de un valor de dos ohmios, ya que el punto **24.10.2** de la norma de instalaciones eléctricas de la C. A. Metro de Caracas se establece que: “Las conexiones a tierra de los sistemas, equipos y estructuras serán diseñadas según cada aplicación particular y de acuerdo a los procedimientos normales, pero en ningún caso el sistema de puesta a tierra de las edificaciones presentarán una resistencia eléctrica superior a los dos (2) ohmios”.

(k) Los elementos que conforman el modelo eléctrico a simular fueron establecido para una temperatura de trabajo de 30 °C [18].

(m) El valor de la corriente de fuga simulada a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) para el caso en donde se posea una sub-estación de tracción al Este y otra al Oeste de la S/E de tracción medida (ver Figura 3.6) se obtuvo de la siguiente manera:

(a) Se realiza una primera simulación entre la S/E de tracción medida y la S/E de tracción al Este y se obtuvo un valor de corriente de fuga (**If1**), ver Figura 3.8.

(b) Se realiza una segunda simulación entre la S/E de tracción medida y la S/E de tracción Oeste y se obtuvo el otro valor de corriente de fuga (**If2**), ver Figura 3.9.

(c) Luego el valor de corriente de fuga simulada en la S/E de tracción medida fue la superposición de la dos corrientes de fuga obtenidas (**If = If1 + If2**), donde los resultados de estas simulaciones se encuentran en los anexos.

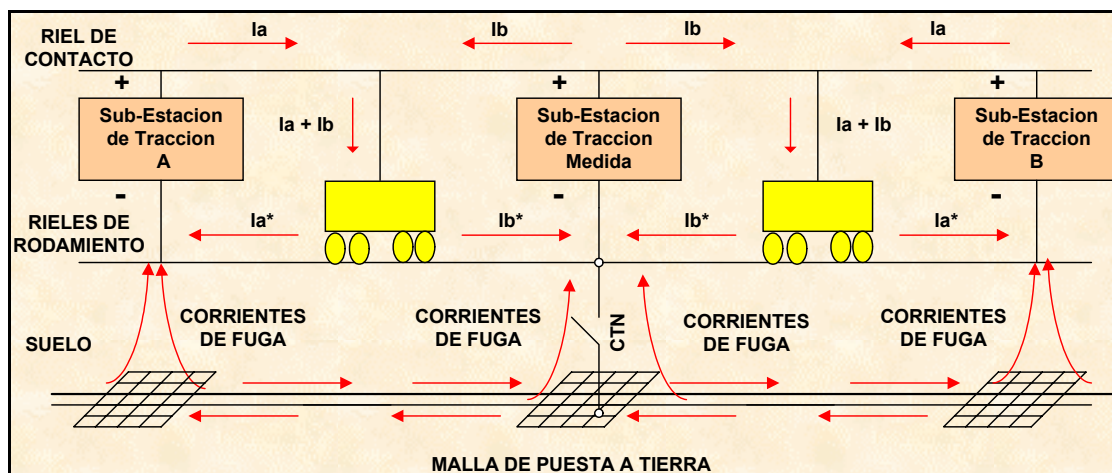


Figura 3.6 Modelo físico a utilizar para obtener las corrientes de fuga a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

(l) En la simulación del modelo eléctrico pasivo que se muestra más adelante, existe una carga (tren) por cada vía entre dos sub-estaciones de tracción, las cuales fueron consideradas como una fuente de corriente constante cuyo valor corresponde a los valores de corrientes promedio obtenido a través de las mediciones de los disyuntores de vía (**B3,B4,B5,B6**) en la S/E donde se realizó la medición, como se muestra en la Figura 3.7

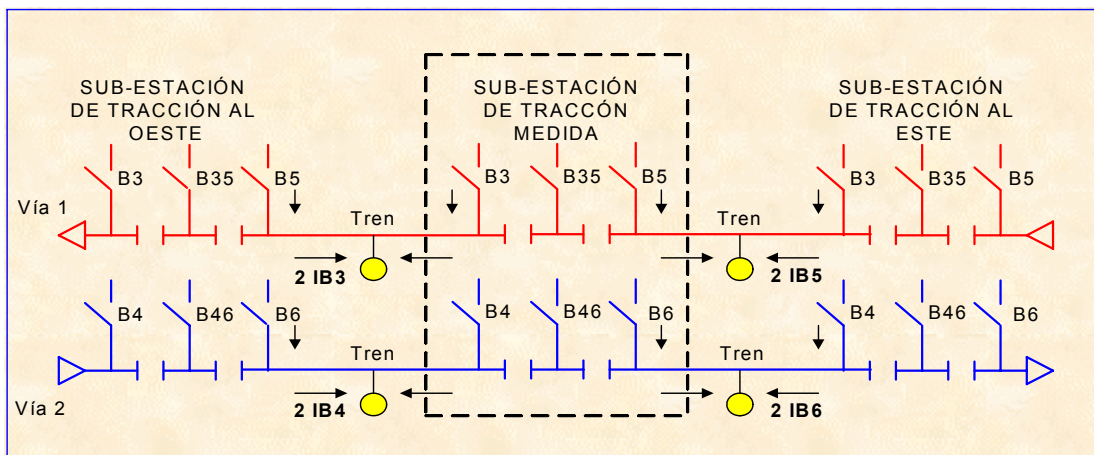


Figura 3.7 Representación de las cargas (trenes) en el modelo eléctrico pasivo.

IB3 = corriente eficaz medida a través del disyuntor de vía N° 3.

IB4 = corriente eficaz medida a través del disyuntor de vía N° 4.

IB5 = corriente eficaz medida a través del disyuntor de vía N° 5.

IB6 = corriente eficaz medida a través del disyuntor de vía N° 6.

(m) La Figura 3.8 representa el modelo eléctrico pasivo a simular en Matlab, para obtener el valor de corriente de fuga I_{f1} entre la sub-estación de tracción medida y la sub-estación de tracción al Este, donde se toma en cuenta lo establecido en los puntos (h, i, j), en este modelo se considera una carga (tren) por cada vía ubicadas en el punto medio entre dos sub-estaciones de tracción, en una condición estática de tiempo.

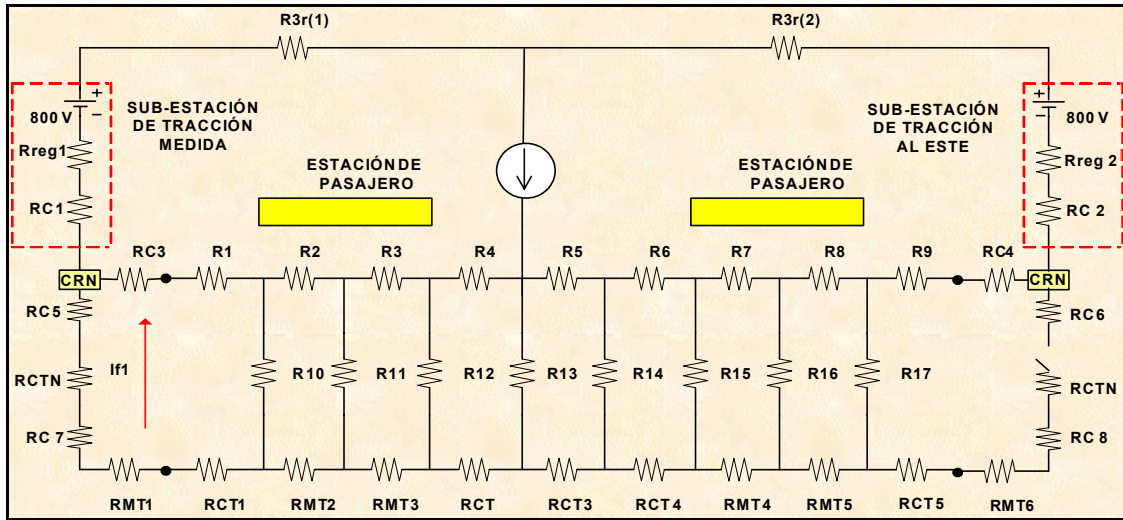


Figura 3.8 Modelo eléctrico pasivo a simular en Matlab, entre la sub-estación de tracción medida y la sub-estación de tracción al Este.

(n) La Figura 3.9 representa el modelo eléctrico pasivo a simular en Matlab, para obtener el valor de corriente de fuga I_{f2} entre la sub-estación de tracción medida y la sub-estación de tracción al Oeste, donde se toma en cuenta lo establecido en los puntos (h, i, j), en este modelo se considera una carga (tren) por cada vía ubicadas en el punto medio entre dos sub-estaciones de tracción, en una condición estática de tiempo.

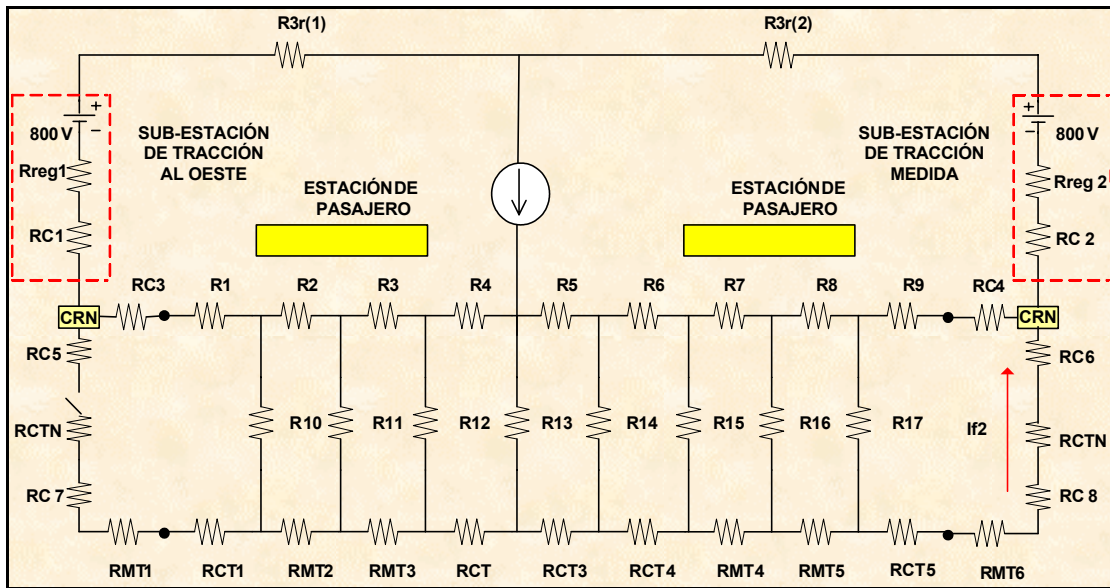


Figura 3.9 Modelo eléctrico pasivo a simular en Matlab, entre la sub-estación de tracción medida y la sub-estación de tracción al Oeste.

$R_{3r1}=R_{3r2}$ = resistencia eléctrica del riel de contacto.

$R_{reg1}=R_{reg2}$ = resistencia de regulación de los rectificadores de potencia.

$RC1=RC2$ = resistencias eléctrica de los conductores que van desde los rectificadores de potencia a la caja de retorno negativo (CRN).

$RC3=RC4$ = resistencias eléctrica de los conductores que van desde la caja de retorno negativo (CRN) a las vías, conexión a los rieles de rodamiento.

$RCTN$ = resistencia eléctrica del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

$RC7=RC8$ = resistencias eléctricas de los conductores que van desde el contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) a la malla de puesta a tierra.

$R1...R8$ = resistencias eléctricas de los circuitos de vías y zonas de maniobras (aparatos de vía) que conforman los rieles de rodamiento existente entre dos sub-estaciones de tracción.

$R9...R16$ = resistencias de aislamiento de los circuitos de vías y zonas de maniobras (aparatos de vía) que conforman los rieles de rodamiento.

I1=I2= representa el contactor bipolar (72.B1) del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), donde uno de ellos estará cerrado en la S/E de tracción donde se realizó la medición y el otro estará abierto para el momento de la simulación.

RMT1...RMT6= resistencia eléctrica de la malla de puesta a tierra, ubicada en las estaciones de pasajero y sub-estaciones eléctricas.

RCT1...RCT5= resistencia eléctrica del conductor desnudo 4/0 AWG que une a las mallas de puesta a tierra.

3.6 Limitaciones del trabajo.

En la elaboración de éste trabajo, como sucede en toda investigación científica, se presentaron algunas limitaciones que impidieron el óptimo desarrollo del mismo, las cuales se especifican a continuación:

- (a) No se puede medir en los dos grupos transfo-rectificador motivado a que se pierde una hora para el montaje y otra hora para el desmontaje del equipo de medición, y solo se tiene autorización de cuatro horas para la realización de la actividad.
- (b) La naturaleza específica de las corrientes de fuga en cuanto a la incertidumbre de sus trayectorias e inexistencia de instrumentación idónea para su medición y seguimiento.
- (c) Limitaciones en realizar un registro completo de medición (18 horas) debido a que se requiere personal técnico y personal de seguridad, con lo cual la empresa no tiene disponible para esta actividad.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Introducción.

En el estudio sobre las corrientes de fuga se realizaron una serie de consideraciones para el análisis de los resultados, los cuales son expuestos a continuación.

(a) Las simulaciones realizadas a través del programa Matlab corresponden a un modelo eléctrico pasivo en una condición estática, es decir, se toma una fotografía del sistema considerando que existe un tren en el punto medio entre dos sub-estaciones de tracción por cada vía, la finalidad de estas simulaciones es tener un valor de referencia para poder compararlo con los valores obtenidos en las mediciones de campo.

(b) Se realiza la comparación entre el valor de corriente de fuga promedio medido con el valor corriente de fuga promedio simulada del tipo DC obtenido a través del programa Matlab de la respectiva sub-estación de tracción donde se realizó dicha medición. La finalidad de esta comparación es tener una cuantificación de los niveles de corrientes de fuga existente vs. los simulados.

(c) La curva de corriente del tipo DC que se registra en el rectificador de potencia (RCT) en cada una de las sub-estaciones de tracción donde se realizaron las mediciones a través del programa Snap Master, representa el comportamiento de los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6) y de tramos (B35,B46) que suministran corrientes a los trenes que circulan por las vías.

(d) Las gráficas de corrientes del tipo DC correspondiente al rectificador de potencia (RCT), contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6) y disyuntores de tramo (B35,B46), se obtuvieron a través del equipo digital que utiliza el programa Snap Master, el cual permite realizar mediciones de 16 canales de entradas, esto debido a que el mismo posee una tarjeta de adquisición (convertidor analógico digital) de datos que se conecta a un computador portátil (laptop), el cual permite procesar solo el número de canales descrito anteriormente. Con dicho programa se puede ajustar el tiempo de medición en la sub-estación de tracción y tomar un número de muestra por segundo, para nuestro caso los tiempos de medición de cada sub-estación son diferente debido a la logística de operaciones y la toma de muestra fue un valor fijo de 300 muestra por segundo.

(e) La comparación de los valores simulados vs. los valores medidos, se realizó en función de los valores promedio debido a que se posee una alimentación DC, cuyo valor es constante.

(f) Para el análisis a continuación, se tomaron los picos mas significativos de corriente del tipo DC correspondiente a el rectificador de potencia (RCT), cuyos valores superiores a 2000 Ampere, en donde se determinaron los instantes de tiempo y el valor promedio de corriente correspondiente a cada rango de tiempo. Una vez establecido los distintos instantes de tiempo con su valor promedio de corriente de tipo DC que se puede observar en el rectificador de potencia, se busca para esos mismos instantes de tiempo los valores promedio de corriente del tipo DC correspondiente a los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6), así como a el contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

(g) Es importante destacar que los registros de corrientes son archivos muy grandes los cuales no puede ser procesados en el programa Excel, ya que este programa sólo pueden procesar hasta 65.500 puntos de datos. En este estudio no se puede determinar el valor promedio en cada instante de tiempo a través del programa Snap Master, por lo tanto se determinó el valor promedio de cada instante de tiempo seleccionado en función de la consideración “f”, mediante el programa Mathcad, programa que permite manejar grandes cantidades de información de datos y realizar operaciones diversas con la data.

(h) Para los distintos instantes de tiempo seleccionado según la consideración “f” se realizó un gráfico de barra de manera para poder establecer que disyuntor de vía (B3,B4,B5,B6) posee una influencia significativa en la medición, es decir que posea un comportamiento en magnitud importante a la del rectificador de potencia (RCT). Esto es con la finalidad de establecer los disyuntores de vía que posean una influencia en el comportamiento de las corrientes de fuga medida en el CTN y poder determinar las posibles áreas críticas por pérdidas de corrientes de fuga.

(i) El Metro de los Ángeles considera como valor de corriente de fuga de 100mA/3305m como un nivel seguro no dañino para estructuras y elementos metálicos. [4]. El Metro de Caracas considera como valor de corriente de fuga de 1,33A/1000m como un valor de referencia de pérdida de corriente [3].

(j) En el análisis de resultados que se presenta a continuación, la comparación de los valores de corrientes de fuga tanto medidos como simulados para distintos instantes de tiempo, se realiza mediante el cálculo del valor de corriente de fuga promedio total, mediante la siguiente ecuación:

$$I_{f_{promedio}} = \left(\frac{1}{n}\right) * \sum_{i=1}^n I_f$$

Ecuación 4.1

n = número de instante de tiempo tomados en el estudio.

If = valor de corriente de fuga promedio para cada instante de tiempo, obtenido a través del programa Mathcad.

(k) La cantidad de material corroído anual del hierro que se pierde debido a la circulación de un Ampere de corriente continua es de 10 kilogramos [21].

(l) En función del número de operaciones del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) se estiman las pérdidas de material corroído, partiendo que cada operación tiene un tiempo de actuación aproximado de tres minutos. Esto se efectúa mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad estimada de material corroído} = I_{\text{promedio}} * A * B * C * D \text{ [kg/mensual]}.$$

Ecuación 4.2

Ifpromedio = valor de corriente de fuga promedio total medido con respecto a una sub-estación de tracción (punto j, ver página 35).

A = cantidad de material corroído anual del hierro (ver punto k).

B = número de actuación del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), información suministrada por el personal de la Sección de Electrificación para Tracción de la empresa.

C = tiempo aproximado de actuación del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) [3].

D = tiempo de funcionamiento en minutos de los trenes al año.

(m) En el análisis de resultados se realiza una comparación entre la cantidad de material corroído anual del hierro (ver punto k), y la cantidad estimada de material corroído en función del número de actuaciones del contactor de puesta a tierra del negativo (ver punto l), esto para tener un indicativo de la magnitud de material que se está perdiendo en la empresa.

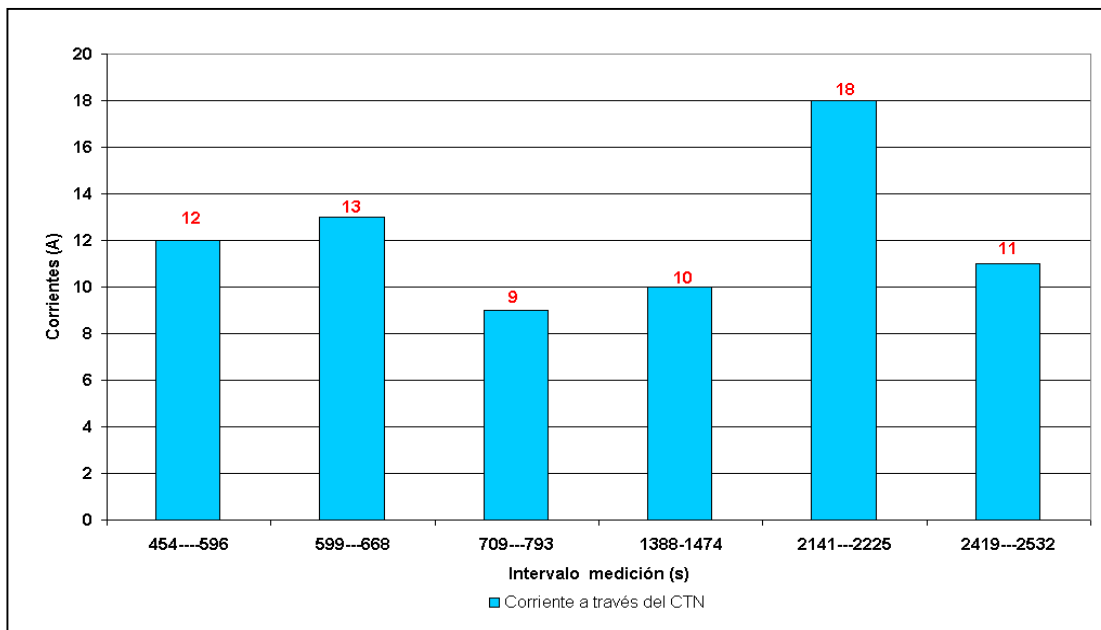
4.2 Análisis de la sub-estación de tracción Las Adjuntas (SAJ).

En la Tabla 4.1, se encuentran los valores de corrientes promedio medidas a través del CTN, obtenidos a través de la medición en la sub-estación de tracción Las Adjuntas (SAJ), así como también se encuentran los valores de corriente y tensión simulados para cada instante de tiempo, obtenidos a través de la simulación del modelo eléctrico por cada vía en el punto medio entre la sub-estación de tracción Las Adjuntas (SAJ) y la sub-estación de tracción Y (SYE), ver Anexo 4.9.

Tabla 4.1 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ).

Instante de tiempo (s)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Vr-s tren vía 1 (V)	Vr-s tren vía2 (V)	Corriente de fuga simulada (A)	Corriente de fuga medida (A)
454-596	720	3814	-4,22	38,25	3,84	12
599-668	214	3912	-4,33	39,24	3,94	13
709-793	772	3536	-3,92	35,46	3,56	9
1388-1474	1792	3970	-4,40	39,82	4,00	10
2141-2225	3936	-436	37,44	-8,58	6,53	18
2419-2532	-646	3972	-4,40	39,84	4,00	11

En función de los datos que se encuentran en la Tabla 4.1 referente a la sub-estación de tracción Las Adjuntas (SAJ) el valor simulado de corriente de fuga promedio total (**4,31A**) en comparación con el valor medido de corriente de fuga promedio total (**12,17 A**) representa el **35,41 %** respecto a el valor medido. Los resultados obtenidos en la simulación de corrientes de fuga entre la S/E estación de tracción Las Adjuntas (SAJ) y la S/E de tracción de tracción Y (SYE) a través de el Programa Matlab, corresponden a una zona donde los circuitos de vía en su mayoría estan decubiertos y el aislamiento de los mismo es de concreto sobre balasto (44 Ω /km), donde este aislamiento esta expuesto a la contaminación atmosférica, transito de los trenes y la existencia de filtraciones, factores que reducen aun mas los valores de las resistencia de aislamiento descrito anteriormente.

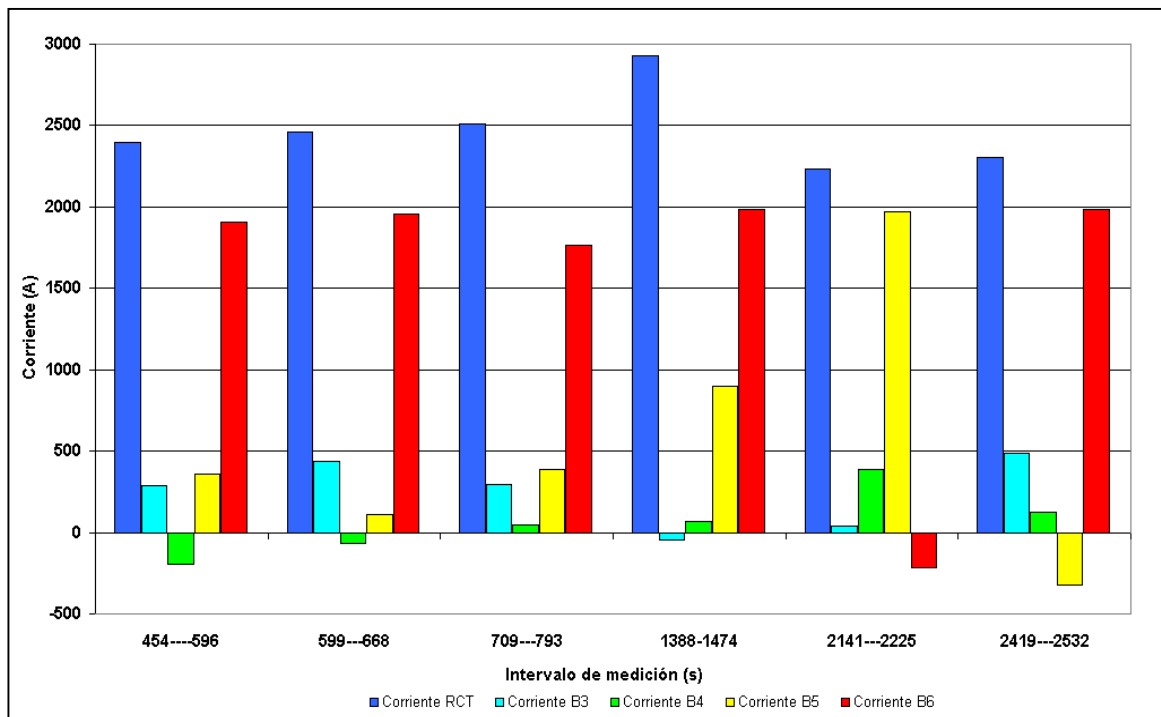


Gráfica 4.1 Valores de corrientes de fuga medido a través de contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ) el 03/12/04 a las 11:18 hrs.

En la Gráfica 4.1, se presentan los valores de corrientes de fuga promedio para cada instante de tiempo, en función de dichos datos el valor medido de corriente de fuga promedio total es de **12,17 A**.

Tabla 4.2 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ).

Instantes de tiempo (s)	Corriente RCT (A)	Corriente B3 (A)	Corriente B4 (A)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Corriente CTN (A)
454-596	2395	290	-192	360	1907	12
599-668	2461	439	-68	107	1956	13
709-793	2511	295	50	386	1768	9
1388-1474	2930	-45	66	896	1985	10
2141-2225	2232	39	389	1968	-216	18
2419-2532	2307	485	128	-323	1986	11



Gráfica 4.2 Valores de corrientes medidos a través del rectificador de potencia (RCT), disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6) en la S/E de tracción Las Adjuntas el 03/12/04 a las 11:18 hrs.

En la Gráfica 4.2, se presentan los valores medidos de corrientes promedios en los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6), así como en el rectificador de potencia (RCT). En esta gráfica los únicos disyuntores de vía que presentan un comportamiento significativo en magnitud a el rectificador de potencia (RCT), son los disyuntores de vía **B5** y **B6**. En base a lo establecido anteriormente, los disyuntores de vía **B5** y **B6** suministran corrientes del tipo DC a los trenes que circulan por la vía 1 y la vía 2 hacia el Este entre la sub-estación de tracción La Adjuntas (**SAJ**) y la sub-estación de tracción Y (**SYE**), siendo esta un área de 3367 m de longitud que si existiera un incremento por corriente de fuga esta zona sería la que debería ser estudiada para buscar el origen de las misma. En esta área existen cinco zonas de maniobras (10.11B;10.11A;12.13B;10.21B;12.23B) de una longitud total de 670 m en una zona en su mayoría descubierta, y siendo los posibles sitio de pérdidas de corriente, debido a ser zonas de baja resistencia de aislamiento.

Cuando los disyuntores de vía **B5** y **B6** están suministrando corriente a los trenes que circulan por las vía 1 y la vía 2 entre la sub-estación de tracción Las Adjuntas (SAJ) y la sub-estación de tracción Y (SYE), existe un incremento en picos de valores de corriente de fuga que se registró a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), esto se verifica observando la Figura 4.1. Los picos de corrientes que ocurren para distintos instantes de tiempo tienen un comportamiento en forma mas no en magnitud a las curvas de corriente relacionada a los disyuntores de vía **B5** y **B6** para ese mismo instante de tiempo, esto se puede observar a través de la Figura 4.2 donde existen el comportamiento de los disyuntores de vía y de tramo suministrando corriente a los trenes. Se establece que para la regiones marcadas en la Figura 4.1, corresponden a las curvas de corrientes de los disyuntores de vía **B5** y **B6**, lo cual se puede demostrar mediante la comparación de la Figura 4.1 con las Figuras 4.3 y 4.4. Por tanto los incremento en los picos de corrientes de fuga registrado en el CTN nos da un indicativo de que disyuntor de vía (**B5**, **B6**) tiene un influencia en la curva de corriente de fuga.

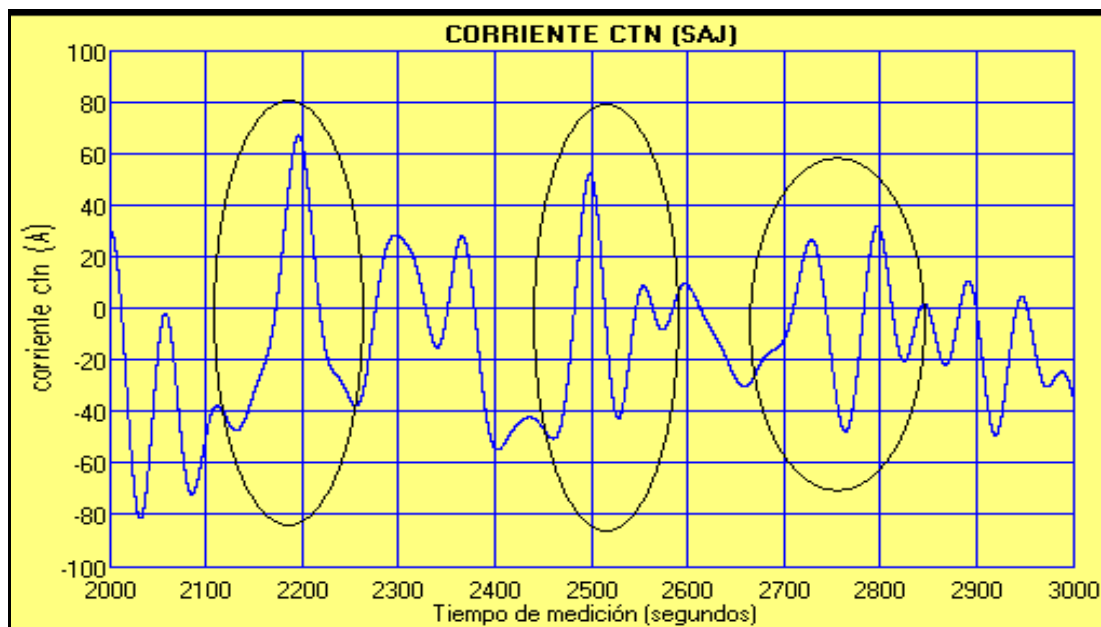


Figura 4.1 Corriente de fuga medida a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ) el 03/12/04 a las 11:18 hrs.

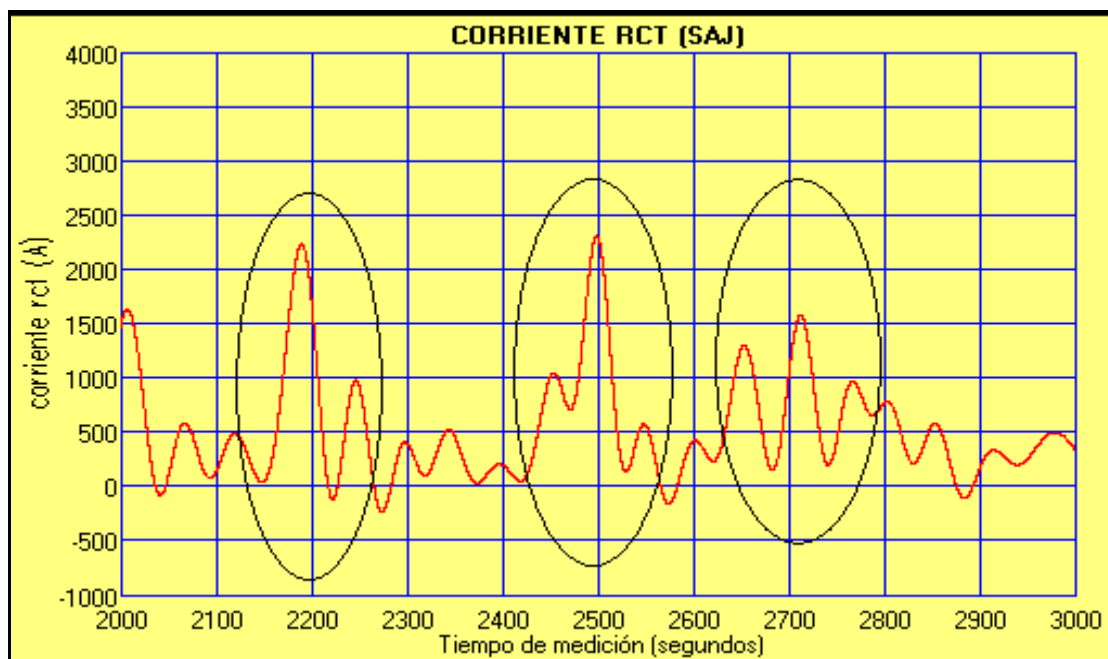


Figura 4.2 Corriente de retorno negativo medida a través del rectificador de potencia (RCT) en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ) el 03/12/04 a las 11:18 hrs.

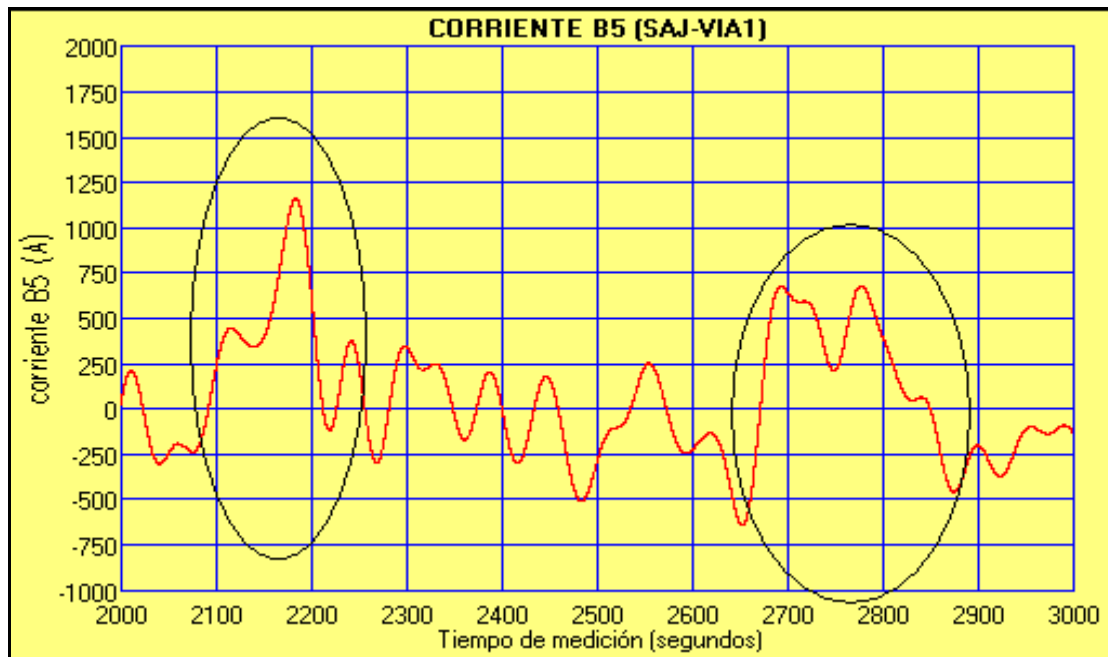


Figura 4.3 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B5 en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ) el 03/12/04 a las 11:18 hrs.

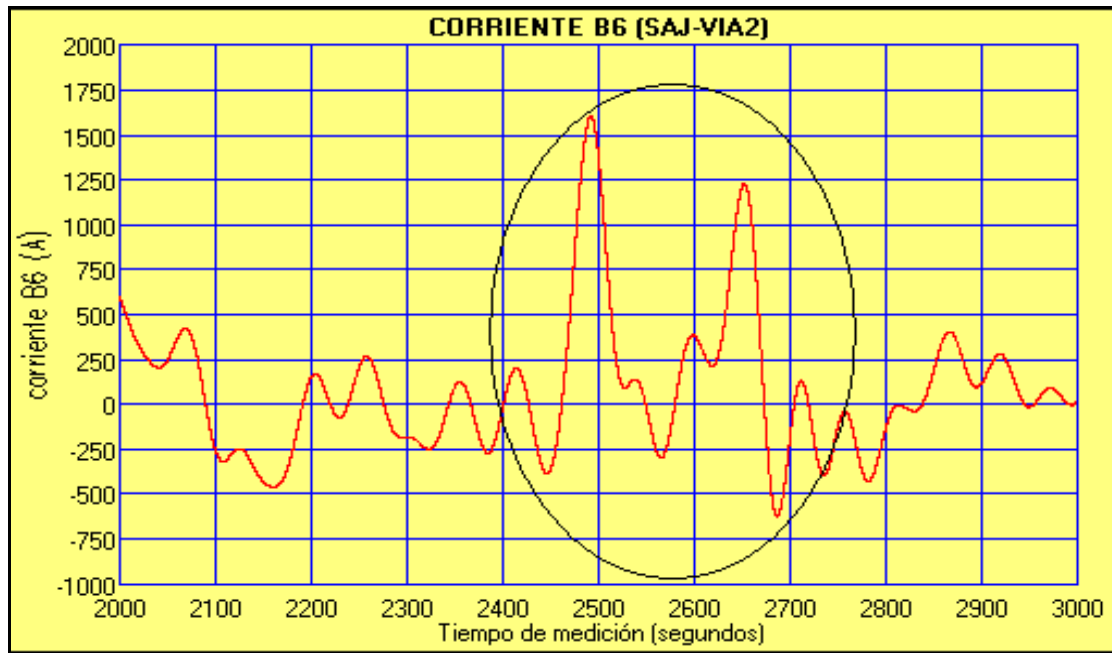


Figura 4.4 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B6 en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ) el 03/12/04 a las 11:18 hrs.

El comportamiento de los pico de corriente de fuga que se registró a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), nos da la forma de la curva de corriente que esta relacionado con el disyuntor de vía que suministro corriente en un instante de tiempo determinado, por tanto analizando los picos de corrientes significativo de las corriente de fuga medidas en el CTN y estableciendo su forma, se puede establecer que disyuntor de vía tiene una forma de onda similar.

En la sub-estación de tracción Las Adjuntas (SAJ) se registró que el contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) ha tenido hasta la fecha **277** operaciones, con un tiempo de duración de aproximadamente tres (3) minutos por cada operación, en función de la cantidad de operaciones del sistema de protección (CTN) se tiene la siguiente cantidad estimada de material corroído será:

$$12,17A \times \left(\frac{10kg}{1A \times Año} \right) \times (277oper) \times \left(\frac{3min}{oper} \right) \times \left(\frac{Año}{394200min} \right) = 0,26kg / mensual$$

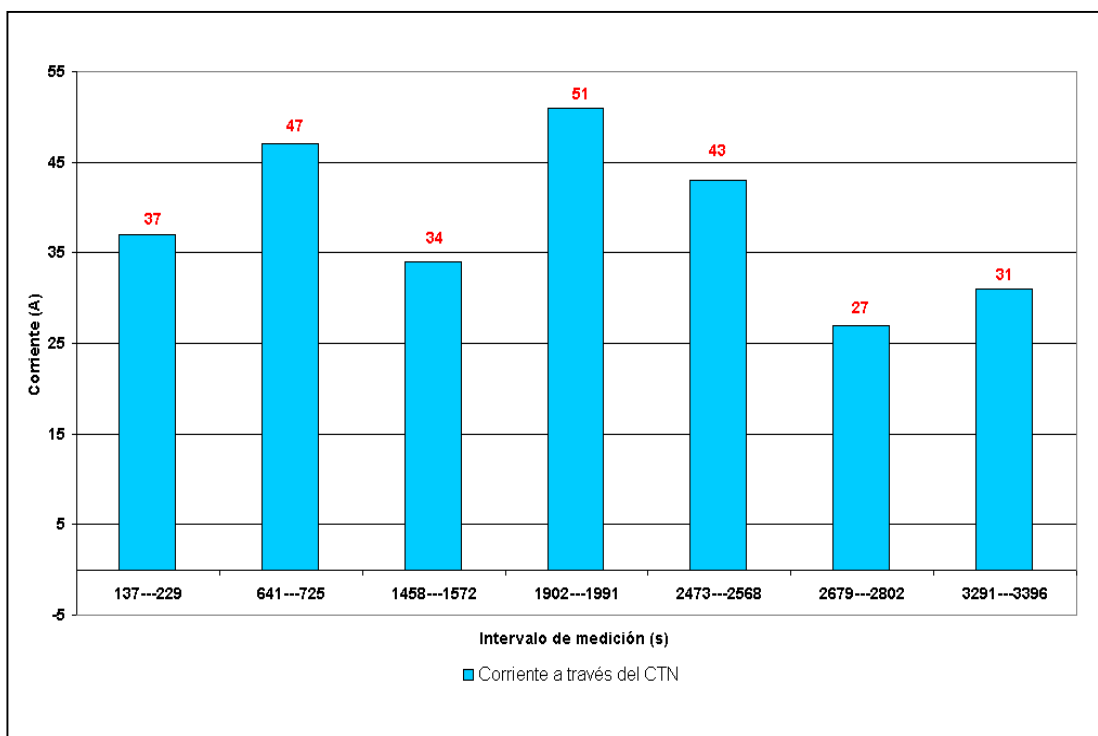
4.3 Análisis de la sub-estación de tracción Caricuaao (SCC).

En la Tabla 4.3, se encuentran los valores de corrientes promedio medidas a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), obtenidos a través de la medición en la sub-estación de tracción Caricuaao (SCC) con el registrador digital, así como también se encuentran los valores de corriente y tensión simulados para cada instante de tiempo, obtenidos a través a través del programa Matlab, ver Anexo 4.12.

Tabla 4.3 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas en la S/E de tracción Caricuaao (SCC).

Instantes de tiempo (s)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Vr-s tren via 1 (V)	Vr-s tren via2 (V)	Corriente de fuga simulada (A)	Corriente de fuga medida (A)
137-229	-694	794	-3,35	1,81	-0,50	37
641-725	-270	492	-1,84	1,12	-0,31	47
1458-1572	-720	1632	-6,10	3,23	-1,03	34
1902-1991	-1316	3796	-14,20	8,69	-2,41	51
2473-2568	-912	530	-5,23	0,18	-1,01	43
2679-2802	-720	2212	-8,27	5,06	-1,40	27
3291-3396	-1158	2394	-8,95	5,48	-1,52	31

En función de los datos que se encuentran en la Tabla 4.3 referente a la sub-estación de tracción Caricuaao (SCC) el valor simulado de corriente de fuga promedio total (**1,17A**) en comparación con el valor medido de corriente de fuga promedio total (**38,57A**) representa el **3,03 %** respecto a el valor medido. Los resultados de corrientes de fuga simulado entre la S/E de tracción Caricuaao (SCC) y la S/E de tracción Y (SYE) se trata de una zona donde los circuitos de vía y zonas de maniobras están totalmente descubiertos.

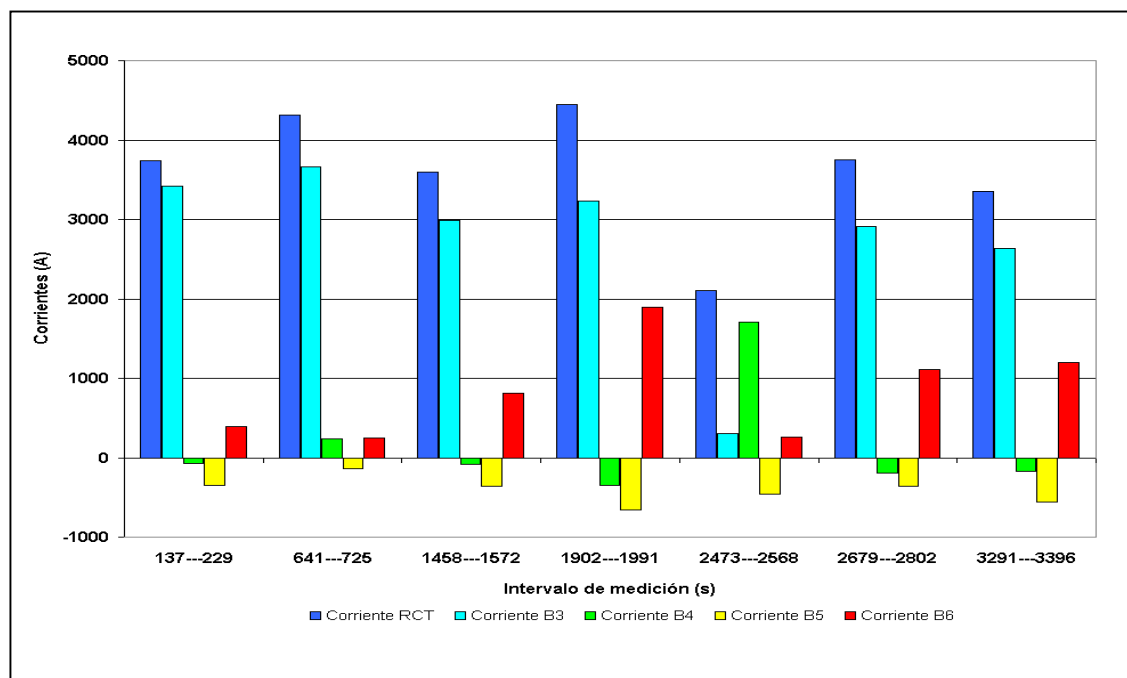


Gráfica 4.3 Valores de corrientes de fuga medido a través de contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción Caricuao (SCC) el 06/12/04 a las 13:13 hrs.

Tabla 4.4 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Caricuao (SCC).

Instantes de tiempo (s)	Corriente RCT (A)	Corriente B3 (A)	Corriente B4 (A)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Corriente CTN (A)
137-229	3741	3418	-70	-347	397	37
641-725	4317	3661	238	-135	246	47
1458-1572	3596	2991	-81	-360	816	34
1902-1991	4450	3230	-347	-658	1898	51
2473-2568	2107	303	1710	-456	265	43
2679-2802	3754	2911	-192	-360	1106	27
3291-3396	3351	2630	-175	-579	1197	31

Es importante destacar que los resultados de corrientes de fuga simuladas respecto a la S/E de Tracción Caricua (SCC) se debe a que el sistema de fijación y apoyo de los rieles de rodamiento es de concreto sobre balasto ($R_{rs} = 44 \Omega/\text{km}$) con excepción en las zonas de maniobras donde el sistema de fijación es de madera sobre balasto ($R_{rs} = 8,3 \Omega/\text{km}$), estos valores de aislamiento son determinante en la obtención de las magnitudes de las corrientes de fuga simuladas. Este valor representa el doble en magnitud de corriente de fuga esperado por el sistema, siendo un valor grave de pérdida de corriente en dicha zona. En la Gráfica 4.4, se presentan los valores de corrientes promedio de tipo DC obtenidas a través del registrador digital en los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6), así como en el rectificador de potencia (RCT). En este gráfico los valores promedios de corrientes del disyuntor de vía B3 que suministra corrientes a los trenes que circulan por la vía 1 en dirección hacia el Oeste, y el disyuntor de vía B6 que suministra corriente a los trenes que circulan por la vía 2 en dirección hacia el Este, tiene una influencia significativa en magnitud en cuanto el rectificador de potencia (RCT).



Gráfica 4.4 Valores de corrientes medidos a través del rectificador de potencia (RCT), disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6) en la S/E de tracción Caricua el 06/12/04 a las 13:13 hrs.

Los disyuntores de vía **B3** y **B6** de la sub-estación de tracción Caricuaao (SCC) tienen una relación directa en el comportamiento de las mediciones de corriente de fuga promedio registrada a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) de dicha sub-estación, cuando suministran corrientes a los trenes que circulan por la vías.

En la Figura 4.6 donde se muestra marcado para distintos instante de tiempo, tres picos de corrientes cuya magnitud poseen un valor superior a los 2000 Ampere, correspondiente al suministro de corriente por parte de los disyuntores de vía, cuando comparamos dichas curvas de corrientes medidas a través del equipo digital en el rectificador de potencia (RCT) se verifica que corresponden a los disyuntores de vía **B3** y **B6** (ver Figura 4.7 y 4.8). En función de los picos de corrientes establecido en el rectificador de potencia, los disyuntores de vía descriptos anteriormente tienen un comportamiento importante en la curva de corriente de fuga registrado a través del CTN. Es importante establecer que la forma de las curvas de corriente de fuga tienen un comportamiento parecido a la de los disyuntores de vía que lo genera.

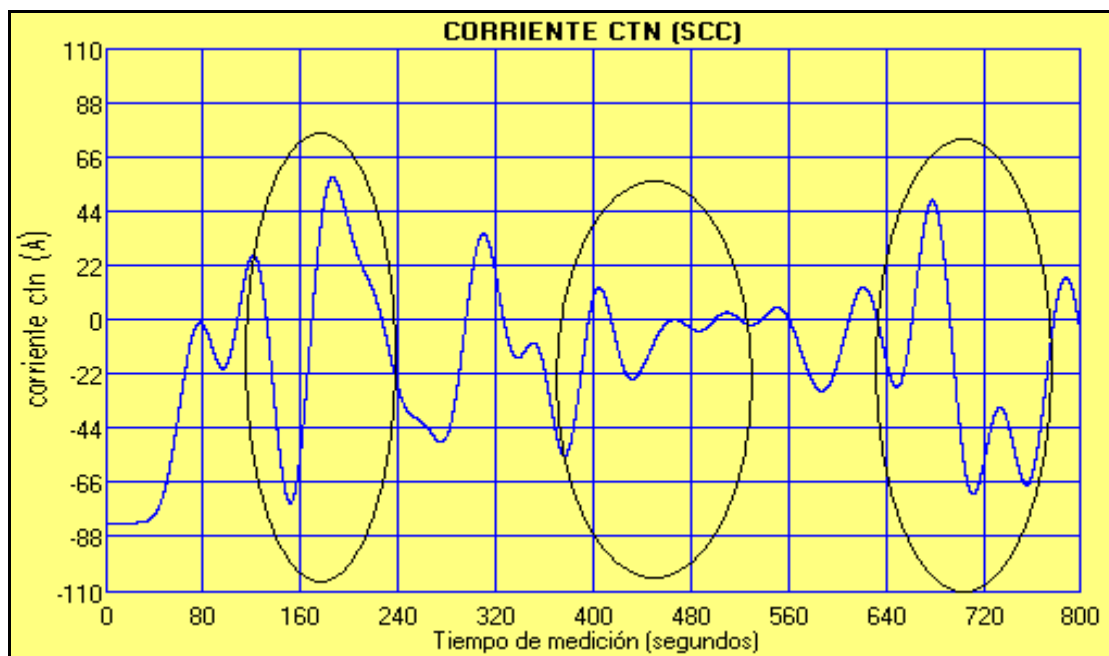


Figura 4.5 Corriente de fuga medida a través del Contactor de Puesta a Tierra del Negativo (CTN) en la S/E de tracción Caricuaao el 06/12/04 a las 13:13 hrs.

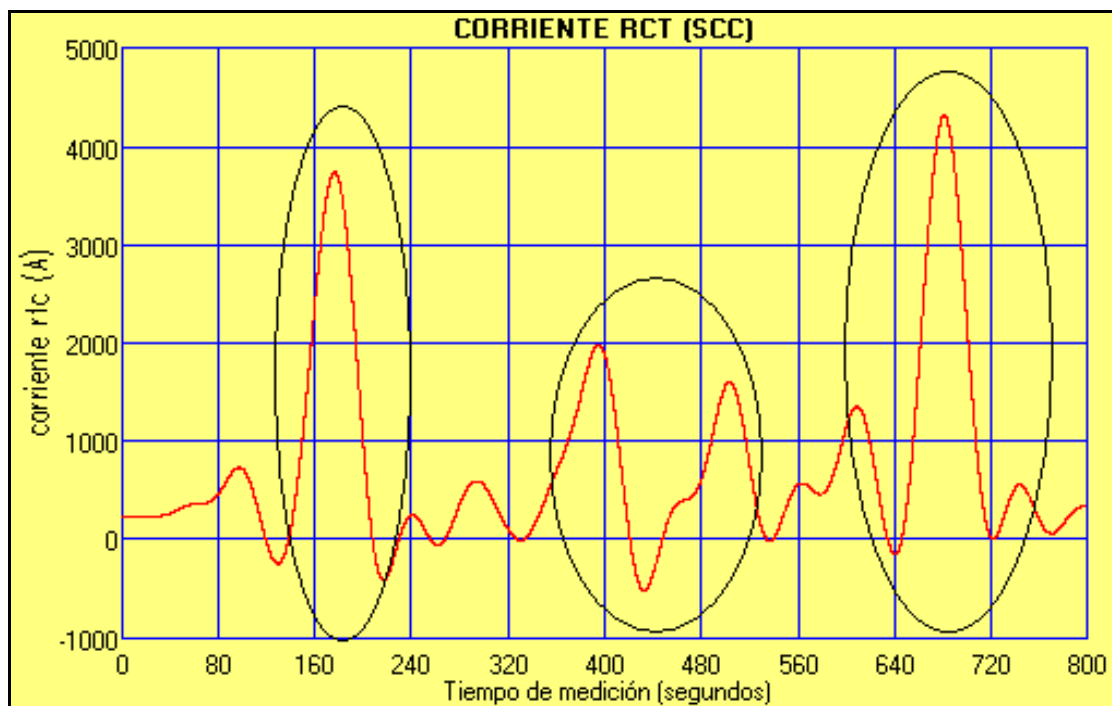


Figura 4.6 Corriente de retorno negativo medida a través del rectificador de potencia (RCT) en la S/E de tracción Caricuao (SCC) el 06/12/04 a las 13:13 hrs.

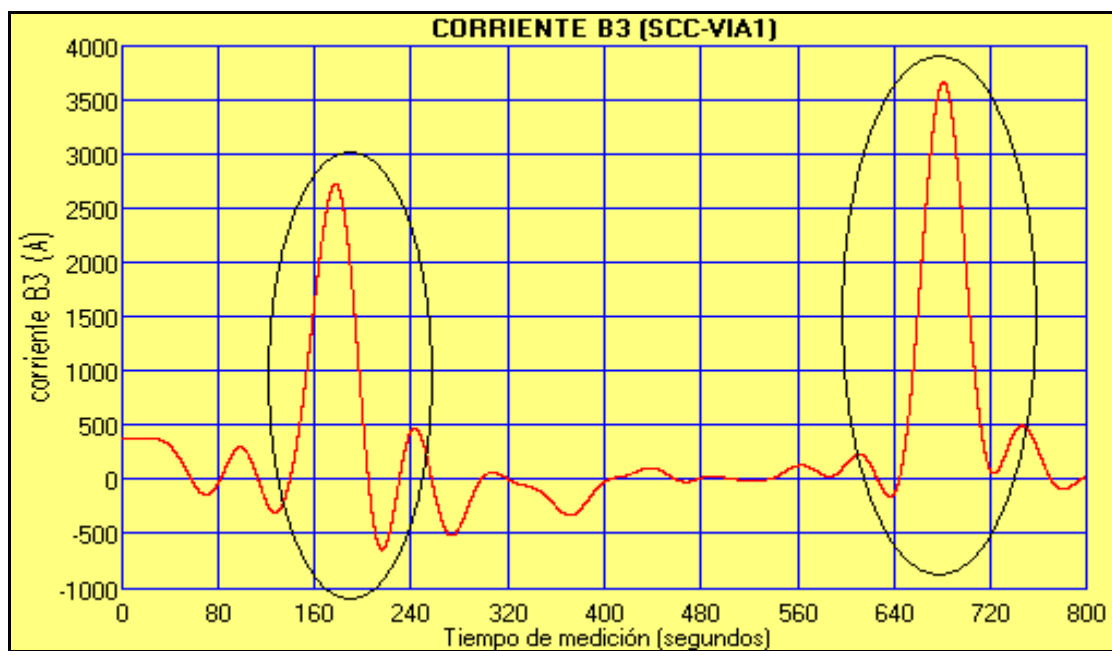


Figura 4.7 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B3 en la S/E de tracción Caricuao (SCC) el 06/12/04 a las 13:13 hrs.

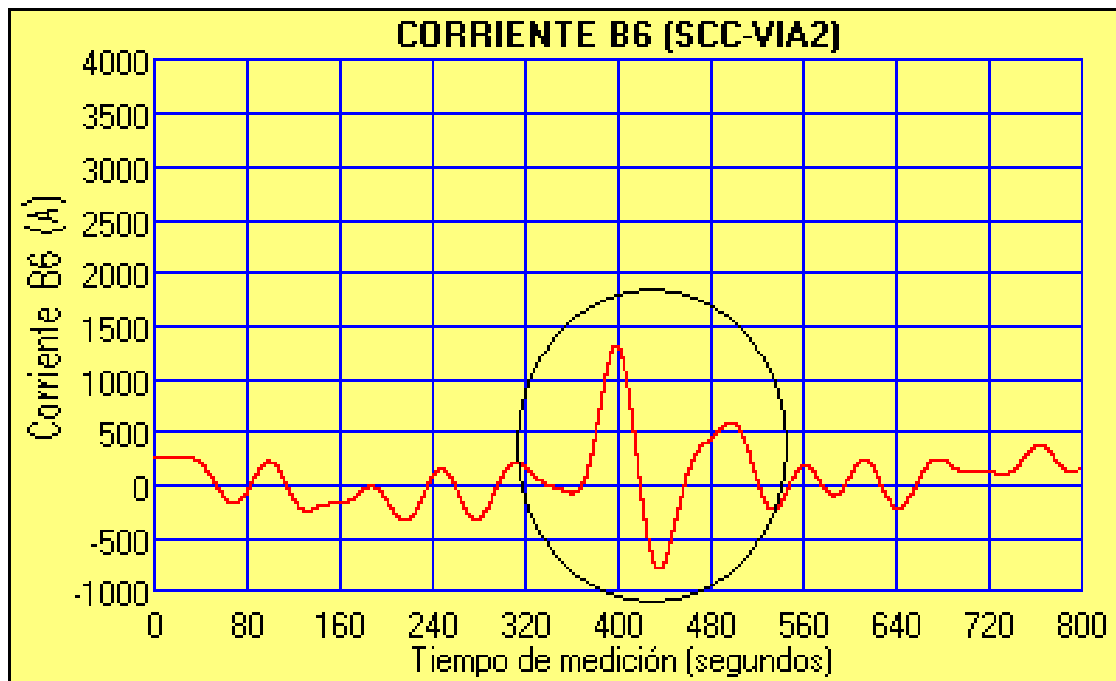


Figura 4.8 Corriente de tracción medida através del disyuntor de vía B6 en la S/E de tracción Caricuao (SCC) el 06/12/04 a las 13:13 hrs.

En la sub-estación de tracción Caricuao (SCC) se registró que el contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) ha tenido hasta la fecha 931 operaciones, con un tiempo de duración de aproximadamente tres (3) minutos cada operación, en función de la cantidad de operaciones del sistema de protección (CTN) se tiene la siguiente cantidad estimada de material corroído:

$$38,57 A \times \left(\frac{10kg}{1A \times Año} \right) \times (931 oper) \times \left(\frac{3 min}{oper} \right) \times \left(\frac{Año}{394200 min} \right) = 2,73kg / mensual$$

La cantidad estimada de material corroído en función del número de operaciones del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) es de 2,73 kilogramos de hierro mensual, lo que implica que para un año se tendría 32,79 kilogramos de hierro que se esta degradando, este valor representa el doble de pérdida de hierro en condiciones normales.

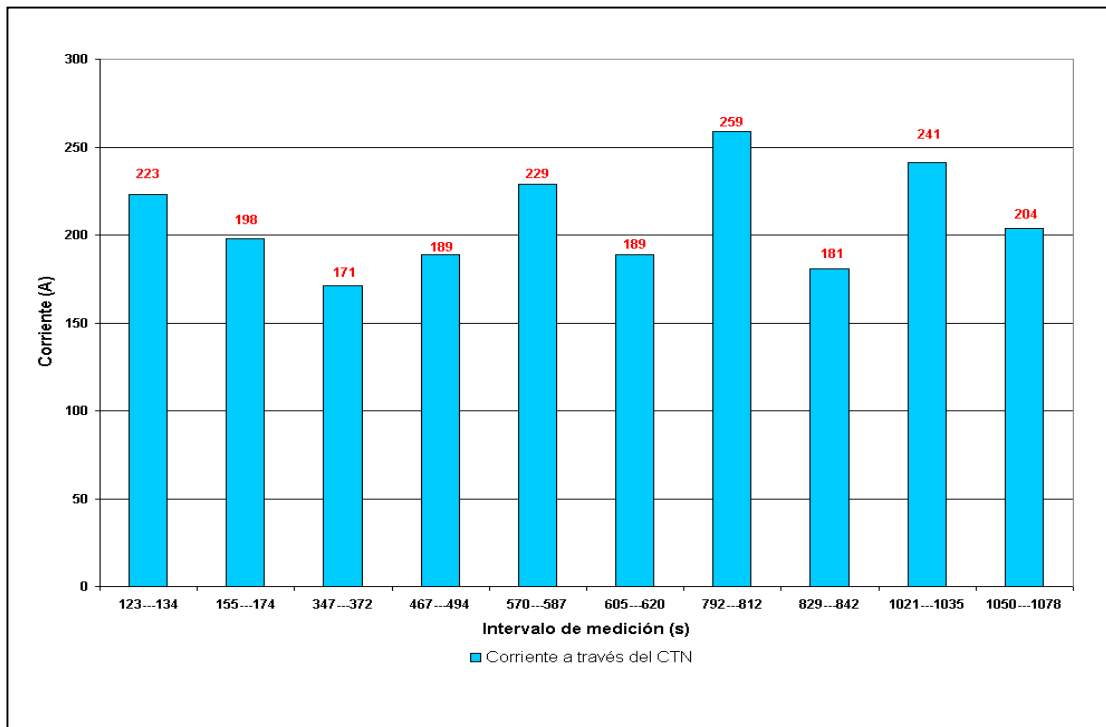
4.4 Análisis de la sub-estación de tracción Propatria (SPP).

En la Tabla 4.5, se encuentran los valores de corriente promedio medidas a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), obtenidos a través de la medición en la sub-estación de tracción Propatria (SPP) con el registrador digital, así como también se encuentran los valores de corriente y tensión simulados para cada instante de tiempo, obtenidos a través de el programa Matlab, ver Anexo 4.15.

Tabla 4.5 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas en la S/E de tracción Propatria (SPP).

Instantes de tiempo (s)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Vr-s tren vía 1 (V)	Vr-s tren vía 2 (V)	Corriente de fuga simulada (A)	Corriente de fuga medida (A)
123-134	8994	-142	59,33	-8,21	10,54	223
155-174	3156	6722	-6,12	45,06	7,46	198
347-372	7578	-60	50,41	-6,92	8,88	171
467-494	2974	3502	-3,18	23,47	3,88	189
507-587	7860	-124	52,29	-7,18	9,21	229
605-620	528	5872	-5,34	39,36	6,52	189
792-812	8630	1766	57,41	-7,88	10,12	259
829-842	1282	4542	-4,13	30,40	5,04	181
1021-1035	9222	-336	61,35	-8,24	10,81	241
1050-1078	2848	5376	-4,72	18,23	8,76	204

En función de los datos que se encuentran en la Tabla 4.5 referente a la sub-estación de tracción Propatria (SPP) el valor simulado de corriente de fuga promedio total (**8,12A**) en comparación con el valor medido de corriente de fuga promedio total (**208,40A**) representa el **3,90 %** respecto a el valor medido. Los resultados de corrientes de fuga simulado entre la S/E de tracción Propatria (SPP) y la S/E de tracción Plaza Sucre (SPS) se trata de una zona donde los circuitos de vía y zonas de maniobras están totalmente cubierta (Túnel), donde además existen problemas de cocontaminación atmosférica, filtraciones de agua, humedad, etc factores determinante en la disminución del aislamiento de los rieles de rodamiento.



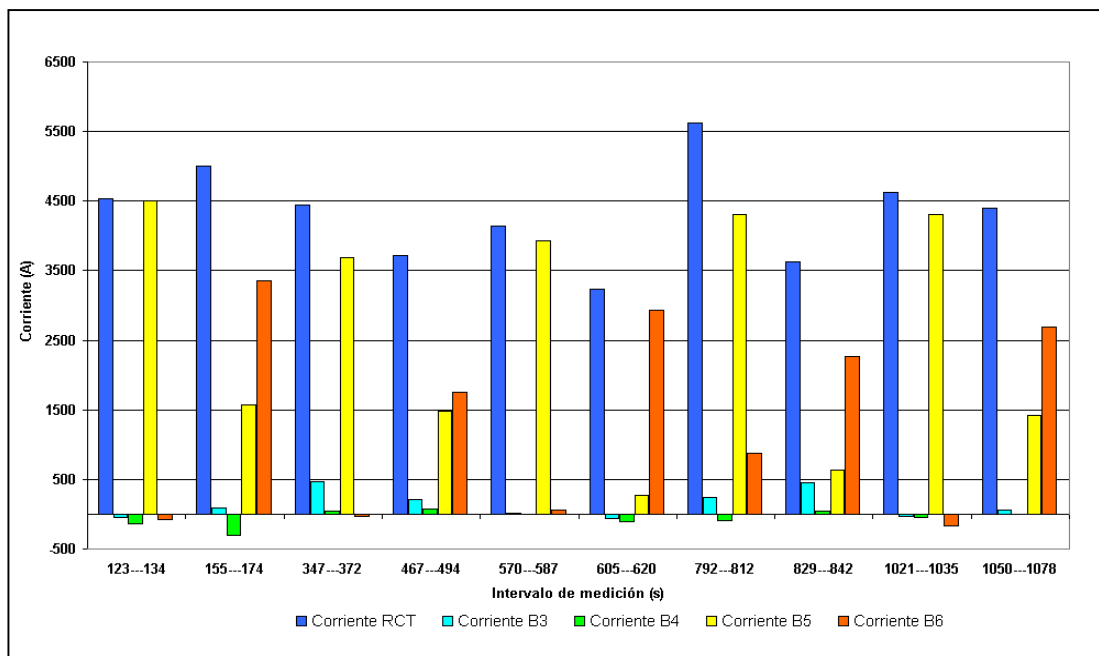
Gráfica 4.5 Valores de corrientes de fuga medido a través de contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción Propatria (SPP) el 17/02/05 a las 11:26 hrs.

En la Gráfica 4.5, se presentan los valores de corrientes de fuga promedio medido para distintos instantes de tiempo, en función de dichos datos el valor medido de corriente de fuga promedio total es de **208,40 A**, ya que representa un valor crítico de pérdidas de corriente, por lo cual debe tomarse las medidas pertinente lo más pronto posible para tratar de disminuir dichos valores de corriente.

Las magnitudes de corriente de fuga simuladas obtenidos entre la S/E de tracción Propatria (**SPP**) y la S/E de tracción Plaza Sucre (**SPS**), se deben a que tanto los circuitos de vías como zonas de maniobras entre ambas sub-estaciones de tracción es una zona cubierta (Túnel) donde la resistencia de aislamiento de los rieles de rodamiento es de concreto sobre losa de concreto ($R_{rs}=150 \text{ } \Omega/\text{km}$), valor determinante en los resultados obtenidos en dicha simulación.

Tabla 4.6 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Propatria (SPP).

Instantes de tiempo (s)	Corriente RCT (A)	Corriente B3 (A)	Corriente B4 (A)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Corriente CTN (A)
123-134	4527	-44	-131	4497	-71	223
155-174	4998	93	-277	1578	3361	198
347-372	4449	473	40	3789	-30	171
467-494	3713	213	67	1487	1751	189
507-587	4140	14	2	3930	-62	229
605-620	3238	-64	-103	264	2936	189
792-812	5620	240	-91	4315	883	259
829-842	3631	457	43	641	2271	181
1021-1035	4631	-32	-49	4611	-168	241
1050-1078	4405	58	5	1424	2688	204



Gráfica 4.6 Valores de corrientes medidas a través del rectificador de potencia (RCT), disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6) en la S/E de tracción Propatria (SPP) el 17/02/05 a las 11:26 hrs.

En la Gráfica 4.6, se presentan los valores de corrientes promedio medidas a en los disyuntores de vías (B3,B4,B5,B6), así como en el rectificador de potencia (RCT). En esta gráfica los únicos valores de corriente promedio de los disyuntores de vía que tienen un valor significativo cercano a los valores en el rectificador de potencia, son los disyuntores de vía **B5** y **B6**, teniendo por tanto una influencia significativa en el comportamiento de la medición de corriente de fuga en el contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

Estos disyuntores de vía suministran corriente de tipo DC a los trenes que circulan por la vía 1 y la vía 2 hacia el este entre la sub-estación de tracción Propatria (SPP) y la sub-estación de tracción Plaza Sucre (SPS), siendo un zona de una longitud de 2954 metros, existiendo dos zonas de maniobra (02.11; 02.21 A) de una longitud de 316,70 metros, siendo áreas críticas por pérdidas de corrientes de fuga que amerita su pronta revisión.

Los picos de corrientes marcado en la Figura 4.9 corresponde a las corrientes a través de los disyuntores de vía **B5** y **B6** (ver Figura 4.11 y 4.12), para los instante de tiempo en que ocurren estos picos de corriente cuando se comparan con la Gráfica 4.8 se verifica un incremento en los picos de corriente de fuga que se registró con el equipo digital a través del CTN, por tanto los disyuntores de vía **B5** y **B6** tiene una influencia significativa en la curva de corriente de fuga incrementando su valor cuando los disyuntores de vía suministran corriente a los trenes.

Cuando se compara la Figura 4.10 con la Figura 4.9, cuando el disyuntor de vía **B5** suministra corriente a los trenes por la vía 1 tiene una influencia en la curva de corriente de fuga, ya que las forma de onda de ambas figura son iguales para el mismo instante en el momento que el disyuntor **B5** suministra corriente, además de esta comparación se puede decir que cuando no existe suministro de corriente por parte de los disyuntores de la sub-estación la corriente invierte se polaridad con un sentido hacia tierra.

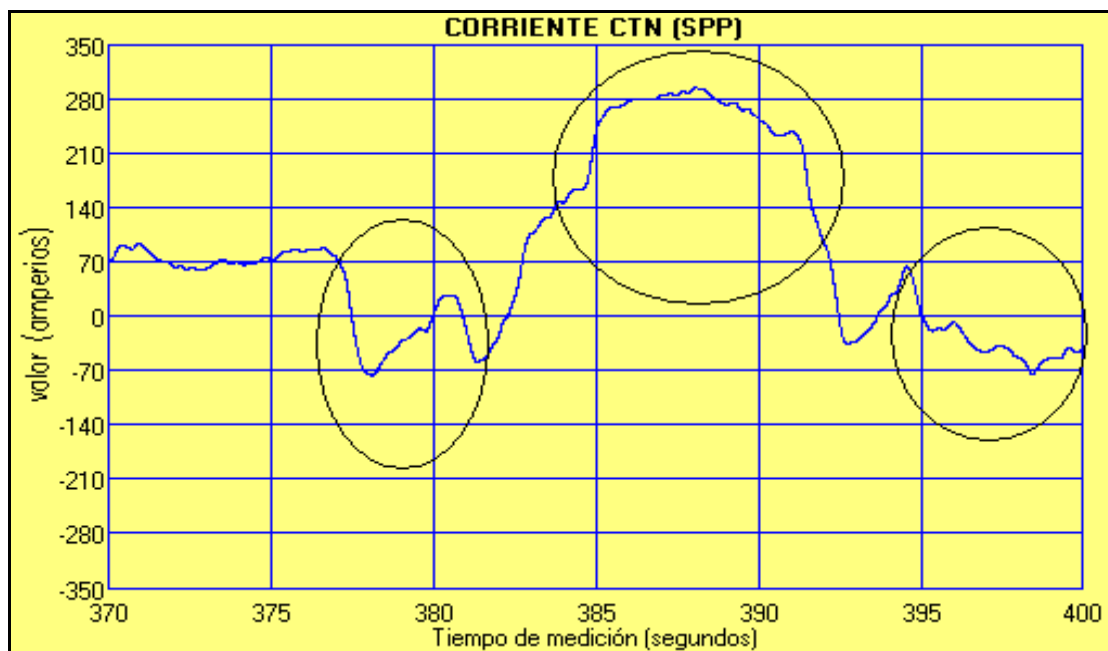


Figura 4.9 Corriente de fuga medida a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción Propatria el 17/02/05 a las 11:26 hrs.

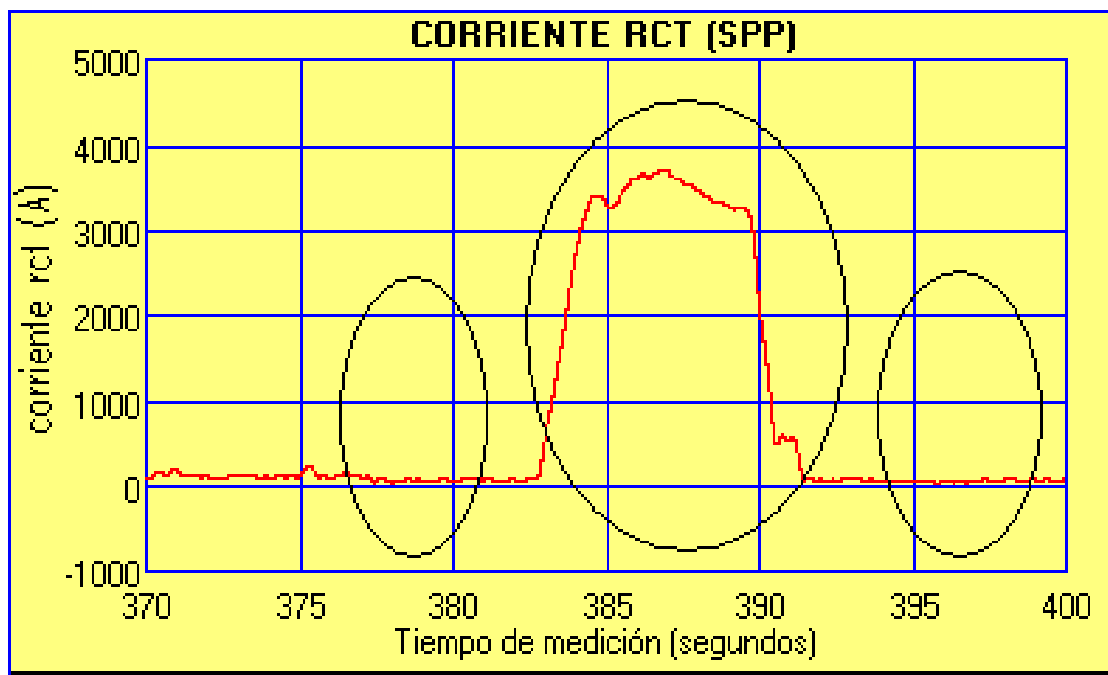


Figura 4.10 Corriente de retorno negativo medida a través del rectificador de potencia (RCT) en la S/E de tracción Propatria (SPP) el 17/02/05 a las 11:26 hrs.

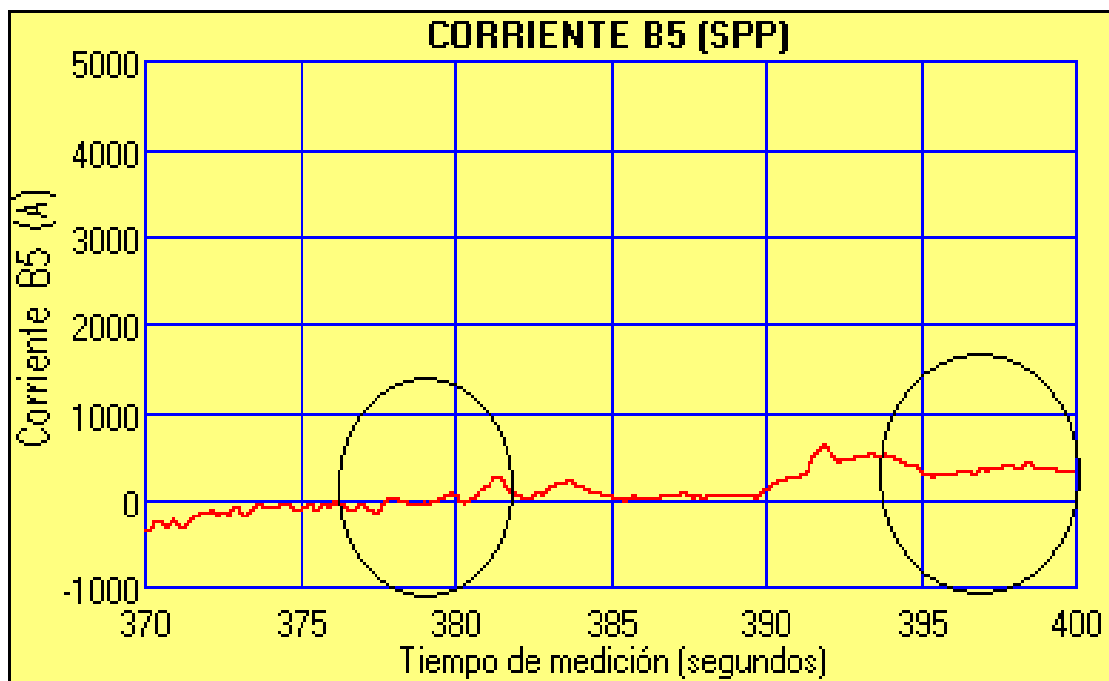


Figura 4.11 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B5 en la S/E de tracción Propatria el 17/02/05 a las 11:26 hrs.

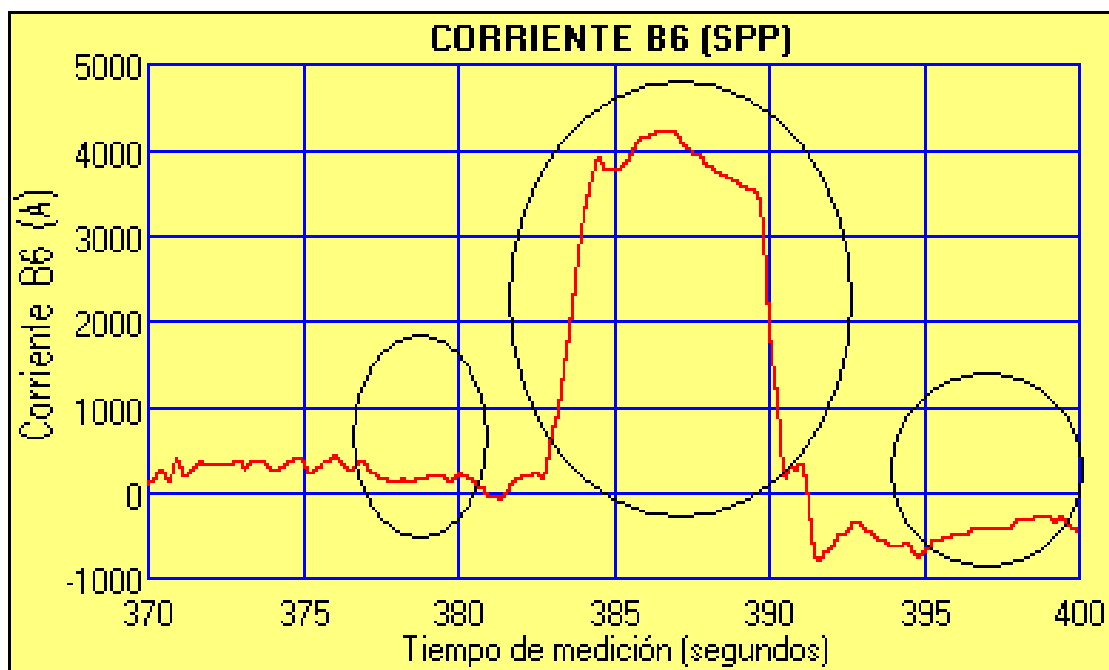


Figura 4.12 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B6 en la S/E de tracción Propatria el 17/02/05 a las 11:26 hrs.

En la S/E de tracción Propatria (SPP) se registró que el contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), ha tenido hasta la presente fecha 123 operaciones, con un tiempo de duración de aproximadamente tres (3) minutos por cada operación, se tiene la siguiente cantidad estimada de material corroído:

$$208,40A \times \left(\frac{10kg}{1A \times Año} \right) \times (123oper) \times \left(\frac{3min}{oper} \right) \times \left(\frac{Año}{394200min} \right) = 1,954kg / mensual$$

La cantidad estimada de material corroído en función del número de operaciones del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) es de 1,95 kilogramos de hierro mensual, lo que implica que para un año se tendría 23,41 kilogramos de hierro que se esta degradando, este valor representa el casi el doble de pérdida de hierro en condiciones normales, siendo un valor grave por pérdida de material corroído.

4.5 Análisis de la sub-estaciones de tracción Antímano (SAM).

La Tabla 4.7 y 4.8, se encuentran los valores de corrientes promedio medidas a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), obtenidos a través de la medición en la sub-estación de tracción Antímano (SAM), así como también se encuentran los valores de corriente y tensión simulados para cada instante de tiempo, obtenidos a través de la simulación en Matlab de el modelo eléctrico pasivo de una carga (tren) por cada vía de la sub-estación de tracción Antímano (SAM) con respecto a la sub-estación de tracción Mamera (SMM) y la sub-estación de tracción La Yaguara (SYG), ver Anexo 4.19 y 4.21. En función de los datos que se encuentran en la Tabla 4.7 y 4.8 referente a la sub-estación de tracción Antimano (**SAM**), el valor simulado de corriente de fuga promedio total (**2,06A**) en comparación con el valor medido de corriente de fuga promedio total (**39,20A**) representa el **5,26 %** respecto a el valor medido. Los resultados de corrientes de fuga simulado de la S/E de tracción Antimano (**SAM**) con respecto a la S/E de tracción Y (**SYE**) y la S/E de tracción La Yaguara (**SYG**), se trata de una zona donde los circuitos de vía y zonas de maniobras están totalmente cubierta (Túnel).

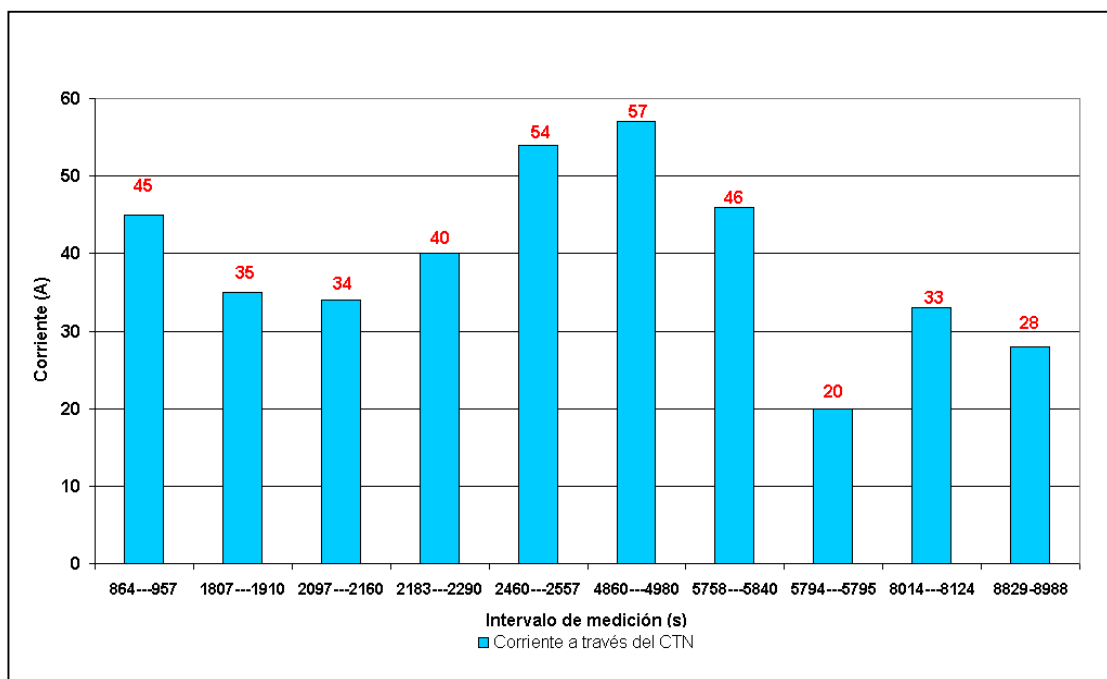
Tabla 4.7 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Antímamo (SAM).

Instante de tiempo (s)	Corriente B3 (A)	Corriente B4 (A)	Vr-s tren vía 1 (V)	Vr-s tren vía 2 (V)	Corriente de fuga simulada (A)	Corriente de fuga medida (A)
864-957	3362	962	16,79	0,60	0,93	45
1807-1910	4412	1578	22,03	0,79	1,23	35
2097-2160	3842	-600	19,19	0,69	1,07	34
2183-2290	2472	388	12,34	0,44	0,69	40
2460-2557	874	-746	4,36	0,15	0,24	54
4860-4980	3624	-1324	18,10	0,65	1,01	57
5758-5840	1086	1054	5,42	0,19	0,30	46
5794-5795	2570	548	12,13	0,46	0,71	20
8014-8128	3788	-32	18,92	0,68	1,05	33
8829-8988	3468	-228	17,32	0,62	0,96	28

Tabla 4.8 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E tracción Antímamo (SAM).y la S/E de tracción La Yaguara (SYG).

Instantes de tiempo (s)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Vr-s tren vía 1 (V)	Vr-s tren vía 2 (V)	Corriente de fuga simulada (A)	Corriente de fuga medida (A)
864-957	-325	1426	-0,74	8,56	0,87	45
1807-1910	-402	1096	-0,57	6,58	0,67	35
2097-2160	-528	2846	-1,48	17,09	1,74	34
2183-2290	658	2782	0,23	16,71	1,70	40
2460-2557	2700	1972	19,23	-0,10	1,49	54
4860-4980	384	2584	-1,35	15,52	1,58	57
5758-5840	2334	1674	16,63	-0,09	1,29	46
5794-5795	-814	3182	-1,66	19,11	1,95	20
8014-8128	-244	-758	0,39	-4,55	-0,46	33
8829-8988	-228	1058	-0,55	6,35	0,64	28

En la Gráfica 4.7, se presentan los valores medidos de corrientes de fuga promedio para cada instante de tiempo. En función de estos datos el valor medido de corriente de fuga promedio total es de **39,20 A**, este valor esta fuera de los valores de corriente de fuga esperado por el sistema (ver punto i, página 35). Los valores de corrientes de fuga depende del aislamiento de los rieles de rodamiento donde en esta zona es de concreto sobre losa de concreto ($R_{rs}=150\Omega/\text{km}$) y de concreto sobre balasto ($R_{rs}=44\Omega/\text{km}$), valores que tienen una influencia significativa en las magnitudes de corrientes de fuga simulada.

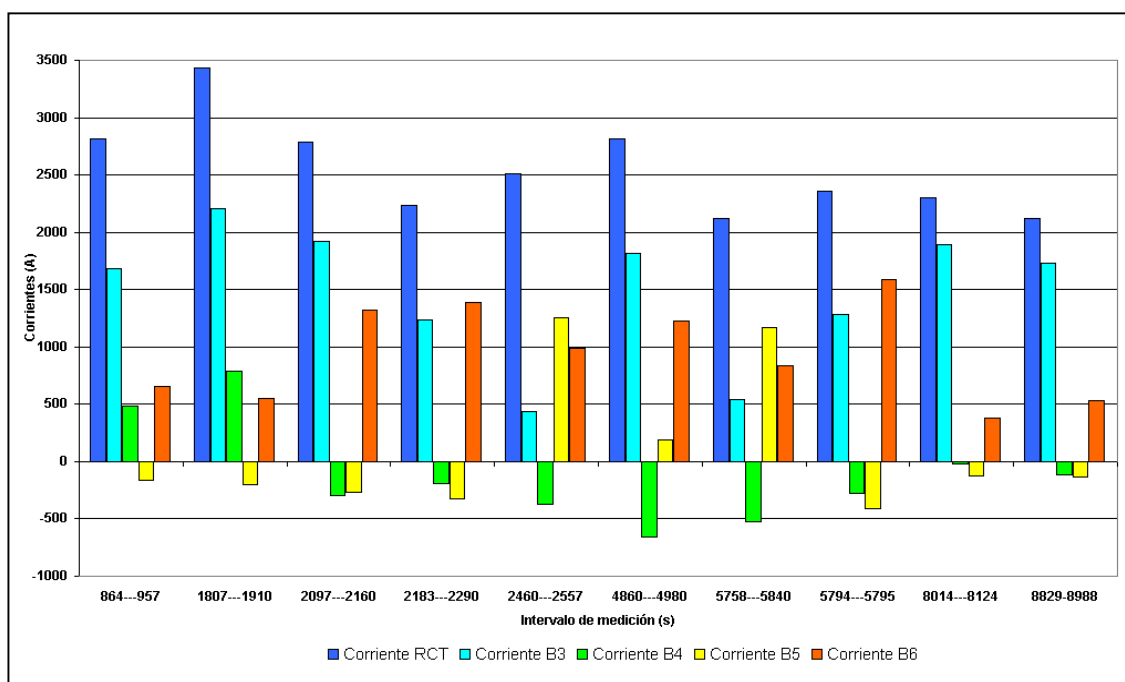


Gráfica 4.7 Valores de corrientes de fuga medida a través de contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción Antímamo (SAM) el 03/11/04 a la 11:59 hrs.

En la Grafica 4.8, se presentan los valores de corrientes promedio medidos en los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6), así como en el rectificador de potencia (RCT). En este gráfico los únicos valores de corrientes promedio de los disyuntores de vía que presentan un comportamiento en magnitud importante cercano a el valor promedio de corriente con respecto a el rectificador son los disyuntores de vía **B3** y **B6**.

Tabla 4.9 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Antimano (SAM).

Instantes de tiempo (s)	Corriente RCT (A)	Corriente B3 (A)	Corriente B4 (A)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Corriente CTN (A)
864-957	2819	1681	481	-162	713	45
1807-1910	3430	2206	789	-210	548	35
2097-2160	2783	1921	-300	-264	1323	34
2183-2290	2237	1236	-194	-329	1391	40
2460-2557	2513	437	-373	1350	986	54
4860-4980	2819	1812	-662	192	1292	57
5758-5840	2125	543	-527	1167	837	46
5794-5795	2361	1285	-274	-407	1591	20
8014-8128	2301	1894	-16	-122	379	33
8829-8988	2104	1734	-114	-130	529	28



Gráfica 4.8 Valores de corrientes medidos a través del rectificador de potencia (RCT), disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6) en la S/E de tracción Antimano (SAM) el 03/11/04 a la 11:59 hrs.

El disyuntor de vía **B3** suministra corriente del tipo DC a los trenes que circulan por la vía 1 hacia el oeste entre la sub-estación de tracción Mamera (SMM) y la sub-estación de tracción Antímano (SAM), mientras que el disyuntor de vía **B6** suministra corriente del tipo DC a los trenes por la vía 2 hacia el este entre la sub-estación de tracción Antímano (SAM) y la sub-estación de tracción La Yaguara (SYG).

Realizando la comparación entre la curva de corriente de retorno negativo del rectificador de potencia (ver Figura 4.13) con la curva de corriente de fuga de el contactor de puesta a tierra del negativo (ver Figura 4.14), se aprecia que cuando existe el suministro de corriente del tipo DC por parte de los disyuntores **B3** y **B6** se generan cambios de magnitud en los picos de corrientes en la curva de corriente de fuga que se registra en el CTN, demostrando que estos disyuntores tienen una influencia sobre el comportamiento de la curva de corriente de fuga.

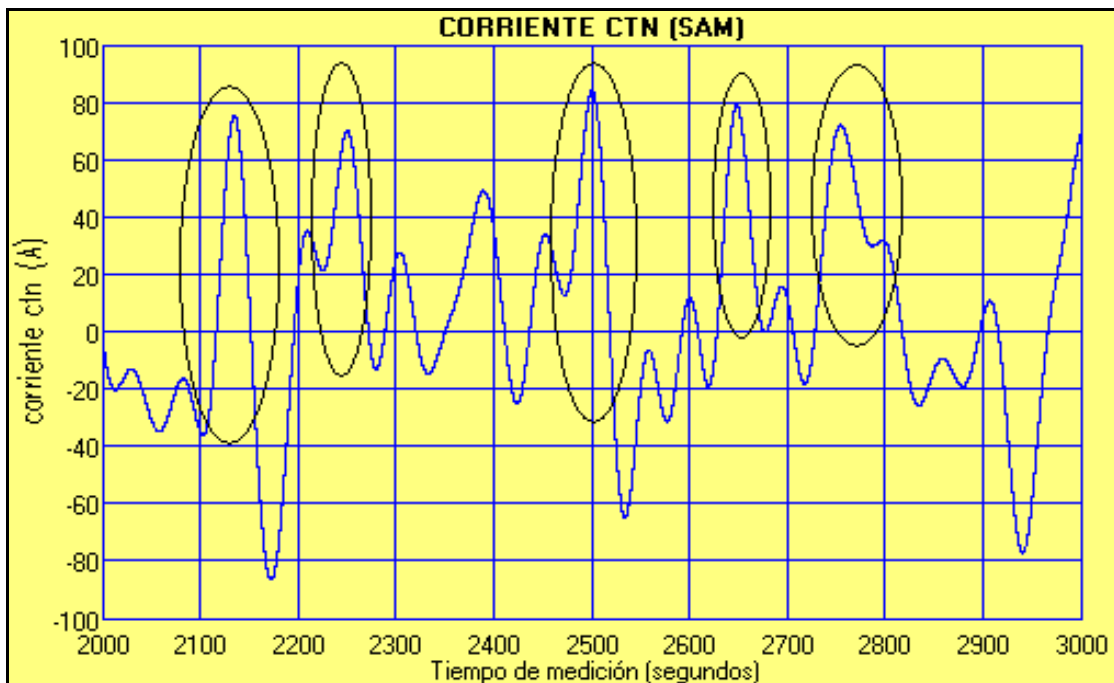


Figura 4.13 Corriente de fuga medida a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción Antímano (SAM) el el 03/11/04 a la 11:59 hrs.

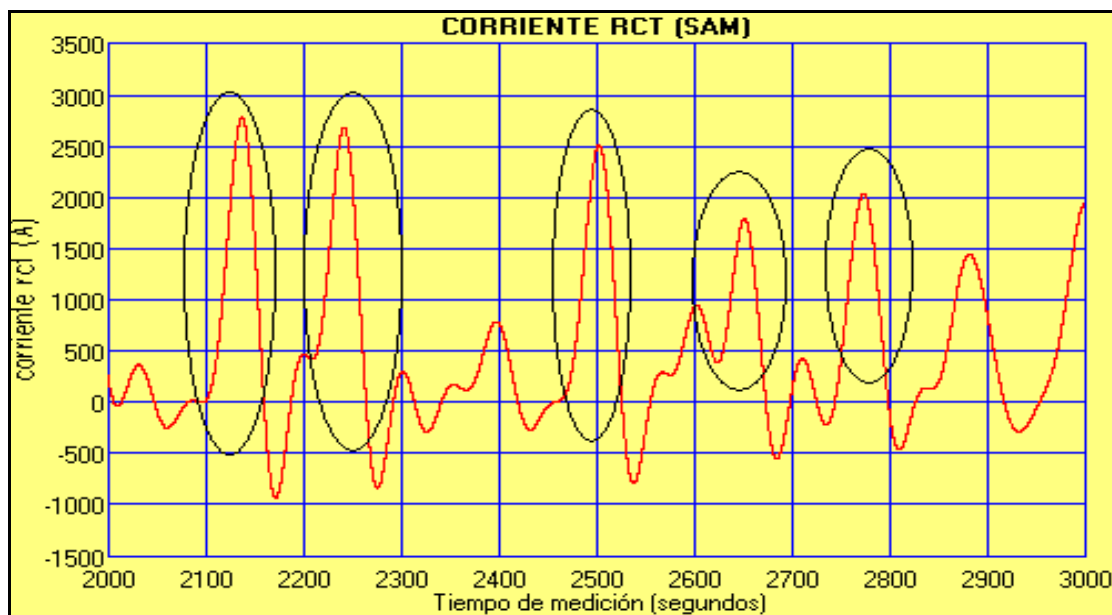


Figura 4.14 Corriente de retorno negativa medida a través del rectificador de potencia (RCT) en la S/E de tracción Antímamo (SAM) el el 03/11/04 a la 11:59 hrs.

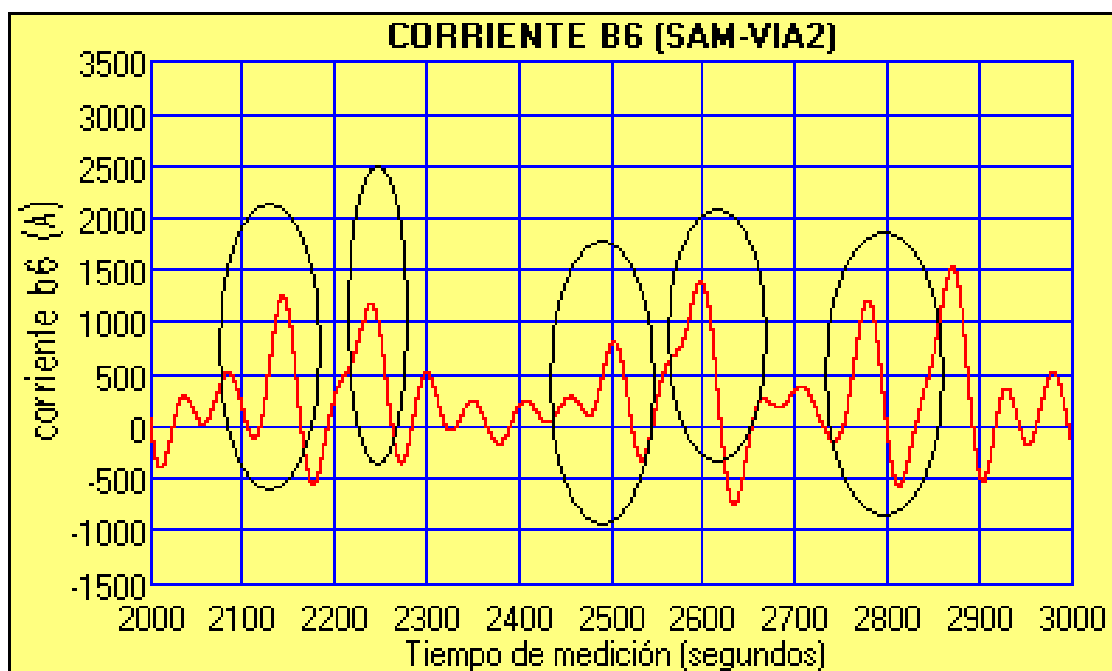


Figura 4.15 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B6 en la S/E de tracción Antímamo (SAM) el el 03/11/04 a la 11:59 hrs.

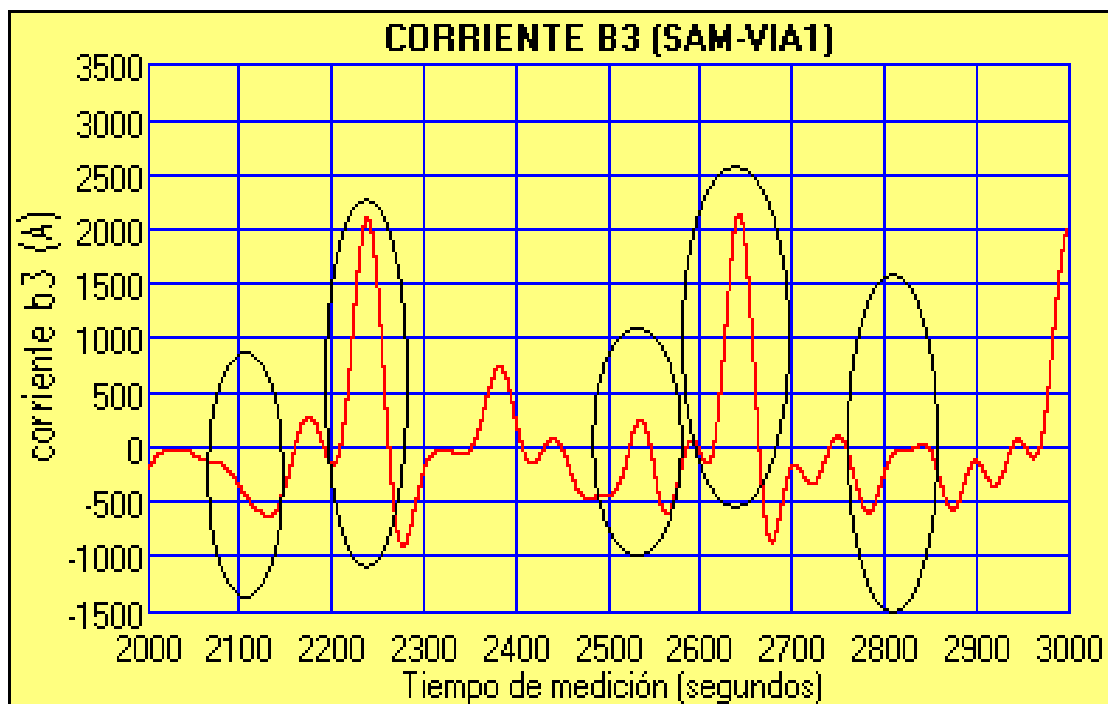


Figura 4.16 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B3 en la S/E de tracción Antímamo (SAM) el el 03/11/04 a la 11:59 hrs.

En la sub-estación de tracción Antímamo (SAM) se registró que le contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) ha tenido hasta la fecha 837 operaciones, con un tiempo de duración de aproximadamente tres (3) minutos cada operación, con lo que la cantidad estimada de material corroído será la siguiente:

$$39,20A \times \left(\frac{10kg}{1A \times Año} \right) \times (847oper) \times \left(\frac{3min}{oper} \right) \times \left(\frac{Año}{394200min} \right) = 2,53kg/mensual$$

La cantidad estimada de material corroído en función del número de operaciones del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) es de 2,53 kilogramos de hierro mensual, lo que implica que para un año se tendría 30,32 kilogramos de hierro que se esta degradando, este valor representa el casi el doble de pérdida de hierro en condiciones normales, siendo un valor grave por pérdida de material corroído.

4.6 Análisis de la sub-estación de tracción Mamera (SMM).

La Tabla 4.10 y 4.11, se encuentran los valores de corriente promedio medidas a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), obtenidos a través de la medición en la sub-estación de tracción Mamera (SMM) con el registrador digital, así como también se encuentran los valores de corriente y tensión simulados para cada instante de tiempo, obtenidos a través de la simulación en Matlab de el modelo eléctrico pasivo de una carga (tren) por cada vía de la Sub-estación de tracción Mamera (SMM) con respecto a la sub-estación de tracción Y (SYE) y la sub-estación de tracción Antímano (SAM), ver Anexo 4.23 y 4.25.

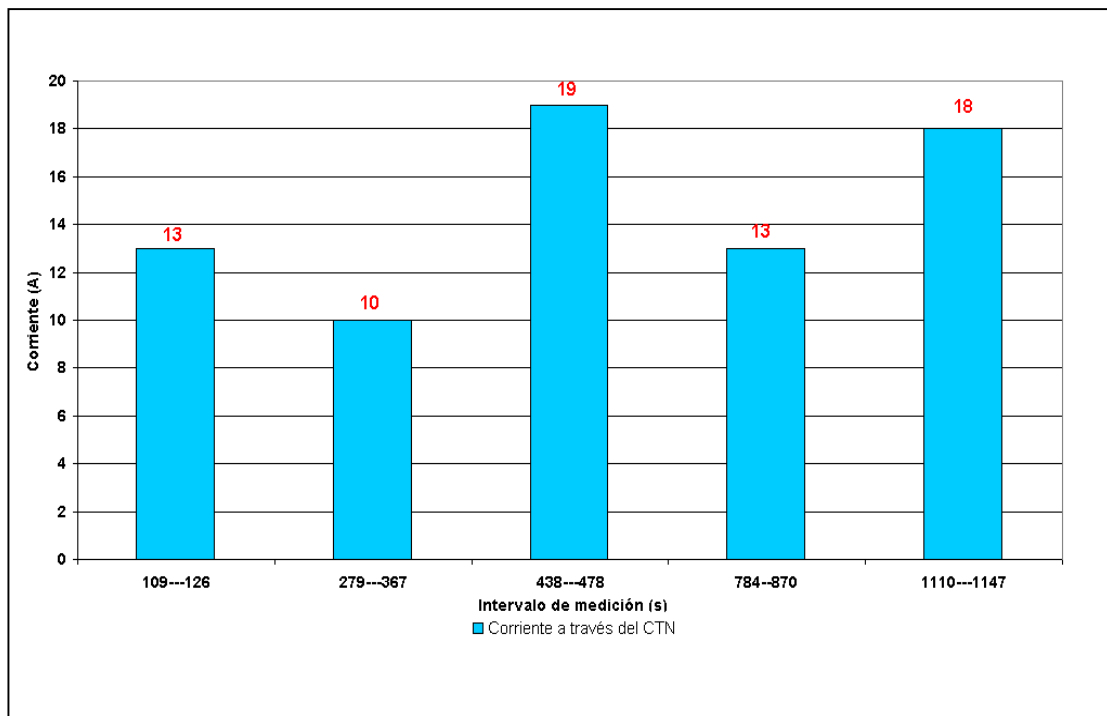
Tabla 4.10 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción Y (SYE) y la S/E de tracción Mamera (SMM).

Instantes de tiempo (s)	Corriente B3 (A)	Corriente B4 (A)	Vr-s tren vía 1 (V)	Vr-s tren vía 2 (V)	Corriente de fuga simulada (A)	Corriente de fuga medida (A)
109-126	-1030	-644	-8,45	0,08	-0,14	13
279-367	-1247	-1088	-10,21	0,09	-0,17	10
438-478	-1880	-1468	-15,40	0,04	-0,26	19
784-870	3932	-1818	32,20	-0,03	0,54	13
1110-1147	-1032	-852	-8,42	0,08	-0,14	18

Tabla 4.11 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Mamera (SMM).

Instantes de tiempo (s)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Vr-s tren vía 1 (V)	Vr-s tren vía 2 (V)	Corriente de fuga simulada (A)	Corriente de fuga medida (A)
109-126	-104	8599	1,97	40,77	5,40	13
279-367	-176	10364	2,38	49,14	6,51	10
438-478	6148	8450	1,94	40,07	5,31	19
784-870	996	4794	1,10	22,73	3,01	13
1110-1147	1086	7192	1,65	34,10	4,52	18

En la sub-estación de tracción Mamera (SMM) en función de los datos que se encuentran en la Tabla 4.10 y 4.11, se establece que el valor simulado de corriente de fuga promedio total (**5,20 A**) en comparación a el valor medido de corriente de fuga promedio total (**14,60 A**), representa un **35,62 %** respecto a el valor medido. Los resultados de corrientes de fuga simulado de la S/E de tracción Mamera (**SMM**) con respecto a la S/E de tracción Y (**SYE**) y la S/E de tracción Antimano (**SAM**), se trata de una zona donde los circuitos de vía y zonas de maniobras están totalmente descurbierta en su mayoría. En la Gráfica 4.9, se presentan los valores medidos de corrientes de fuga promedio para cada instante de tiempo. En función de estos datos el valor medido de corriente de fuga promedio total es de **14,60 A**, este valor esta dentro de los valores de corriente de fuga esperado por el sistema (ver punto i, página 35) por tanto no representa un problema grave de pérdida por corriente en la sub-estación de tracción Mamera (**SMM**).

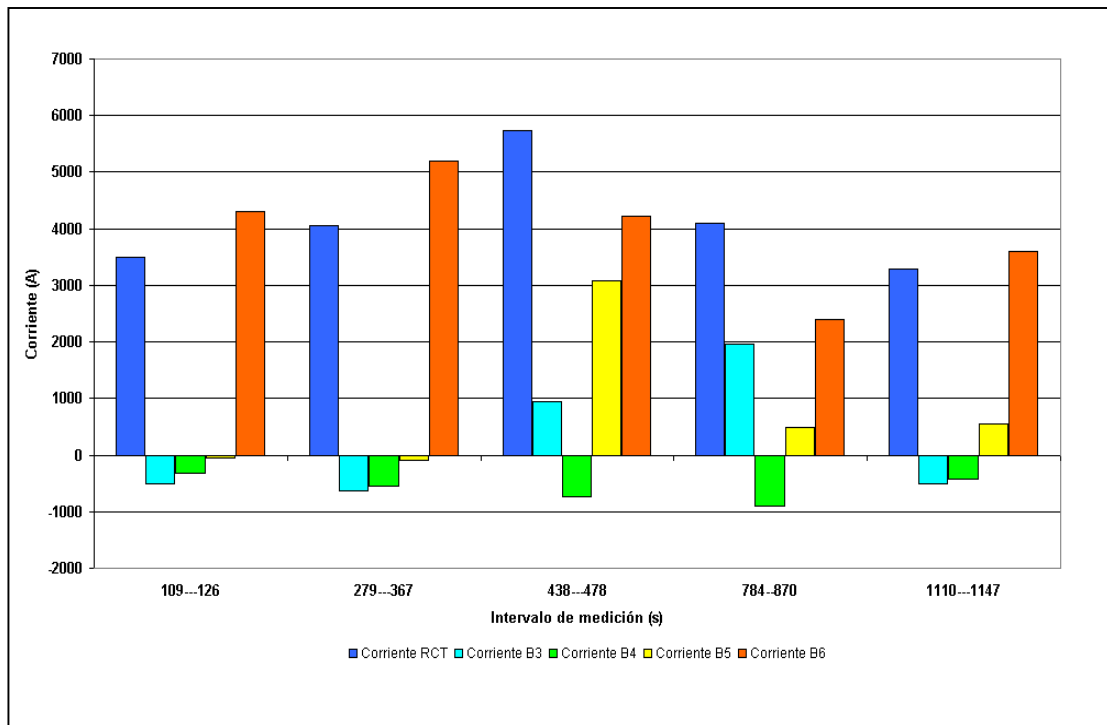


Gráfica 4.9 Valores de corrientes de fuga medido a través de contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción Mamera (SMM) el 01/03/05 a las 12:19 hrs.

En la zona respecto a la S/E de tracción Mamera (SMM) el sistema de fijación y apoyo de los rieles de rodamiento con respecto a los circuitos de vía y zonas de maniobra es de concreto sobre balasto ($R_{rs}= 44\Omega/\text{km}$), concreto sobre losa de concreto ($R_{rs}= 150\Omega/\text{km}$) y de madera sobre losa de concreto ($R_{rs}= 150\Omega/\text{km}$).

Tabla 4.12 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Mamera (SMM).

Instantes de tiempo (s)	Corriente RCT (A)	Corriente B3 (A)	Corriente B4 (A)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Corriente CTN (A)
109-126	3495	-515	-322	-52	4299	13
279-367	4056	-637	-544	-88	5182	10
438-478	5745	-940	-734	3074	4225	19
784-870	4100	1966	-909	498	2397	13
1110-1147	3292	-516	-426	543	3596	18



Gráfica 4.10 Valores de corrientes medidas a través del rectificador de potencia (RCT), disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6) en la S/E de tracción Mamera (SMM) el 01/03/05 a las 12:19 hrs.

En la Grafica 4.10, se presentan los valores de corrientes promedio medidas con el equipo digital a través de los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6), así como en el rectificador de potencia (RCT). En este gráfico los únicos valores de corrientes promedio de los disyuntores de vía que presentan un comportamiento en magnitud importante cercano a el valor promedio de corriente con respecto a el rectificador de potencia son los disyuntores de vía **B5** y **B6**. Ambos disyuntores de vía suministran corriente a los trenes que circulan hacia el este por la vías 1 y la vía 2 a los trenes que circulan hacia el este entre la sub-estación de tracción Mamera (SMM) y la sub-estación de tracción Antímano (SAM).

Los disyuntores de vía **B5** y **B6** tiene un efecto importante en el comportamiento de la curva de corriente de fuga medida en el contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) de la sub-estación de tracción Mamera (SMM), lo comentado anteriormente se puede apreciar mediante la comparación de la Figura 4.17 con la Figura 4.18, donde cuando existe consumiendo corriente por los trenes se produce un aumento de la magnitud de la corriente de fuga, se debe decir que para el caso de la sub-estación de tracción Mamera (SMM) la polaridad se tomo invertida, es decir, el sentido negativo de la curva indica la corriente de fuga regresando a la sub-estación de tracción.

Ya estableciendo los disyuntores de vía (**B5,B6**) que tiene una influencia en las magnitudes de la curva de corriente de fuga medida a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), podemos establecer que el área más propensa a corriente de fuga, es la comprendida entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la sub-estación de tracción Antímano (SAM) de una longitud de 1591 metros, donde existen cuatro zonas de maniobras (16.13;18.13B;16.23;18.23B) de una longitud total de 474 metros, donde estas zonas de maniobras son las sitios más crítico por pérdida de corriente, debido a su bajo nivel de aislamiento y ha la existencia de problema de filtraciones de agua.

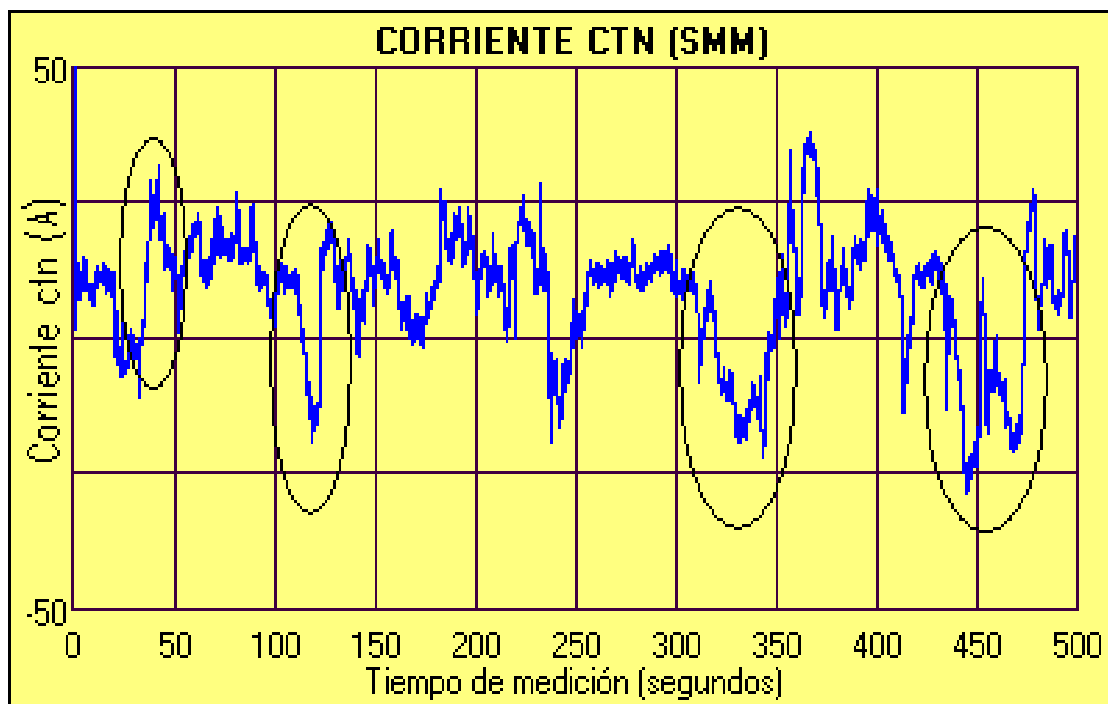


Figura 4.17 Corriente de fuga medida a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción Mamera (SMM) el 01/03/05 a las 12:19 hrs.

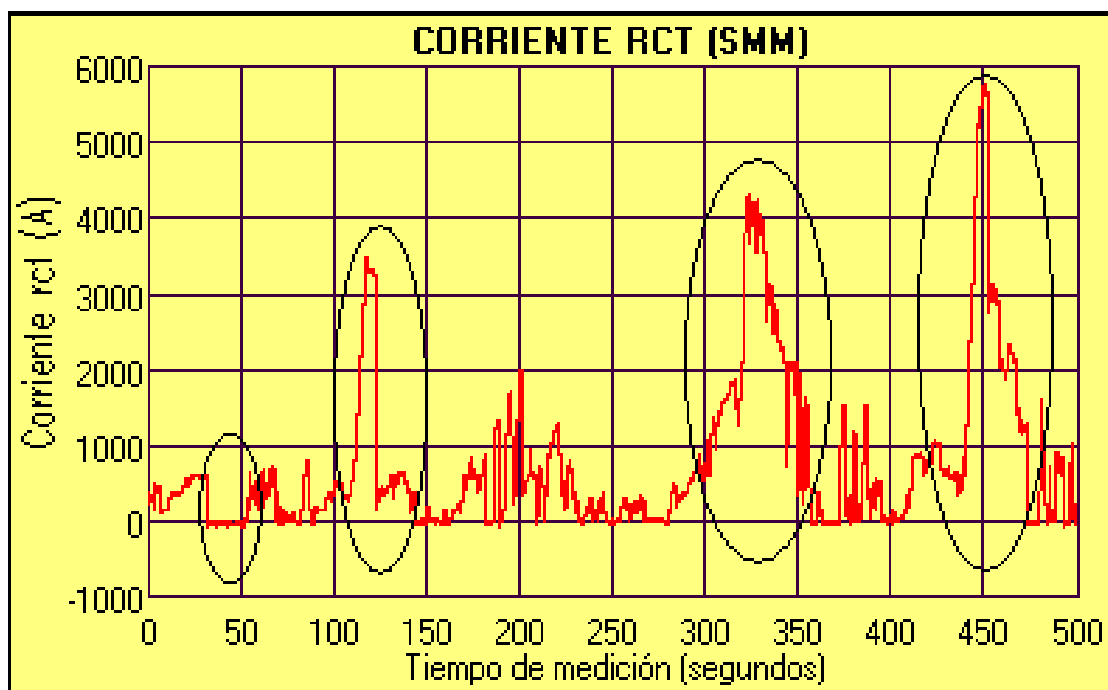


Figura 4.18 Corriente de retorno negativo medida a través del rectificador de potencia (RCT) en la S/E de tracción Mamera (SMM) el 01/03/05 a las 12:19 hrs.

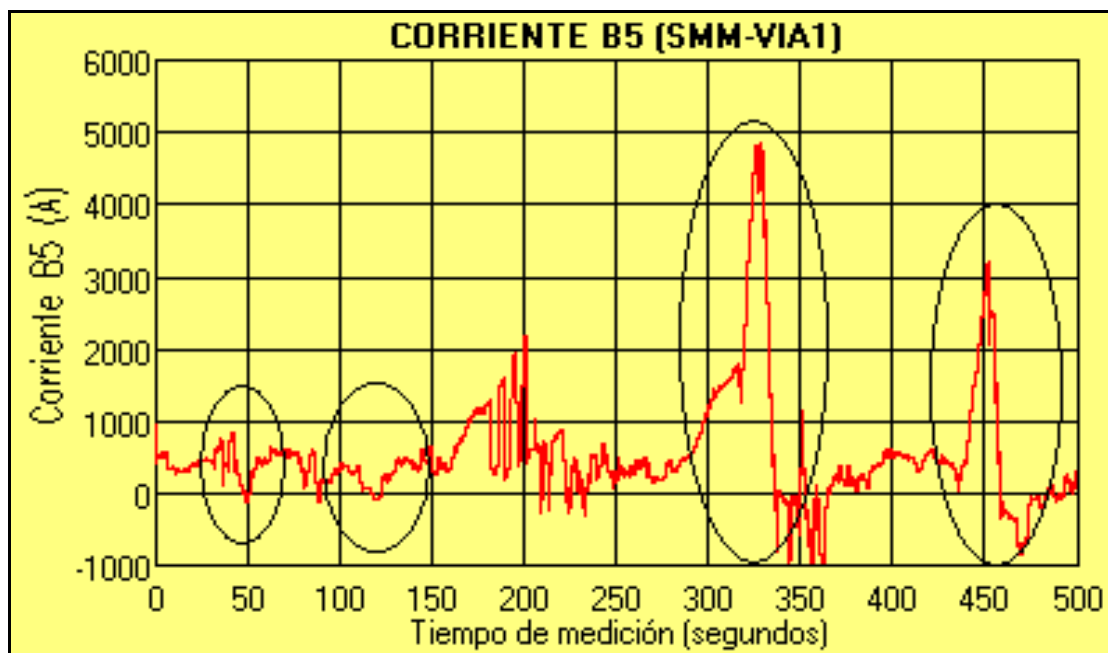


Figura 4.19 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B5 en la S/E de tracción en la S/E de tracción Mamera (SMM) el 01/03/05 a las 12:19 hrs.

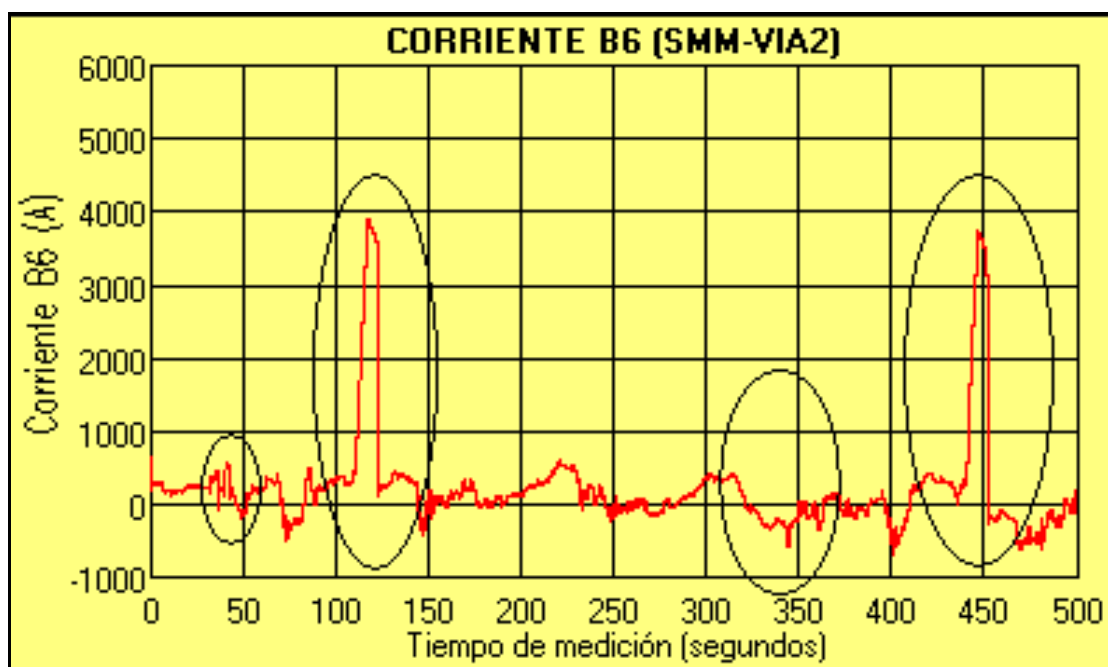


Figura 4.20 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B6 en la S/E de tracción en la S/E de tracción Mamera (SMM) el 01/03/05 a las 12:19 hrs.

En la sub-estación de tracción Mamera (SMM) se registró que el contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) ha tenido hasta la fecha 724 operaciones, con un tiempo de duración de aproximadamente tres (3) minutos cada operación, en base a las operaciones del sistema de protección (CTN) se tiene la siguiente cantidad de material degradado:

$$14,60A \times \left(\frac{10kg}{1A \times Año} \right) \times (724oper) \times \left(\frac{3min}{oper} \right) \times \left(\frac{Año}{394200min} \right) = 0,80kg / mensual$$

La cantidad estimada de material corroído en función del número de operaciones del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) es de 0,80 kilogramos de hierro mensual, lo que implica que para un año se tendría 9,65 kilogramos de hierro que se esta degradando, este valor esta dentro de la cantidad de material que se pierde del hierro en condiciones normales.

4.7 Análisis de la sub-estación de tracción La California (SCF).

La Tabla 4.13 y 4.14, se encuentran los valores de corrientes promedio medidas a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), obtenidos a través de la medición en la sub-estación de tracción La California (SCF) con el registrador digital, así como también se encuentran los valores de corriente y tensión simulados para cada instante de tiempo, obtenidos a través de la simulación en Matlab de el modelo eléctrico pasivo de una carga (tren) por cada vía de la sub-estación de tracción La California (SCF) con respecto a la sub-estación de tracción Los Cortijos (SLC) y la sub-estación de tracción Petare (SPE), ver Anexo 4.28 y 4.33.

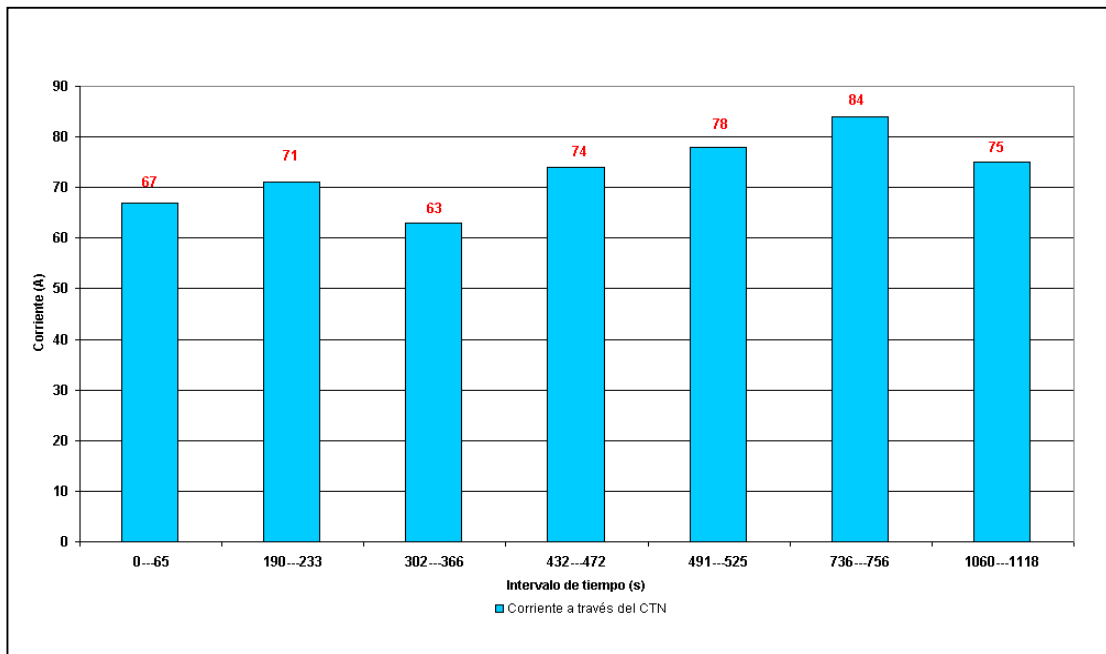
En la sub-estación de tracción La California (SCF) en función de los datos que se encuentran en la Tabla 4.13 y 4.14, se establece que el valor simulado de corriente de fuga promedio total (**4,51 A**) en comparación a el valor medido de corriente de fuga promedio total (**73,14 A**), representa un **6,17 %** respecto a el valor medido. La zona con respecto a la S/E de tracción La california (SCF) es una zona cubierta (Túnel) donde el sistema de fijación y apoyo de los rieles de rodamiento es de concreto sobre (Rrs= 150 Ω/km), lo cual permite obtener valores de corriente de fuga simulado muy bajo.

Tabla 4.13 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción Los Cortijos (SIC) y la S/E de tracción La California (SCF).

Instantes de tiempo (s)	Corriente B3 (A)	Corriente B4 (A)	Vr-s tren vía 1 (V)	Vr-s tren vía 2 (V)	Corriente de fuga simulada (A)	Corriente de fuga medida (A)
0-65	-422	-2394	0,52	-3,95	-0,22	67
190-233	-2000	-2202	0,47	-3,63	-0,20	71
302-366	7322	32	13,26	-0,44	0,17	63
432-472	-986	-780	-1,78	0,05	-0,02	74
491-525	-1336	-1347	0,29	-2,22	0,06	78
736-756	2566	-1708	4,64	-0,15	0,06	84
1060-1118	5300	-2618	9,59	-0,32	0,12	75

Tabla 4.14 Resultados de las corrientes promedios medidas vs. simuladas entre la S/E de tracción La California (SCF) y la S/E de tracción Petare (SPE).

Instantes de tiempo (s)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Vr-s tren vía 1 (V)	Vr-s tren vía 2 (V)	Corriente de fuga simulada (A)	Corriente de fuga medida (A)
0-65	7620	4552	43,67	-23,02	8,98	67
190-233	1440	9792	-0,40	52,67	1,78	71
302-366	214	354	-0,32	1,90	0,06	63
432-472	-980	8022	-0,33	43,17	1,46	74
491-525	8766	-1632	50,24	-26,48	10,24	78
736-756	5964	-1728	34,14	-18,02	6,96	84
1060-1118	-966	6782	-0,28	36,50	1,23	75

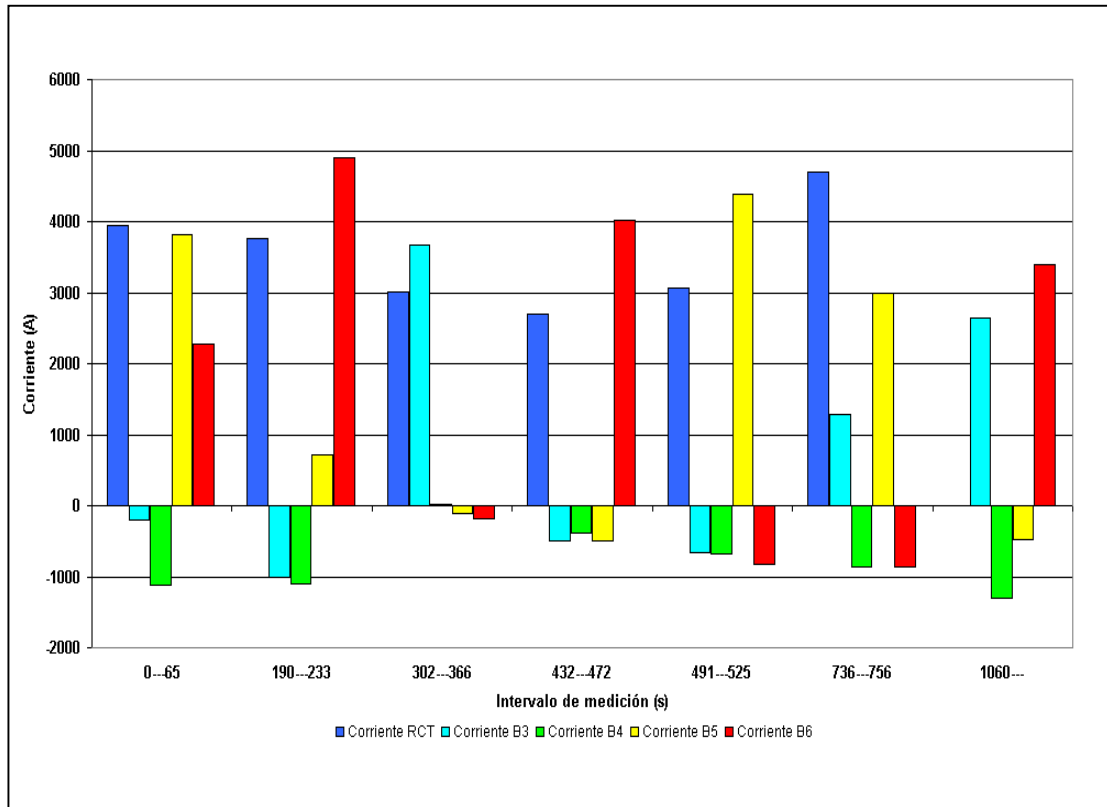


Gráfica 4.11 Valores de corrientes de fuga medido a través de contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción La California (SCF) el 14/03/04 a las 12:56 hrs.

En la Gráfica 4.10, se presentan los valores medidos de corrientes de fuga promedio para cada instante de tiempo. En función de estos datos el valor medido de corriente de fuga promedio total es de **73,14 A**, este valor supera el valor de corriente de fuga esperado por el sistema (ver punto i, página 35) por tanto representa un problema grave de pérdida por corriente en la sub-estación de tracción La California (SCF).

Tabla 4.15 Valores de corrientes medidas para distintos instantes de tiempo en la S/E de tracción Mamera (SMM).

Instantes tiempo (s)	Corriente RCT (A)	Corriente B3 (A)	Corriente B4 (A)	Corriente B5 (A)	Corriente B6 (A)	Corriente CTN (A)
0-65	5092	-211	-1197	3810	2276	67
190-233	3940	-1000	-1101	720	4896	71
302-366	3761	3661	16	-107	-177	63
432-472	3012	-493	-390	-492	4011	74
491-525	2699	-668	-688	4383	-819	78
736-756	3061	1283	-854	-2982	-864	84
1060-1118	4701	2650	-1309	-483	3391	75



Gráfica 4.12 Valores de corrientes medidos a través del rectificador de potencia (RCT), disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6) en la S/E de tracción La California (SCF) el 14/03/04 a las 12:56 hrs.

En la Grafica 4.12, se presentan los valores de corrientes promedios medidos en los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6), así como en el rectificador de potencia (RCT). En este gráfico los únicos valores de corrientes promedio de los disyuntores de vía que presentan un comportamiento en magnitud importante cercano a el valor promedio de corriente con respecto a el rectificador son los disyuntores de vía **B3**, **B5** y **B6**.

El disyuntor de vía **B3** suministra corriente del tipo DC a los trenes que circulan por la vía 1 hacia el oeste entre la sub-estación de tracción Los Cortijos (SCL) y la sub-estación de tracción La California (SCF), mientras que los disyuntores de vía **B5** y **B6** suministra corriente del tipo DC a los trenes que circulan por la vía 2 hacia el Este entre la sub-estación La California (SCF) y la sub-estación de tracción Petare (SPE).

Para la vía 1 la región mas propensa a fuga de corriente en base a lo establecido anteriormente es la constituida por la zona de maniobra 86.13 A de una longitud de 75,6 metros, la cual se encuentra en una zona cubierta colocada sobre durmiente de madera sobre concreto. Para la vía 2 la zona más propensa a pérdida por corriente de fuga es la conformada por la zona de maniobra 86.23 A de una longitud de 94,7 metros la cual también se encuentra en una zona cubierta colocado sobre durmientes de madera sobre concreto. Ambas zonas de maniobra se encuentran en dirección hacia el Este entre la sub-estación de tracción La California (SCF) y la sub-estación de tracción Petare (SPE).

La primera región marcada en la curva de corriente de fuga cuando la corriente en este momento alcanza un valor aproximadamente de 112 Ampere (ver Figura 4.21) esto se debe a que un disyuntor de vía esta suministrando corriente a un tren en la vía, para este caso se trata del disyuntor B5, donde la curva de corriente se puede observar en la Figura 4.22, comparando la Figura 4.21 se puede verificar que las curvas de corrientes de ambas figura son similares, lográndose establecer que los incrementos significativo de magnitud que experimenta la curva de corriente de fuga medida a través del contactor de puesta a tierra del negativo esta relacionado con la actuación de los disyuntores de vía **B3, B5 y B6**.

También es importante establecer que para la medición en la sub-estación de tracción La California (SCF) cuando no existe suministro de corriente a través de los disyuntores de vía de la sub-estación de tracción, se tiene una corriente de polaridad negativa, es decir, su sentido es hacia tierra, estableciéndose que en dicha sub-estación introduce corriente de fuga a el sistema, esto se puede visualizar observando la segunda región marcada en la Figura 4.21 y luego se compara con la Figura 4.22.

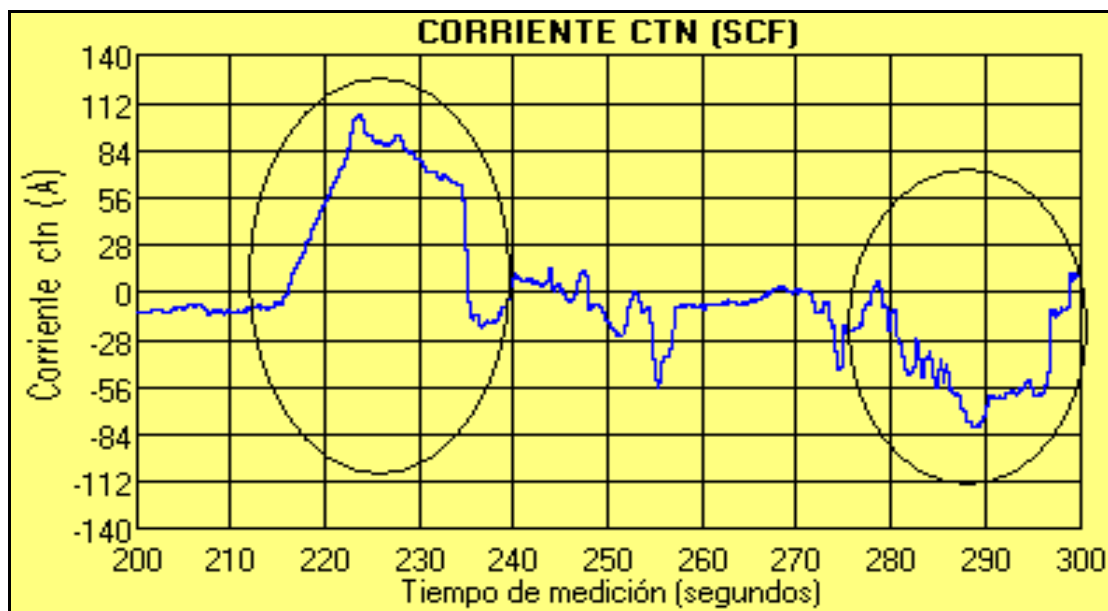


Figura 4.21 Corriente de fuga medida a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) en la S/E de tracción La California (SCF) el 03/11/04 a las 11:59 hrs.

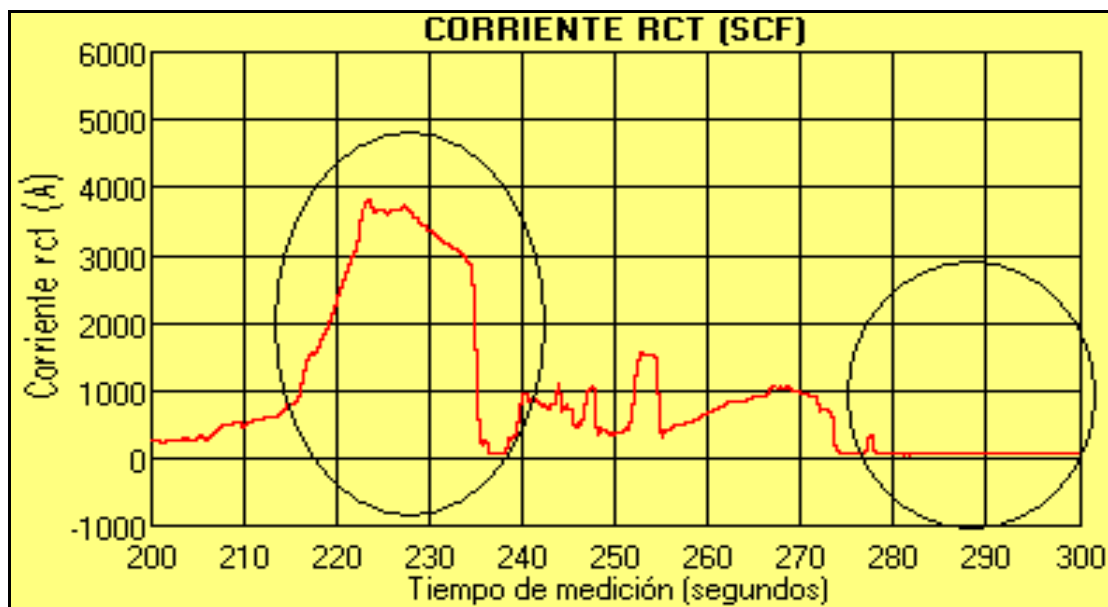


Figura 4.22 Corriente de retorno negativo medida a través del rectificador de potencia (RCT) en la S/E de tracción La California (SCF) el 03/11/04 a las 11:59 hrs.

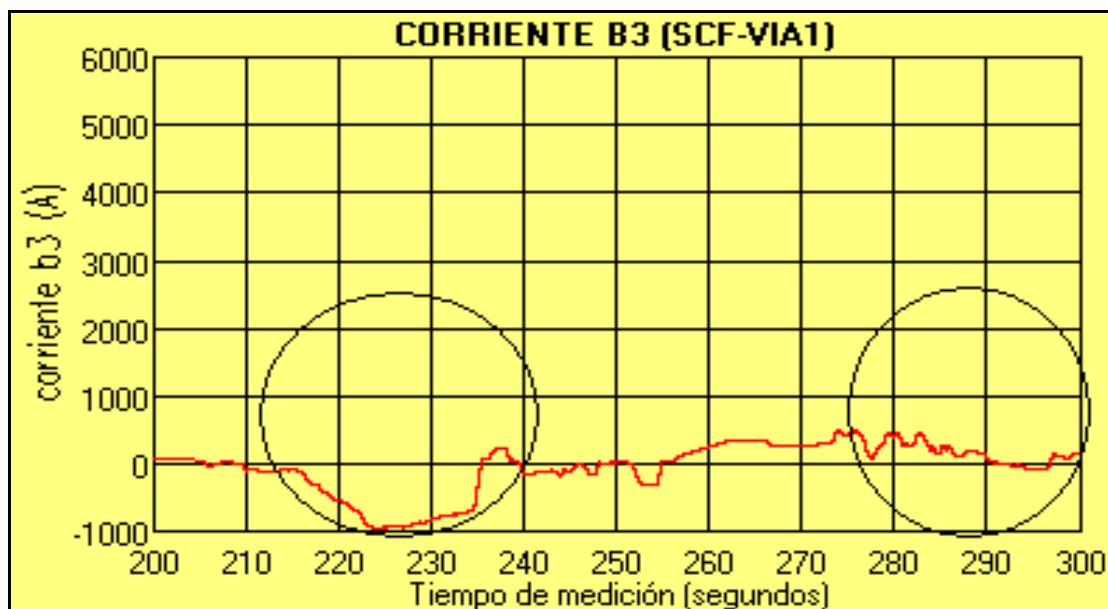


Figura 4.23 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B3 en la S/E de tracción en la S/E de tracción La California (SCF) el 03/11/04 a las 11:59 hrs.

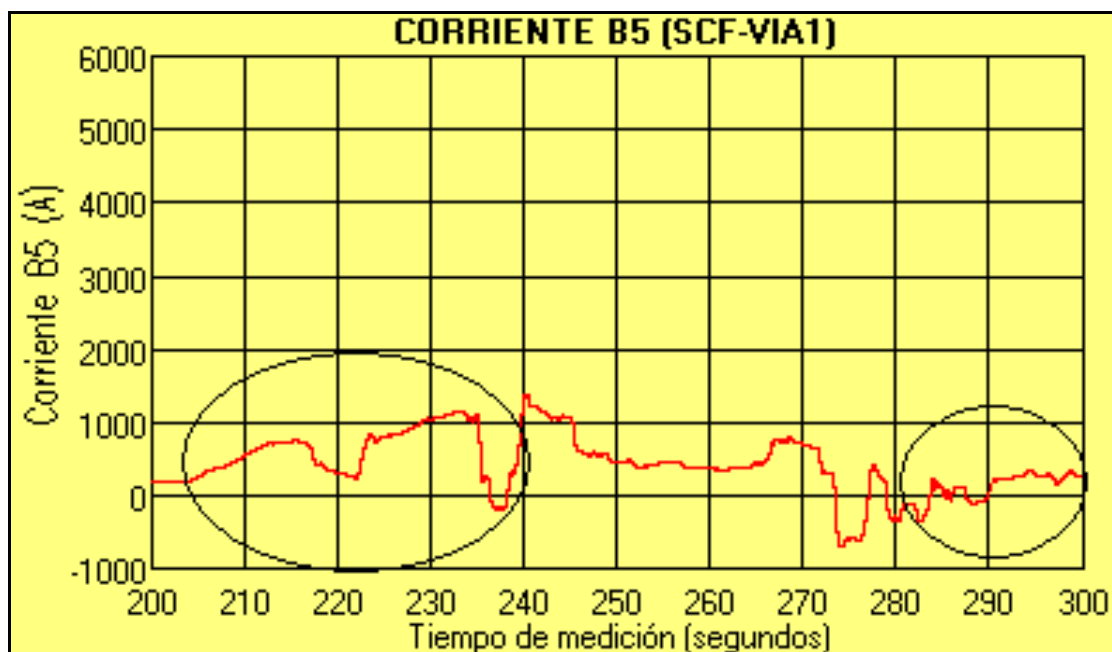


Figura 4.24 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B5 en la S/E de tracción en la S/E de tracción La California (SCF) el 03/11/04 a las 11:59 hrs.

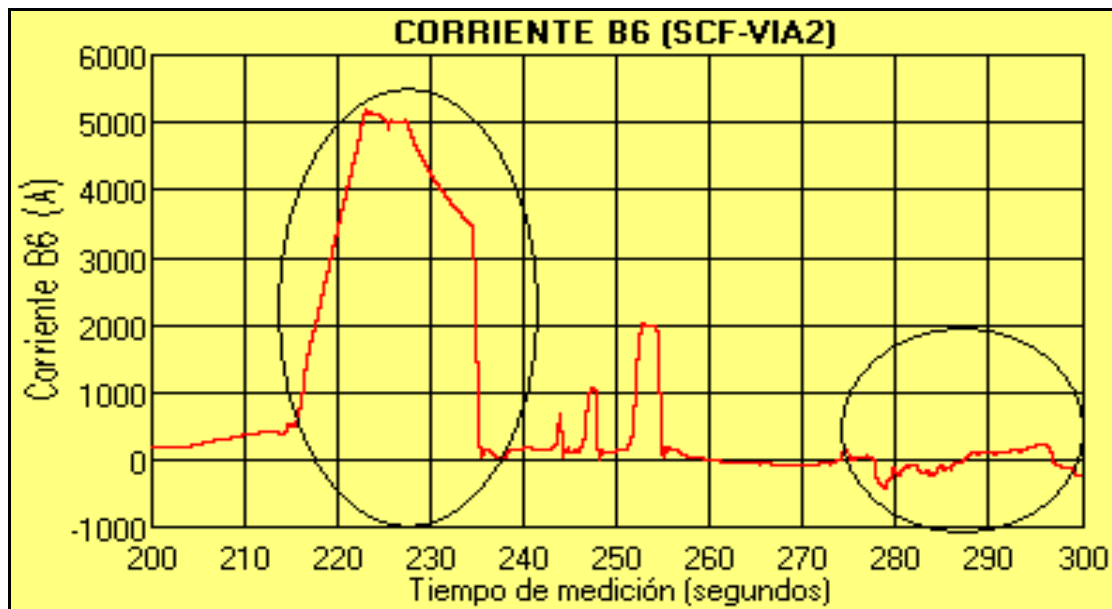


Figura 4.25 Corriente de tracción medida a través del disyuntor de vía B6 en la S/E de tracción en la S/E de tracción La California (SCF) el 03/11/04 a las 11:59 hrs.

En la sub-estación de tracción La California (SCF) se registró que el contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) ha tenido hasta la fecha 1323 operaciones, con un tiempo de duración de aproximadamente tres (3) minutos cada operación, con lo que la cantidad de material degradado correspondiente será:

$$73,14 A \times \left(\frac{10kg}{1A \times Año} \right) \times (1323oper) \times \left(\frac{3min}{oper} \right) \times \left(\frac{Año}{394200min} \right) = 7,36kg / mensual$$

La cantidad estimada de material corroído en función del número de operaciones del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) es de 7,36 kilogramos de hierro mensual, lo que implica que para un año se tendría 88,37 kilogramos de hierro que se esta degradando, este valor esta muy por arriba de la cantidad de hierro que se pierde por la circulación de un amperio de corriente continua.

CAPÍTULO V

ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA INSTALACIÓN DE UN CONDUCTOR DE ALUMINIO PARA LA LÍNEA 1 Y LÍNEA 3 DE LA C.A. METRO DE CARACAS.

5.1 Escogencia del aluminio como alternativa ante el problema planteado.

El aluminio es uno de los materiales existente que más resisten los efectos de la corrosión. La fina capa de óxido que se forma sobre el aluminio le provee de una larga vida y además de ser necesario un mínimo mantenimiento cuando se usa este material en la industria eléctrica en general.

5.2 Estudio técnico.

Al hacer el estudio técnico sobre la necesidad de la instalación de un conductor de aluminio, es conveniente analizar las consecuencias de las corrientes de fuga en las estructuras metálicas adyacentes a un sistema de transporte eléctrico urbano tipo Metro. Si una estructura metálica continua, esta inmersa en un medio electrolítico o enterrada en el suelo, las corrientes de fuga de cualquier instalación eléctrica cercana, puede fluir a través de sectores mal aislado y circular por dichas estructuras. En los puntos por donde penetran las corrientes de fuga a la estructura el potencial eventualmente disminuiría, pudiendo de esta forma dar lugar a una especie de protección eléctrica total parcial. En aquellos lugares donde la corriente de fuga abandona la estructura inmersa, el potencial llegará a ser más positivo y podrán ocurrir daños severos por corrosión. En un sistema eléctrico de transporte por rieles (con una tubería enterrada adyacente) o con cables (en las cercanías), con el pase de trenes a intervalos regulares, ocurren rápidas variaciones de corriente y potenciales a lo largo del tramo en el que se mueve el tren. Principalmente la corrosión tendrá lugar en aquellos puntos cercanos a las sub-estaciones de tracción o cerca de los alimentadores en donde las corrientes de fuga abandonan la estructura metálica o retornan a la barra negativa de las sub-estaciones de tracción.

La trascendencia que se le otorga a estas corrientes de fuga es debida a los daños que ocasionan. Cuando una corriente de fuga, vaga de manera aleatoria por el suelo, entre en contacto con una estructura metálica y penetra en ella, debido a que le ofrece una menor resistencia a su paso que la ofrecida por el suelo circundante; para encontrar otros caminos más fáciles para el retorno de la corriente a la sub-estación.

El área de salida de las corrientes de fuga sufre un proceso llamado corrosión por electrolisis; si el área de salida es suficientemente grande, el efecto producido sobre la estructura será una disminución uniforme del espesor metálico, que estará en relación directa con la cantidad de la corriente. No sucederá lo mismo si el área es pequeña, en este caso se producirá una perforación de la estructura ocasionada por una elevada densidad de corriente fenómeno conocido como picadura. La picadura es un tipo de corrosión localizada de considerable riesgo por cuanto entraña un daño severo a corto plazo.

5.3 Análisis para el caso del sistema sin la colocación del conductor de aluminio (feeder negativo).

Para hacer el estudio técnico de este caso se trabajo tomo como base, el estudio técnico-económico para la instalación de un conductor de aluminio en la Línea 3, donde el valor de la tensión riel-suelo no debe sobrepasar de 75 V. Para un intervalo mayor de 260 ms y 150 V. En un intervalo menor de 260 ms que son los valores fijados por la norma francesa NF C 15-100 (ver Anexo 2.7), haciéndose énfasis de que este valor oscilará entre 50 V. (como mínimo) y 100 V (como máximo). Este valor es fijado tanto para la protección del personal de mantenimiento, como para los mismos usuarios; ya que la magnitud de esta tensión es susceptible de afectar peligrosamente al ser humano.

Para este caso se hicieron los cálculos de las corrientes de fuga y las tensiones riel-suelo, obteniéndose valores de tensiones bastantes críticos, que sobrepasan en algunos instantes los 100 V. Como resultados de hacer el barrido cada 5 segundos del recorrido de los trenes en la línea con un headway de 120 segundos, encontramos que para 10 instantes de tiempo se superan los valores establecidos por la norma Francesa NF C15-100, ver Anexo 5.1.

Estos resultados nos llevan a justificar la necesidad de instalar el conductor de aluminio (feeder negativo), es importante hacer notar que este estudio esta hecho para el año de diseño (2010), el cual se supone que el sistema operará a su máxima capacidad con 9 trenes en vía.

5.4 Análisis para el caso del sistema con la colocación del conductor de aluminio (feeder negativo).

Este caso, el cual corresponde a la instalación del sistema feeder negativo, se deben respetar los valores de tensión establecidos por la norma NF C 15-100 (ver Anexo 2.7), de modo de garantizar que bajo la operación normal del sistema, no serán superados los valores de ajuste de seguridad. De manera similar, se calculan las corrientes de fuga así como las tensiones riel-suelo, en donde se encuentran que en ningún momento esta tensión llega a sobrepasar los valores de tensión recomendada por la norma francesa NF C 15-100, ver Anexo 5.2

5.5 Especificaciones del conductor de aluminio.

El conductor de aluminio tiene como finalidad disminuir la resistencia eléctrica de los rieles de rodamiento, los cuales sirven de retorno a la corriente de tracción. Este conductor estaría constituido por barras de aluminio de una sección transversal mínima de 2000 mm^2 y 12 metros de longitud cada una, la cual estaría empalmada a las conexiones inductivas de las vías, por medio de derivaciones constituida ya sea por medio de cables o barras. Esas barras en derivación hacia las conexiones inductivas deben sellarse y protegerse contra el medio ambiente.

Estas barras serán ensambladas entre ellas, una tras otras mediante soldaduras aluminotermia y estarán soportadas y aisladas cada 3 metros en las paredes de las vías. El conductor de aluminio estará constituido por barras adecuadamente aisladas de tierra y diseñada para operar dentro del sistema de distribución de energía. Este conductor estará conformada por:

- ❖ Un conductor eléctrico constituido por cables flexibles aislados, con un sección conductora de 500 MCM o barras de aluminio o cobre flexible.
- ❖ Aisladores y grapas aislantes.
- ❖ Juntas de dilatación: elemento que va colocado cada 300 metros aproximadamente, que permite compensar los movimientos de elongación y contracción de las barras originadas por la variación brusca de temperatura. Esta constituido por 3 tres cables de cobre flexible, que van soldados a la barra de aluminio.
- ❖ Todos los accesorios para una instalación completa y operable, tales como, pernos, tuercas, cubiertas, barras con aislante, conectores normales y especiales, anclajes, etc.

5.6 Costo vs. ahorro de la instalación del conductor de aluminio.

Dentro de lo que enmarca el estudio económico hay que considerar que los gastos que esta instalación producirá en relación al posible ahorro que ocasionará, tomando como base los precios establecidos del contrato N° 138 del 12 de Diciembre del año 1986 Línea 2 del Metro de Caracas. El cual implicó un costo de 8.387.983, FRF (1.673.402,61 \$) y 10.549.447 Bs. para dicha fecha.

5.7 Consideraciones tomadas en el estudio económico.

- ❖ Un franco francés (FRF) es equivalente a 0,15 euro (EUR)
- ❖ Un euro (EUR) es equivalente a 1,33 dólares (\$)
- ❖ Un dólar (\$) es equivalente a 2150 bolívares (Bs.)
- ❖ Costo estimado de una hora obrero es de 3125 Bs.
- ❖ Costo estimado de una hora capataz es de 5208 Bs.

- ❖ Un día laboral del sistema Metro es de 18 hrs.
- ❖ El costo de un kilogramo de hierro es de 0,80 \$/kg (ver Anexo 5.3).

5.8 Costo de la inversión.

Los costo de inversión que hoy día acarrea la instalación de este conductor son

5.8.1 Estudio detallado.

El estudio detallado, cuyo costo estimado será el 14,90 % del costo de la instalación del conductor de aluminio en la Línea 2 (**1.673.402, 61 \$**), lo cual corresponde a **249.336,969 \$**. El 14,90 % corresponde a un 13 % de actualización y un 1,90% del estudio, método utilizado por el persona de proyecto de la empresa CAMETRO (Ver Anexo 5.5)

5.8.2 Suministro de materiales importados.

El suministro de los materiales importados corresponde a: Barras de cobre flexible, Juntas de dilatación, aisladores de soportes, cubiertas aislantes, empalmes bimetal y grasa de contacto. Cuyo costo estimado será de **30.255,57 \$/km** [14].

5.8.3 Suministro de materiales nacionales.

El suministro de los materiales nacionales corresponde a: Barras de aluminio, accesorios de montaje, transporte de material, soportes de acero galvanizado. Cuyo costo estimado será de **43.508,16 \$/km** [14].

5.8.4 Instalación.

Para la instalación se debe contratar los servicios de una empresa que haga los trabajos de conexión y traslado de los equipos a los talleres del Metro. Para este trabajo se estima una cuadrilla de un mínimo de 50 personas, con una producción de 300, metros por noche, vehículos de carga para transportar los materiales y debe estar equipado con todos las herramientas apropiadas.

5.9 Costo estimado de la instalación del conductor de aluminio Línea 3.

Se debe saber que el conductor de aluminio estará por ambas vías es decir que para la Línea 3 se requiere 10 km de conductor de aluminio, ya que Línea 3 posee 5 km de longitud.

Tabla 5.1 Costo de instalación en la Línea 3 tramo “Plaza Venezuela-El Valle”.

Descripción	cálculos	Total (\$)
Estudio detallado	$0.1490 * 1.673.402,61 \$$	249.336,99
Materiales importado	$10\text{km} * 43.508,16 \$/\text{km}$	435.081,60
Materiales nacionales	$10\text{km} * 30.255,57 \$/\text{km}$	302.555,70
Instalación	$3125 * 13600 \text{ horas obrero}$	19.767,44
	$5208 * 544 \text{ horas capataz}$	1317,75

Costo estimado de la instalación del conductor de aluminio Línea 3: **1.008.059,48 \$**

5.10 Costo estimado de la instalación del conductor de aluminio Línea 1.

Se debe saber que el conductor de aluminio estará por ambas vías es decir que para la Línea 1 se requiere 42 km de conductor de aluminio, ya que la línea 2 posee 21 km de longitud.

Tabla 5.2 Costo de instalación en la Línea 1 tramo “La Adjuntas-El Silencio”.

Descripción	cálculos	Total (\$)
Estudio detallado	$0.1490 * 1.673.402,61 \$$	249.336,99
Materiales importado	$42\text{km} * 43.508,16 \$/\text{km}$	1.827.342,72
Materiales nacionales	$42\text{km} * 30.255,57 \$/\text{km}$	1.270.733,94
Instalación	$3125 * 56.000 \text{ horas obrero}$	81.395,35
	$2240 * 2.240 \text{ horas capataz}$	5426,01

Costo estimado de la instalación del conductor de aluminio Línea 1: **3.184.898,02 \$**

El costo total de la inversión será de **4.192.957,50 \$**.

5.11 Corriente ahorrada.

Con la colocación del conductor de aluminio se producirá un ahorro de **1131,9293 mA** por cada ciclo de 120 segundo, dato tomada como referencia del estudio técnico-económico para la instalación de un conductor de aluminio en la Línea 3, con este valor se puede calcular el ahorro de corriente en un año. Ya que se conoce el dato de que un Ampere de corriente continua en un año consume 10 kilogramos de hierro [14].

Por tanto se busca el ahorro promedio producido en un día laboral.

$$ADC = 1131,9293 \left(\frac{mA}{120s} \right) * 3600 \left(\frac{s}{h} \right) * 18 \left(\frac{h}{diaria} \right) \text{ Ecuación 5.1}$$

$$ADC = 611,24 \left(\frac{A}{diaria} \right) \text{ Ecuación 5.2}$$

ADC = ahorro diario de corriente.

Luego se determina el ahorro de corriente en un año, donde se toma en cuenta que habrá días en que el sistema trabaje a máxima carga (250 días del año) como otros días en el que el sistema trabajara a media carga (115 días), esto correspondiente a los fines de semanas.

$$AAC = 611,24 * \left(\frac{A}{diaria} \right) * 250 \left(\frac{diaria}{Año} \right) + 611,24 * \left(\frac{A}{diaria} \right) * 0.5 * 115 \left(\frac{diaria}{Año} \right)$$

Ecuación 5.3

$$AAC = 187.956,08 \left(\frac{A}{Año} \right) \text{ Ecuación 5.4}$$

AAC = ahorro anual de corriente.

Se conoce como dato que 1 Ampere de corriente continua en un año se consume 10 kg de hierro, por tanto se tendría **1.879.560,81 kg/Año.**

Considerando que el costo de un kilogramo de hierro es de **0,80 \$/kg** se obtiene que **1.879.567,56 kg/Año** de hierro valdrá **1.503.654,04 \$/Año**.

5.12 Tiempo de recuperación de la inversión.

Para estimar en cuanto tiempo se recuperaría la inversión se suma lo gastado y se divide entre lo ahorrado:

Inversión: **4.192.57,50 \$**

Ahorrado: **1.503.654,04 \$/Año**.

$$Tiempo = \frac{4.192.957,50\$}{1.503.654,04\$ / Año} = 2,79 Años \text{ Ecuación 5.5}$$

También es importante hacer notar, que en estos cálculos, no se han incluidos los daños que se pudiera ocasionar en las obras civiles por concepto de corrosión.

5.13 Ventajas y desventajas de la instalación de un conductor de aluminio.

5.13.1 Ventajas.

❖ Disminución de los potenciales riel-suelo en un promedio aproximado del 39,44 % (ver Anexo 5.2), lo cual permitirá minimizar los riesgo de seguridad para los pasajeros y el personal del Metro, así como mejorar el funcionamiento de todos los dispositivos y eles utilizados para la detección y el despeje de fallas, ya que estos están diseñado para un nivel de tensión fijado por la norma francesa NF C 15-100 (ver Anexo 2.7), los cuales ante cualquier subida de tensión repentina actuarían provocando la puesta a tierra del sector afectado [14].

Disminución de la magnitudes de las corrientes de fuga en un promedio aproximado de 41,5 % lo cual permitirá minimizar los efectos de corrosión electrolítica sobre las instalaciones del Metro [14].

5.13.2 Desventajas.

- ❖ A través de los análisis que se realizaron las desventajas de las instalaciones son casi despreciable, exceptuando la incomodidad que pudiera traer para obras civiles el hecho de su instalación.
- ❖ El aluminio es un elemento que resiste al proceso corrosivo, pero su costo varia en función del tiempo.

CONCLUSIONES

- ❖ El comportamiento de la curva de corriente de fuga de tipo DC medida con el equipo digital a través del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) con respecto a las seis sub-estaciones de tracción que se midieron en este estudio, sufren de variaciones significativas de magnitud debido a la influencia de los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6) cuando suministran corrientes a los trenes que circulan por las vías.
- ❖ La forma de la curva de corriente de fuga en el instante de tiempo que ocurre un aumento de magnitud significativo de dicha corriente de fuga, es semejante o igual a la curva de corriente de algún disyuntor de vía (B3,B4,B5,B6), por lo que se puede precisar que en el circuito de vía asociado al disyuntor de vía hay pérdidas de corriente, por lo que dicho circuito debe ser inspeccionado para corregir dicha fuga.
- ❖ En las sub-estación de tracción Propatria (SPP) y La California (SCF) presentan valores medidos de corrientes superiores a 70 Ampére cuando los disyuntores suministran corriente a los trenes.
- ❖ En las zonas de maniobra (aparatos de vía) cercanas a las sub-estaciones de tracción medidas, existe una degradación de los durmientes de madera, debido al tiempo de uso, esfuerzo debido al tránsito de los trenes, filtraciones de agua y a la contaminación ambiental, que reducen aún más la resistencia de aislamiento riel-suelo en dichos puntos, siendo las principales áreas críticas por pérdidas de corrientes.

RECOMENDACIONES

- ❖ Una dificultad que tuvo el presente estudio radicó en la complejidad de obtener los valores de tensión en los disyuntores de vía y de tramo a través de las conexiones del relé 150 asociado a cada disyuntor, lo cual limitó el tiempo de autorización para realizar las mediciones, es por ello que resulta beneficioso realizar las mediciones futuras mediante una caja de prueba colocada en los sitios donde está ubicado el relé 150, lo cual permitirá que las conexiones sean mas rápidas y seguras.
- ❖ Realizar mediciones sistemáticas de la resistencia de aislamiento riel-suelo, en los tramos con evidencia de contaminación o de alta humedad, en especial en las zonas de maniobras (aparatos de vía). La finalidad de esta medición es verificar que los valores estén por debajo de a los establecidos en este estudio. La metodología para estas mediciones se presentan en el Anexo 2.5.
- ❖ Se debe reducir el número de muestras por segundo tomadas a través del equipo digital para poder tener una data con mayor posibilidad de manipulación. Además de realizar mediciones de corrientes de fuga en dos sub-estaciones de tracción al mismo tiempo por un período de un día completo. Las mediciones en ambas sub-estaciones permitirá saber qué corriente suministra los disyuntores de vía a los trenes, valor que será utilizado en las simulaciones a través del programa Matlab.
- ❖ Verificar las conexiones a nivel de juntas de dilatación, conductores de 500 MCM a los rieles, conductores en las cajas inductivas, esto es para verificar el estado del conductor y que no este en contacto directo con el suelo, esto se debe realizar para la áreas criticas por corrientes de fuga indicada en cada sub-estacionen de tracción en este estudio.
- ❖ Continuar con las mediciones de corrientes de fuga a través del Snap Master realizando mediciones de un día completo en todas las sub-estaciones de tracción, para luego a través del programa Mathcad realizar un estudio probabilístico de la data obtenida y poder establecer niveles de afectación en función de las mediciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bisquerra, Raúl. Métodos de Investigación Educativa., (Libro).-- Barcelona. España, 1989.
- [2] Camacho, José. Plan para el control de las Corrientes de Fuga DC en viaductos de la C.A. Metro de Caracas, (Tesis).-- Caracas: Universidad de Oriente, Febrero de 1998.
- [3] CAMETRO. Electrificación para Tracción. Metro de Caracas.
- [4] D.M. Walter, B.C. Stauffer. Corrosion control considerations of the Metro Rail Project in Los Angeles. Corrosion 84. Paper N 160.
- [5] Goldin, John. Protección catódica, (Libro).-- Caracas: Venezuela, Mayo de 1989.
- [6] Gómez, Nilsen. Análisis y propuesta de solución para las fallas por corrosión en la vía férrea del tramo Petare-Palo Verde de la Línea 1 Metro de Caracas. (Tesis).-- Caracas: Universidad de Nueva Esparta, Mayo de 1999.
- [7] González, Milagros. Métodos básico de mediciones para el estudio y seguimiento del fenómeno de corriente de fuga. (Tesis).-- Caracas: Universidad de Simón Bolívar, Noviembre 1988.
- [8] Hocquet, René. Courants Vagabonds: Corrosion et Moyens de Protection. Societé Nationale des Chemins de Fer Francais. Tomo 89. N°1.1980.
- [9] INVEDI/USB. Corrosión por corrientes de fuga. Seminario N°2. CAMETRO. (Libro).—Caracas: Venezuela, Agosto de 1986.
- [10] Norma Francesa NF C15-100. Tensión máxima aguantable por el hombre. AFNOR.
- [11] Norma Alemana VDE 115/365. Tensión máxima aguantable por el hombre.

- [12] Jaime C. Oscar H. Estudio de la factibilidad de instalación de un conductor de aluminio en paralelo con los rieles de rodamiento para la Línea 1 Propatrias-Palo Verde. Caracas. , (Tesis).-- Caracas: Universidad de Simón Bolívar, Marzo 1986.
- [13] Ramírez, Tulio. Como hacer un proyecto de investigación., (Libro).-- Caracas: Venezuela.. Ed. Panapo, 1999.
- [14] Rincón G., Rodney R. Estudio de la instalación de un conductor de aluminio en la Línea 3. Caracas, (Tesis).--Caracas: Universidad de Simón Bolívar, Junio 1992.
- [15] Scully, John. Fundamento de la corrosión. (Libro).-- México. Ed. Alambra, 1981.
- [16] Romero, Luis. Manual de Básico de Electrificación de Tracción., (Libro).— Caracas: Venezuela, 1984.
- [17] SOFRETU/SECCO. Estudio y Riesgo Eléctrico para las personas y equipos; Análisis de los problemas de corrosión. CAMETRO. (Libro).-- Caracas: Venezuela, Noviembre de 1982.
- [18] THE HICHMAN COMPANY. Control de Corrientes Vagabundas para el sistema de Transito del Metro de Caracas, Propatria a Palo Verde (Línea-Oeste). Detroit. CAMETRO. (Libro). Caracas: Venezuela, Julio de 1980.
- [19] U.P.E.L. Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. (Libro).-- Barquisimeto: Venezuela, 1998.
- [20] Uhling, Herget. Corrosión y Control de Corrosión. (Libro). -- Bilbao: España. Ed. Urmo, 1992.
- [21] West, John. Corrosión y Oxidación. (Libro).-Barcelona: España, 1995.

BIBLIOGRAFÍAS

- [1] Alguero, María. Medidas de corrosión de metales en medio acuosos por el método de impedancia. (Tesis).Caracas: Universidad de Oriente, 1982.
- [2] British Corrosion Journal.
The Institute of Material. Londres, Inglaterra.
<http://www.instmat.co.uk/publctns/contentp.htm>. Noviembre del 2004.
- [3] Corrosion. National association of Corrosion Engineers (NACE), Houston, USA.
<http://www.nace.org/pubs.com>. Noviembre del 2004
- [4] Corrosion Science
Elsevier Science Inc. Tarrytown, NY, USA.
<http://www.elsevier.nl/inca/publications.htm>. Noviembre del 2004
- [5] Covenin. Codelectra. Código Eléctrico Nacional. Caracas: Venezuela, 1999.
- [6] Diamant, Eugen. The Prevention of Corrosion. Madrid: España. Ed. Barcelona, 1998.
- [7] Fink, Donald y Beaty, Wayne. Manual de Ingeniería Eléctrica, 13era Ed . México. Tomo I, 1996.
- [8] González, Leonardo y Figuera, John.. Análisis de los factores que inciden en la corrosión de los elementos de la vía férrea de la Línea 2 de la C. A. Metro de Caracas.(Tesis).—Caracas: Universidad de Nueva Esparta, Julio de 1999.
- [9] González, Alexander. Manual de anticorrosión. España: Barcelona, 1192.
- [10] Journal of Corrosion science and engineering.
UMIT/Corrosion and protection Centre. Edition “On line”.
<http://www.cp.umat.ac.uk/JCSE/>. Noviembre del 2004.
- [11] John, Morgan. Cathodic Protection, Londres: Paris. Ed. Leornad hill, 1959.

- [12] John, Harson. Corrosion of Iron and Steel. Chapman. Londres: Paris, 1940.
- [13] Iruneta, Jesús. Estudio del comportamiento al desgaste de acero especiales fabricados en Venezuela. (Tesis).-- Universidad Central de Venezuela, 2002.
- [14] INVEDI/USB. Estudio y diagnostico de la corrosión de Corrientes de Fuga y otras Fluctuaciones. Contrato 1998. CAMETRO. Caracas: Venezuela, Febrero de 1982.
- [15] INVEDI/USB. Corrosión atmosférica. Seminario N°1. CAMETRO. Caracas: Venezuela, Agosto de 1986.
- [16] Linares, David. Determinar un procedimiento de evaluación del estado del análisis en la red eléctrica de la C. A. Metro de Caracas. (Tesis).-- Caracas: Universidad de Oriente, 1995.
- [17] Normas DIN 50900. Corrosión de los metales, conceptos.
- [18] Normas IEC-479. Effects of current passing through the human body.
- [19] Normas STD IEEE 80-2000. Guide for safely in AC Substation Grounding.
- [20] Normas STD IEEE 81-1983. Guide for measuring eath resistivity, ground impedance, and eath surface potentials of a ground system.
- [21] Normas VDE-115/3.65. Regulations for electric railways.
- [22] Rabald, Erid. Guía de Corrosión. México. Ed. Palma, 1985.
- [23] Rodríguez, Roger. Evaluación Teórica-Practica de la distorsión armónica en el sistema de Electrificación para Tracción de la Línea 1de la C. A. Metro de Caracas. (Tesis).-- Caracas: Universidad Simón Bolívar, Diciembre de 2003
- [24] Speller, Frank. Corrosion , causes an prevetion.3ra ed. Ed. McGraw Hill, 1951.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aisladores: son elementos de la vía férrea sobre los cuales se colocan los rieles para mantener la continuidad de la circulación de la corriente en el mismo, así como evitar las Corrientes de Fuga.

Ánodos de sacrificio: son metales cuyo potencial de oxidación es mayor que la estructura o elemento metálico que se desea proteger, su consumo es directamente proporcional a la corriente de protección que emite.

Ánodos inertes: son metales capaces de generar grandes cantidades de corrientes de protección y su consumo no es directamente proporcional a la corriente de protección que emite.

Balasto: piedra picada usada como suelo soporte de las vías férreas, utilizado para la mantener las vías alineadas y niveladas.

Caja de pruebas: es donde se alojan los “Shunts” y los puntos de conexión para la medición de corrientes en las estructuras “Ia”.

Caja inductiva: son las que contienen los transformadores de emisión y recepción de los circuitos de vías, y además permiten el paso de corriente de retorno negativo entre secciones de vías aisladas.

Cama de ánodos: consiste en la instalación de un conjunto de ánodos colocado verticalmente a la profundidad y diámetro requerido por el diseño, estas pueden ser utilizadas en pozo abierto o cerrado.

zonas de maniobra (aparatos de vía): es el conjunto de elementos de vía que permite al tren cambiar de una vía a otra, en este trabajo el término es usado como zona de maniobra.

Circuitos de vías: son circuitos eléctricos utilizados para determinar el número de trenes en circulación y el distanciamiento entre ellos en un momento determinado, su principio consiste en determinar la ocupación o desocupación de trenes en una sección de vía.

Contactor de puesta a tierra del negativo (CTN): sistema de protección asociados a los rieles de rodamiento (retorno negativo) que tiene como función: limitar los potenciales riel-suelo a valores seguros para usuarios y personal de la empresa y detectar y despejar falla de positivo a tierra a través de los dispositivos de protección asociados a los disyuntores de vía.

Corriente: paso de partículas cargadas o iones a través de un conductor.

Corriente de tracción: es la corriente que alimenta a los trenes para su tracción y energizar los servicios auxiliares que contiene el mismo, esto se realiza a través de los disyuntores de vía y de tramo de las sub-estaciones de tracción.

Cuarto riel (feeder negativo): es un conductor de aluminio adicional paralelo a los rieles de rodamiento para el retorno de la corriente negativa a las sub-estaciones de Tracción, en el Metro de Caracas la constituye una barra de aluminio colocada en la **Línea 2** solamente.

Corrosión: es un fenómeno natural donde ocurre la interacción de un metal o aleación con el medio que lo rodea generando el deterioro total o parcial en sus propiedades, por una reacción química o electroquímica.

Disyuntor principal: es un interruptor de potencia cuya función es de proteger el tablero de 750 Vcc de distribución y el grupo transfo-rectificador.

Disyuntor de tramo: es un interruptor de potencia cuya función es la de alimentar y proteger tramo del Riel de Contacto.

Disyuntor de vía: es un interruptor de potencia cuya función es la de alimentar y proteger una sección del riel de contacto.

Disyuntor de sección: es un interruptor de potencia cuya función es la de enlazar dos secciones del riel de contacto.

Disyuntor de tramo de sección: es un interruptor de potencia cuya función es la de alimentar un tramo de sección entre dos secciones del riel de contacto.

Durmiente: sistema de fijación y apoyo que sirve para aislar los rieles de tierra, el cual puede ser de madera o concreto.

Juntas aislantes: elemento de la vía férrea utilizado para separar eléctricamente la secciones de vías que conforman un circuito de vía.

Junta de dilatación: elemento de la vía férrea que permite compensar la dilatación térmica del riel y se fija al mismo mediante soldadura, la continuidad eléctrica del riel se obtiene por intermedio de cables que puntean a dichas juntas.

Losa de vía: es una placa de concreto armado utilizando como suelo soporte de las vías en túneles y viaductos, en donde se empotra los durmientes.

Loseta: es una pequeña losa de concreto armado que cubre las canaletas de las pasarelas en las vías.

Protección anódica: es una técnica de protección contra la corrosión, la cual consiste en drenar una corriente eléctrica desde el metal hacia un elemento o conjunto de elementos exteriores de modo de oxidarlo superficialmente, formando una capa protectora de óxido natural que lo aísla de un medio corrosivo.

Protección catódica: es una técnica de protección contra corrosión que consiste en suministrar una corriente eléctrica desde un elemento o conjunto de elementos exteriores hacia un metal, de manera que su potencial de oxidación baja a la zona de inmunidad.

Riel de contacto (tercer riel): es elemento a través del cual se hace la distribución de energía eléctrica para la tracción de los trenes a lo largo de las vías.

Rieles de rodamiento (retorno negativo): son los que sirven de soporte y guía para la circulación de los trenes, además del retorno de corriente negativa a las sub-estaciones de tracción, estos rieles están flotante sin conexión a tierra, excepto en la condición de alta peligrosidad producto del aumento de potenciales riel-suelo, donde se realiza la conexión física de los rieles de rodamiento a la malla de puesta a tierra a través de un sistema de protección denominado contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

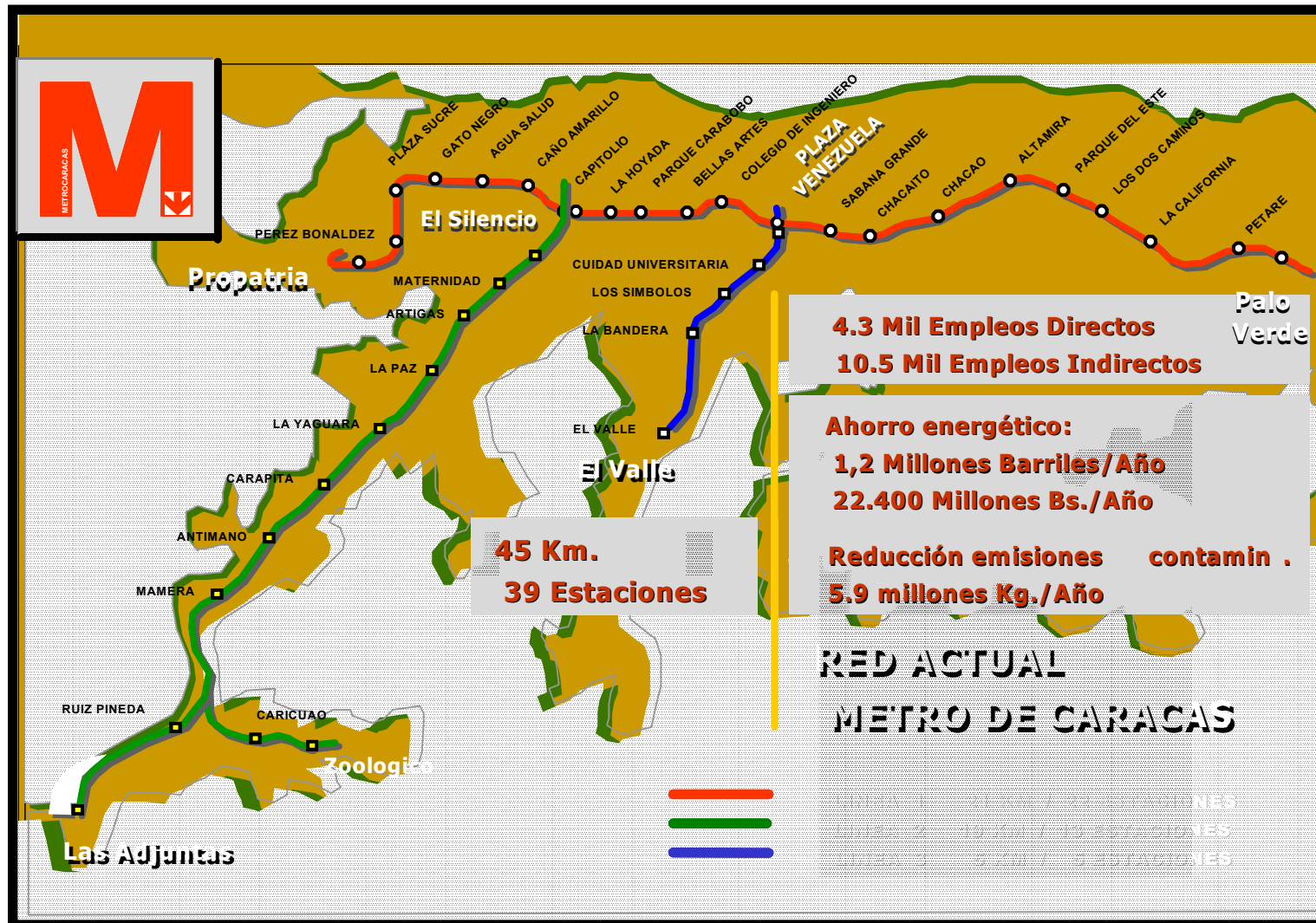
Red única de tierra (malla de puesta a tierra): es un sistema de aterramiento de equipos y estructuras de la empresa que tiene como finalidad garantizar la protección del sistema contra la ocurrencia de fallas eléctricas a tierra, además del control de las corrientes de fuga.

Snap master: software utilizado para procesamiento de datos.

Soldadura de aluminotermica: procedimiento para soldar conductores eléctricos a estructuras y/o tuberías metálicas, la cual consiste en la mezcla de pulverizada de óxido de hierro, aluminio y polvo de arranque, que se activa mediante una chispa, dentro de un molde.

ANEXOS

CAPÍTULO I



Anexo 1.1 Red actual de la C. A: Metro de Caracas



Anexo 1.2 Red para el 2010 de la C. A. Metro de Caracas.

ANEXOS

CAPÍTULO II

Anexo. 2.1 Sistema de electrificación para tracción de la C.A.Metro de Caracas.

SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN PARA TRACCIÓN DE LA C. A. METRO DE CARACAS.

Descripción general del sistema [16].

El sistema de electrificación para tracción de la C. A. Metro de Caracas cuyo diagrama unifilar se muestra en la Figura 2.1 se encuentra dividido en tres niveles de tensión: 69 kV, 30 kV y 750 Vcc, éste es el encargado del suministro de energía eléctrica para el consumo de los trenes.

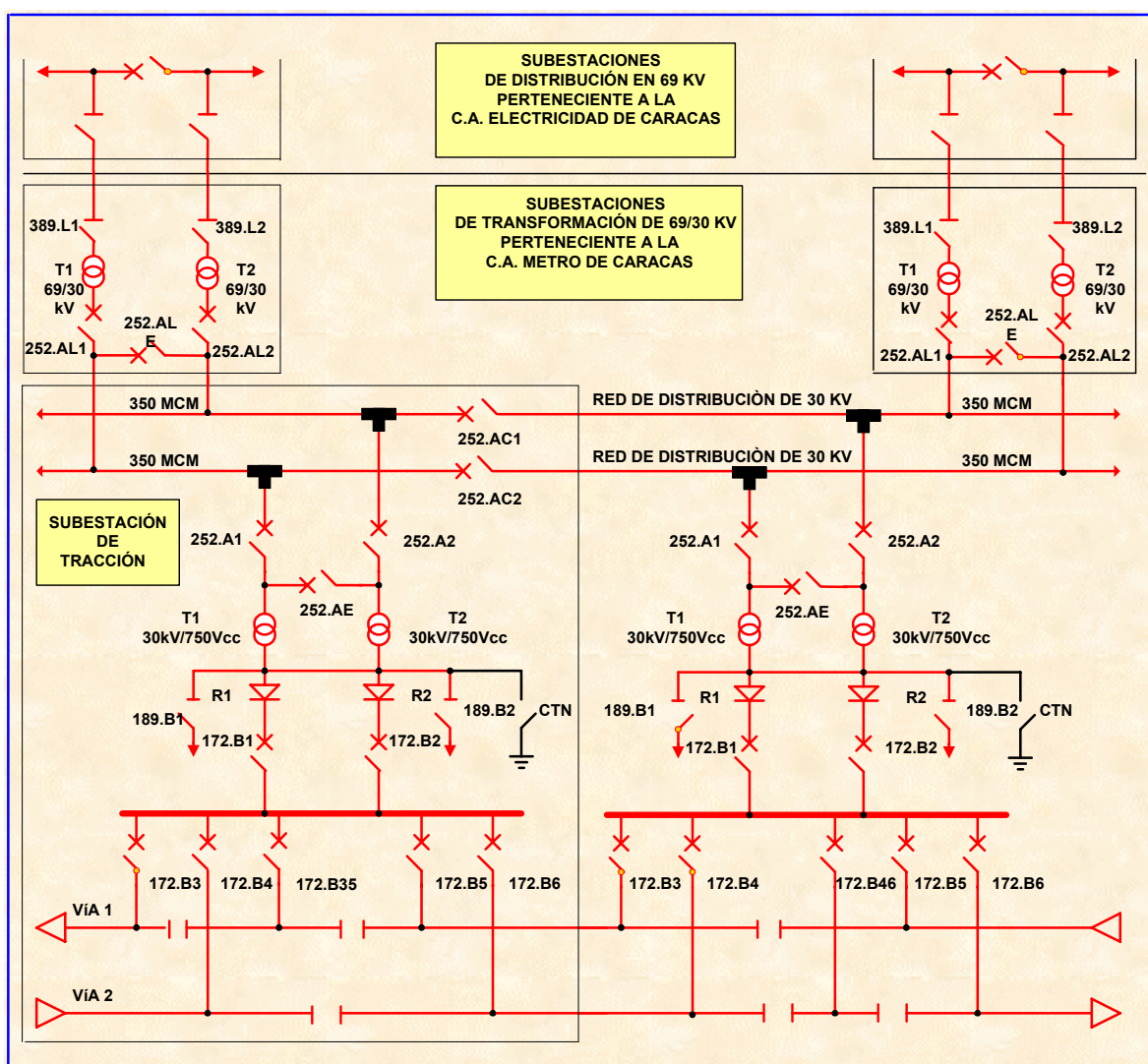


Figura 2.1 Red de distribución de energía eléctrica de la C. A. Metro de Caracas.

El sistema de electrificación para tracción de la C. A. Metro de Caracas recibe energía eléctrica de la C. A. La Electricidad de Caracas a un nivel de tensión de 69 kV, ésta es reducida en las sub-estaciones eléctricas principales de 69/30 kV a través de dos transformadores de potencia que normalmente operan en paralelo. Las sub-estaciones de tracción son las encargadas de transformar y rectificar los 30 kV convirtiéndolos en 750 Vcc, nivel de tensión que es aplicado al riel de contacto, esta transformación se realiza mediante un convertidor constituido por un transformador y un rectificador de potencia, denominado comúnmente grupo transfo-rectificador.

Con la finalidad de garantizar un servicio confiable y continuo, la red de distribución de energía en 30 kV está dividida en dos tramos independientes, alimentados por dos sub-estación eléctrica principal de 69/30 kV, estos tramos pueden estar unidos entre sí en condiciones de emergencia (pérdida de una sub-estación eléctrica principal) por dos disyuntores de enlace de arterias (AC1 y AC2) que operan normalmente abiertos (NA), por tanto en condiciones normales de operación cada sub-estación eléctrica principal de 69/30 kV alimenta un cierto número de las sub-estaciones de tracción de una línea completa.

Las sub-estaciones de tracción alimentan a una red de distribución de energía en 750 Vcc, constituida por el riel de contacto o tercer riel y los rieles de rodamiento. La toma de corriente de cada vagón del tren sobre el riel de contacto se realiza mediante zapatas colectoras situadas a ambos lados de cada vagón y el retorno de corriente se realiza a través de los rieles de rodamiento. El riel de contacto está dividido en secciones de vías y cada una de ellas está alimentada en sus extremos por dos sub-estaciones de tracción.

Criterio de diseño del sistema de electrificación para tracción.

La C. A. Metro de Caracas ha adoptado un diseño del sistema de electrificación para tracción que tiene como base fundamental mantener la continuidad en el servicio eléctrico, el cual contempla fallas totales y parciales. En caso de una falla total de una de las sub-estaciones eléctrica principales de 69/30 kV considerando los alimentadores de 30 kV energizados, se cierran los disyuntores de enlace de arterias (AC1 y AC2 ubicados en la sub-estación de tracción de Santa Rosa de la Línea 1 y la sub-estación de tracción Antímano de la Línea 2) y la otra sub-estación eléctrica principal de 69/30 kV es capaz de suministrar hasta un máximo de 60 % de la potencia total demandada por toda la línea. Si la falla ocurre sobre una línea de alimentación de 69 kV o en uno de los transformadores de potencia de 69/30 kV de una sub-estación eléctrica principal, esta misma sub-estación deberá ser capaz de suministrar el 100 % de la potencia demandada en operación normal.

En cambio si ocurre una falla total en una sub-estación de tracción, la red de distribución de energía en 30 kV y las sub-estaciones de tracción están diseñadas de tal manera que las sub-estaciones de tracción adyacentes a la fallada aporten cada una el 50 % de la potencia demandada por la sub-estación de tracción fallada, para esta contingencia y la anterior el sistema seguirá operando a plena carga.

Red de distribución de energía en 30 kV.

El sistema de electrificación para tracción de la C. A. Metro de Caracas esta conformado por dos instalaciones básicas: la red de distribución de energía en 30 kV de corriente alterna y la red de distribución de energía en 750 Vcc de corriente continua.

Las sub-estaciones eléctricas principales suministra energía eléctrica a la red de distribución de energía en 30 kV, la cual esta conformada por dos circuitos independientes trifásicos que son los encargados de alimentar a las sub-estaciones de tracción. Para la alimentación de la **Línea 1**, se posee dos sub-estaciones eléctricas principales ubicadas una en Catia y la otra en Los Cortijos (ver Figura 2.2), las cuales alimentan a quince (15) sub-estaciones de tracción a través de la red de distribución de energía en 30 kV.

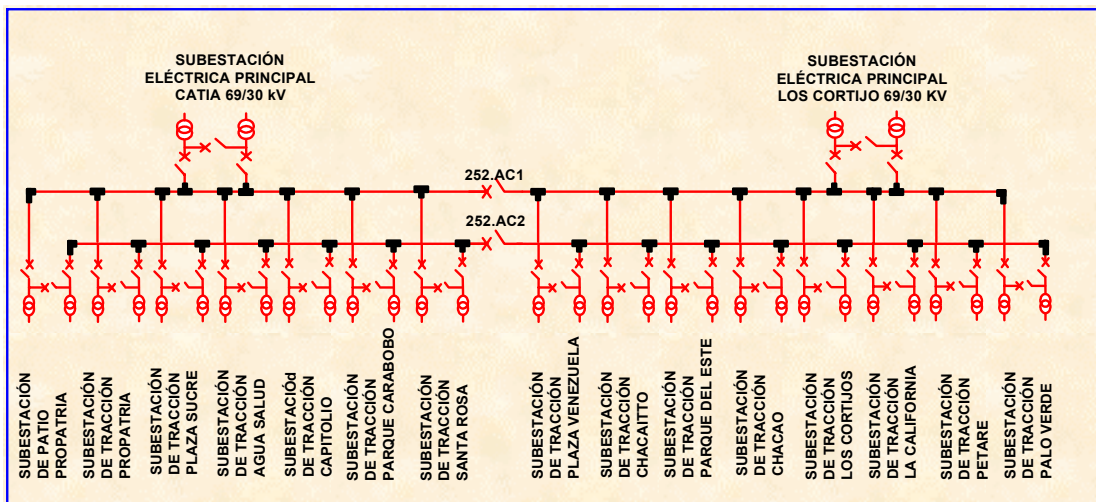


Figura 2.2 Sistema de electrificación para tracción de la Línea 1.

Para la alimentación de la **Línea 2**, también se posee otras dos sub-estaciones eléctricas principales ubicadas en Mamera y La Paz (ver Figura 2.3), las cuales alimentan a diez (10) sub-estaciones de tracción a través de la red de distribución e energía en 30 kV. La alimentación de la **Línea 3**, se toma de la sub-estación de tracción de Plaza Venezuela I (ver Figura 2.4), a través de una derivación en los alimentadores de 30 kV de la **Línea 1**, de manera que esta Línea depende directamente, tanto cargas (auxiliares) de las estaciones de pasajeros, como la tracción de la **Línea 1**. La **Línea 3** en condiciones de normal funcionamiento se alimenta de la sub-estación eléctrica principal Los Cortijos (ver Figura 2.4).

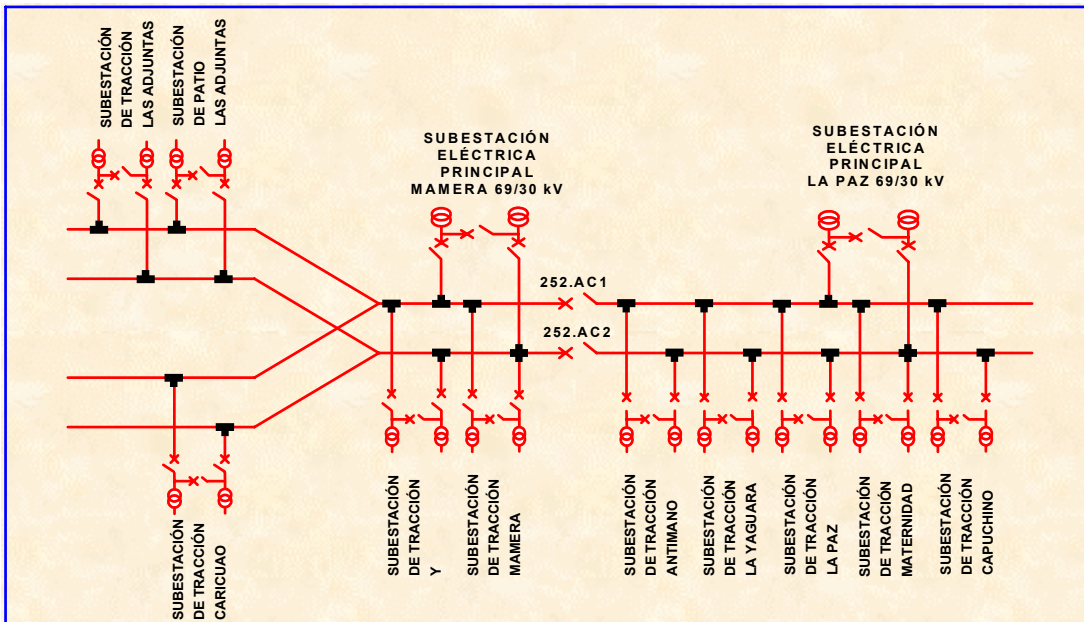


Figura 2.3 Sistema de electrificación para tracción de la Línea 2.

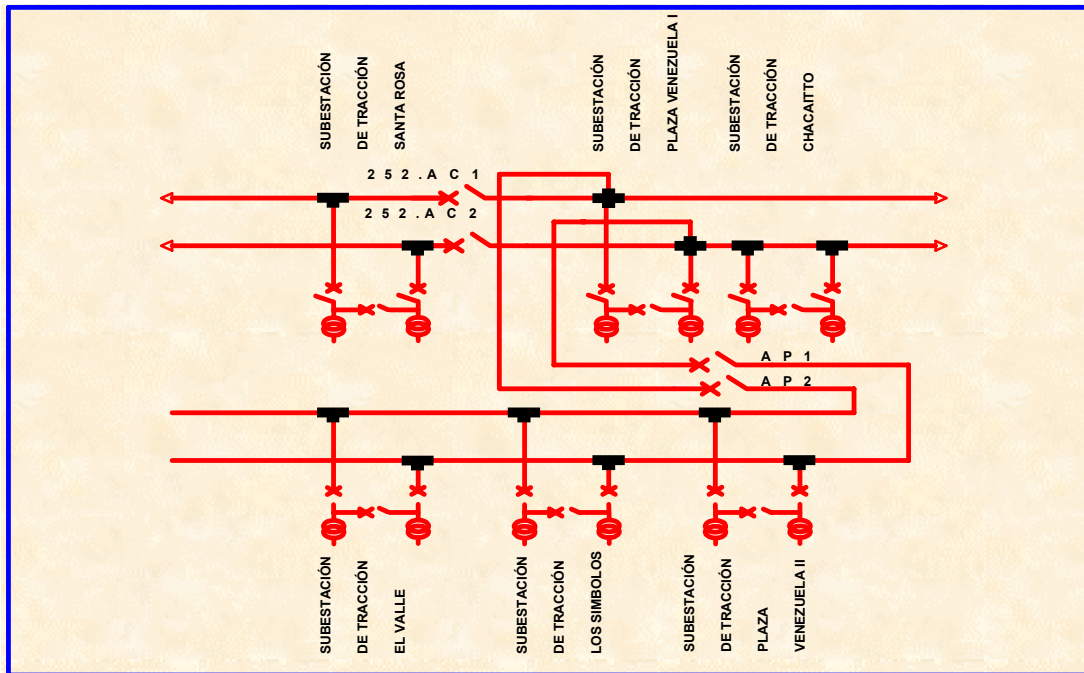


Figura 2.4 Sistema de electrificación para tracción de la Línea 3.

Etapa transfo-rectificadora.

Esta etapa se realiza en cada sub-estación de tracción de 30kV/750Vcc o transfo-rectificadora (ver Figura 2.5) que conforma las distintas Línea, está conformada por dos grupos transfo-rectificador con capacidad de 3,5 MW a 4,0 MW para la **Línea 1** y **Línea 2** las cuales contienen dos transformadores de potencia con dos arrollados en el primario y dos en el secundarios (conexión delta-delta, delta-estrella por cada transformador), la **Línea 3** está conformada por dos grupos transfo-rectificador con capacidad de 2,2 MW a 2,8 MW, donde cada transformador de potencia posee un arrollado primario y otro en el secundario (conexión delta-delta para un transformador y conexión delta-estrella para el otro transformador).

Los transformadores de cada grupo transfo-rectificador de la **Línea 1** y **Línea 2** contiene dos puentes de Graetz trifásico conectados en paralelo a través de una bobina de interfase, a la salida del rectificador se obtiene una señal de doce (12) pulso. Para la **Línea 3** se tiene un puente rectificador donde se obtiene a la salida una señal de seis (6) pulso, el grupo transfo-rectificador puede operar en tensiones hasta de 950 Vcc que puede operarse por trenes en regeneración (frenado).

Sin embargo la tensión normalizada es de 750 Vcc debido a la caída de tensión tanto del riel de contacto como de los rieles de rodamiento. A la salida de los rectificadores de potencia se encuentran los disyuntores principales de corriente continua (172.B1;172.B2, ver Figura 2.5) que conectan el grupo transfo-rectificador con la barra de 750 Vcc, de la cual se distribuye la alimentación de todas las secciones del riel de contacto a través de los disyuntores de vía y de tramo.

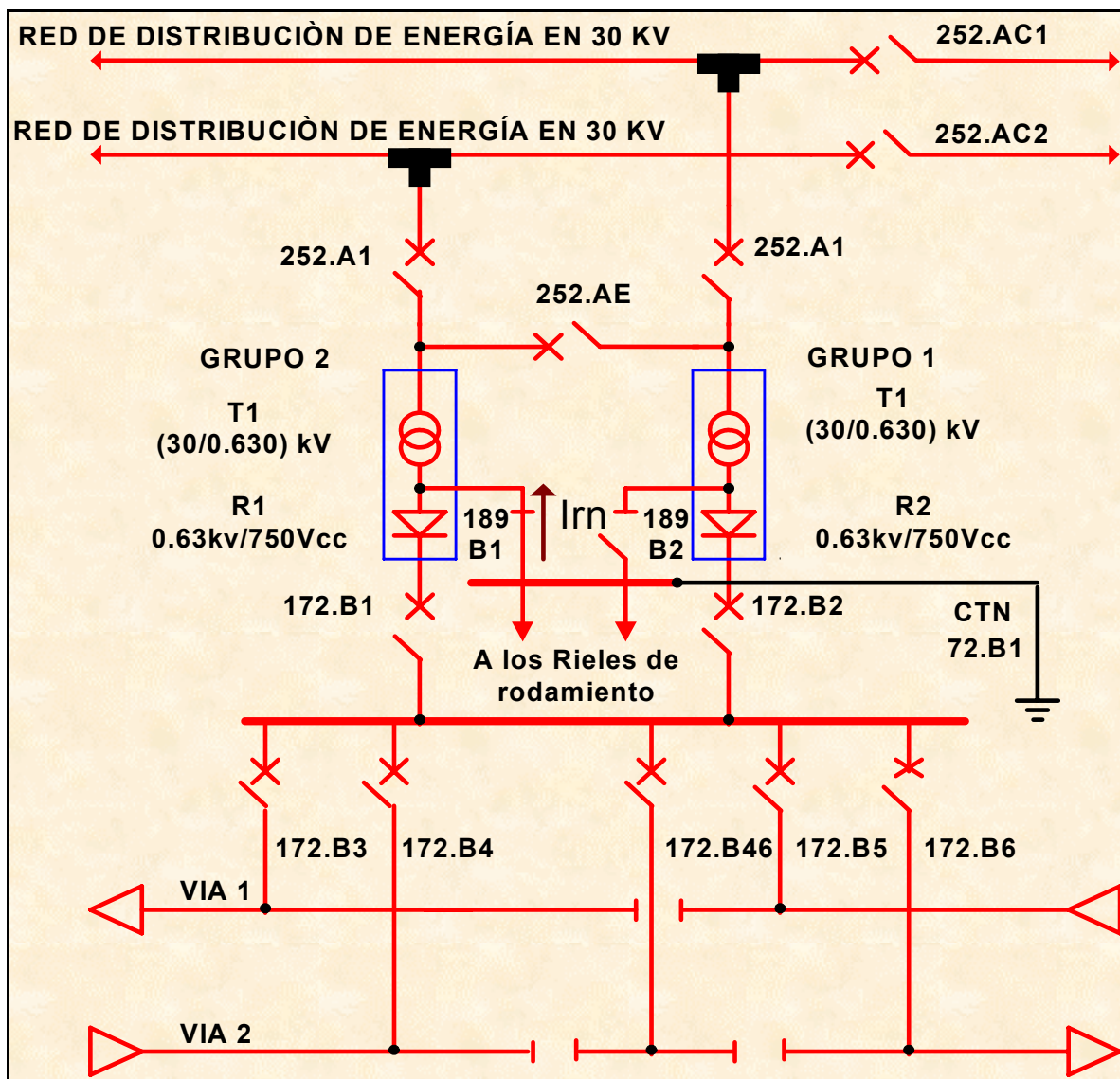


Figura 2.5 Diagrama unifilar de una sub-estación de tracción de 30kV/750Vcc.

Elementos de la red de distribución de energía en 750 Vcc [16].

Cable de 750 MCM rígido.

Son cables monópolares de cobre, rígido, cuyo aislamiento es polietileno reticulado con cubierta PVC, resistencia eléctrica longitudinal de 47,23 mΩ/km a una temperatura de 20 °C en corriente continua, resistencia de aislamiento de 5000 MΩ/km.

Cable de 500 MCM flexible.

Son cables monópolares de cobre, flexible, cuyo aislamiento con etileno propileno con cubierta elastomérica, resistencia eléctrica de 72,50 mΩ/km a una temperatura de 20 °C en corriente continua, resistencia de aislamiento de 3500 MΩ/km.

Riel de contacto o tercer riel.

El riel de contacto es el elemento a través del cual se hace la distribución de energía eléctrica para la tracción de los trenes a lo largo de las vías, este se encuentra ubicado a un lado de los rieles de rodamiento, colocados sobre aisladores y protegido por una capota protectora, cuya finalidad es la de evitar un contacto directo con el riel energizado, el cual está constituido por una barra de acero de 26 kg/m y una barra de aluminio colocada a cada lado, existen dos tipos los ubicados en los patios y talleres que poseen una resistencia eléctrica de 13,6 mΩ/km y los ubicados a nivel de vía de 6,8 mΩ/km, ambos a 30 °C.

Los rieles de rodamiento o retorno negativo.

Los rieles de rodamiento son aquellos que sirven de soporte y guía para la circulación de los trenes, además de retorno negativo de la corriente de tracción a las sub-estaciones tracción del sistema, está constituido por una barra de acero de 54 kg/m, el cual posee una resistencia eléctrica de 6,4 mΩ/km a 30 °C. Este sistema esta flotante sin conexión a tierra excepto en condiciones de peligro debido a alza de potencial riel-suelo, que se realiza la conexión de los rieles de rodamiento a una malla de puesta a tierra, a través de un sistema de protección denominador contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

Sistema de fijación de los rieles de rodamiento.

Existe dos modos de aislar los rieles de rodamiento de tierra, el primer caso, la fijación de riel es directa a la madera a través de pernos y grapas metálicos de sujeción por lo cual el aislamiento depende de la madera, este tipo de fijación es utilizado para zonas de maniobras (cambia vías). En el segundo caso el aislamiento se realiza por medio de arandelas de tubos (bujer) cojinetes y suelas aislantes colocadas entre los elementos metálicos de sujeción y contacto con los rieles de rodamiento y el durmiente de concreto.

Red única de tierra o malla de puesta a tierra.

Para lograr un adecuado aterramiento de los equipos y estructuras de la C. A. Metro de Caracas y garantizar la seguridad en el sistema bajo la aparición de fallas eléctricas a tierra, tanto en 750 Vcc; 480 V; 12,47 kV y 30 kV, se ha implantado una red única de tierra (ver Figura 2.6) la cual extiende a todo lo largo de las tres Líneas existentes y se realiza físicamente interconectando las mallas de puesta a tierra de todas las estaciones de pasajeros, sub-estaciones eléctricas y estructuras civiles de la empresa. La red única de tierra fue diseñada con la finalidad de que si el aislamiento de la vía falla en un punto o varios puntos por: contaminación atmosférica, envejecimiento del sistema o deterioro del sistema de fijación y apoyo, se debe garantizar que la mayor intensidad de corrientes que circule por tierra lo haga por un camino metálico. La red única de tierra rodea a todo lo largo del sistema y comprende:

- (a) Mallas de puesta a tierra a nivel de las sub-estaciones eléctricas para el aterramiento de carcazas y neutro de los sistema de potencia.
- (b) Mallas de puesta a tierra a nivel de las estaciones de pasajero para la puesta a tierra de las carcazas de diversos equipos y materiales metálicos propenso a tomar algún potencial peligroso para lo que allí opera.

- (c) Conductor de 4/0 AWG y 2/0 AWG desnudo a lo largo de los túneles, los de 30 kV y 12,47 kV para el enlace de las mallas de puesta a tierra de las sub-estaciones eléctricas y estaciones de pasajeros para facilitar la puesta a tierra de las carcasas de equipos.
- (d) Placas de cobre para la interconexión de los elementos de puesta a tierra.
- (e) Las tuberías para la iluminación de los túneles, cables de 750 Vcc.
- (f) Las bandejas de sujeción de los cables de 30 kV y 12,47 kV.
- (g) Las estructuras metálicas de los motores cambia vías, cajas de señalización y balizas.
- (h) Los pasamanos de los túneles y cercas de malla de los Patios y Talleres.

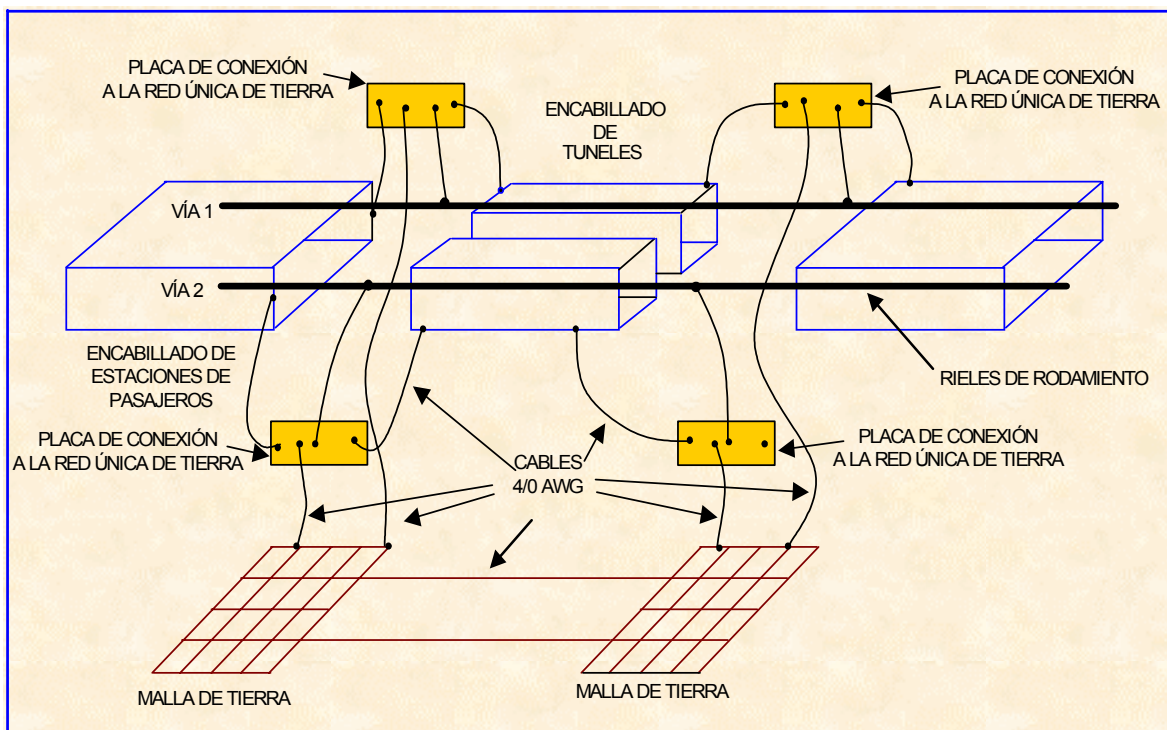


Figura 2.6 Esquema de conexiones de todas las estructuras civiles, eléctricas y mecánicas a la red única de tierra.

Potenciales riel-suelo y corrientes de fuga generadas por la red de distribución de energía en 750 Vcc [16].

Esquema de alimentación en 750 Vcc.

El suministro de energía eléctrica para la tracción de los trenes de la C. A. Metro de Caracas, consiste en un sistema de corriente continua en 750 Vcc donde el polo positivo se conecta al riel de contacto o tercer riel mediante los disyuntores de vía y de tramo y el polo negativo se conecta a los rieles de rodamiento o retorno negativo.

Desde el negativo de cada rectificador de potencia saldrán los conductores y se conectará a una barra común (CRN) ubicadas en las sub-estaciones de tracción, desde esta barra saldrán los cables (750 MCM) para conectarse a los rieles de rodamiento.

La Figura 2.7 se muestra el principio de alimentación de las vías energizadas en 750 Vcc, donde debe notarse que tanto el polo positivo y el negativo no están enlazado directamente a tierra, sino que se encuentran flotante, sin conexión a tierra.

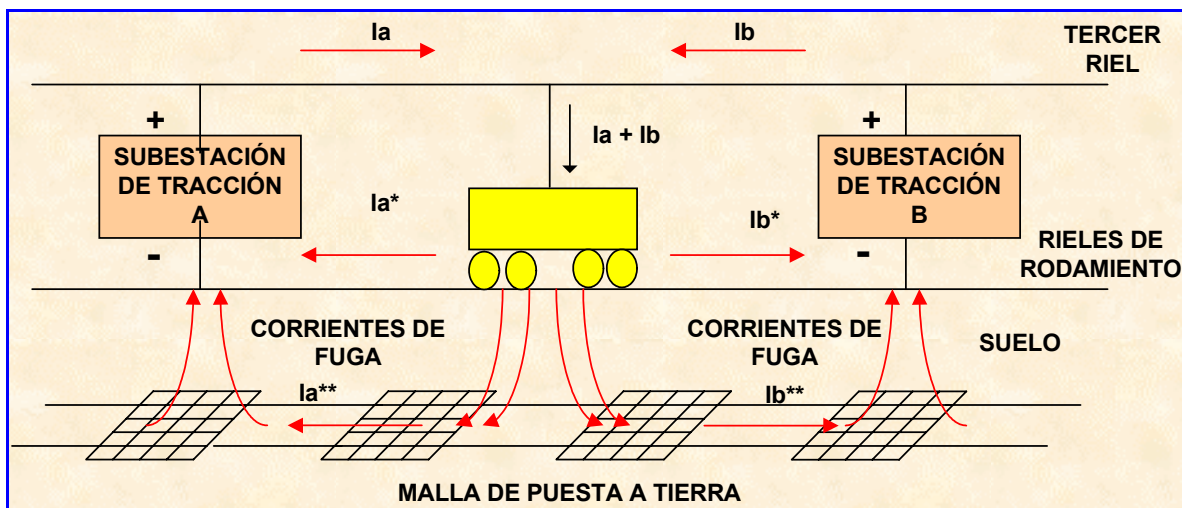


Figura 2.7 Modelo representativo del sistema de alimentación en 750 Vcc de los trenes [16].

Existe un compromiso entre el valor a fijar de aislamiento de los rieles de rodamiento, ya que:

(a) Si el aislamiento de los rieles de rodamiento resulta deficiente, se puede dar origen a altos valores de corrientes de fuga incrementándose el riesgo de la corrosión, por el contrario los valores de potenciales riel-suelo estarán por debajo de aquellos valores establecidos como límite para la protección de usuario y personal de la empresa.

(b) Si el aislamiento de los rieles de rodamiento resulta excelente, se dan origen a bajo valores de corrientes de fuga, pero el riesgo de los potenciales riel-suelo puede lograr valores superiores a los establecidos como límite para la protección de usuario y personal de la empresa.

El funcionamiento del tren como se ilustra en la Figura 2.7 se realiza de la siguiente manera: el tren consume corriente eléctrica a través del riel de contacto ($I_a + I_b$) y esta corriente retorna a las sub-estaciones de tracción (A y B) en su mayoría a través de los rieles de rodamiento ($I_a' + I_b'$) y una pequeña corriente a través de tierra ($I_a'' + I_b''$), esta corriente son conocidas como corrientes de fuga o corrientes vagabundas las cuales pueden provocar daños por corrosión en los metales.

Formación de corrientes de fuga y de potenciales riel-suelo.

Las corrientes de fuga y los potenciales riel-suelo que se originan en las vías de la C. A. Metro de Caracas son de diferentes tipos y se clasifican de acuerdo: a las condiciones de operación de las Líneas, estado de las sub-estaciones de tracción y de sus circuitos de alimentación de vías. La clasificación puede efectuarse de la siguiente manera:

(a) Corrientes de fuga y potenciales riel-suelo originados por la circulación de trenes estando la Línea en condiciones normales de operación.

(b) Corrientes de fuga y potenciales riel-suelo originados por la circulación de trenes estando la línea en condiciones normales de operación pero existiendo falla de aislamiento a nivel de las vías, debido al deterioro por condiciones ambientales y uso normal del sistema.

(c) Corrientes de fuga y potenciales riel-suelo originados por falla del polo positivo a tierra de la red de distribución de energía en 750 Vcc.

Corrientes de fuga y potenciales riel-suelo originados por la circulación de trenes estando las líneas en condiciones normales de operación.

En la Figura 2.8 representa el modelo físico de la Línea, el modelo eléctrico con las diferentes resistencias que se ofrecen a las corrientes consumidas por un tren en su desplazamiento sobre la vía y un perfil de tensiones que adquieren los rieles de rodamiento con respecto a tierra.

(a) Las corrientes de fuga aparecen debido a las pérdidas de corrientes a través del aislamiento de los rieles de rodamiento y su magnitud depende directamente de la ubicación y tensión consumida por el tren, la cual varía constantemente con el tiempo.

(b) Los rieles de rodamiento adquieren respecto al suelo una diferencia de potencial variable dependiendo de la magnitud de la corriente consumida por el tren y a su posición.

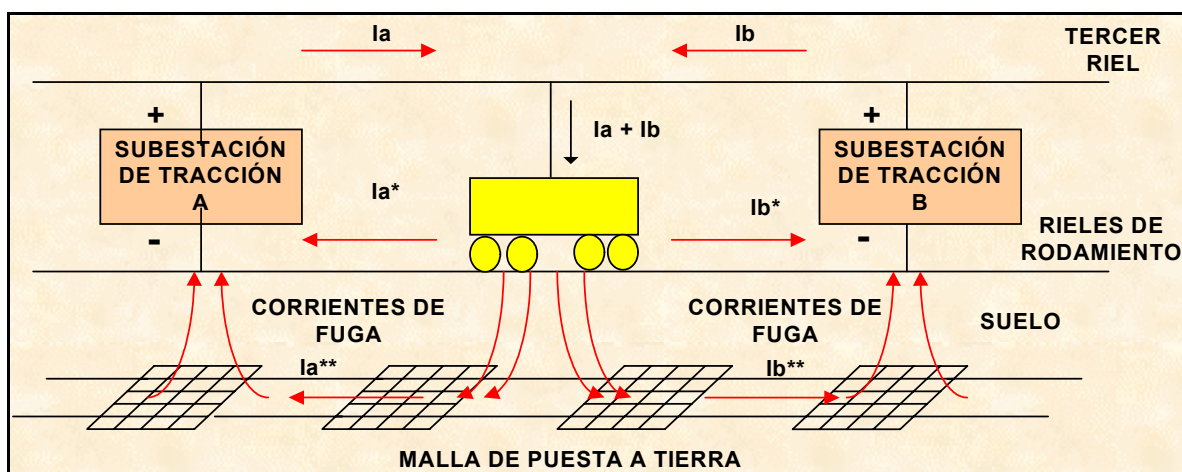


Figura 2.8 Modelo físico del sistema en condiciones normales de operación [16].

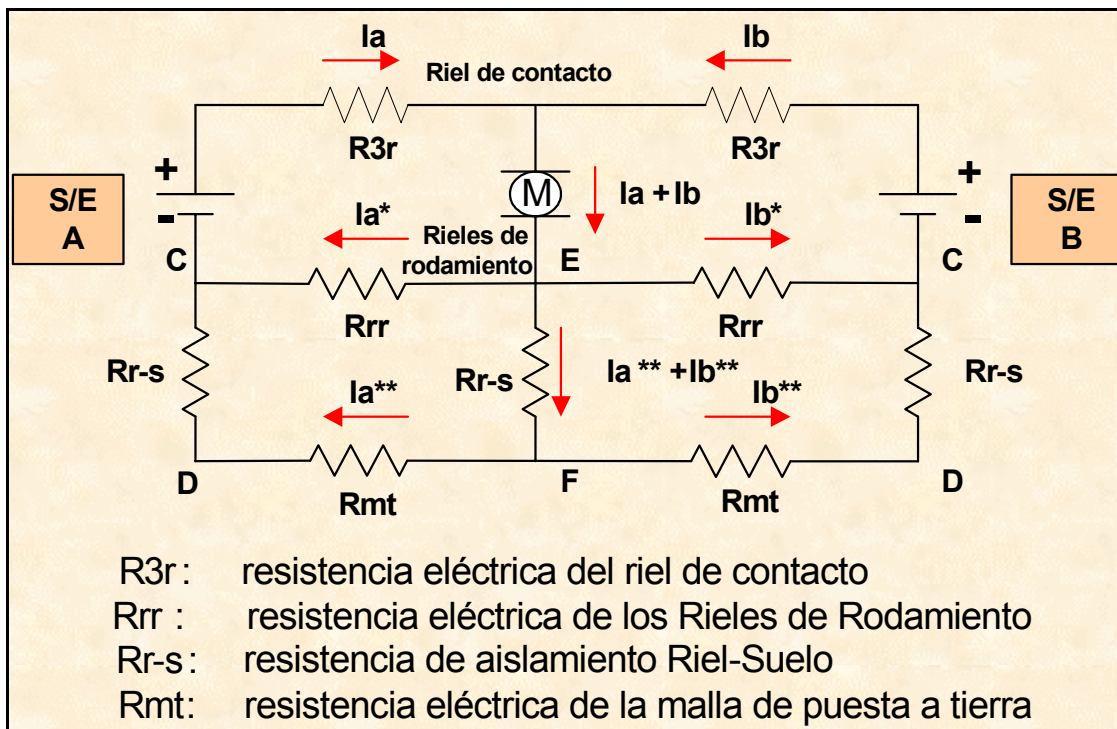


Figura 2.9 Modelo eléctrico del sistema en condiciones normales [16].

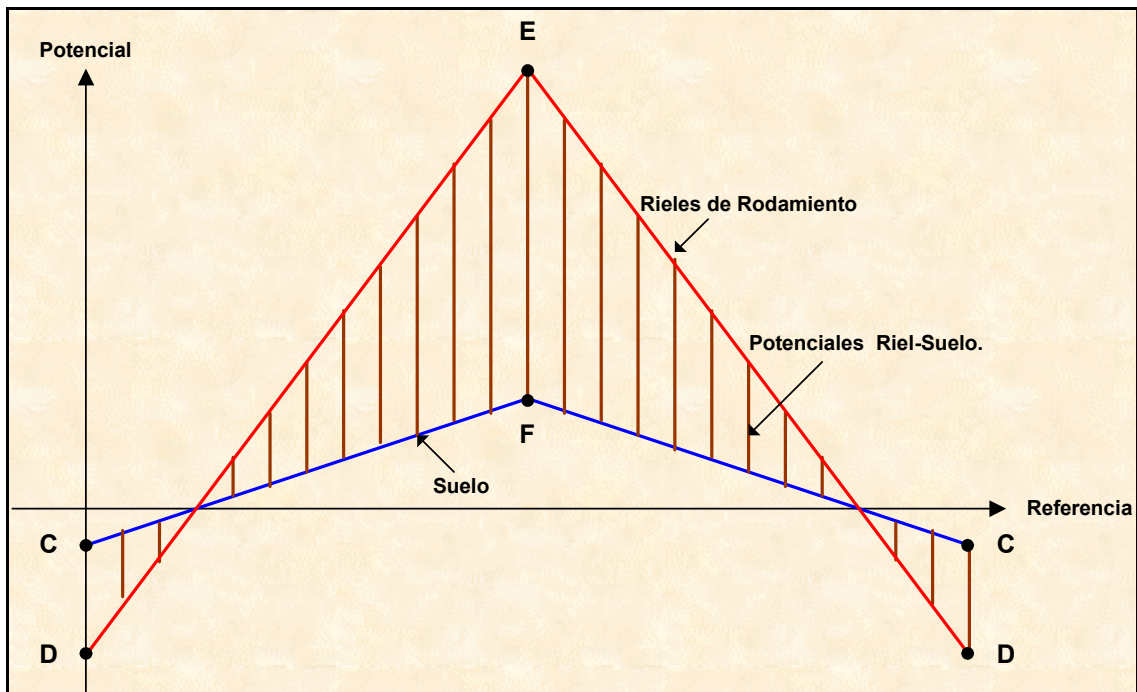


Figura 2.10 Potenciales riel-suelo originado en condiciones normales de operación [16].

Corrientes de fuga y potenciales riel-suelo originados por la circulación de trenes estando la línea en condiciones normales de operación con problema pero existiendo falla de aislamiento a nivel de las vías, debido al deterioro por condiciones ambientales y uso normal del sistema [16].

La Figura 2.11 representa una falla de aislamiento de los rieles de rodamiento en una zona entre dos sub-estaciones de tracción y la Figura 2.14 representa una falla de aislamiento del negativo en una zona cercana a una sub-estación de tracción, en ambos caso se muestra el enlace directo entre los rieles de rodamiento a tierra que pueden originarse a causa de una falla de aislamiento de los mismo, y de las observaciones de las misma se puede concluir:

(a) Las corrientes de fuga aparecen debido a las pérdidas de corrientes a través del aislamiento de los rieles de rodamiento y su magnitud depende directamente de la ubicación y tensión consumida por el tren, la cual varía constantemente con el tiempo

(b) El suelo adquieren respecto a los rieles de rodamiento un potencial positivo, debido al intercambio de corriente que se produce entre ellos.

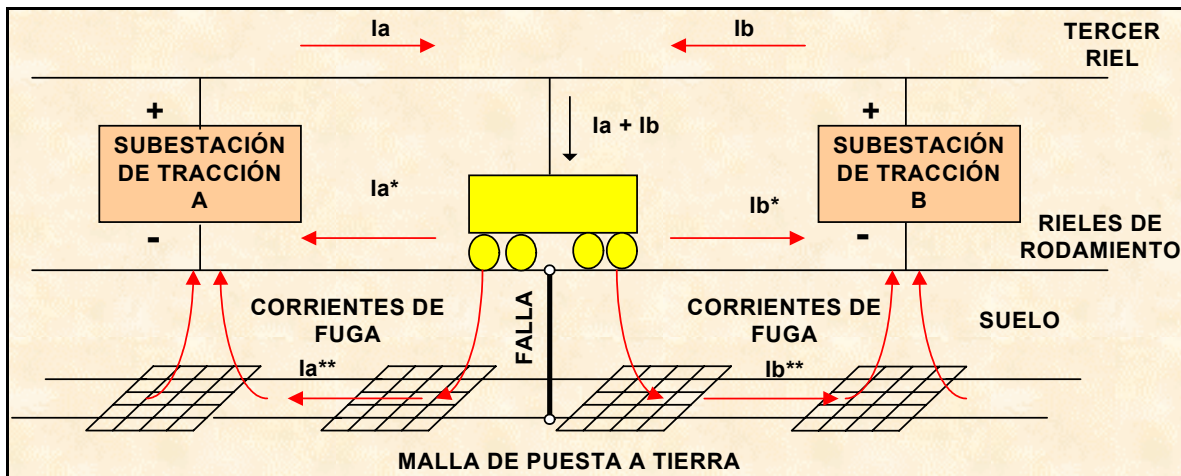


Figura 2.11 Modelo físico del sistema con una falla de aislamiento del negativo entre dos sub-estaciones de tracción [16].

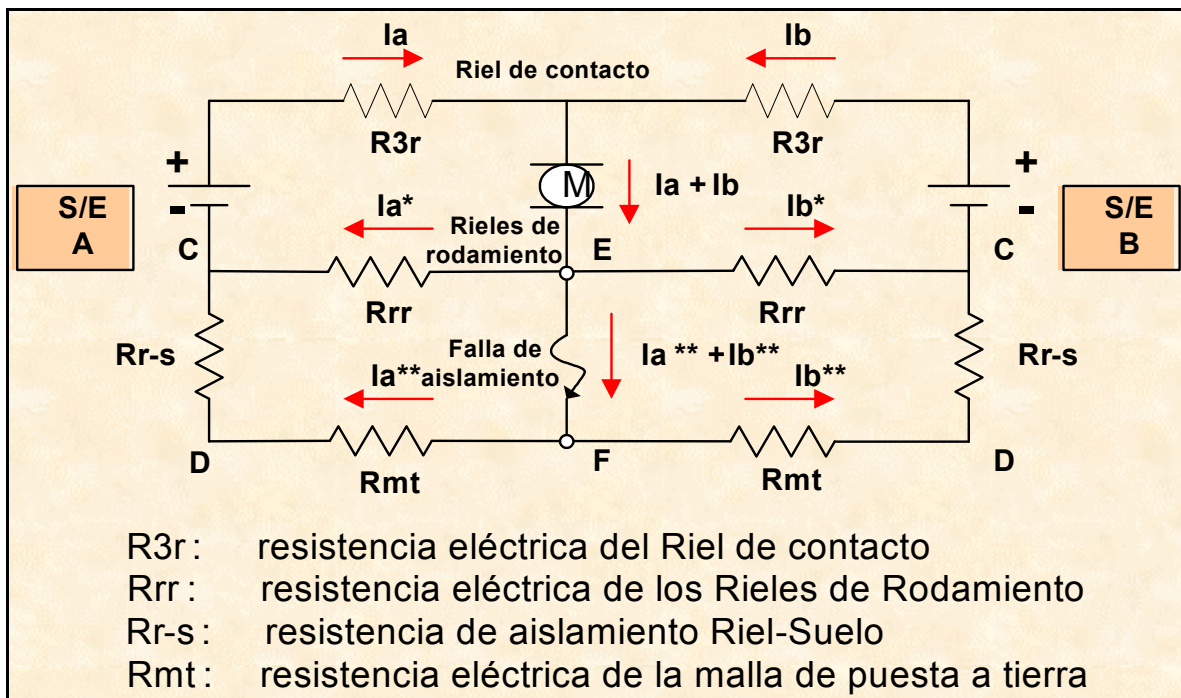


Figura 2.12 Modelo eléctrico del sistema con una falla de aislamiento del negativo entre dos sub-estaciones de tracción [16].

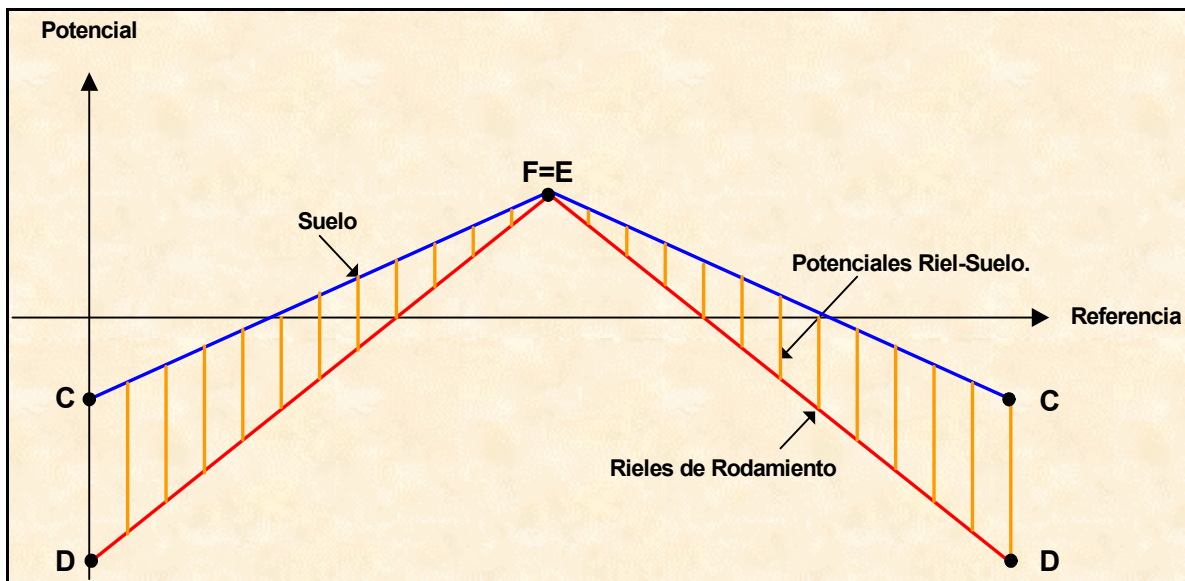


Figura 2.13 Potencial riel-suelo originado con una falla de aislamiento del negativo entre dos sub-estaciones de tracción [16].

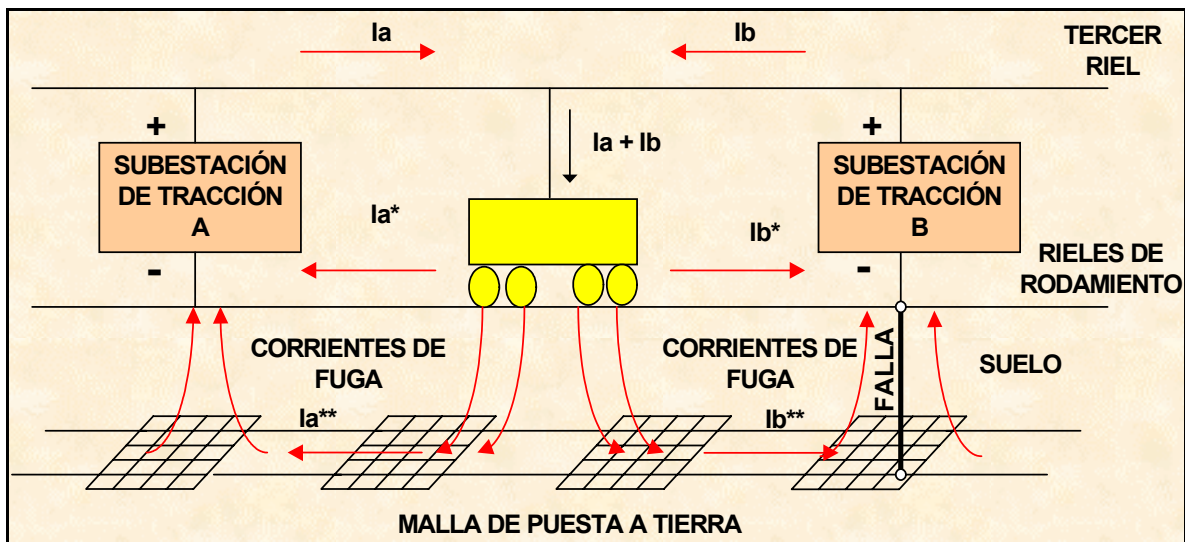


Figura 2.14 Modelo físico del sistema con una falla de aislamiento del negativo cercana a una sub-estación de tracción [16].

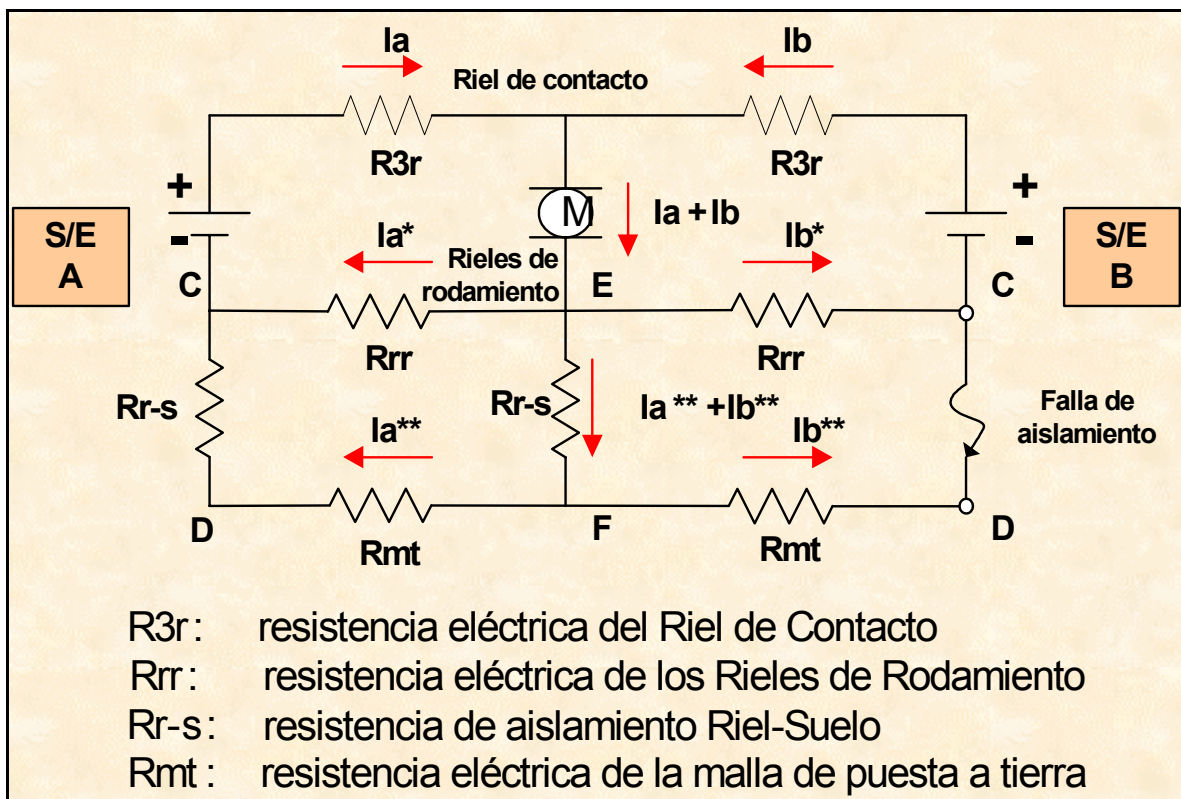


Figura 2.15 Modelo eléctrico del sistema con una falla de aislamiento del negativo cercana a una sub-estación de tracción [16].

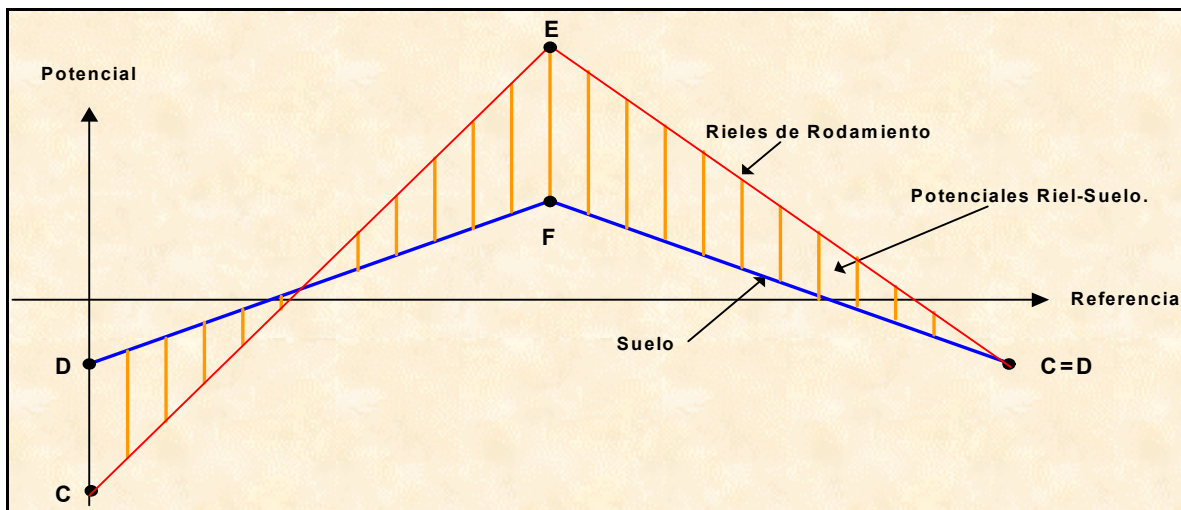


Figura 2.16 Potenciales riel-suelo originado con una falla de aislamiento del negativo cercana a una sub-estación de tracción [16].

Corrientes de fuga y potenciales riel-suelo originados por falla del polo positivo a tierra de la red de distribución de energía en 750 Vcc.

En la Figura 2.17 se realiza la misma representación que en la Figura 2.8 con la diferencia que el sistema está en vacío (sin carga y/o tren) y con la existencia de una falla del polo positivo a tierra de la red de distribución de energía en 750 Vcc.

(a) Las corrientes de fuga debido a la falla del polo positivo a la malla de puesta a tierra y su magnitud depende únicamente de la resistencia de falla de la distancia de la misma a las sub-estaciones de tracción y son considerablemente mayores con las originadas por la circulación de trenes en condiciones normales de operación.

(b) Los rieles de rodamiento adquieren respecto al suelo una diferencia de potencial de magnitud negativa que permanece constante y que no depende de la circulación de trenes en las vías.

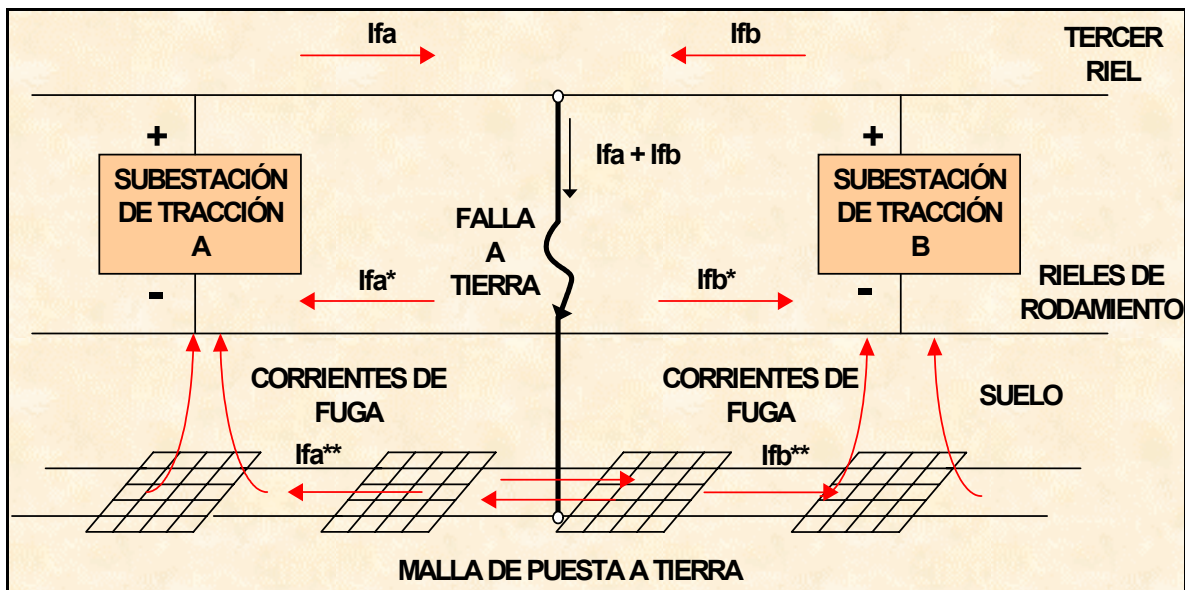


Figura 2.17 Modelo representativo del sistema con falla del polo positivo[16].

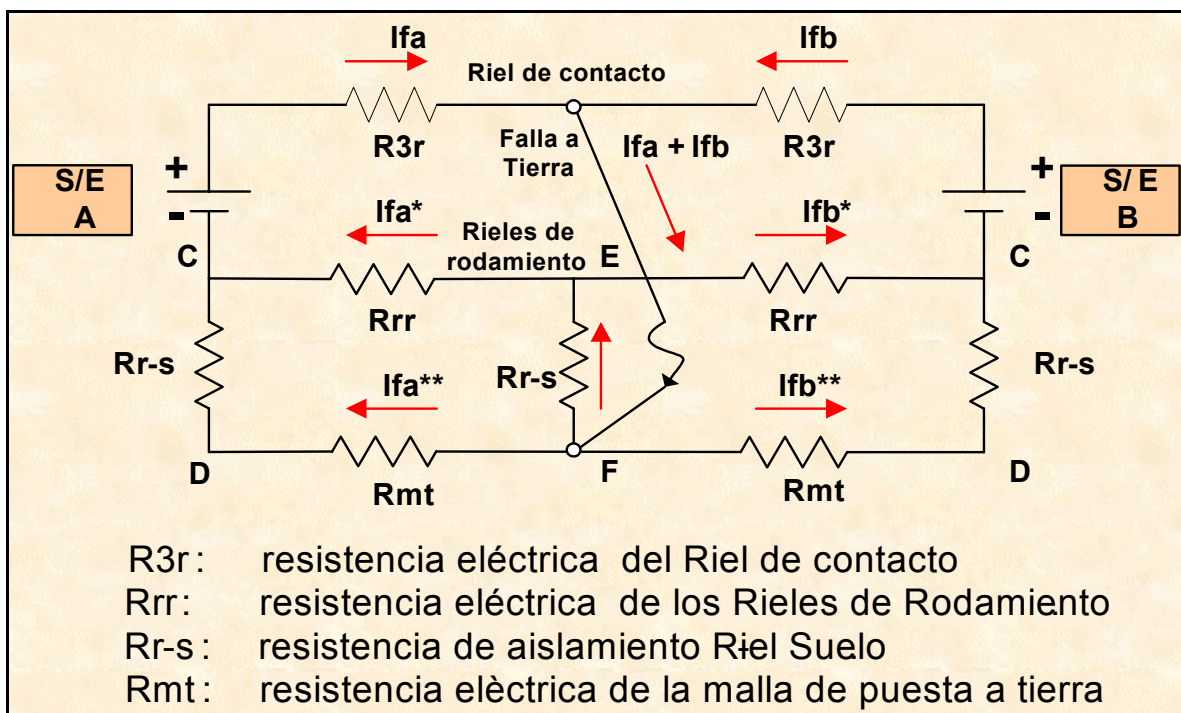


Figura 2.18 Modelo eléctrico del sistema con falla del polo positivo[16].

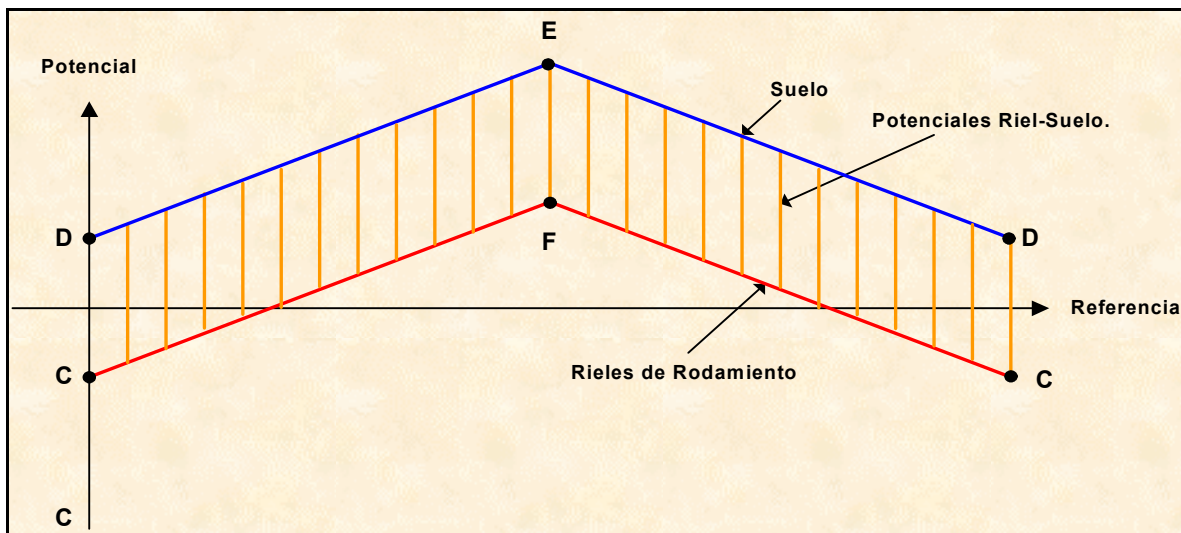


Figura 2.19 Potenciales riel-suelo del sistema con falla de positivo a tierra [16].

Sistema de protección contra potenciales riel-suelo y fallas de positivo a tierra de la red de distribución de energía en 750 Vcc [16].

Introducción.

La red de distribución de energía en 750 Vcc es la encargada de suministrar energía eléctrica para el consumo de los trenes en las vías. Este sistema posee protecciones contra cortocircuito y sobrecarga ejercidos mediante un conjunto de relés asociados a los disyuntores de 750 Vcc.

Debido a que el retorno negativo está flotante aislado de tierra se generan potenciales entre los rieles de rodapié y tierra, debido a la circulación de los trenes, es por ello que existe un sistema de protección que permite minimizar los posibles efectos que originan esta diferencia de potencial, este sistema de protección se denominó contactor de puesta a tierra del negativo (CTN) y su sistema de detección asociado. Existen otros elementos involucrados en la operación y funcionamiento del sistema de protección en corriente continua, los cuales son los siguientes: la señalización, el control de mando y la línea de hilo piloto por enclavamiento.

Protección asociada al riel de contacto.

Cada tramo o sección del riel de contacto se encuentra protegido por interruptores de 750 Vcc, de alta velocidad de operación (16ms) y son relés asociados de acuerdo a su ubicación ya sea en la sub-estación de tracción o estación interruptora, tal como lo requiere en el sistema de tránsito rápido. La Figura 2.20 se presenta la disposición típica de los interruptores de 750 Vcc con respecto a la sub-estación de tracción y estación interruptora.

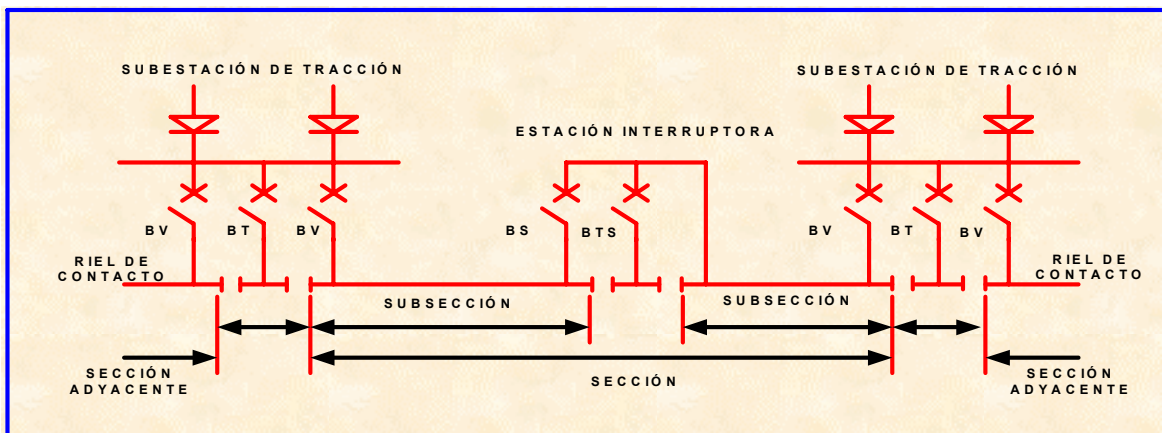


Figura 2.20 Disposición típica de los interruptores de 750 Vcc.

Protección asociada a cada disyuntor de 750 Vcc.

En la Tabla 2.1 se muestra los tipos de relés que encuentran en los disyuntores de 750 Vcc ubicados en las sub-estaciones de tracción.

Tabla 2.1 Tipos de relés ubicados en los disyuntores de 750 Vcc.

Descripción	BP	BV	BT	BS	BTS
Relé 150		X	X		
Relé 76		X	X		
Relé 176		X	X	X	X
Relé 132	X				
Relé 127		X	X	X	X
Relé 183		X	X		X
Relé 182		X	X	X	

Sistema de protección contra potenciales riel-suelo y fallas de positivos a tierra de la red de distribución de energía en 750 Vcc.

El sistema de protección que se describe en la Figura 2.21 es utilizado para limitar potenciales riel-suelo a valores seguros para usuarios y personal de la empresa, realizando la conexión física de los rieles de rodamiento a la malla de puesta a tierra a través del contactor bipolar (72.B1) del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN). Adicionalmente éste sistema deberá despejar y detectar fallas del positivo a tierra de la red de distribución de energía en 750 Vcc, realizando un cortocircuito franco entre el polo positivo y negativo, dando la oportunidad que las protecciones asociadas a los disyuntores de vía (B3,B4,B5,B6) detecten y despejen dicha falla. Este sistema de protección esta conformado por: un contactor bipolar (72.B1), un relé de tensión (27), un relé de corriente (50) y un relé de falla a masa (64).

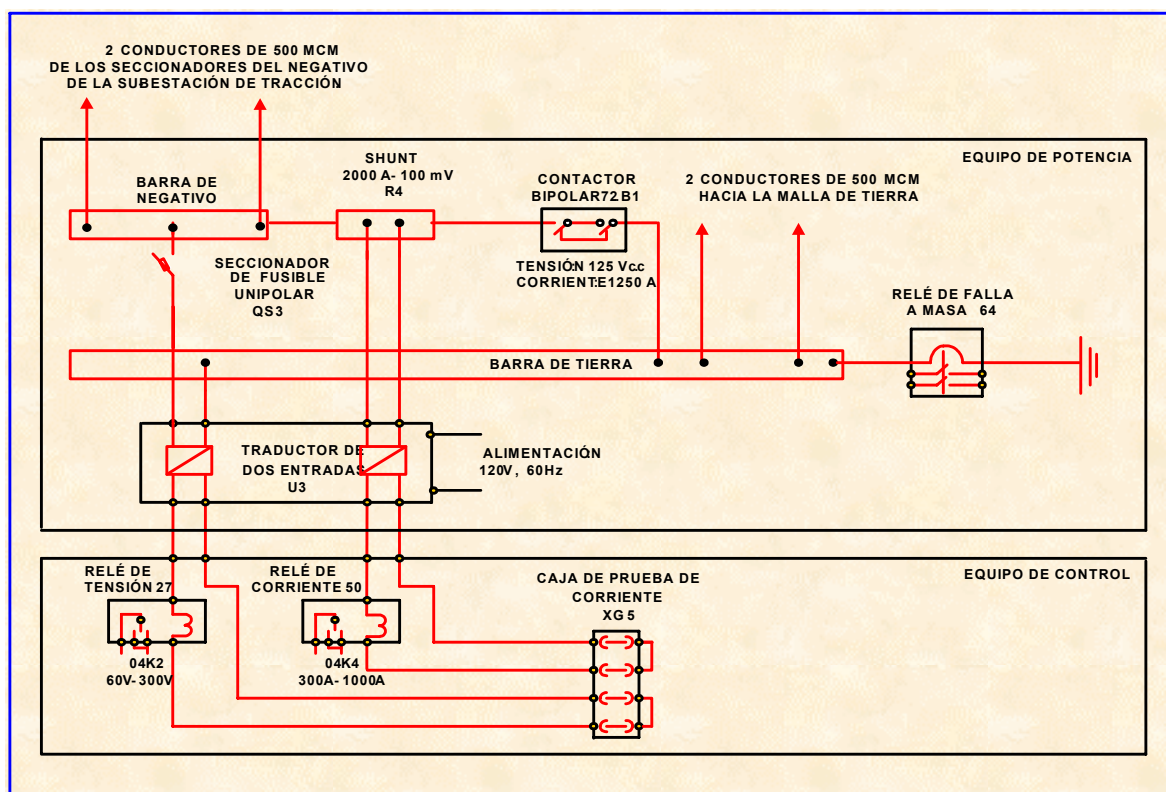


Figura 2.21 Diagrama unifilar del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

Lógica de funcionamiento del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

El sistema de protección denominado contactor de puesta a tierra del negativo (CTN), limita los potenciales riel-suelo para la protección de usuario y personal de la empresa, este se encuentra ubicado en todas las sub-estaciones de tracción, en la Figura 2.22 se muestra la lógica de funcionamiento del mismo, el cual opera de acuerdo a cuatro (4) pasos básicos:

Paso 1: El relé de tensión (27) verifica constantemente un potencial riel-suelo (ΔV_{r-s}) sin importar la polaridad, de manera tal que no se supere una tensión umbral de ajuste previamente establecido.

Paso 2: Cuando se supera la tensión umbral de ajuste, se realiza la conexión física de los rieles de rodamiento a la malla de puesta a tierra a través del contactor (72.B1) del CTN por un periodo de **T** segundos y al mismo tiempo se envía una señal a el centro de control de operaciones (CCO) indicando que se produjo una actuación del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

Paso 3: cuando el contactor permanece cerrado se censa la corriente sin importar la polaridad a través del relé de corriente (50), si la magnitud de la corriente (**Irnt**) NO supera el valor de la corriente umbral de ajuste, los rieles de rodamiento permanecen conectado a la malla de puesta a tierra durante un periodo de **T** segundos (ajustable) para dar oportunidad que el alza del potencial riel-suelo desaparezca, si la magnitud de la corriente (**Irnt**) SI supera el valor de la corriente umbral de ajuste, en este caso el alza de la diferencia de potencial riel-suelo se debe a una falla del positivo a tierra de la red de distribución de energía en 750 Vcc, por lo cual se dará la orden de apertura de todos los disyuntores de la sub-estación de tracción correspondiente y por medio de hilo piloto se realiza la apertura de los disyuntores de vía asociados a las sub-estaciones tracción adyacente a la fallada, y de forma independiente se inicia la medida de carga con la cual se ubicará y despejará el tramo de vía fallado.

Paso 4: Se desconectan los rieles de rodamiento de la malla de puesta a tierra y se regresa al paso 1. El cierre del contactor (72.B1) del CTN se efectúa bajo la orden del relé de tensión (27), este cierre es instantáneo (350ms).

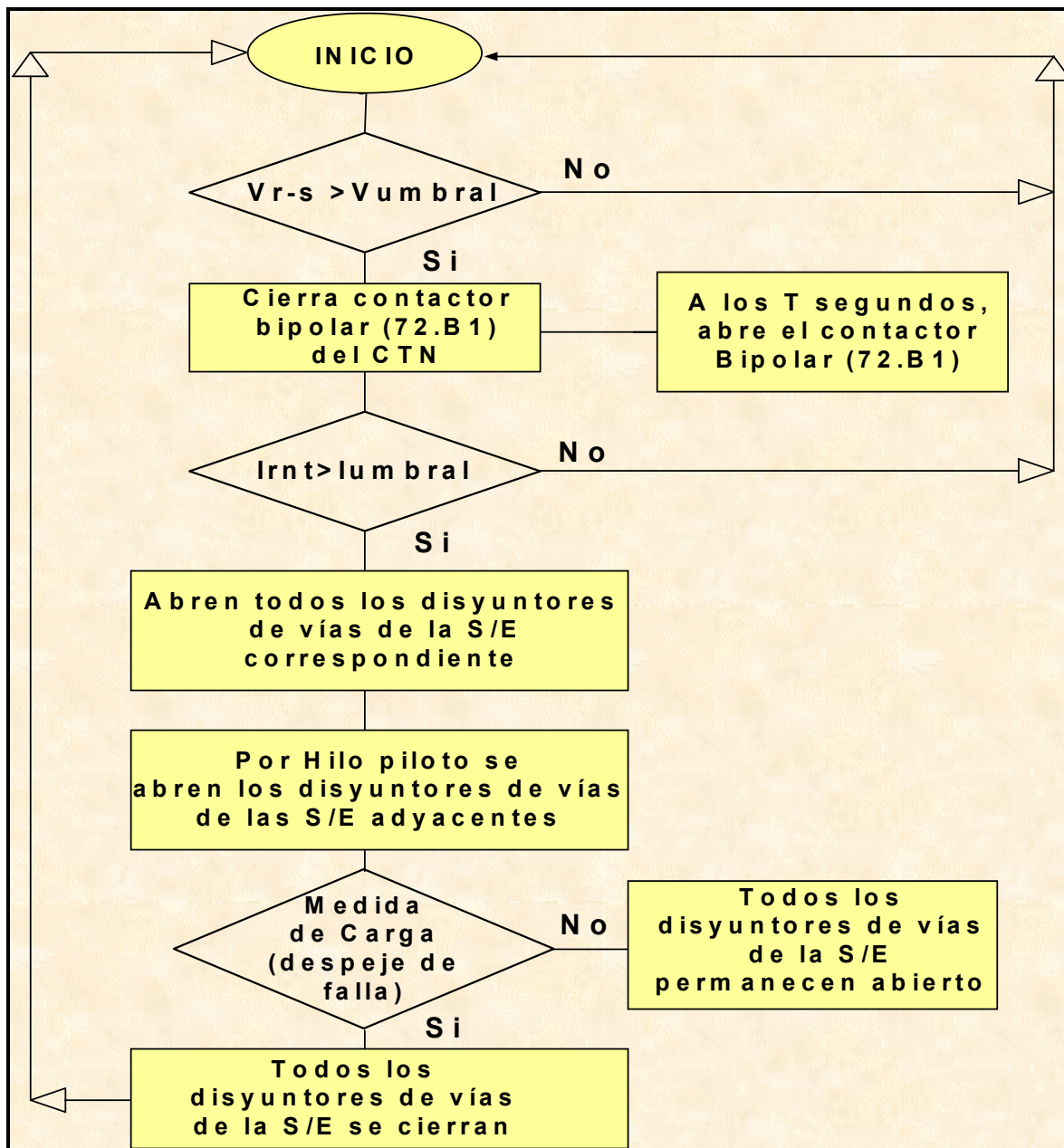


Figura 2.22 Lógica de funcionamiento del contactor de puesta a tierra del negativo (CTN).

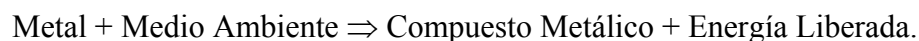
Anexo 2.2 Corrosión de metales.

CORROSIÓN DE METALES.

Introducción.

La corrosión es un fenómeno natural, donde ocurre la interacción de un metal con el medio que lo rodea generando el deterioro parcial o total en sus propiedades mediante una reacción química o electroquímica, la característica fundamental es que sólo ocurre en presencia de un electrólito originando regiones anódicas y catódicas en donde los electrones son liberados de la región anódica a la catódica.

La velocidad con que el metal se corroe es lenta y continua, todo depende de la característica del metal y la condiciones del medio corrosivo donde se encuentre, esto indica que el metal tiende a regresar su estado natural, siendo la corrosión por tanto la causante de grandes pérdidas económicas. El hierro es refinado mediante la utilización de energía, donde esté es calentado para separarlo del oxígeno y reducirlo a hierro metálico, de manera natural, este tenderá a regresar a su estado combinado con oxígeno liberando cierta cantidad de energía.



Tipos de pilas.

Son tres los tipos de pilas que toman parte de una reacción de corrosión, las cuales son las siguientes:

Pila galvánica.

La pila galvánica es en honor a Luigi Galvani, un físico Italiano, que publico en el año de 1971 su estudio sobre la acción electroquímica, el cual consiste en la utilización de dos electrodos diferentes sumergido en un mismo electrolito que convierte la energía química en energía eléctrica, cuando se cierra el circuito de una de estas pila (uniendo ambos polos con un alambre de baja resistencia), fluye corriente desde el electrodo positivo al electrodo negativo.

Pila de concentración salina.

La pila de concentración salina posee dos electrodos iguales, donde cada uno de ellos está en una solución de diferente composición. Por ejemplo, cuando un electrodo de cobre está expuesto a una solución concentrada de sulfato de cobre (CuSO_4) y el otro electrodo a una solución diluida, también de sulfato de cobre, al poner esta pila en cortocircuito, el cobre del electrodo se disuelve con la solución diluida (ánodo) y se deposita sobre el otro electrodo (cátodo).

Pila de aireación diferencial.

La pila de aireación diferencial posee dos electrodos iguales, por ejemplo cuando se tiene dos electrodos de hierro en una solución diluida de cloruro de sodio ($NaCl$), el electrolito que rodea a un electrodo está aireado por la inyección de aire (cátodo) y el otro electrodo esta desaireado por medio de una inyección de nitrógeno en el electrolito (ánodo), la diferencia de concentración de oxígeno produce una diferencia de potencial que origina un el flujo de corriente.

Descripción del fenómeno de la corrosión.

Siempre que se produce la corrosión de un metal o aleación que se encuentra en un medio corrosivo, es posible identificar varios componentes del proceso corrosivo, las cuales se presentan a continuación:

Región anódica: es el electrodo negativo que cede electrones al circuito eléctrico y se corroe una porción de la superficie del metal. Los átomos contienen la misma cantidad de protones y electrones, al ocurrir una pérdida de electrones ocurre un exceso de carga positivo a lo que resulta un ión positivo.

Región catódica: es el electrodo positivo que recibe electrones por el circuito externo debido a la reacción química que ocurre en la región anódica, la superficie metálica permanece intacta ya que los electrones que se liberan en la región anódica viajan a la región catódica .

Electrolito: es un medio acuoso conductor de electricidad.

Composición de la atmósfera.

La velocidad de la corrosión de los metales y aleaciones depende fundamentalmente de la composición de la atmósfera y de las condiciones climáticas existentes las cuales varían considerablemente de un lugar a otro. En la atmósfera existe oxígeno (O_2), vapor de agua y anhídrido carbónico (CO_2) los cuales son los factores fundamentales de la corrosión. La presencia de vapor de agua es esencial para la formación de la solución electrolítica en la superficie del metal o aleación expuesta a la atmósfera.

Clasificación de la atmósfera.

De acuerdo con el grado de agresividad del medio donde se encuentre el metal o aleación, esta se puede clasificar en:

Rural: poca agresividad de la atmósfera, por lo tanto la velocidad de la corrosión es baja, siendo los factores determinantes para la velocidad de la corrosión la humedad del aire y la temperatura.

Urbana: la agresividad de la atmósfera es alta, debido a la existencia de ciertos contaminantes provenientes de la emanación de los gases de los vehículos.

Marina: la agresividad de la atmósfera es muy alta, debido por la elevada humedad del aire y la presencia de sales, especialmente del cloruro de sodio ($NaCl$) proveniente del mar.

Industrial: es el tipo de atmósfera más agresiva de los metales y aleaciones, por su elevado cantidad de contaminantes proveniente de la emanación de los gases de las industrias, estos producen electrólitos altamente corrosivos para muchos metales.

Factores determinantes en la propagación de la velocidad de la corrosión.

Discontinuidad del metal: un *primer caso* son las tuberías enterrada y sometida a la acción corrosiva de la húmeda del suelo, donde una mancha de óxido en la tubería se comporta como un factor acelerador de la velocidad de corrosión, esté óxido se comporta como la región catódica frente al hierro no oxidado, formando una pila galvánica. Un *segundo caso* es el típico de una red de gas, la cual la tubería principal es de acero y la tubería de entrada a una casa para el suministro de gas es de cobre, este último metal es más noble y en consecuencia se formará también una pila galvánica en el cual la región anódica es la tubería de acero y la región catódica es la tubería de cobre.

Discontinuidad en el medio corrosivo: un *primer caso*, es el cruce de una tubería a través de un río o quebrada, la zona mojada será la región anódica y la zona seca será la región catódica, formándose una pila galvánica que en este caso la causa es un discontinuidad del medio corrosivo, un *segundo caso* corresponde a la tuberías que se encuentran enterradas, donde la parte superior recibe más oxígeno por estar más cerca de la superficie y la difusión de la tubería esta menos oxigenada, esto produce un fenómeno conocido como *pila de aireación diferencial*, la zona que recibe más oxígeno será la región catódica, en tanto la zona menos aireada la de abajo será la región anódica.

Humedad del aire: es de interés por la posibilidad de que ocurra la condensación de vapor de agua en la superficie del metal o aleación, lo que conlleva a la formación de una película electrolítica independiente para el proceso de la corrosión, evidentemente mientras más alta sea la humedad del aire, mayor será la posibilidad de que haya condensación.

Contaminación atmosférica: los contaminantes mas abundantes y agresivos que se encuentran en la atmósfera tenemos: El dióxido de azufre (SO_2) proveniente en su mayoría de la combustión de hidrocarburos pesados de las industrias y es una fuente estimulante de la corrosión para el acero y particularmente para el zinc. El cloruro de sodio ($NaCl$) proveniente de mares y océanos, esté es dañino porque al disolverse produce electrólito altamente conductores que facilitan las reacciones anódicas y catódicas en la superficie metálicas, además, el ión cloruro es muy agresivo para metales resistente a la intemperie como lo son el aluminio, acero inoxidable.

Estado termodinámico de los metales.

En base a las características particulares de los metales y aleaciones en un medio corrosivo específico, se puede presentar tres estados termodinámicos posibles:

Inmunidad: el metal y el medio se encuentran en equilibrio termodinámico y no pueden reaccionar, este es el caso de los metales nobles en cualquier medio.

Pasividad: el metal y el medio no están en equilibrio termodinámico, pero el metal se cubre de forma natural, de una capa de óxido protector que le aísla del medio que lo corroe.

Actividad: la ausencia de equilibrio termodinámico hace que el metal reaccione con el medio y se corroe.

Clasificación de los metales.

Si bien la corrosión es un fenómeno natural que afecta a todo los metales y aleaciones, la velocidad del proceso es diferente para cada uno de ellos; esto nos permite establecer una clasificación de los metales en función de la velocidad con que se disuelve en un medio determinados; para ello se ha confeccionado dos tipo de ordenamiento llamados SERIE:

La serie electroquímica (ver Anexo 2.3), es una disposición ordenada de los potenciales de oxidación o reducción de todos los metales, los valores de oxidación más positivos o los valores de reducción más negativos corresponden a los metales más reactivos.

La serie galvánica (ver Anexo 2.4), son una disposición de metales y aleaciones de acuerdo con su potenciales reales medidos en un medio dado (agua de mar). Los potenciales que determinan la posición de un metal en esta serie pueden incluir valores de estado estables además de los valores verdaderamente reversibles y por ello se incluyen aleaciones y metales pasivos.

Clasificación de la corrosión.

Corrosión según la forma.

La *corrosión química* se estudia bajo esta denominación todos aquellos casos en que el metal o aleación reacciona con un medio iónico (por ejemplo: oxidación en aire a alta temperatura, reacción con una solución de yodo en tetracloruro de carbono, etc.).

La *corrosión electroquímica* considerada desde el punto de vista de la participación de iones metálicos, todos los procesos de corrosión son electroquímicos. Sin embargo, es usual designar corrosión electroquímica a la que implica un transporte simultáneo de electricidad a través de un electrólito, a este importante grupo pertenece la corrosión en soluciones salinas y agua de mar, la corrosión atmosférica, la corrosión en suelos, etc.

Corrosión según el medio.

La *corrosión uniforme* permite hacer predicciones sobre la vida útil de una metal o aleación y poder determinar experimentalmente la velocidad de corrosión, usualmente la velocidad de corrosión se duplica cada 10 °C de aumento en la temperatura. La *corrosión localizada* en cambio no permite hacer predicciones sobre la velocidad de corrosión, es impredecible y mucho mayor a la corrosión uniforme y es la más dañina, en la practica estos dos tipo de corrosión se pueden dar junto y se pueden presentar en sus diversas formas. Existen diversas formas en que pueden presentarse este tipo de corrosión, las cuales son las siguientes:

Corrosión uniforme: se caracteriza por una reacción química o electroquímica que corresponde a un ataque uniforme sobre toda la superficie de un metal, produciendo la pérdida gradual de peso a una velocidad medible y constante, permitiendo hacer predicciones sobre la vida útil del metal.

Corrosión galvánica: se produce por la unión de dos metales diferente en un medio electrolítico, como resultado de la formación de una pila galvánica cuyo potenciales de disolución en el medio considerado son distinto, originando la corrosión de uno de los metales en la zona de contacto y siempre más importante si los materiales hubiese estado colocados separadamente en el electrolito

Corrosión selectiva o deshojamiento: se origina cuando uno o más elementos de una aleación se corroen, dejando un residuo poroso que puede conservar la forma primitiva de la aleación, este tipo de corrosión está limitada por lo general, a las aleaciones de los metales nobles.

Corrosión intergranular: o intercrystalina: para entender este tipo de ataque es necesario considerar que cuando un metal es fundido se cuela en un molde, comienza su solidificación mediante la formación de núcleo de átomos al azar que se conocen como granos o cristales. La corrosión ocurre cuando un agente corrosivo atacan a los granos que han perdido los elementos necesarios para tener una resistencia a la corrosión o cuando existe la formación de compuesto como carburos de cromo, que se ven al microscopio como granos incrustado en la masa del acero debido al calentamiento de un metal a alta temperatura y luego dejado a enfriar en forma no controlada (lo que ocurre durante una soldadura).

Corrosión por grieta o aireación diferencial: es una forma de corrosión asociadas con espacios confinado, frecuente en tornillos, remaches, etc. donde por la apertura entra una disolución líquida, generándose una diferencia de aireación que se traduce en una diferencia de concentración de oxígeno entre ambas porciones de disolución, originándose una *pila aireación diferencial*, produciéndose la corrosión dentro de la grieta, donde esta la disolución atrapada pobre en oxígeno.

Corrosión por picadura: este tipo de corrosión se traduce en la formación de pequeños agujeros en metales y aleaciones, cuyo diámetro y profundidad varía según factores del propio metal, del medio y de las condiciones de utilización. El causante es normalmente el ión cloruro presente en muchas aguas naturales y fluidos industriales, que origina la destrucción de la capa de óxido que pasiviza al metal, lo cual genera una pila galvánica entre el metal expuesto y el metal pasivizado, el metal así expuesto se corroe.

Corrosión bajo tensión: consiste en la aparición de múltiples fisuras microscópicas profundas, que en un tiempo corto produce el agrietamiento del metal o aleación en servicio. El agrietamiento por corrosión bajo tensión se debe al efecto combinado de esfuerzos de tensión (soldaduras, tratamiento térmico, tracción, flexión, etc. o por una tensión aplicada exteriormente) y de medio corrosivo específico actuando sobre el metal o aleación, que en forma separada no tendrían acción importante sobre el mismo. Casi todos los metales estructurales, por ejemplo el acero al carbono, latón, aceros inoxidables (Cr-Fe), duraluminio (Cu-AL), magnesio, aleación de níquel y otros, están sujetos al agrietamiento por corrosión bajo tensión en algún medio corrosivo, por fortuna los medios corrosivos que causan este tipo de corrosión se reducen a unas pocas clases de productos químicos.

Corrosión por fricción o roce: proceso de corrosión unido al desgaste superficial por fricción de dos metales, de modo que las partículas de óxido se desprenden y actúan de modo abrasivo entre la superficie de contacto. También cuando se tiene un metal y un líquido que se mueve a gran velocidad del paso de fluido, se produce una *corrosión por erosión*, que se caracteriza por el adelgazamiento local del metal en forma de rayaduras, marcas y ondulaciones orientadas siempre en la misma dirección, un ejemplo de esto son los codos y cambios de dirección de tuberías. También existe la *corrosión por cavitación* entre un metal y un líquido originado por el desprendimiento de burbujas de vapor que se forman y explotan en las zonas sometidas a gran velocidad del fluido, las cuales chocan contra la superficie del metal, generando la corrosión del mismo, un ejemplo de esto son los propulsores de bombas, aspas de propulsores de embarcaciones.

MÉTODOS PROPUESTO PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN.

MÉTODOS PREVENTIVOS.

Selección del material.

La selección del material depende de la agresividad del medio a la cual será expuesto, así como también de los requerimientos mecánicos y de costo, en línea general mientras más resistente es el material a la corrosión este será más costoso. Es importante destacar que **NO** existe material metálico, que resista todos los medios corrosivos.

El acero al carbono: es el material metálico más utilizado en el mundo por poseer excelente propiedades mecánicas pero a su vez es el que más se corroe, la selección del mismo implica la utilización de un método adicional de protección, como lo es el galvanizado el cual consiste en la aplicación de una delgada capa de zinc sobre el acero con muy buenas propiedades mecánicas y elevada resistencia a la corrosión.

El acero inoxidable: posee una excelente combinación de las propiedades mecánicas y una elevada resistencia a la corrosión, pero su costo es muy elevado, este se sitúa entre las mejores aleaciones disponibles comercialmente para resistir a la corrosión. Se basa en una aleación de hierro-cromo (Fe-Cr) y para ser efectiva debe contener suficiente cromo para desarrollar una capa de óxido de cromo (Cr_2O_3) que actúe de barrera entre el oxígeno y el metal.

Aleación de aluminio: es muy utilizado para estructuras expuestas a la atmósfera debido a su excelente resistencia a la corrosión, sin embargo sus propiedades mecánicas son muy inferiores a las del acero al carbono, los elementos aislantes interesan más desde el punto de vista de obtener con ellos una mejor resistencia mecánica que para reducir la velocidad de corrosión.

Aleación de cobre: se basa en una aleación de cobre-zinc (Cu-Zn) y para ser efectiva debe contener suficiente zinc para desarrollar una capa de óxido de zinc (ZnO) continua externa que actúe de barrera entre el oxígeno y el metal, si el contenido de zinc es superior al 20 %, la presencia de cationes zinc disminuye la velocidad de crecimiento del CuO a baja temperatura, mientras que a alta temperatura el zinc se evapora.

Recubrimiento metálico:

El recubrimiento metálico consiste en recubrir un metal o aleación con otro metal, donde cuando penetra la humedad hasta el metal base este se corroe y se sacrifica preferentemente, actuando como ánodo. Entre los tipos de recubrimiento metálico tenemos: recubrimiento de zinc (Zn), recubrimiento de cadmio (Cd), recubrimiento de estaño (Sn), recubrimiento de cobre (Cu), recubrimiento de níquel (Ni), recubrimiento de estaño-cinc (Sn-Zn) y recubrimiento de estaño-níquel (Sn-Ni).

Entre los recubrimientos metálicos más comunes en el mercado para aplicar son: *recubrimiento galvánico*, el cual es el más barato y sencillo de aplicar, comprende la inmersión de la pieza metálica en un baño fundido del metal a proteger, es práctico solo para metales de bajo punto de fusión, como el zinc (Zn) y el aluminio (Al), con un recubrimiento de zinc sobre el acero, el zinc se convierte en el ánodo y el acero en el cátodo de la pila galvánica, y el acero no se corroe sino hasta que se haya consumido en su vecindad inmediata.

METODOS ACTIVOS.

Protección anódica.

Cuando un metal o aleación cambia de activo a pasivo, la densidad de corriente se reduce considerablemente, hasta adquirir un valor muy bajo, en determinados casos, la industria hace uso de esta característica para la protección de un metal. Este se mantiene dentro del estado pasivo, y se habla entonces de protección anódica. La pasividad es la propiedad fundamental de la resistencia útil y natural de muchos metales y aleaciones a la corrosión, de forma natural o mediante pasivadores, por ejemplo, el hierro (Fe) en soluciones de cromatos o nitritos, el plomo (Pb) en ácido sulfúrico y el magnesio (Mg) en agua.

En la protección catódica la corriente fluye en dirección opuesta a aquella que se utiliza en la protección anódica. Sin embargo, mientras que la protección catódica se puede aplicar a los metales pasivos y no pasivos, la protección anódica sólo se puede aplicarse a los que puedan lograr la pasividad cuando se polarizan anodinamente.

Entre los metales y aleaciones que se pueden utilizar para la protección anódica tenemos: cromo (Cr), níquel (Ni), titanio (Ti), zirconio (Zr), molibdeno (Mo), aluminio (Al) y los aceros inoxidables (Cr-Fe).

Protección catódica.

La protección catódica es un método electroquímico para el control de la corrosión de estructuras y/o tuberías metálicas que se encuentran en un medio corrosivo, éste se puede utilizar en metales o aleaciones como el acero, cobre, plomo, latón y aluminio entonces los suelos.

Fundamento de la protección catódica.

La protección catódica es una técnica que consiste en polarizar el cátodo, llevándolo mediante el empleo de una corriente eléctrica externa más allá del potencial de corrosión o por lo menos a el potencial del ánodo en circuito abierto, adquiriendo ambos el mismo potencial eliminándose la corrosión del sitio, en la práctica existen dos maneras de proporcionar al material la polarización para su protección catódica.

Protección catódica por ánodos de sacrificio: la cual consiste en la utilización de materiales más activos o anódicos que las estructuras y/o tuberías metálicas que se desea proteger dando origen al sacrificio de dichos elementos por corrosión.

Protección catódica por corriente impresa: la cual consiste en la utilización de una fuente de corriente externa donde se obliga a un conjunto de elementos metálicos se comporten como ánodos, no posee limitaciones de corrientes ya que pueden utilizarse fuertes tan grandes como se requiere, entre sus limitaciones, cabe mencionar la necesidad de mantenimiento periódico y el requerimiento de una fuente de energía.

Cuando ocurre el proceso de la corrosión se crea una pila de corrosión que se forma en la superficie del metal o aleación, tomando en cuenta que la corriente de la corrosión es del orden de los “*microamperios*”, la presencia de un ánodo de sacrificio impulsará una corriente del orden de los “*miliamperios*”, esto es 1000 veces mayor hacia la estructura y/o tuberías metálica a proteger. Cuando se aplica protección catódica por corriente impresa la corriente aplicada es del orden de las “*decenas de amperios*” esto es 1.000.000 de veces mayor que la corriente de corrosión. La protección catódica alcanzada puede ser parcial o total según el diseño que se haya realizado, si hay suficiente corriente llegando a la estructura y/o tubería metálica, de modo que toda ella sea catódica, habremos frenado totalmente el proceso de corrosión.

Aplicación de la protección catódica.

La protección catódica es un método electroquímico para el control de la corrosión, que está siendo utilizado cada día con mayor éxito en el mundo entero, este campo es amplio y sobre todo a las estructuras y/o tuberías metálicas que están en contacto con un electrólito, tales como:

- Tuberías enterradas o sumergidas.
- Interior de tanques de almacenamiento de agua industrial o potable.
- Fondo de tanques de almacenamiento en suelo corrosivo.
- Casco y lastre de embarcaciones
- Gabarras o muelles flotantes
- Pilotes metálicos de muelles.
- Pozos de petróleo, gas, agua, etc.
- Plataforma marina o lacustre.
- Puentes de acero y Túneles de concreto.
- Contenedores de Transporte y almacenamiento de material corrosivo.
- Calentadores de agua doméstica.
- Enfriadores.
- Cajas de condensadores.
- Intercambiadores de calor.
- Acero estructural en concreto.

-Protección catódica vs. Protección anódica.

El diagrama de POURBAIX (ver Figura 2.23) representa el comportamiento de un material determinado en un medio específico. El eje horizontal indica el valor de PH, el cual representa la concentración de iones de hidrógeno y es un indicador del grado de acidez o alcalinidad del medio corrosivo. El eje vertical representa el potencial eléctrico del material, este parámetro puede cambiarse aplicando una corriente eléctrica hacia o desde el metal en estudio.

La *protección catódica* suministra una corriente eléctrica desde un elemento o conjunto de elementos exteriores hacia el metal de modo que el potencial del mismo baje hasta la zona de inmunidad.

La *protección anódica* consiste en drenar una corriente eléctrica desde el metal hacia un elemento o conjunto de elementos exteriores de modo de oxidarlo superficialmente, formando una capa protectora de óxido que lo aísla del medio corrosivo. Entre los metales y aleaciones que se pueden utilizar para la protección anódica tenemos: cromo (Cr), níquel (Ni), titanio (Ti), zirconio (Zr), molibdeno (Mo), aluminio (Al) y los aceros inoxidables (Cr-Fe).

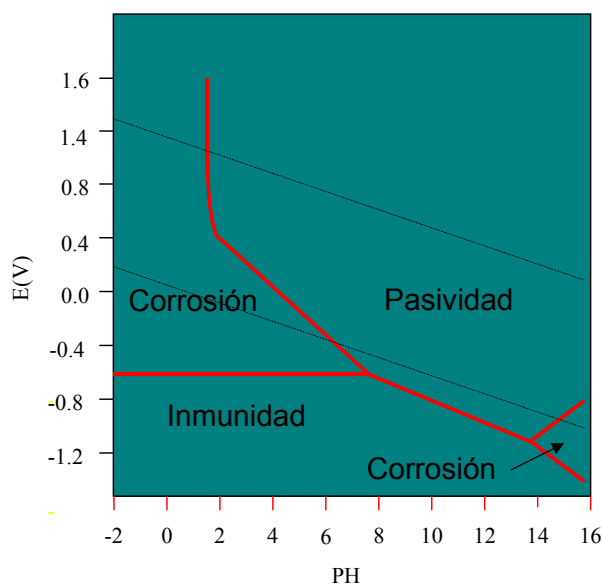


Figura 2.23 Diagrama de Pourbaix

La protección catódica tiene como hemos visto un campo de aplicación muy extenso en cambio la protección anódica sólo puede aplicarse a metales que sean capaces de pasivarse, esto es el caso del aluminio (Al), Titanio (Ti), cromo (Cr), etc.

Protección catódica por ánodos de sacrificio.

La primera técnica de protección catódica utilizada fue en el año de 1823 por Sir Humphrey David en Inglaterra, buscando proteger las planchas de cobre de los cascos de barcos contra la corrosión, ensayando con elementos de hierro, zinc y de estaño, los dos primeros dieron buenos resultados. Posteriormente el cobre es reemplazado por hierro en la fabricación de los barcos, los ánodos de zinc adquieren mayor importancia porque proveen una adecuada protección.

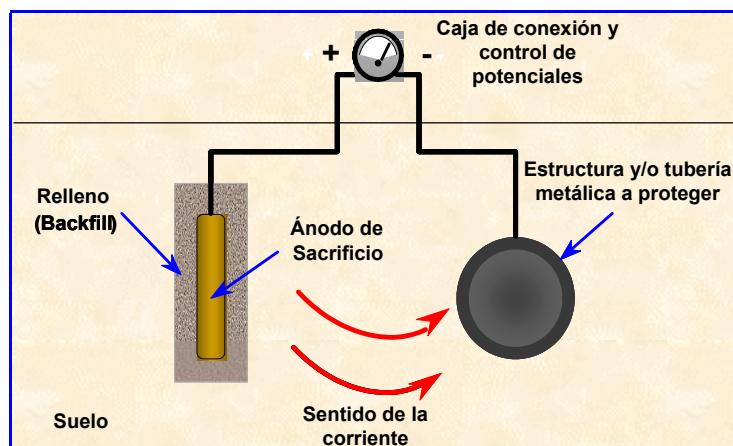


Figura 2.24.Esquema de instalación para protección catódica por ánodo de sacrificio.

La protección catódica por ánodos de sacrificio consiste en unir eléctricamente un metal (un ánodo o varios ánodos) que sean más activo o anódico que la estructura y/o tubería metálica que se desea proteger, estableciéndose una pila galvánica con un flujo de corriente en dirección descrita antes.

Tipos de anodos de sacrificio.

Considerando que el flujo de corriente se origina en la diferencia de potencial entre el metal activo y la estructura y/o tubería metálica a proteger, éste último deberá ocupar una posición más elevada en la tabla de potencial, entre los metales que más se utilizan como ánodos de sacrificio para protección catódica son:

Tabla 2.2

Medio Corrosivo	Material anódico (aleación)
Suelo	Zinc hasta 1500 Ω/cm
Suelo	Magnesio más de 1500 Ω/cm
Agua dulce	Magnesio
Agua salada	Aluminio /Mercurio
Agua salada	Aluminio/Indio
Fondo del mar	Aluminio/Mercurio
Fondo del mar	Zinc

Ánodos de magnesio: posee un elevado potencial de disolución que implica una corriente elevada a costa de consumirse con gran rapidez y esta libre de lograr la pasividad, se utiliza en estructuras y/o tuberías metálicas en suelo con una resistividad eléctrica desde 3000 $\Omega\text{-cm}$ hasta 10000 $\Omega\text{-cm}$. Es frecuente alea los ánodos de magnesio con 6% de aluminio (Al) y 3% de Zinc (Zn) para reducir el ataque por picadura y aumentar el redimiendo de corriente. El rendimiento medido de los ánodos de magnesio es por términos de unos 1000 A-h/Kg frente un rendimiento teórico de 2000 A-h/Kg.

Ánodos de zinc: posee un elevado potencial de disolución que implica un alto rendimiento de corriente, uno de los factores que más puede limitar la utilización de los ánodos de Zinc es la resistividad eléctrica del medio corrosivo, y por ello es aconsejable para un suelo de resistencia eléctrica hasta de $1500 \Omega\text{-cm}$. También debe cuidarse su utilización en presencia de agua dulce a una temperatura por encima de 65°C , ya que en estas condiciones puede invertir su polaridad y hacerse catódico con relación al acero.

Ánodos de aluminio: por su parte no se emplean en suelos, porque se recubren de una capa de óxido de aluminio (Al_2O_3) que lo inactiva (pasividad); en cambio cuando son sometido a la acción de agua de mar o agua con suficiente cloruro, éstos rompen la capa pasiva activándose nuevamente el ánodo, de ahí que su campo de aplicación se reduce a estructuras en agua de mar o agua con suficiente cloruro. Los ánodos de aluminio no tienen competencia ya que su rendimiento es el doble que los ánodos de magnesio y casi cuatro veces que los ánodos de zinc y también su vida útil es mucho más prolongada que los otros dos ánodos.

Relleno de los ánodos de sacrificio.

Los ánodos de sacrificio en aguas, se emplean desnudos, mientras que en el suelo pueden lograr la pasividad haciéndolo inactivo, por tanto se coloca a su alrededor un medio químico artificial, llamado relleno de “**backfill**” cuya composición varía de acuerdo con el tipo de suelo, y consta de tres elementos principales:

Bentonita: coloide inorgánico para la retención de humedad, por su capacidad de absorber gran cantidad de agua y mantener el medio húmedo, porque al hacerlo se adhiere fuertemente al ánodo y a la pared del pozo donde se instala el mismo.

Sulfato de calcio (CaSO_4): o yeso, es una sal soluble en agua que le confiere a ésta una mayor conductibilidad eléctrica.

Sulfato de sodio (Na_2SO_4): mejora la conductividad eléctrica aún en mayor medida que el yeso, pero su costo es mayor.

Con frecuencia un relleno consta de bentonita y yeso solamente el sulfato de sodio (Na_2SO_4) se incorpora en pequeñas concentraciones cuando la resistencia eléctrica del ánodo es elevada y se requiere un relleno que facilite aún más el drenaje de corriente en esas condiciones, el relleno de backfill mejora las condiciones de operación de los ánodos de sacrificio, este produce los siguientes beneficios: mayor eficiencia, desgaste homogéneo del ánodo, evita efecto negativo del suelo sobre el ánodo, absorbe humedad del suelo manteniendo dicha humedad permanente. Los ánodos de sacrificio en suelo normalmente vienen empacado en una bolsa o saco de algodón que contiene un relleno, con el tiempo la bolsa desaparece por acción del suelo pero el relleno ya está ubicado alrededor del ánodo facilitando el trabajo del mismo.

Pletina lineal: consiste en un alambre delgado de acero al carbono o bien galvanizado que se coloca en el centro del molde donde se vaciara el material anódico del horno de fundición, su limitación es que la superficie de contacto entre el alambre y la masa anódica pueda crear una capa de mayor resistencia al paso de corriente. En el mercado existen los siguientes alambres de acero.

Lámina perforada: a través de las perforaciones penetra el material de la masa anódica fundido logrando un mejor contacto eléctrico e impidiendo que se pueda desprender del núcleo.

Alambre en espiral: uno de los mejores sistemas de núcleo porque proporciona una gran superficie de contacto con la masa anódica fundida reduciendo la resistencia eléctrica.

Ventaja y desventaja de la protección catódica por ánodo de sacrificio.

Las ventajas del empleo de ánodos de sacrificio son:

- Funcionan independientemente de una fuente de energía eléctrica.
- Su instalación es simple, y si después de una inspección no se obtienen los niveles deseados de protección, pueden fácilmente añadirse nuevos ánodos.
- Nunca puede estar incorrectamente unidos a la estructura.
- La interferencia con otras estructuras es prácticamente nula.

Las desventajas de los ánodos de sacrificio:

- Los ánodos de sacrificio se utiliza en instalaciones de dimensiones reducida.
- Se utilizan en estructura y/o tubería metálica bien recubiertas que necesitan baja corriente de protección.
- Se utilizan grandes cantidades de ánodos para proteger grandes superficie.
- Sólo se utiliza hasta un valor resistividad del suelo hasta 5000 Ω -cm.
- En instalaciones enterradas, la sustitución al cabo de los años supone un elevado costo de obra civil.

Protección catódica por corriente impresa.

La protección catódica por corriente impresa se llevó a cabo aproximadamente cien años después que el de ánodos de sacrificio, este sistema de protección utiliza una corriente suministrada por una fuente de corriente continua para imprimir la corriente necesaria para la protección de estructuras y/o tuberías metálicas, como se indicó en la Figura 2.23.

Este sistema de protección consiste en unir eléctricamente las estructura y/o tubería metálicas a el terminal negativo de una fuente de corriente continua regulable (pura o rectificada) y el terminal positivo de la fuente estará conectado a una cama de ánodos, a fin de forzar la descarga de corriente de protección hacia el elemento a proteger.

La cama de ánodos o lecho anódico está constituida por ánodos auxiliares que se hacen de chatarra de hierro, grafito, ferrosilicio, titanio platinado, etc. Este tipo de sistema por corriente impresa trae consigo en beneficio de que los materiales a usar en la cama de ánodos se consumen a velocidades menores, pudiendo descargar mayores cantidades de corrientes y mantener una vida más amplia.

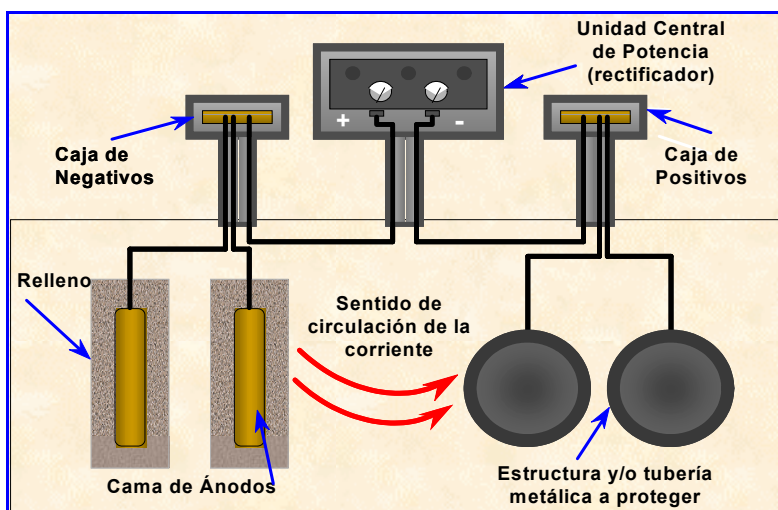


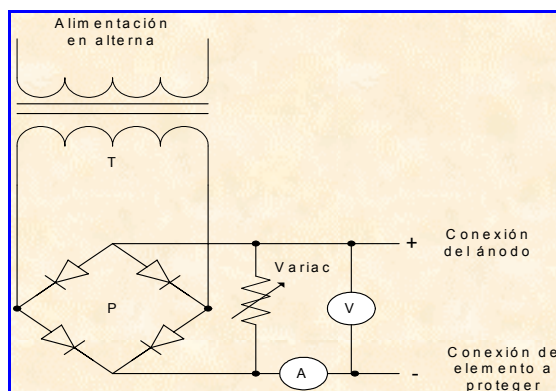
Figura 2.25 Esquema de instalación de la protección catódica por corriente impresa.

Elementos de la protección catódica por corrientes impresa

Una instalación de protección catódica por corriente impresa consta de:

Unidad central de potencia (UCP): la cuales están preparada para regular la corriente o tensión de salida, existen dos sistema diferentes; las unidades manuales de regulación de salida y las unidades automática y manual de salida. Las unidades central de potencia (UCP) son aparatos que permiten el paso de la corriente en un solo sentido y se conoce con el nombre de Rectificador.

Estos aparatos se alimentan con corriente alterna y esta constituido por un transformador monofásico T, alimentado en el primario a 110V o 220V, (tensión de la red de distribución). La tensión de salida se puede ajustarse según las necesidades, ya que posee un puente monofásico reductor P, compuesto de cuatro (4) diodos de selenio o silicio.



La tensión de salida puede ser regulada con la ayuda de un variac el cual permite una regulación desde el cero hasta el valor máximo. Cuando se requiere de una intensidad de corriente elevada es más económica la utilización de un rectificador alimentado con corriente alterna desde 277V.

Cama de ánodos: o lecho de anódico, al igual que los ánodos de sacrificio o galvánico, permitirán la inyección de una corriente elevada y garantiza una larga vida, así empleado son: chatarra de hierro, el grafito, ferrosilicio, titanio platinado, etc.

Ánodos auxiliares utilizados en la corriente impresa.

Todos estos ánodos van consumiéndose a mayor o menor velocidad con el paso de la corriente. Así, por ejemplo, la chatarra de hierro se consume muy rápidamente y el titanio platinado a un ritmo muy lento. A continuación se describen brevemente cada uno de estos electrodos.

Ánodo de chatarra de hierro: es económico y utilizado con frecuencia como ánodo auxiliar, su desgaste varía de 7.5 a 10 Kg/A-año y hay que renovarlo periódicamente, este tipo de ánodo puede ser aconsejable la utilización de este tipo de ánodos en terrenos de resistividad elevada, y es recomendable también que se le rodee de un relleno artificial constituido por carbón de coque (con un diámetro medio de partícula de 10 mm).

Ánodo de grafito: es recomendable para terrenos de resistividad media, con un relleno de grafito o de carbón de coque, éste es más caro que los ánodos de chatarra de hierro, es más frágil y su instalación hay que hacerla con mayor cuidado, su longitud oscila entre 1 000 y 2 000 mm y su diámetro entre 60 y 100 mm. Son más ligeros de peso que los de ferrosilicio, la máxima corriente de salida que tienes es de 3 a 4 A por ánodo y su desgaste varía de 0.5 a 1.0 kg/A-año.

Ánodos de ferrosilicio: son ánodos de una aleación de hierro-silicio muy frágil en virtud de su estructura cristalina, por lo que se ha de tener un extremo cuidado en su embalaje y transporte, son recomendable en suelo de resistividad media y baja, normalmente rodeado de un relleno de carbón de choque, que a intensidades bajas de corrientes (1 A), su vida es prácticamente ilimitada, y la máxima corriente de salida es de unos 12 a 15 A por ánodo, su desgaste varía de 0.5 a 0.9 kg/A-año. Su dimensión normal es de 1500 mm de longitud y de 75 mm de diámetro y su peso aproximado es de 60 kg.

Ánodos de titanio platinado: estos ánodos emplean materiales nobles como el titanio platinado o el niobio platinado sobre núcleo de cobre que son capaces de drenar cantidades de corrientes durante un periodo de vida útil muy prolongado, debido a su bajo desgaste al paso de corriente, estos son llamados *ánodos inertes* y surgieron después de la segunda guerra mundial, normalmente se producen en forma de alambre delgado o mallas de alambres y su uso se ido expandiendo.

Son ánodos utilizados en agua de mar, aunque también en aguas dulces o incluso en suelos. Su característica más relevante es que con pequeños voltajes (12 V) se pueden sacar intensidades elevadas de corriente, y además, su desgaste es apenas perceptible. En el agua de mar tiene, sin embargo, algunas limitaciones con respecto a la tensión a la que se puede aplicar, la cual nunca puede pasar de 12 V, ya que las tensiones más elevadas podrían ocasionar que se despegara la capa de óxido de titanio y que, por tanto, se deteriorara el ánodo. En aguas dulces que no tengan cloruros estos ánodos pueden actuar a tensiones de 40-50 V. La máxima corriente de salida es de 3000 A/m², y su desgaste en las condiciones más adversas es de 0.01 g/A-año. Su forma es diversa: pueden estar hechos en forma de una barra maciza, de tubo, chapa, alambre, etc. El platinado puede ser continuo, según las necesidades, y los espesores de platino pueden ser de 2.5 y 5 micras. La vida de los ánodos con 2.5 micras de espesor de platino se estima en 10 años aproximadamente y los de 5 micras duran entre 20 y 25 años. Su resistencia mecánica es pequeña, y por simple abrasión, como en los casos de buques que naveguen por zonas que puede suceder que el platino desaparezca y quede el ánodo pasivado instantáneamente, y resulte, por tanto, inservible, éste un caso extremo, que no suele suceder, pero al menos se tiene que saber que esto puede pasar.

Ánodos de tántalo platinado: es semejante al anterior, aunque tiene sobre aquél la ventaja de que en agua de mar puede trabajar a tensiones altas (50-60 V); sin embargo, su adquisición es menos fácil y su precio es más elevado. Dado que en agua de mar y a voltajes bajos se emplean grandes intensidades de corriente, el uso de este ánodo, en general, no se justifica del todo.

Ánodos de plomo-plata: estos ánodos están constituida por 2% de plata y una pequeña cantidad de antimonio. El peróxido de plomo que se forma al actuar anódicamente (que tiene el color del cacao) posee unas propiedades mucho más elevadas en virtud de los elementos de aleación que se traducen en un mejor funcionamiento y duración del electrodo. Se utiliza más en el agua de mar, donde la máxima corriente de salida es de 270 A/m^2 , su desgaste varía de 50 a 200 g/A-año, estos ánodos deben presentar una superficie plana, con lo cual se evitan en lo posible las aristas, pues en estas zonas la capa de peróxido de plomo se forma mal o no se forma, por lo que en estos puntos se puede presentar una corrosión fuerte. Para la protección en el agua de mar se recomienda los ánodos de Plomo-Plata (2%Ag-98%Pb) que tiene una duración de 10 años y los ánodos de Platino-Iridio (10%Ir-90%Pt/) que es todavía mayor.

Ánodos de titanio-óxido de titanio-óxido de rutenio: estos ánodos, desarrollados en Estados Unidos en 1968, están constituidos por una combinación de óxidos de titanio y de rutenio, que se adhieren a un soporte de titanio, mientras se controla el proceso a alta temperatura (700°C), como resultado se obtiene una estructura cristalina y dura que presenta una superficie extremadamente rugosa, lo que aminora los problemas de resistencia y facilita el proceso electroquímico, la máxima corriente de salida es de 1100 A/m^2 y lo coloca a la altura de los ánodos de titanio platinado, y su costo es aproximadamente 20% menos.

Ánodos de polímero-grafito: este tipo de ánodo tiene la forma de un cables eléctrico gruesos paralelos a una tubería capaces de drenar corrientes a todo lo largo del ánodo, esto permite lograr una excelente distribución de la corriente de protección en toda la estructura, tiene aun gran campo de aplicación en la protección de los cables de distribución de energía eléctrica y cables.

Propiedades de los anodos auxiliares utilizado por corriente impresa.

Los ánodos que se utilizan en la corriente impresa pueden dividirse, en cuanto a su consumo, en: a) ánodos solubles, b) semiinertes y c) inertes. Actualmente se prefieren los inertes ya que, pese a que su costo es más alto, tienen las mejores características. En la Tabla 2.3 resumen las propiedades principales de los ánodos utilizados en la corriente impresa, clasificados según su consumo.

La elección de un ánodo no se hace solamente en base a su consumo o a la densidad de corriente que puede proporcionar; hay que tener en cuenta, además, sus propiedades de resistencia mecánica, su resistencia a la erosión (como en el caso de que sean utilizados en agua de mar, y sobre todo sumergidos en las inmediaciones del mar o en el fondo marino), su facilidad de instalación, el tiempo de sustitución e incluso su disponibilidad en el mercado.

Tabla 2.3. Característica de los ánodos empleado por corriente impresa.

Tipo de ánodo utilizado	Peso Específico g / cm^3	Desgaste Del ánodo $Kg / A - año$	Corriente máxima A / m^2	Corriente práctica A / m^2	Medio donde se puede utilizar el ánodo
Acero	7.8	9.0	5	1	Todo tipo de medio.
Chatarra de hierro	7.0	4.0-5.1	5	1	Todo tipo de medio.
Grafito	1.6	0.1-1.0	10.-100	2.5-40	Terreno, agua de mar, excluido el fondo marino y el agua dulce.
Ferrosilicio (Fe-Si)	7.0	0.25-1.0	30-40	10-100	Terreno, agua dulce.
Hierro-cromo-silicio (Fe-Cr-Si)	7.0	0.25-1.0	270	10-100	Terreno, agua mar, fondo marino.
Plomo-Plata (Pb-Ag)	11.3	0.2	300	30-65	Solo agua de mar, excluido el fondo marino
Plomo-Plata-silicio (Pb-Ag-Si)	11.0	0.5	300	50-200	Solo agua de mar, excluido el fondo marino
Titanio platinado (ánodo inerte)	4.5	8μ	400 por cada micra de platino de espesor	500-1000	Terreno no salino con backfill, agua de mar , excluido fondo marino y agua dulce.
Niobio-platinado (ánodo inerte)	8.5	8μ	400 por cada micra de platino de espesor	500-700	Terreno no salino con backfill, agua de mar , excluido fondo marino y agua dulce.
Tántalo-platinado (ánodo inerte)	14.6	8μ	400 por cada micra de platino de espesor	500-1100	Terreno no salino con backfill, agua de mar , excluido fondo marino y agua dulce
Titanio-óxido De rutenio (DSA) (ánodo inerte)	4.5	5μ	1100	700-1100	Todo tipo de medio

Relleno de los ánodos por corriente impresa.

También en este campo se emplea un relleno que facilita el trabajo del ánodo a diferencia de los ánodos de sacrificio, este tiene un solo tipo de componente: *coque metalúrgico*. El coque metalúrgico tiene una buena conductividad eléctrica, la cual facilita la salida de la corriente de protección desde el ánodo al suelo; debe emplearse a una cierta granulometría (alrededor de 10 mm de diámetro promedio) a fin de permitir la salida hacia la superficie de los gases que se generan alrededor del ánodo, de lo contrario, la acumulación de gases actuara como una barrera entre el ánodo y el medio, dificultando el drenaje de la corriente de protección.

Ventajas y desventaja de la protección catódica por corriente impresa.

Las ventajas del uso de la corriente impresa son:

- Una gran ventaja de este método es la posibilidad de proteger una gran superficie con un solo ánodo.
- Puede diseñarse para un amplio intervalo de tensión y de corriente.
- Un ánodo o lecho de ánodos puede suministrar una gran intensidad de corriente.
- Es eficaz para proteger estructuras y/o tuberías metálicas no recubiertas o mal recubiertas.
- El sistema puede controlarse ajustando la tensión o corriente de salida.
- Con el uso del sistema automático se garantiza una correcta protección

Las desventajas del uso de la corriente impresa son:

- Requiere de un costo de inversión elevado.
- Requiere de una fuente de corriente continua.
- Requiere de una inspección periódica y de mantenimiento.
- Las conexiones y cables están sujetos a rotura.
- Riesgo en que si la conexión del polo negativo al elemento a proteger se destruye, puede provocar una corriente de fuga sobre el mismo.
- Puede originar problema de interferencia eléctrica.

Tipo de metal	Reacción del electrodo	Potencial del electrodo (25 °C)
Catódico o Noble	$Au = Au^{+3} + 3e$	+1,498
Catódico o Noble	$Pt = Pt^{+2} + 2e$	+1,200
Catódico o Noble	$Pd = Pd^{+2} + 2e$	+0,987
Catódico o Noble	$Ag = Ag^{+} + e$	+0,799
Catódico o Noble	$Hg = Hg^{+2} + 2e$	+0,788
Catódico o Noble	$Cu = Cu^{+2} + 2e$	+0,337
Referencia	$H_2 = 2H^{+} + 2e$	0,0000
Anódico o Activo	$Pb = Pb^{+2} + 2e$	-0,126
Anódico o Activo	$Sn = Sn^{+2} + 2e$	-0,136
Anódico o Activo	$Ni = Ni^{+2} + 2e$	-0,256
Anódico o Activo	$Co = Co^{+2} + 2e$	-0,277
Anódico o Activo	$Cd = Cd^{+2} + 2e$	-0,403
Anódico o Activo	$Au = Au^{+3} + e$	-0,400
Anódico o Activo	$Cr = Cr^{+3} + 3e$	-0,744
Anódico o Activo	$Zn = Zn^{+2} + 2e$	-0,763
Anódico o Activo	$Al = Al^{+3} + 3e$	-1,662
Anódico o Activo	$Mg = Mg^{+2} + 2e$	-2,363
Anódico o Activo	$Na = Na^{+} + e$	-2,714
Anódico o Activo	$K = K^{+} + e$	-2,925
Anódico o Activo	$Li = Li^{+} + e$	-2,960

Anexo 2.3 Tabla de la serie electroquímica.

METALES ACTIVOS	METALES PASIVOS
Magnesio	Acero inoxidable 18-8,tipo 304(activo)
Aleación de Magnesio	Acero inoxidable 18-8,tipo 316 (activo)
Zinc	Plomo
Aluminio 52-SH	Estaño
Aluminio 4-S	Metal Muntz
Aluminio 3-S	Bronce al Magnesio
Aluminio 2-S	Bronce naval
Aluminio 53-S-T	Níquel (activo)
Alclad	76% Ni,16% Cr, 7% Fe (Inconel) (activo)
Cadmio	Latón amarillo
Aluminio 17-S-t	Bronce al aluminio
Aluminio 17-S-T	Latón rojo
Aluminio 17-S-T	Cobre
Acero dulce	Bronce al silicio
Hierro Forjado	5% Zn,20% Ni, 75% Cu (Ambrac)
Fundición	70% Cu,30% Ni
Ni-Resist	88% Cu, 2% Zn, 10% Sn (Bronce G)
Acero Inoxidable 13% Cr tipo 410	88%Cu,3%Zn,6.5% Sn,1.5%Pb(Bronce M)
Soldadura 50-50 plomo-estaño (Pb-Sn)	Níquel (pasivo)
	Acero inoxidable 18-8,tipo 304 (pasivo)
	Acero inoxidable 18-8,tipo 316 (pasivo)

Anexo 2.4 Tabla de la serie galvánica.

Anexo 2.5 Metodología para la medición de la resistencia de aislamiento riel-suelo “Rr-s”

METODOLOGÍA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LAS CORRIENTES DE FUGA Y SUS EFECTOS DE CORROSIÓN.

Introducción.

A fin de resguardar los equipos y estructuras propias y externas a la C. A. Metro de Caracas de las corrientes de fuga es necesario obtener medidas de diagnóstico y control periódico que permitan:

- (a) Verificar periódicamente el buen estado de las instalaciones (estructuras y equipos) y de los medios de protección establecidos en el diseño del sistema.
- (b) Establecer la naturaleza de la corrosión y su origen, si es por corrientes de fuga o por otros factores externos.
- (c) Establecer la probabilidad de corrosión por corrientes de fuga.
- (d) Determinar la influencia de las corrientes de fuga emitidas o colectada.
- (e) Localizar los esfuerzos preventivos y correctivos prioritarios en las zonas críticas según su probabilidad de corrosión.

Este diagnóstico puede llevarse a cabo mediante inspecciones y mediciones de variables que describen el estado del sistema de tracción de la C. A. Metro de Caracas.

Metodología para la medición de la resistencia de aislamiento riel-suelo “Rr-s”.

Al asegurar una buena resistencia de aislamiento entre los rieles de rodamiento y el suelo se protege el sistema limitando las corrientes de fuga desde la emisión, es decir, aplicando el control de la fuente.

El objetivo de esta medición es determinar el valor de la resistencia de aislamiento riel-suelo “Rr-s” entre los rieles de rodamiento y el suelo, para comparar con valores mínimos de referencia (ver Anexo 4.5) y luego evaluar las corrientes admisibles con la ayuda de los potencial medio riel-suelo.

La metodología se basa en una medición convecional (voltio-amperimetro), ley de ohm, fuente de tensión DC. Las mediciones de la resistencia de aislamiento riel-suelo “Rr-s” se realiza de la siguiente manera:

- (a) Se inspecciona las condiciones ambientales del tramo a medir (preseleccionado y de largo conocido).
- (b) Se aísla la sección de vía de las adyacentes y se asegura la interconexión de todos los rieles del tramo.
- (c) Se instala las fuentes y las instrumentaciones según el esquema de la Figura 2.26.
- (d) Se aplica una tensión aproximada de 100 Voltio DC.
- (e) Se mide la corriente aplicada y la tensión en cada instrumento.
- (f) Se determina las siguientes expresiones:

$$R1=E1/I1 \quad R2=E2/I2 \quad R3=E3/I3 \quad R4=E4/I4$$

$$I1=I2=I3=I4$$

- (g) Se evalúa los resultados debiéndose cumplir:

- ❖ La resistencia riel-suelo en ohmios **Rr-s=R4**.
- ❖ Para garantizar el aislamiento de la vía de los tramos de adyacentes y su no intervención en las mediciones, las relaciones **R2/R1** y **R3/R4** deben ser mayores al 95 %.

❖ Para garantizar la continuidad longitudinal de las vías (rieles), R_4/R_1 debe estar entre un 95 % y 100 %.

❖ Para concetir un nivel aceptable de aislamiento riel-suelo “ R_{r-s} ” debe ser mayores que los niveles mínimos de referencia para cada tipo de fijación. Estos niveles semuestran en el Anexo 4.5

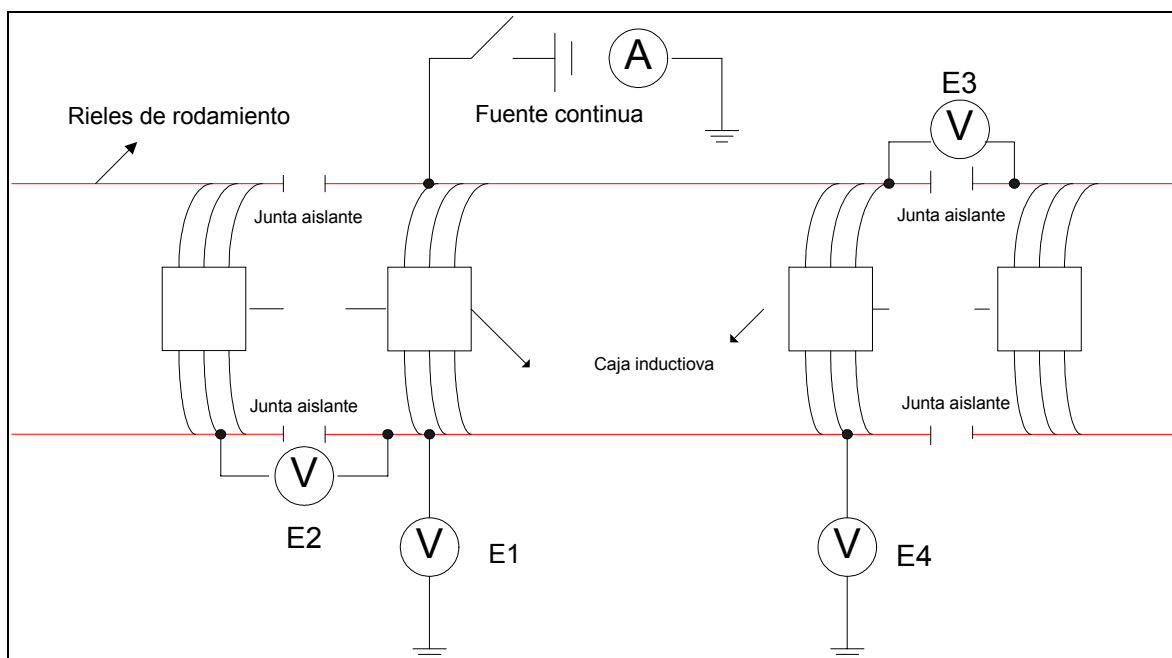


Figura 2.26. Diagrama de conexión para medir la resistencia de aislamiento riel-suelo “ R_{r-s} ”.

Anexo 2.6 Corrientes vagabundas: corrosión y modos de protección.

Courants vagabonds : corrosion et moyens de protection

René HOCQUET,

Division VZL, Direction de l'Équipement,
Société Nationale des Chemins de Fer Français.

Après avoir rappelé l'originalité des circuits de retour des courants de traction électrique, l'auteur passe en revue les divers types de corrosion rencontrés en milieu ferroviaire. Il décrit le processus de la corrosion électrolytique par courants vagabonds, observée uniquement le long des voies électrifiées à courant continu.

L'auteur indique ensuite les divers procédés passifs et actifs utilisés pour protéger les rails et les canalisations contre la corrosion, en développant plus particulièrement le montage de protection cathodique par drainage électrique polarisé, montage généralisé à la SNCF.

Enfin l'auteur donne quelques exemples d'installations de protection cathodique : câble SNCF Avignon-Miramas et Champ d'exploitation du gaz naturel de Lacq.

I. Introduction.

Le présent texte, consacré à la corrosion et aux moyens de protection des ouvrages à proximité des voies électrifiées, n'aborde pas les principes généraux et théoriques des phénomènes de corrosion chimique et électrochimique.

La première partie rappelle l'originalité des circuits de retour du courant de traction : le faible isolement des voies par rapport à la terre laisse dériver vers le sol une partie des courants de traction, appelée « courants vagabonds ». Leur retour anarchique à la sous-station d'alimentation peut entraîner une corrosion des structures métalliques enterrées. Bien que ce phénomène n'ait été observé qu'à proximité des lignes de traction à courant continu, il apparaît intéressant, avant d'aborder la description des procédés de protection utilisés à la SNCF, de comparer les deux modes d'électrification à courant alternatif industriel (f. 50 Hz) et à courant continu sur leur environnement respectif et sur les problèmes de protection inhérents plus particulièrement aux circuits de retour et aux courants vagabonds.

Quelques exemples d'installations de protection cathodique sont présentés et montrent l'importance qu'accorde la SNCF à la protection des ouvrages enterrés contre la corrosion électrolytique due aux courants vagabonds.

II. Circuits de retour des courants de traction et courants vagabonds.

A. Généralités.

Les réseaux de traction électrique, à l'exception des lignes trolleybus, diffèrent fondamentalement des réseaux d'alimentation et de distribution d'énergie électrique par leurs circuits de retour.

Sur les voies électrifiées à plate-forme indépendante (cas des lignes SNCF), le retour des courants de traction électrique vers les sous-stations est assuré par les rails de roulement posés sur traverses et sur ballasts. Le faible isolement de la voie par rapport à la terre engendre des courants vagabonds.

Selon la nature du courant (continu ou alternatif), les circuits de retour posent des problèmes différents de perturbations et de protection.

La SNCF a équipé environ 5 000 km de voies en électrification 1 500 V courant continu et environ 4 500 km en 25 kV - 50 Hz. La ligne nouvelle Paris-Sud-Est sera électrifiée en 25 kV - 50 Hz.

B. Schémas d'alimentation.

Le schéma de la figure 1 montre le principe d'alimentation d'un tronçon de voie équipé en 1 500 V courant continu : on remarque que le pôle négatif de la sous-station de traction n'est pas relié directement à la terre, en conformité avec l'Arrêté interministériel du 26 mai 1978 [1].

La figure 2 se rapporte à une installation de traction à courant monophasé 50 Hz : on note la liaison directe entre les rails, la terre de la sous-station et la base du transformateur d'alimentation 25 kV - 50 Hz ; le retour traction se fait essentiellement par la terre.

C. Comparaison des modes d'électrification.

La figure 3 présente les différences caractéristiques des deux modes d'électrification : le courant 50 Hz engendre des phénomènes électrostatiques et électromagnétiques, tandis que le courant continu est à l'origine de la corrosion électrolytique des ouvrages enterrés non protégés.

Les risques de corrosion s'accroissent si l'isolement de la voie devient faible ; en revanche les tensions

Courants vagabonds / 23

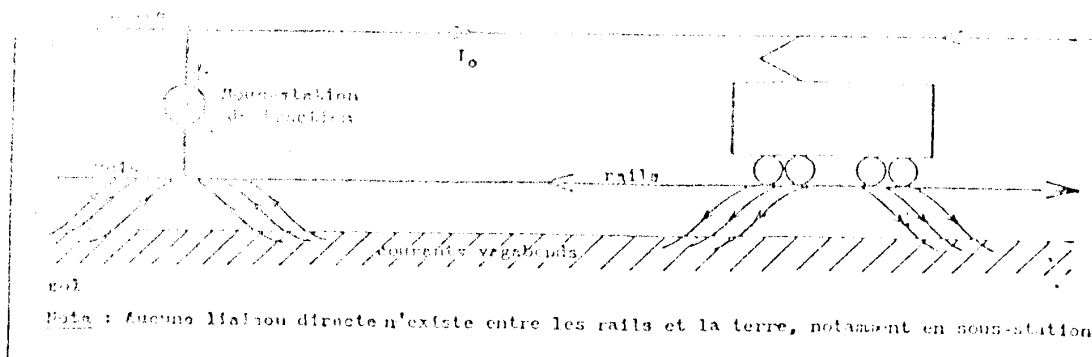


Fig. 1. Schéma d'alimentation d'un tronçon de voie électrifiée 1500 V courant continu.

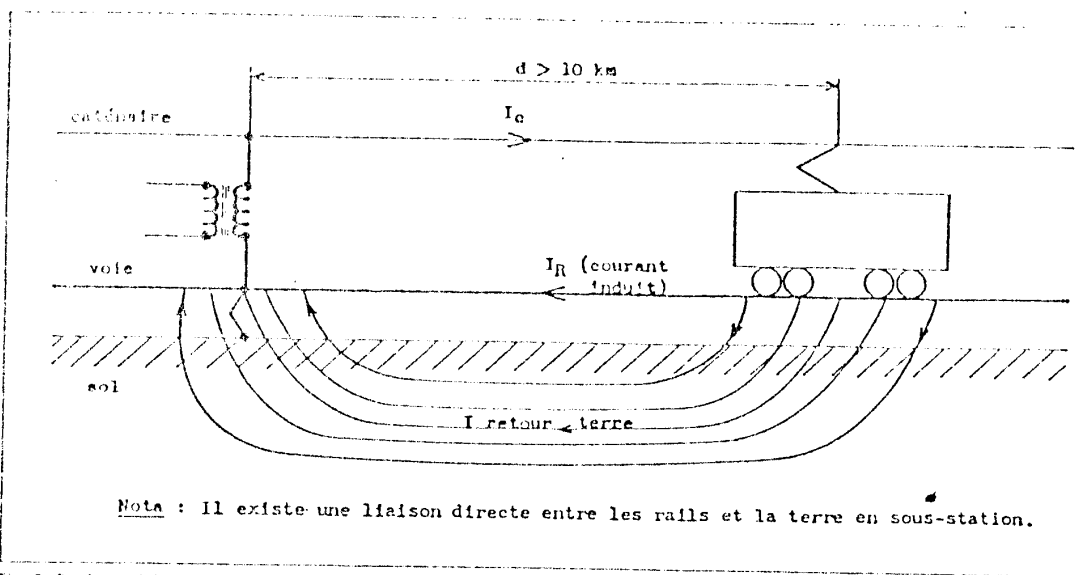


Fig. 2. Schéma d'alimentation d'un tronçon de voie électrifiée en 25 kV 50 Hz.

rail/sol restent largement inférieures aux valeurs limites recommandées par le CCITT [2] pour la protection du personnel.

A l'inverse, si l'isolement est excellent, les courants vagabonds diminuent, mais les tensions rail/sol risquent de devenir supérieures aux valeurs prescrites.

Il apparaît ainsi un difficile compromis entre la protection contre la corrosion et la protection du personnel pour fixer la valeur optimale d'isolement de la voie.

Par ailleurs les dangers dus à la foudre, les risques de chute de caténaire ou de contournement d'isolateurs imposent de nouvelles protections au niveau des rails et des structures métalliques aériennes, à l'aide de parafoudres et d'intervalles de décharge.

Enfin pour être complet, il est nécessaire d'évoquer le circuit de voie, circuit électrique de signalisation qui utilise également les rails de roulement comme conducteurs et dont la mission est de surveiller un tronçon de voie dans le cadre de la protection des trains et des installations de gare, telles les aiguilles. Son fonctionnement est également tributaire de l'isolement de la voie et des caractéristiques électriques des rails. Il permet en outre de détecter un défaut dans la continuité des rails.

Ces quelques considérations sont destinées à montrer que les circuits constitués par les rails doivent satisfaire à de nombreuses contraintes parfois contradictoires. Alors, il est logique que les spécialistes de la corrosion recherchent des moyens de protection qui tiennent compte de la présence inéluctable des courants vagabonds à courant continu dans le sol.

Caractéristiques		1 500 V CC	25 kV 50 Hz
Intensité caténaire à puissance utile égale		3 000 A	250 A
Distance moyenne entre sous-stations		10 à 20 km	50 km
Circuit aérien	Caténaire	lourde	légère
	Isolement	léger	élevé
	Phénomène électrostatique	non	oui
	Phénomène électromagnétique	non,...	oui
Circuit de retour	Tensions rail/sol	variables	variables
	Courants vagabonds	faibles par principe	importants par principe
	Risques de corrosion électrolytique	oui	non

Fig. 3. Différences caractéristiques des deux modes d'électrification SNCF.

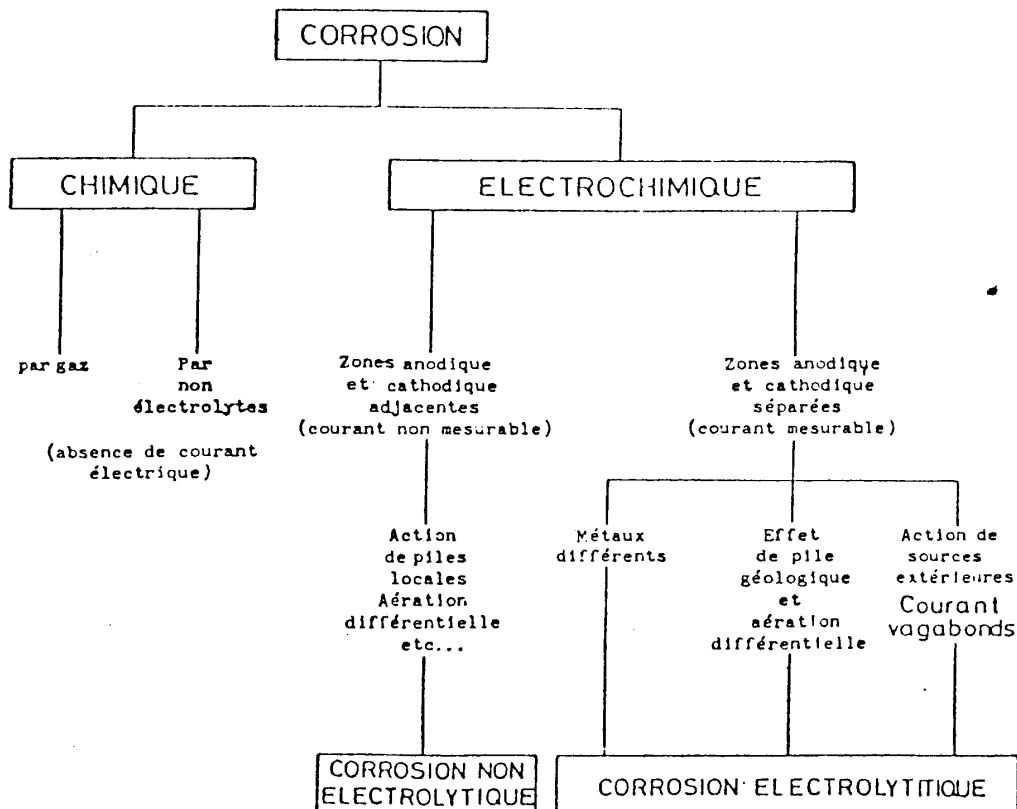


Fig. 4. Diagramme des divers types de corrosion.

Bt. Types de corrosion observées en fonction des procédés de la corrosion électrolytique par courants vagabonds.

Au types de corrosion observées (fig. 4).

Les trois types classiques de corrosion électrochimique avec et sans circulation de courant et chacun sont rencontrés dans les rails et les canalisations enterrées.

1. Rails.

La corrosion classique apparaît par piqûres sous le patin; elle est due essentiellement à une certaine humidité du ballast.

La corrosion électrochimique non électrolytique observée est consécutive à la formation de micropiles hétérogènes, particulièrement sous le patin.

La corrosion électrolytique a été constatée dans les souterrains humides électrifiés en courant continu et dans des zones de démarrages fréquents de trains lourds.

2. Canalisations enterrées.

Les corrosions observées sont toutes électrochimiques.

Les principales sont d'origine électrolytique avec circulation d'un courant entre zone anodique et zone cathodique et peuvent provenir :

- de la diversité des métaux dont est faite la canalisation,
- des effets de piles géologiques,
- de la diversité de nature des sols,
- de la circulation de courants vagabonds à courant continu.

Il est rappelé que la circulation d'un courant de 1 A entraîne la dissolution de 9 kg de fer ou de 29 kg de plomb par an.

B. Corrosion électrolytique par courants vagabonds.

Ce type de corrosion est rencontré le plus fréquemment le long des voies électrifiées en courant continu (chemin de fer, trainways).

La figure 5 montre la circulation des courants vagabonds qui, à leur entrée dans la canalisation au voisinage des points de charge-traction, crée des zones cathodiques; ces zones ne présentent aucun danger de corrosion. Par contre, les sorties de courants à proximité des sous-stations déterminent des zones anodiques dangereuses, où la dissolution du métal se développe progressivement, si aucun moyen de protection particulier n'est mis en œuvre.

Les zones de corrosion sont localisées aux abords de la sous-station, du fait que le pôle négatif de l'alimentation est relié aux rails.

Les zones cathodiques s'étendent le long de la voie entre les points d'alimentation et sont tributaires du point de charge, donc de la situation des trains électriques sur la voie.

L'inversion des polarités d'alimentation ne favoriserait pas la protection des canalisations, les sorties de courants (zones anodiques) seraient moins localisées.

C. Recherche de l'existence d'une corrosion électrolytique.

Pour connaître l'existence d'une corrosion électrolytique engendrée par les courants vagabonds, il suffit

de faire à des mesures électriques simultanées sur la canalisation et le rail le plus proche par rapport à la terre. Si les différences de potentiel sont pratiquement corrélatives, on en déduit que la canalisation est soumise à l'influence des courants vagabonds.

La description détaillée des méthodes d'investigation sera donnée plus loin.

IV. Bref historique de la protection contre la corrosion en milieu ferroviaire.

Dès le début de la traction électrique en courant continu, à la fin du siècle dernier, la protection de canalisations métalliques enterrées s'est révélée indispensable, du fait des corrosions observées et produites par les courants vagabonds. Vers 1900 apparaît le premier dispositif de protection électrique; cependant jusqu'en 1945 la protection par revêtements par joints isolants disposés de place en place fut seule protection, reconnue efficace: les canalisations étaient en fonte et les câbles ne présentaient encore une bonne continuité électrique de leur armure; continuité nécessaire pour rendre efficace toute protection électrique. A partir de 1945, les qualités requises étant obtenues, la protection cathodique a été généralisée, en lui appliquant les principes définis par l'ingénieur belge Pourbaix en 1938 et rappelés à chapitre VI.

La première grande application a été réalisée en 1949 lors de l'électrification en 1500 V à courant continu de l'artère Paris-Lyon, et en liaison avec les propriétaires des canalisations.

Certains montages mixtes de protection ont été expérimentés, tels le drainage-soutirage et le montage compound; mais, en définitive, seuls, deux procédés décrits plus loin ont vu leur généralisation: le drainage électrique polarisé et le soutirage sur anode indépendante.

V. Procédés de protection contre la corrosion autres que la protection cathodique.

Ces procédés consistent à prendre certaines dispositions pour le circuit de retour des courants de traction (circuit perturbateur) et pour les canalisations et les rails (ouvrages influencés).

A. Dispositions à prendre sur les voies en vue de la réduction des courants vagabonds.

1. Isolement de la voie par rapport au sol.

La réduction des courants vagabonds est d'abord obtenue par l'application des dispositions ci-après prescrites par l'Arrêté interministériel du 26 mai 19

• **Sous-station**: le pôle négatif, relié aux rails, doit être isolé de la terre, de même les artères de retour des barres collectrices.

• **Rails**: leur pose est faite sur traverses-bois sain imprégnés d'un produit isolant ou sur traverses béton blocs, isolées du rail par semelle canne isolante.

• **Voie**: placée sur une infrastructure de faible conductibilité, elle doit comporter un drainage hydraulique façon à éviter toute stagnation d'eau. La ballast c

de protection (parafoudres...) doit être dimensionné.

2. Résistance des rails.

La réduction de la résistance longitudinale électrique des rails constitue un deuxième élément important de protection contre les fuites de courant. Elle est obtenue de plusieurs façons :

- **Utilisation de longs rails soudés**, qui éliminent les joints mécaniques et les connexions soudées dont les résistances ne sont pas négligeables.
- **Équilibrage des courants entre les différentes files de rails**, par mise en place de liaisons transversales entre voies.
- **Emploi sur les lignes équipées de block automatique de circuits de voie biraïls** et plus particulièrement des nouveaux circuits de voie sans joints isolants, solution qui garantit intégralement la continuité électrique des rails.
- **Mise en œuvre de connexions de continuité** en certains points singuliers du circuit de retour : aiguillages, croisements, branchements, etc.

Enfin une autre solution, très favorable pour les problèmes de corrosion par courants vagabonds, consiste à créer de nouvelles sous-stations de traction intermédiaires sur les lignes déjà électrifiées.

La diminution des distances entre points d'alimentation, nécessaire dans le cas d'augmentation des puissances et de relèvement des vitesses procure de nombreux avantages : outre une réduction notable des courants vagabonds, donc des causes de corrosion électrolytique, elle permet des gains substantiels d'énergie, la diminution des tensions rail/sol, l'amélioration des conditions de disjonction.

B. Dispositions à prendre sur les canalisations et les rails.

1. Canalisations à installer.

Les dispositions consistent à isoler le mieux possible la canalisation du sol :

- **Tracé des conduites** : aussi éloigné que possible de la voie.
- **Pose en surface** : la pose en caniveaux ou sur supports isolants est préférable ; elle évite la présence de terre en contact avec la canalisation.
- **Pose en tranchée** : il convient de rechercher un terrain peu agressif (forte résistivité, pH voisin de 7).

Dans la mesure du possible, on doit éviter que les enveloppes des câbles et les canalisations ne soient en contact avec des eaux d'infiltration : des drains seront disposés dans les tranchées si nécessaire.

En certains points exposés, notamment à proximité des sous-stations, les canalisations seront placées dans une gaine protectrice (grès vernissé, béton, polyéthylène, polychlorure de vinyle...).

- **Conditions de fabrication** : la canalisation doit comporter un revêtement isolant compact, constitué de plusieurs couches protectrices, appliquées au moyen d'arrosages successifs à chaud d'une composition de consistance épaisse à base de dérivés du pétrole ou de bitumes naturels.

Pour les câbles, il est procédé entre les opérations d'encastrement à une application de rubans de papier, d'un mélange de fibre de jute ou de chanvre et enfin d'un enduit de graphite ou autre matière analogue pour empêcher le collage des spires au cours de l'enroulage.

À la pose, la continuité du revêtement isolant doit être vérifiée, en particulier à tous les points de jonction et de branchement. L'isolement de la canalisation est mesuré par rapport à la terre, après fermeture de la tranchée.

2. Canalisations déjà installées (ou à installer).

La réduction des courants de circulation dans les canalisations est obtenue au moyen de joints isolants dont le rôle est d'interrompre la continuité électrique longitudinale. Ce procédé, appelé cloisonnement, très répandu au début de la protection contre les courants vagabonds, n'est plus employé que dans certains cas et en particulier dans les zones où le courant a tendance à entrer dans la structure métallique enterrée — près d'une source de courants vagabonds, aux joints isolants de part et d'autre, — traversée sous les voies électrifiées, avec joint de part et d'autre, — dérivation et embranchement de la canalisation principale, seule soumise à l'influence des courants vagabonds, — sections de structure qui continuent au delà de réseaux de traction.

3. Rails de roulement.

Le remède contre la corrosion électrolytique de rails observée dans les souterrains humides consiste avant tout en un assèchement du souterrain, puis en un étanchement de la voûte et du radier, et enfin dans l'emploi de traverses en bois munies de trous à trefonds borgnes pour empêcher les remontées éventuelles de glaise. L'isolement des rails par rapport au sol glaiseux est une mesure de protection indispensable.

Les corrosions d'origine électrochimique dues à la formation de micropiles à l'interface du rail et de tables de sabotage se combattent par l'application d'un revêtement protecteur dont le coût croît avec son efficacité. Des essais de métallisation au zinc puis à l'aluminium après sablage, ont été effectués jusqu'en 1965. Après cette date, des applications peintures vinyliques ou bitumineuses ont été expérimentées, ainsi que des revêtements de résine. Les résultats de ces tests ont montré que la solution qui prolonge la vie des rails de sept ans, au moindre coût, est l'application de peinture après sablage et métallisation.

Les corrosions caractérisées par des piqûres sur le patin se combattent par l'épuration du ballast par l'emploi, le cas échéant, de rails à profil plus grand, durcis thermiquement et reconnus plus résistants à la corrosion.

VI. Protection cathodique en milieu ferroviaire.

A. Principe et définitions.

1. Principe.

Ainsi qu'il a été indiqué précédemment, tout phénomène de corrosion en milieu électrolytique est un phénomène électrochimique. Un métal placé dans tel milieu échange des ions avec l'électrolyte ; cette réaction est nécessairement accompagnée d'un passage de courant électrique. La corrosion est constatée sur le métal, lorsque son potentiel est plus élevé que celui de l'électrolyte. En revanche, aucun phénomène de corrosion n'apparaît, lorsqu'il y a une entrée de courant suffisante dans le métal pour abaisser son potentiel en dessous d'une valeur limite, appelée « seuil de corrosion ».

Il est donc possible de prévenir la corrosion d'un métal, quelle qu'en soit la cause, en veillant à ce que le courant d'équilibre entre le métal et le sol pénètre dans le métal en chaque point et à tout moment. Cette méthode constitue la protection cathodique.

2. Définitions.

- **Protection cathodique** : procédé basé sur l'immunsation des structures métalliques enterrées (fer, plomb, cuivre, aluminium) par abaissement de leur potentiel par rapport au milieu ambiant, maintenu dans des limites adéquates.
- **Anode** : partie métallique par où le courant pénètre dans le sol, donc en état de corrosion.
- **Cathode** : zone d'entrée de courant, zone négative, donc protégée.
- **Electrode impolarisable de référence** : demi-pile constituée d'une électrode métallique immergée dans une solution contenant une concentration déterminée d'un sel du même métal. C'est le cas de l'électrode, utilisée à la SNCF, au cuivre/sulfate de cuivre ($\text{Cu}/\text{Cu SO}_4$).
- **Potentiel entre structure et sol** : potentiel mesuré entre la structure et une électrode impolarisable placée dans le sol, aussi près que possible de la structure.

B. Critères et seuils de protection.

Pour assurer la protection cathodique d'un métal enterré dans le sol, son potentiel doit être rendu au moins aussi négatif que la valeur définie par le CCITT 1970 et indiquée dans le tableau I.

Tableau I.

Métal	Méthode de pose	Potentiel par rapport à une électrode $\text{Cu}/\text{Cu SO}_4$ (V)
Plomb	en conduite	- 0,60
Plomb armé ou plomb avec revêtement protecteur	en pleine terre ou immergé	à étudier
Fer et acier	enterré ou immergé dans un milieu anaérobie où l'action de bactéries réductrices de sulfate est probable	- 0,85
Fer et acier	dans des milieux très alcalins (certains bétons)	- 0,95
Fer et acier		- 1,00
Aluminium		(- 0,85 à - 1,4) en cours d'étude

Une protection cathodique est efficace, si en tous les points de la canalisation, le potentiel est en dessous du seuil de protection. Pour le fer et l'acier les potentiels nettement plus négatifs n'ont pas d'actions secondaires, comme cela peut être le cas du plomb et de l'aluminium. Un potentiel trop bas peut provoquer un dégagement excessif d'hydrogène et par suite déchirer le revêtement de protection dans les zones cathodiques.

Une augmentation du nombre des postes de protection cathodique le long de la canalisation permet

de résoudre les divers problèmes évoqués et réduit la puissance par chacun d'eux.

C. Description des procédés de protection cathodique.

1. Anodes réactives, dites sacrificielles.

L'anode réactive, réalisée avec une masse métallique enterrée, d'un métal plus électro-négatif que le métal à protéger, est reliée à la canalisation : la pile ainsi constituée a pour effet d'abaisser le potentiel de la conduite par rapport au sol ambiant.

On utilise généralement pour cette anode du magnésium, du zinc ou des alliages de ces métaux. Les courants de sortie sont de l'ordre de quelques dizaines de milliampères.

Ce mode de protection n'est utilisé que dans le cas d'une structure bien isolée. Elle ne peut être employée pour la protection des canalisations soumises à l'influence des courants vagabonds.

2. Soutirage.

Le soutirage consiste à utiliser une source extérieure de courant continu reliée, d'une part à la canalisation, d'autre part à un déversoir.

La borne négative du redresseur est reliée à la canalisation et la borne positive à une masse conductrice enterrée, appelée « déversoir ». Avec cette méthode de protection, on peut obtenir des courants de protection plus élevés que ceux obtenus avec des anodes réactives et protéger ainsi des structures métalliques plus importantes.

Le déversoir est souvent constitué de vieux rails dont la vie est prolongée en les disposant dans une couche de 10 cm au moins de coke écrasé. Ce montage nécessite une surveillance particulière et une vérification périodique de ses caractéristiques. Il est notamment utilisé dans le cas où la canalisation soumise à l'influence de courants vagabonds est éloignée de la voie et ne peut être reliée électriquement à la voie.

3. Drainage électrique polarisé.

a) Généralités.

Le principe du drainage électrique consiste à placer la canalisation à protéger à un potentiel inférieur à celui du sol, en la reliant électriquement au point le plus négatif de la voie.

Le drainage électrique est le mode de protection le plus employé sur les canalisations influencées par les courants vagabonds. Le courant de protection utilisé est une dérivation intentionnelle des courants de traction eux-mêmes.

Les principaux montages de drainage électrique sont :

- le drainage électrique direct,
- le drainage électrique polarisé,
- le drainage électrique forcé,
- les montages mixtes : drainage-soutirage, compound.

Le seul montage utilisé à la SNCF est le drainage électrique polarisé, du fait qu'il garantit le passage des courants dans le seul sens de la canalisation vers les rails.

b) Principe et description (fig. 6 et 7).

Le drainage électrique polarisé consiste à ne réaliser la connexion de drainage entre la canalisation et la voie, que lorsque la voie est électro-négative : le courant de drainage a, dans la connexion, un écoulement unidirectionnel, de la canalisation vers la voie.

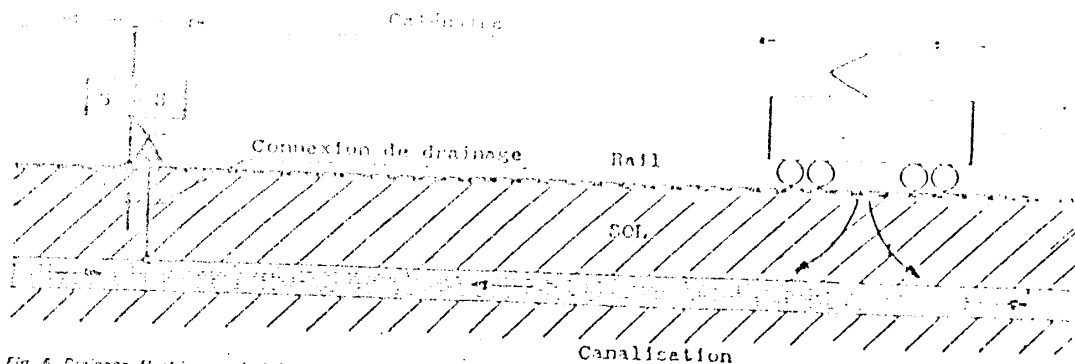


Fig. 6. Drainage électrique polarisé.

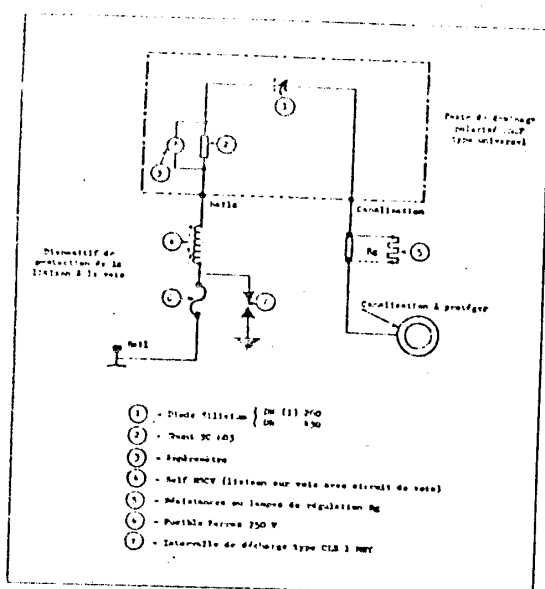


Fig. 7. Schéma type SNCF d'un poste de drainage polarisé.

L'appareillage, inséré dans la liaison de drainage, est :

- soit un contacteur commandé par relais polarisé,
- soit une diode au silicium ou au germanium.

On utilise la diode au silicium dans tous les cas où la tension rail/sol est pratiquement toujours supérieure à 0,550 V et lorsqu'on a besoin d'un courant de protection élevé, par exemple au droit des sous-stations.

Le tableau II indique les caractéristiques des différents diodes au silicium et au germanium utilisées à la SNCF.

La diode au germanium est employée lorsque la canalisation doit être protégée pour une tension rail/canalisation inférieure à 0,550 V : c'est le cas des installations un peu éloignées des sous-stations.

La résistance R_x est destinée à limiter le courant de drainage à la valeur convenable pour assurer la

protection : elle peut être constituée de lampes régulatrices, dont la résistance croît avec la tension. La SNCF utilise des lampes 30 V - 900 W.

Dans le cas d'un drainage collectif de structures constituées de métaux différents (plomb, acier, bét armé) dont les potentiels de protection sont différents, il est absolument nécessaire d'insérer des résistances calibrées dans chaque connexion de drainage pour obtenir la protection optimale.

c) Réalisation.

Après avoir choisi le point de drainage selon plusieurs critères (meilleure protection, connexion la plus courte, point accessible...), on procède à la détermination de la capacité de drainage par des mesures de la différence de potentiel entre structure et rails, de la résistance de la connexion de drainage.

Le réglage du courant moyen de drainage est ensuite effectué à l'aide des lampes et résistances régulatrices.

D. Problèmes de sécurité liés à la protection cathodique par drainage.

Les postes de drainage reliés directement à la voie électrifiée posent des problèmes de sécurité et perturbations (fig. 7).

1. Surtension intempestive sur la voie.

Lors de la chute de la caténaire sur la voie, exemple, des surtensions importantes se développent entre rails et sol et pour limiter ces élévations de potentiel et éviter leur influence sur l'installation de drainage, un dispositif de protection SNCF est interposé entre la voie et le poste.

Tableau II.

Caractéristiques	Diodes au silicium			Diode german
	type 100 A	type 220 A	type 400 A	
Courant direct maximal (A)	100	220	400	50
Tension directe maximale (V)	0,550	0,650	0,650	0,25X
Tension inverse maximale (V)	600	2 000	2 000	500

- Il comporte un fusible en série et un intervalle de décharge dont la liaison d'arçage est comprise entre 10 et 20 V. L'absence de redondance assure l'immortage de l'électrode et évite la fusion du fusible, ce qui rend le poste de drainage de la voie, bien que son principe est nécessaire, puisque dans ces conditions, le drainage est interrompu.

2. Influence de la liaison sur les écouls de voie.

La mise à la terre de la voie, résultant de la liaison cathodisation, peut influencer le fonctionnement des écouls de voie : par exemple, le rail cassé et la discontinuité électrique de la voie risquent de ne plus être détectés, et des défauts de shuntage peuvent apparaître en conséquence, si les neutres de connexions électriques contraindantes sont reliés par impédance faible.

Pour éviter cet inconvénient, la liaison de protection cathodique comporte outre le fusible et l'intervalle de décharge, une self dont le type dépend de l'intensité maximale nécessitée par la protection. Cette self présente une impédance suffisante à la fréquence du courant de signalisation et la liaison à cet égard ne constitue plus une mise à la terre. Sa résistance en courant continu est très faible et son influence est pratiquement négligeable sur le courant de drainage.

E. Conditions générales de mise en œuvre.

L'étude d'un dispositif de protection se fait en plusieurs phases.

1. Etude du dossier avec regroupement des données suivantes sur une carte :

- tracé des lignes de traction à courant continu avec emplacement des sous-stations,
- tracé des canalisations à protéger et leur profil,
- tracé des canalisations voisines, et particulièrement de celles déjà protégées cathodiquement,
- nature géologique des terrains traversés.

L'étude du dossier permet aux spécialistes de se faire une première idée des moyens à mettre en œuvre et des emplacements possibles.

2. Examen sur place pour confirmer ou modifier le programme ébauché.

Il comporte plusieurs points :

- mesures de la résistivité des terrains traversés,
- établissement d'une carte des tensions rail/sol après enregistrement d'au moins 24 heures,
- mesures et enregistrements des potentiels canalisation/sol,
- recherche des points de raccordement et des emplacements possibles des appareils de protection.

L'ensemble de ces informations permet de choisir définitivement l'emplacement des appareils et d'en déterminer les caractéristiques électriques.

3. Mise en service de la protection cathodique et contrôles.

Après mise en service de la protection par l'autorité qui a la responsabilité des canalisations, des mesures de contrôle permettent de vérifier l'efficacité de la protection, dans les conditions normales d'exploitation de la ligne et d'alimentation des caténaires et d'ajuster éventuellement les réglages.

4. Collaboration entre usagers du sous-sol et exploitants des réseaux de traction.

Les exploitants des voies électrifiées à courant continu doivent porter à la connaissance des usagers

de toutes modifications et extensions susceptibles de perturber les conditions de protection des structures métalliques posées au voisinage des installations de traction.

De même si l'exploitant d'une installation protège cathodiquement, il doit en informer les propriétaires des structures voisines et procéder à des mesures contradictoires.

F. Méthodes d'investigations et mesures électriques.

1. Généralités.

Les mesures électriques sont à la base des investigations et des études de protection cathodique.

Elles sont indispensables pour :

- déterminer les causes de corrosion,
- établir la probabilité de corrosion due aux courants vagabonds,
- rechercher le système de protection à appliquer,
- contrôler l'efficacité des protections cathodiques,
- vérifier périodiquement le bon état des installations.

A titre d'exemple, on peut citer plusieurs cas d'application :

- étude de la nature de la corrosion et de son origine (courants vagabonds ou effets galvaniques),
- détermination des conditions à prévoir pour un système de protection,
- étude d'interaction entre canalisations déjà protégées et canalisations non protégées,
- détermination de l'influence des courants vagabonds émis ou collectés le long d'une section de voie électrifiée ou de canalisation,
- étude des variations de courants et de différences de potentiels sur les rails et les canalisations par rapport au sol.

2. Appareils.

Tous les appareils de mesure du courant continu conviennent, à condition de ne pas réagir au courant alternatif. Pour les enregistrements, la SNCF utilise des appareils à zéro central.

a) Voltmètres pour mesurer les différences de potentiel.

La résistance et la sensibilité doivent être choisies en fonction de leurs conditions d'emploi. En général une résistance interne de 50 000 Ω peut donner satisfaction. Il est parfois préférable d'utiliser un instrument électronique ou un potentiomètre.

La SNCF emploie des voltmètres à cadre mobile 20 000 Ω/V avec calibres de 0,1 V à 300 V et des enregistreurs potentiométriques de résistance interne de 1 M Ω avec calibres de 1 mV à 20 V, pouvant mesurer avec une résistance additionnelle des tensions de 300 V et plus.

b) Electrodes impolarisables.

Pour faire une mesure de potentiel, il est nécessaire d'utiliser une électrode impolarisable de façon à éliminer les effets d'interaction électrochimique entre une électrode métallique ordinaire et le sol et pour ne pas être tributaire des variations de l'intensité du courant passant par l'électrode.

Les électrodes impolarisables consistent en une électrode métallique placée dans un électrolyte de composition connue, contenue dans un récipient en partie poreux, de manière que le contact puisse se faire avec le sol. Le potentiel de ces électrodes n'est pas affecté par le passage du courant à condition que la densité du courant à la surface de l'électrode ne soit pas excessive, notamment pour les enregistrements de longue durée. L'effet de la nature du sol est négligeable

avec l'électrode impolarisable. Dans l'interprétation des résultats de mesure, il faut tenir compte du type d'électrode utilisée et des potentiels qui lui sont rattachés.

- Trois types sont couramment utilisés :
• électrodes au sulfate de cuivre désignées par $\text{Cu}/\text{Cu SO}_4$,
• électrodes au chlorure d'argent désignées par Ag/AgCl ,
• électrodes au calomel.

Le tableau III indique les potentiels comparés des diverses électrodes par rapport à l'électrode à hydrogène (H) et au zéro absolu (O).

Tableau III.

Electrodes	Potentiels/H (V)	Potentiels/O (V)
• $\text{Cu}/\text{Cu SO}_4$	0,32	0,59
• Ag/AgCl	0,29	0,56
• Calomel	0,24	0,51

La SNCF utilise l'électrode $\text{Cu}/\text{Cu SO}_4$ dans laquelle le cuivre métal est entouré d'une solution saturée de sulfate de cuivre, ayant un excès de sulfate de cuivre solide destiné à maintenir la solution en état de saturation.

L'électrode Ag/AgCl est utilisé en milieu marin et eau salée.

3. Méthodes de mesure.

Les mesures électriques effectuées à la SNCF consistent en des enregistrements simultanés des grandeurs suivantes (fig. 8 a et 8 b) :

- tensions rail/sol, au moyen d'un voltmètre enregistreur branché entre rail et terre, le branchement au rail étant réalisé dans le voisinage de la canalisation,
- potentiel canalisation/sol, à l'aide d'un voltmètre enregistreur de forte résistance monté entre la canalisation et une électrode impolarisable $\text{Cu}/\text{Cu SO}_4$ posée près de la canalisation,
- intensité du courant dans la liaison de drainage en service,
- intensité du courant dans la canalisation, si possible.

Les appareils doivent être branchés au moins 24 heures pour permettre l'enregistrement de tous les états électriques susceptibles de se présenter dans la zone d'influence de la canalisation.

Les emplacements de mesure sont régulièrement espacés.

Les enregistrements sont impérativement effectués en situation normale de fonctionnement des installations de traction électrique.

Si l'analyse des enregistrements hors protection cathodique montre une variation simultanée des valeurs mesurées sur la voie et la canalisation, cette dernière est certainement soumise à l'influence des courants vagabonds émis par la voie (fig. 9). Une mesure en période d'arrêt du trafic sur la ligne électrifiée permettrait également de vérifier une éventuelle corrosion électrochimique par le sol. Ce procédé a été employé dans le cadre de la recherche des moyens de protection du champ de Lacq. Les mesures de contrôle périodique de l'efficacité de ces moyens se font dans les mêmes conditions.

4. Surveillance et entretien des appareils de protection.

L'installation est surveillée pour prévenir tout dérèglement et toute défectuosité du matériel susceptible

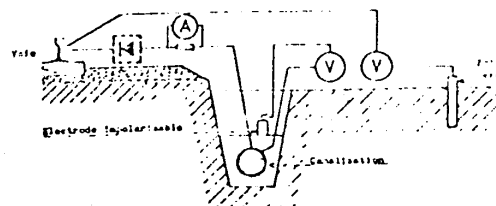
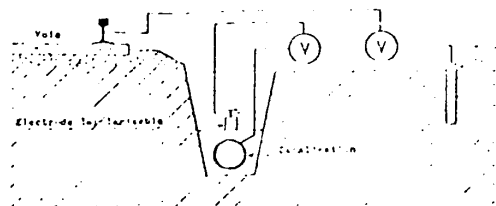


Fig. 8. Montages types d'installation de mesures.
a) sans protection,
b) avec protection.

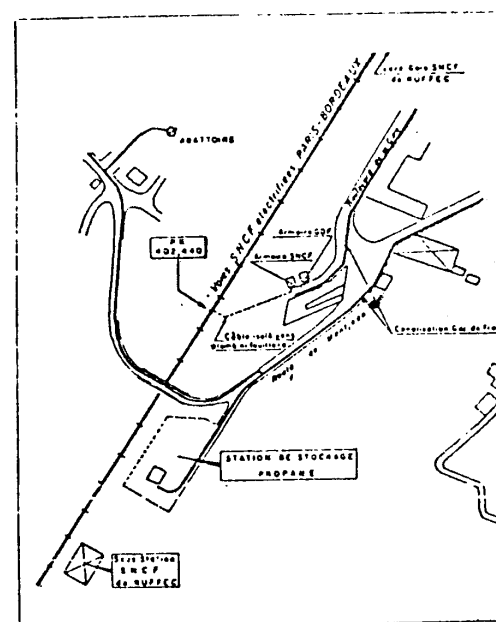


Fig. 10. Protection cathodique des canalisations GDF.
Site de Ruffec.

de contrarier la protection recherchée. Ainsi, on vérifie fréquemment les fusibles, les intervalles de décharge, les lampes régulatrices, l'intensité du courant de protection. Chaque année, les caractéristiques des appareils sont contrôlées, ainsi que les câblages et les montages.

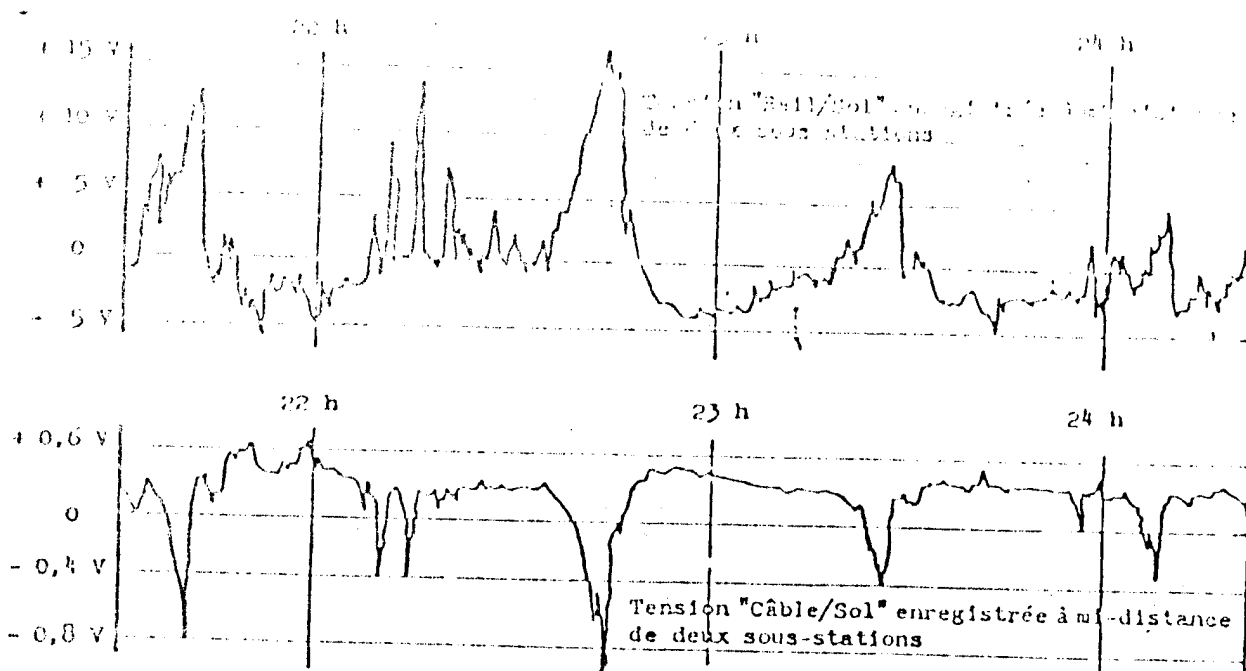


Fig. 9. Diagramme type des enregistrements U_{rail/sol} et U_{canalisation/sol}.

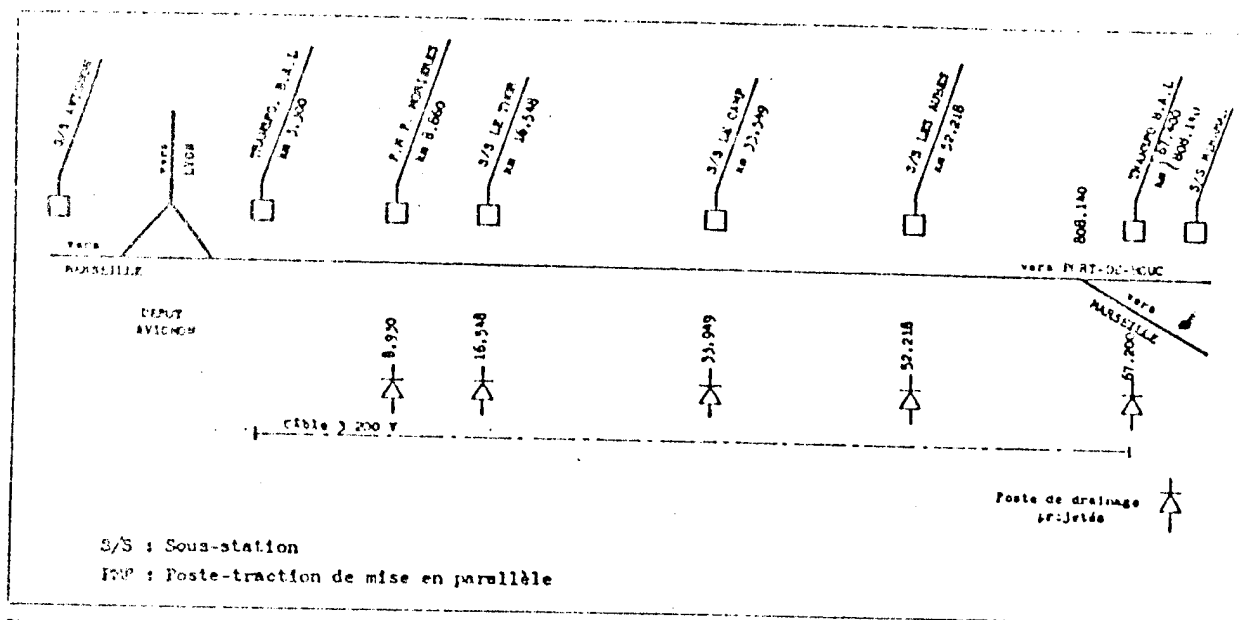


Fig. 11. Protection des câbles FT 3200 V SNCF. Voie électrifiée Avignon-Miramas.

VII. Exemples d'installations de protection électrique. Etudes et réalisations.

A. Installation d'un poste de drainage à Ruffec sur canalisations du Gaz de France croisant la voie électrifiée Paris - Bordeaux.

La figure 10 donne les tracés de la ligne SNCF, des gazoducs et de la liaison de drainage, ainsi que

l'implantation du poste SNCF de protection et du poste GDF de drainage polarisé.

B. Protection cathodique du câble SNCF d'énergie électrique 3200 V longeant la voie électrifiée Avignon - Miramas par Salon-de-Provence.

L'étude de protection, réalisée en 1978, a porté sur la totalité du câble, soit 64 km. La figure 11 indique les tracés de la voie et du câble, l'implantation des postes

de fonction... d'at...
signification... câbles 24 h...
... des câbles... des câbles...
de drainage... et reliés en définitive.

Les enregistrements des potentiels du câble relevés par rapport à l'électrode impolarisable Cu/Cu SO₄ ont été effectués en 55 points, échelonnés le long de la voie, au cours de deux séries de 24 heures avec et sans protection cathodique.

L'analyse des enregistrements et la détermination des valeurs moyennes des potentiels ont mis en évidence l'influence des courants vagabonds sur le câble d'une part, et l'efficacité des protections d'autre part.

La figure 12 présente les plans de l'armoire de drainage et de protection SNCF de Miramas, comportant : fusible Ferraz, self, intervalle de décharge CTS 1 RBY, poste de drainage SNCF ADP DA 70/1 600, lampe 30 V - 900 W.

Les mesures ont été entreprises après reconnaissance et vérification du bon isolement du circuit de retour.

C. Protection contre la corrosion des installations du champ de Lacq.

Découvert en 1951, le gisement de gaz naturel de Lacq a posé pour les installations d'exploitation des problèmes complexes de protection contre la corrosion.

Les tubages verticaux peuvent descendre jusqu'à une profondeur de 4 km et les canalisations horizontales du gaz brut et du gaz traité par l'usine de Lacq s'étendent sur de grandes longueurs.

Les dangers de corrosion proviennent d'origines de toute nature :

- Chimique, par les caractéristiques corrosives du gaz brut, riche en hydrogène sulfuré.
- Electrochimique, du fait des divers terrains traversés.
- Electrolytique, par la circulation des courants vagabonds issus de la voie électrifiée à courant continu Toulouse-Rayonne, passant au milieu du champ des puits (fig. 13).

Au cours de la décennie 50, la SNPA et la SNCF ont entrepris de longues séries d'expériences, avec mesures simultanées dans les puits, sur le réseau de surface, en voie et dans les sous-stations, de façon à définir les moyens de protection et le schéma d'alimentation des caténaires pour une protection optimale ; les dispositions retenues sont énumérées ci-après :

- 1 • soutirage en tête de chaque puits (fig. 14),
- 2 • drainage polarisé du réseau de surface et de tous les puits, avec raccordement à la voie en un seul point situé à 800 m de la sous-station de Lacq,
- 3 • caractéristiques en charge de la sous-station de Lacq, supérieures à celles des sous-stations de Pau et de Puyoo, situées respectivement à une distance de 26 km et de 28 km,
- 4 • schéma type d'alimentation EDF des sous-stations,
- 5 • isolement du circuit de retour par rapport à la terre (voies principales et embranchées).

La sous-station de Lacq, par son alimentation préférentielle et sa caractéristique particulière, a une zone d'action étendue (50 km). Les courants vagabonds provenant des trains électriques du tronçon Pau-Puyoo circulent dans le sous-sol de Lacq et chaque puits recueille une partie de ces courants de retour. Collectés par le réseau de surface, les courants recueillis sur les puits sont drainés jusqu'au poste de protection cathodique et ramenés à la sous-station de Lacq, par le raccordement à la voie.

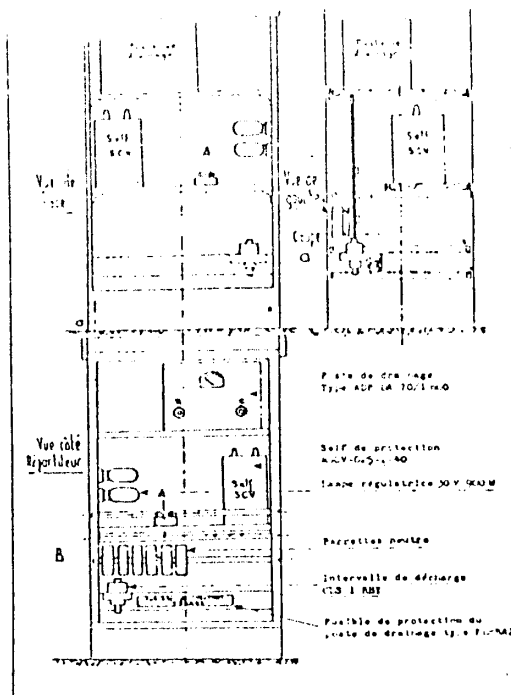


Fig. 12. Plans de l'armoire de drainage et de protection SNCF de Miramas.

Le poste de drainage électrique est du type polarisé à relais et contacteurs. En période de trafic commercial, l'intensité du courant drainé est en moyenne de 250 A, et les pointes atteignent 800 A.

Cette application particulière de la protection cathodique contraint donc les courants vagabonds à remonter le long des puits vers la surface.

En l'absence de protection, une circulation inverse a été observée à l'aide de sondes de mesures.

Pour apprécier la protection des puits, il est procédé à la sommation des intensités des courants drainés tête de chaque puits et, à partir de l'intensité courant total, à un calcul du rapport entre les courants puits et les courants surface, dont la valeur optimale est de 75/25. Des mesures de contrôle annuel se réalisent au cours de plusieurs nuits, avec suppression totale du trafic électrique entre Pau et Puyoo.

Les mesures et les enregistrements sont effectués simultanément sur les trente puits, le poste de drainage et dans les sous-stations, lors de la circulation et des arrêts d'un wagon particulier, dit wagon charge, en plusieurs points du tronçon Pau-Orléans. En marche, le débit est fixé à 1 000 A, à l'arrêt à 600 ce qui permet par ces créneaux successifs de caractériser en tous points la qualité de la protection. Le rapport puits/surface est ainsi obtenu avec précision. Les courants et tensions mesurés à la voie sont destinés à un contrôle des caractéristiques du circuit de retour. De même, les relevés de tensions et courants en sous-stations indiquent les conditions

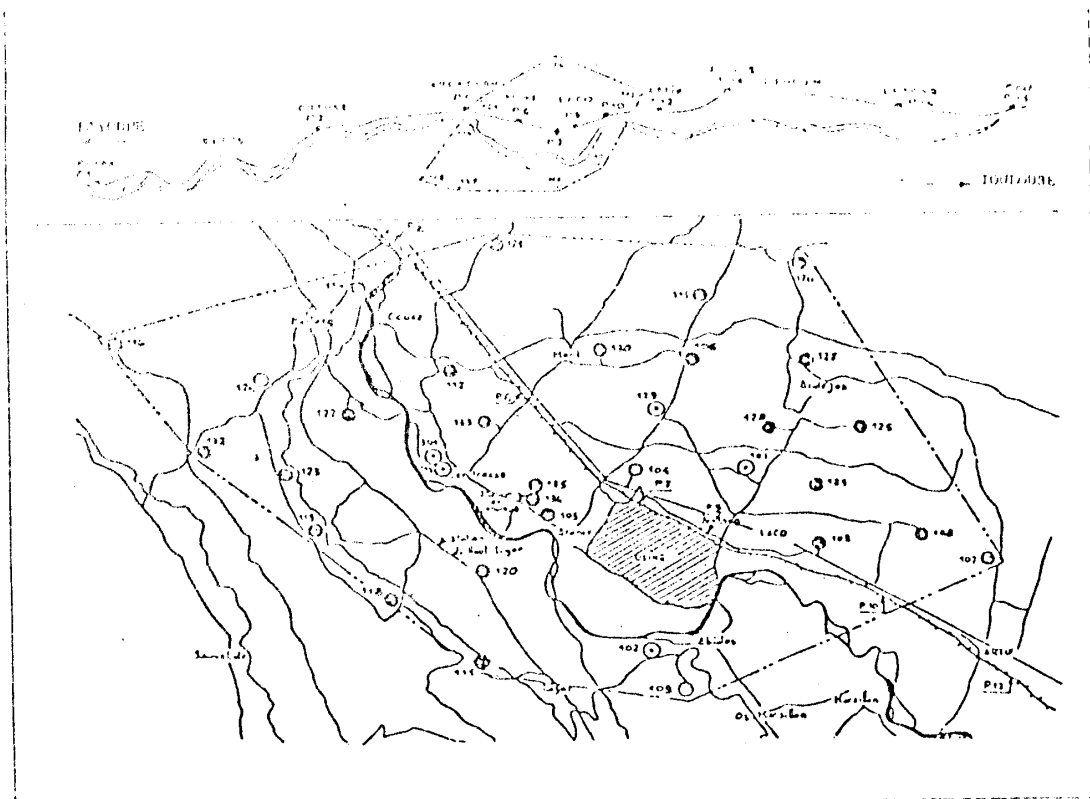


Fig. 13. Plan de situation du champ de Lacq.

d'alimentation 63 kV et 1500 V et les caractéristiques en charge des trois sous-stations concernées : Lacq, Pau et Puyoo.

Toute anomalie ou modification est détectée lors de la comparaison des résultats avec ceux des années précédentes.

Le groupe de travail constitué de responsables SNEA (P), EDF et SNCF se réunit régulièrement pour faire le point des résultats, acter les conclusions des mesures, et, le cas échéant, prendre les dispositions nécessaires pour améliorer la situation et retrouver des conditions normales de protection.

VIII. Conclusions.

Le développement des lignes de chemins de fer électrifiées en courant continu et parallèlement l'importance croissante des canalisations à moyenne et grande distance et des industries d'exploitation du sous-sol, ont conduit la SNCF, compte tenu des capitaux investis et des dangers encourus en cas de défaillance des installations, à donner à la protection contre la corrosion un caractère de sécurité et à rechercher les moyens propres à sauvegarder dans le temps ces installations.

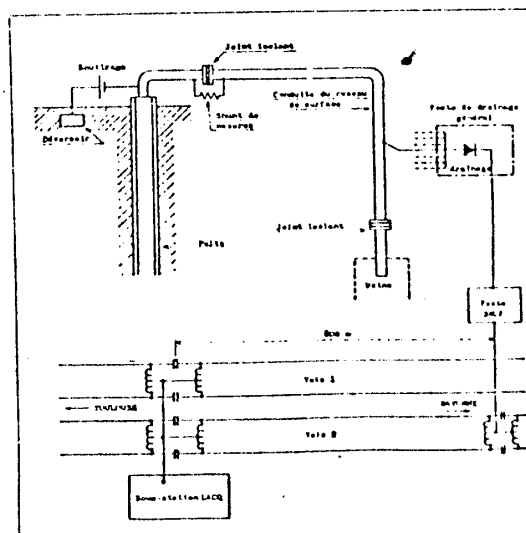


Fig. 14. Principe de la protection d'un puits et du réseau de surface à Lacq.

Courants vagabonds / 3

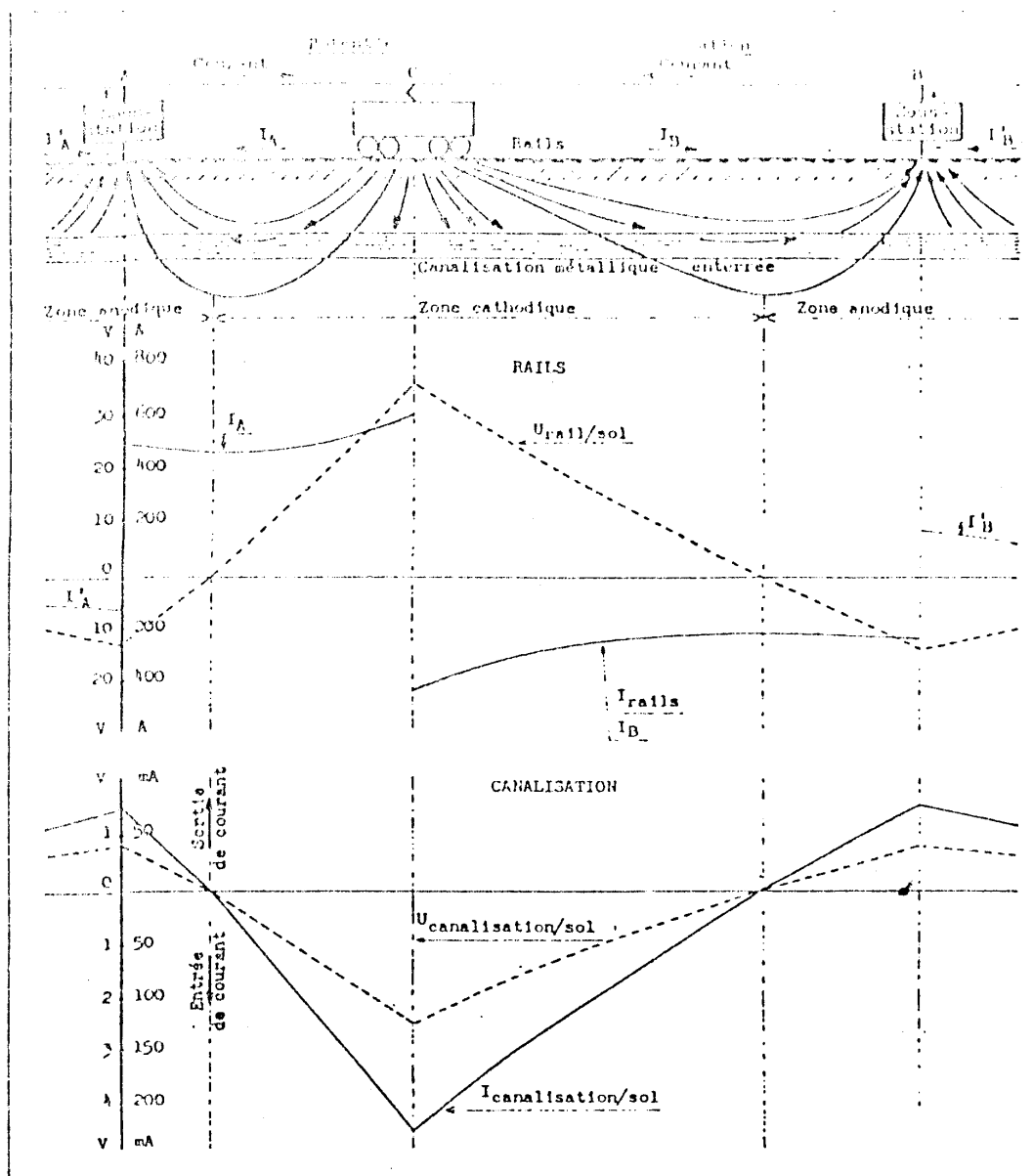


Fig. 5. Corrosion électrolytique par courants vagabonds. Diagramme des potentiels.

être d'une épaisseur suffisante et maintenu propre et aéré. De plus, il ne doit pas recouvrir les traverses et ne pas être en contact avec les rails.

• *Passages à niveau, ouvrages d'art* : des dispositions particulières sont prises en ces points de manière à éviter tout contact entre rails et masses métalliques reliées à la terre.

• *Installations de gare* : les portions de voies non électrifiées sont isolées, par interposition de joints isolants, de celles électrifiées. Pour assurer néanmoins la protection du personnel, les structures métalliques sont reliées au rail, mais par l'intermédiaire d'intervalle de décharge. Le bon état des joints isolants des intervalles de décharge et des autres dispositifs

Courants vagabonds / 2

Anexo 2.7 Norma Francesa NF C 15-100. Tensión máxima aguantable por el hombre.

EXTRACTO DEL V.D.E.

A3 (2/3)

(VER TRADUCCION EN INGLES
A LA PAGINA SIGUIENTE)

0115

§§ 9...10

Elektrische Bahnen

oder befestigt werden und brauchen keinen Berührungsschutz zu haben, wenn sie durch Blitzpeile nach DIN 40,006 deutlich gekennzeichnet sind.

1. Durch das Isolierte Aufstellen oder Befestigen der Geräte kann z. B. erreicht werden, daß betriebsmäßig entstehende Lichtbögen geerdete Geräte oder Schutzverkleidungen nicht erreichen und damit die Betriebssicherheit herabsetzen können (siehe § 32 a)).

- h) Im Bereich der Fahrleitungen und Rückleitungen sowie in Anlagen von Bahnunterwerken und Schaltstellen, die dem Erzeugen und Verteilen von Bahnstrom zum unmittelbaren Speisen der Fahrleitung dienen (siehe § 51), gilt eine Gefährdung durch Berührungs- und Schrittspannungen als vermieden, wenn

1. bei Wechselspannungen die in Tafel 2 angegebenen Werte der Berührungs- und Schrittspannungen nicht überschritten werden und nicht länger, als dort angegeben, bestehenbleiben können.
2. bei Gleichspannung bei gleicher Gesamtausschaltzeit das $\sqrt{2}$ -fache der in Tafel 2 angegebenen Spannungen nicht überschritten wird.

- g) Erdungsanlagen sind nach VDE 0141 zu bauen.

Tafel 2

Zulässige Berührungs- und Schrittspannungen
bei Wechselstrom

in Abhängigkeit von der Gesamtausschaltzeit entsprechend VDE 0141

1	2	3	4
Gesamtausschaltzeit	Öffentlich zugängliche Fahranlagen ¹⁾		Nicht öffentlich zugängliche Bahn- anlagen
s	Berührungs- spannung V	Schrittspannung V	Berührungs- und Schrittspannung V
0,1	170	170	340
0,15	150	155	305
0,2	135	140	275
0,4	90	105	180
0,6	75	95	150
ab 0,8	65	90	125

¹⁾ Als öffentlich zugänglich gelten z. B. auch Anlagen im Bereich elektrischer Bahnen, die für Fahrgäste oder den öffentlichen Verkehr zugänglich sind, sowie Fahrgast-räume von Fahrzeugen.

§ 10

Schutzerdung bei Schienenfahrzeugen

- a) Die Schutzerdung bei Schienenfahrzeugen soll das Bestehenbleiben einer zu hohen Berührungsspannung an nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden Metallteilen verhindern, wenn Fehler an den elektrischen Fahrzeuganlagen oder an der Fahrleitung auftreten. Die Schutzerdung wird hergestellt durch Anschluß der zu schützenden Metallteile an die Fahrzeugmasse.

TRADUCCION EN INGLES
DEL TEXTO V.D.E.

A3 (3/3)

1. in the case of alternating voltages the values given in Table 2 for the shock-hazard and step voltages are not exceeded, and cannot persist longer than stated there,
 2. in the case of direct voltage for equal total breaking time $\sqrt{2}$ times the voltages given in Table 2 are not exceeded.
- g) Earthing installations shall be constructed in accordance with VDE 0141.

Table 2

Permissible shock-hazard voltages and step voltages with a.c.

in dependence on the total breaking time in accordance with VDE 0141

1	2	3	4
Total breaking time s	Railway installations accessible to the public 1) Shock-hazard voltage V	Step voltage V	Railway installations not accessible to the public Shock-hazard and step voltage V
0.1	170	170	340
0.15	150	155	305
0.2	135	140	275
0.4	90	105	190
0.6	75	95	150
from 0.8	65	90	125

En
Corriente
continua

1) For example, also installations in the range of electric railways, which are accessible to passengers or to the ordinary public, as well as passenger compartments in vehicles, are regarded as accessible to the public.

Seq	C2	C3	C4
0.01	500	350	200
0.10	225	140	75
0.15	200	125	65
0.20	175	100	55
0.40	160	85	45
0.60	150	75	42
0.80	140	72	40
10.00	100	50	25

← des courbes NF-C-15100

Anexo 2.8 Norma Alemana VDE 115/365. Tensión máxima aguantable por el hombre.

(suite)

322.2. — Résistance électrique du corps humain

Les conditions BB1 correspondent aux circonstances dans lesquelles la peau est sèche (aucune humidité, y compris la sueur).

Les conditions BB2 correspondent au passage du courant électrique d'une main à l'autre ou d'une main à un pied, la peau étant humide (sueur) et la surface de contact étant importante (par exemple, un élément est serré dans la main).

Les conditions BB3 correspondent au passage du courant électrique entre les deux mains et les deux pieds, les personnes ayant les pieds mouillés au point de pouvoir négliger la résistance de la peau des pieds.

La valeur de 325 ohms représente la résistance minimale interne du corps humain lorsque la peau est percée dans des conditions très mouillées (telles que le corps immergé). Les conditions BB4 se rencontrent ainsi lorsque les personnes sont immergées dans l'eau, par exemple dans les salles d'eau et les piscines.

Les conditions BB1, BB2, BB3 et BB4 correspondent respectivement aux valeurs moyennes de résistance du corps humain ci-après, en ohms.

TENSION DE CONTACT (volts)	RÉSISTANCE (ohms)			
	BB1 (peau sèche)	BB2 (peau humide)	BB3 (peau mouillée)	BB4 (peau immergée)
25	5 000	2 500	1 000	500
50	4 000	2 000	875	440
250	1 500	1 000	650	325
valeur asymptotique	1 000	1 000	650	325

Ces valeurs sont valables pour le courant alternatif jusqu'à 100 Hz et pour le courant continu.

322.3. — Contacts des personnes avec le potentiel de la terre

Les conditions BC1 se rencontrent dans les locaux non conducteurs, c'est-à-dire dont le sol et les parois sont isolants (234.2) et qui ne comportent aucun élément conducteur.

Les conditions BC2 se rencontrent dans les locaux non conducteurs, c'est-à-dire dont le sol et les parois sont isolants (234.2) et comportent des éléments conducteurs en faible quantité ou de petites dimensions dont la probabilité de contact peut être négligée. Il en est ainsi par exemple dans les salles de séjour et les chambres des logements d'habitation.

Les conditions BC3 se rencontrent dans les locaux (ou emplacements) dont le sol et les parois ne sont pas isolants et qui comportent de nombreux ou importants éléments conducteurs.

Les conditions BC4 se rencontrent dans des enceintes conductrices, telles que des chaudières ou des cuves métalliques, dont les dimensions sont telles que les personnes qui y pénètrent sont continuellement en contact avec les parois. La réduction de liberté de mouvement des personnes peut, d'une part, empêcher les personnes de rompre volontairement le contact et, d'autre part, accroître les risques de contact involontaire.

TENSION MAXIMUM ADMISSIBLE PAR L'HOMME

A1 (2/4)

EXTRAIT DE LA NORME NF C 15.100

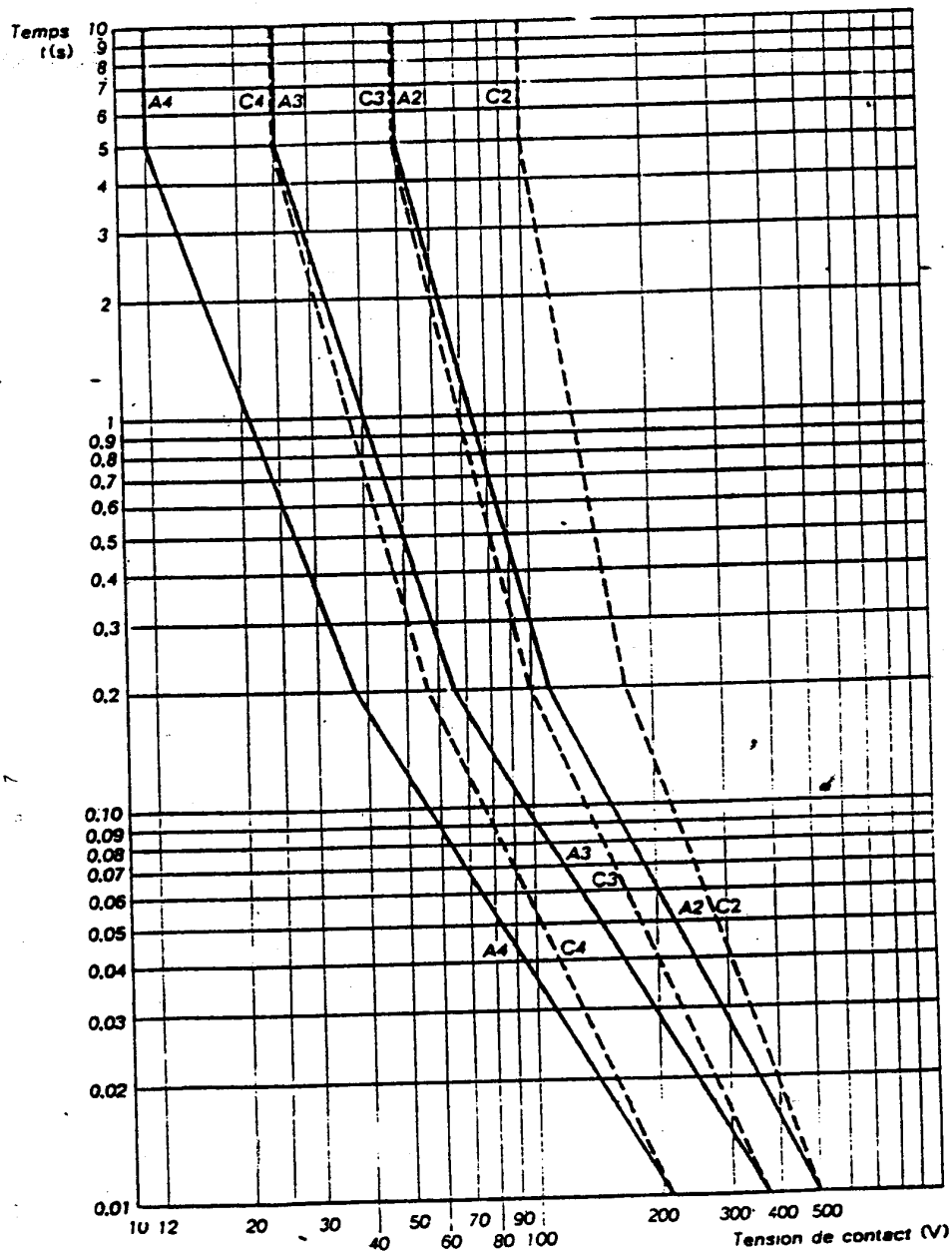


FIGURE 48 C

Courbes de la tension de contact presumée en fonction du temps de fonctionnement du dispositif de protection.

A2, C2, courbes correspondant aux conditions normales BB1 ou (BB2 + BC3)

A3, C3, courbes correspondant aux conditions (BB2 + BC4) ou (BB3 + BC3).

A4, C4, courbes correspondant aux conditions BB4 ou (BB3 + BC4), (voir tableau 48 A).

A courbes en courant alternatif. (—)

C courbes en courant continu. (- - -).

Juillet 1977

Voir la définition des conditions BBI ... BCI ... etc
page suivante.

ANEXOS

CAPÍTULO III

	R1/CRN			R2/CRN			CRN/V1		
	Cantidad de conductores	Tipo de conductores	Longitud de conductores	Cantidad de conductores	Tipo de conductores	Longitud conductores	Cantidad de conductores	Tipo de conductores	Longitud de conductores
SPP	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	400 metros
SAJ	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	400 metros
SCC	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	400 metros
SCF	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	50 metros
SAM	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	50 metros
SMM	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	100 metros	18	750 MCM	50 metros

	CRN/V2			CRN/CTN			CTN/MT		
	Cantidad de conductores	Tipo de conductores	Longitud de conductores	Cantidad de conductores	Tipo de conductores	Longitud de conductores	Cantidad de conductores	Tipo de conductores	Longitud de conductores
SPP	18	750 MCM	400 metros	2	500 MCM	10 metros	2	500 MCM	4 metros
SAJ	18	750 MCM	400 metros	2	500 MCM	10 metros	2	500 MCM	4 metros
SCC	18	750 MCM	400 metros	2	500 MCM	10 metros	2	500 MCM	4 metros
SCF	18	750 MCM	50 metros	2	500 MCM	10 metros	2	500 MCM	4 metros
SAM	18	750 MCM	50 metros	2	500 MCM	10 metros	2	500 MCM	4 metros
SMM	18	750 MCM	50 metros	2	500 MCM	10 metros	2	500 MCM	4 metros

R1/CRN: número de conductores que van del rectificador de potencia 1 hacia la caja de retorno negativo.
R2/CRN: número de conductores que van del rectificador de potencia 2 hacia la caja de retorno negativo.
CRN/V1: número de conductores que van desde la caja de retorno negativo hacia los rieles de rodamiento de la vía 1.
CRN/V2: número de conductores que van desde la caja de retorno negativo hacia los rieles de rodamiento de la vía 2.
CRN/CTN: número de conductores que van de la caja de retorno negativo hacia el contactor de puesta a tierra del negativo
CTN/MT: número de conductores que van del contactor de puesta a tierra del negativo hacia la malla de puesta a tierra.

Anexo 3.1 Longitud de los conductores asociados desde cada rectificador de potencia hasta la malla de tierra

ANEXOS

CAPÍTULO IV

Anexo 4.1 Manual de diseño y mantenimiento de cables eléctricos ALCAVE C. A.

4. TIPO DE PRODUCTO: THERMOLENE PVC (ANTIFUEGO) 5 KV.

DESCRIPCION: 1/C 750 MCM de cobre temple blando aislado con polietileno reticulado (XLP-90°C) con primer semiconductor sobre el conductor aplicado en proceso de doble extrusión. Cinta de fibra de vidrio, Cubierta externa de PVC 75°C de color negro Antillana.,

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL CABLE.

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
CAPACIDAD ELECTROSTATICA DEL CABLE.	0.724	$\mu F/Km$
RESISTENCIA DEL CONDUCTOR A LA CORRIENTE DIRECTA Rdc (20°C) Máx.	0.0472	OHM/Km.
Rdc (90°C) Máx.	0.0602	OHM/Km.
RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO A 15.6°C (Mínima).	475	MOHM . Km.
CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO DEL CONDUCTOR. I 1/4 ciclo.	835	K Amp.
I 8 ciclos.	147	K Amp.

4.1. CAPACIDAD DE CORRIENTE DEL CABLE:

Para las condiciones de instalación dadas más adelante se tienen las siguientes capacidades de corriente del cable en operación normal.

<u>CAPACIDAD DE CORRIENTE AMPERIOS</u>				
<u>MATERIAL</u>	<u>CALIBRE MCM</u>	<u>BANDEJA AL AIRE LIBRE</u>	<u>DIRECTAMENTE ENTERRADOS</u>	<u>DUCTOS ENTERRADOS</u>
COBRE	750	755	675	553

Condiciones de operación para las capacidades de corriente señalados.

- Temperatura máxima de operación del conductor 90°C.
- Temperatura ambiente 30°C en cable al aire libre.
- Temperatura del terreno 25°C en cables enterrados ó en ductos.
- Tres cables monopolares en formación triangular.
- Factor de carga 100 %.
- Un solo circuito trifásico; sin circuito adyacentes.

5. TENSION MAXIMA DE TIRO Y RADIO MINIMO DE CURVATURA.

De acuerdo con el manual ESSEX, "Underground Cable Engineering" y el "Electrical conductors Handbook" de Northern Telecom, la tensión máxima de tiro y el radio mínimo de curvatura se calculan utilizando las siguientes expresiones:

$$T_m = S_m \times A.$$

$$RMC = 12 \times D.$$

Donde: T_m : Tensión máxima de instalación con anillo de tiro en Kg.

S_m : Tensión máxima a la que puede ser sometida el cobre o aluminio
1350-H-19 por circular mil = 0,0036.

A : Area del conductor, en circular mils.

RMC : Radio mínimo de curvatura, en cm.

D : Diámetro externo del cable 5 Kv, en cm.

CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CORRIENTE
CABLE 750 MCM, 5 KV C.C., ANTIFURCO

Según la publicación 287 de la IEC la capacidad de corriente C.C. en régimen permanente para un cable es:

$$I = \left[\frac{\phi}{R (T_1 + T_2 + T_3 + nT_4)} \right]^{1/2}$$

Donde: I : Corriente que circula por el conductor, en amperios.

ϕ : Incremento de la temperatura del conductor con respecto a la temperatura ambiente de 30°C. Luego: $\phi = 60$ °K.

R : Resistencia en C.C. a la máxima temp. de operación del conductor, en ohm/m.

n : Número de cables en el ducto, por los cuales circula la misma corriente. Suponemos n = 3.

T₁ : Resistencia térmica del aislamiento, en °K.m/W.

T₂ : Resistencia térmica de la cinta de fibra de vidrio, en °K.m/W.

T₃ : Resistencia térmica de la cubierta exterior, en °K.m/W.

T₄ : Resistencia térmica entre la superficie del cable y el medio ambiente, en °K.m/W.

1.- RESISTENCIA EN C.C. A LA MAXIMA TEMPERATURA DEL CONDUCTOR, R.

$$R = R_o \left[1 + 3.93 \times 10^{-3} (T - 20) \right] \text{ para cobre.}$$

GERENCIA TECNICA

Donde: R_o : Resistencia máx. en C.C. del conductor, a $20^{\circ}\text{C} = 0,04864 \times 10^{-3}$ ohm/m.

T : Máxima temperatura de operación del conductor = 90°C .

Sustituyendo:

$$R = 0,06202 \times 10^{-3} \text{ ohm/m.}$$

2.- RESISTENCIA TERMICA DEL AISLAMIENTO T_1 :

$$T_1 = \frac{P_t}{2\pi r} \ln \left[\frac{D_A}{d_c} \right]$$

Donde: P_t : Resistencia térmica del aislamiento (ELPE) = $3,3^{\circ}\text{K.m/W}$.

D_A : Diámetro sobre el aislamiento = 1,157 pulg.

d_c : Diámetro del conductor = 0,917 pulg.

Sustituyendo:

$$T_1 = 0,1295^{\circ}\text{K.m/W.}$$

3.- RESISTENCIA TERMICA DE LA CINTA DE FIBRA DE VIDRIO T_2 :

$$T_2 = \frac{P_t}{2\pi r} \ln \left[1 + \frac{2 e_2}{D_e} \right]$$

Donde: e_2 : Espesor total del revestimiento de fibra = 0,014 pulg.

P_t : Resistividad térmica de la fibra de vidrio = 6°K.m/W .

D_e : Diámetro externo bajo la cinta de fibra de vidrio = 1,157 pulg.

Sustituyendo:

$$T_2 = 0,0228^{\circ}\text{K.m/W.}$$

4.- RESISTENCIA TERMICA DE LA CUBIERTA EXTERIOR T_3 :

$$T_3 = \frac{P_t}{2\pi r} \ln \left[\frac{D_c}{D_o} \right]$$

Anexo 4.2 Tablas de datos técnicos de la Línea 1 tramo “Propatria-Palo Verde”.

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPP-SPS		Pk inicio del tramo (m)		9452.0	Pk final del tramo (m)		12405.7
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
02,13A	9452.0	10498.7	1046.7	TUNEL	C/LC	Vía	
02,13B	10498.7	10630.4	131.7	TUNEL	C/LC	Vía	
02,12A	10630.4	10660.6	30.2	TUNEL	C/LC	Vía	
06,10C	10841.0	10949.5	108.5	TUNEL	C/LC	Vía	
06,10B	10949.5	11322.5	373.0	TUNEL	C/LC	Vía	
06,10A	11322.5	11511.9	189.4	TUNEL	C/LC	Vía	
06,09	11511.9	11653.6	141.7	TUNEL	C/LC	Vía	
06,12	11653.6	11813.4	159.8	TUNEL	C/LC	Vía	
10,14	11813.4	12273.2	459.8	TUNEL	C/LC	Vía	
10,13	12173.2	12405.7	232.5	TUNEL	C/LC	Vía	
02,11	10660.6	10841.0	180.4	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPP-SPS		Pk inicio del tramo (m)		9469.3	Pk final del tramo (m)		12406.7
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
02,23A	9469.3	10498.7	1029.4	TUNEL	C/LC	Vía	
02,22	10498.7	10660.6	161.9	TUNEL	C/LC	Vía	
02,21C	10660.6	10693.7	33.1	TUNEL	C/LC	Vía	
02,21A	10830.0	10949.5	119.5	TUNEL	C/LC	Vía	
02,20B	10949.8	11391.8	442.0	TUNEL	C/LC	Vía	
06,20A	11391.8	11653.2	261.4	TUNEL	C/LC	Vía	
06,20A	11653.2	11780.2	127.0	TUNEL	C/LC	Vía	
06,22A	11780.2	11813.9	33.7	TUNEL	C/LC	Vía	
06,21B	11813.9	11973.0	159.1	TUNEL	C/LC	Vía	
06,21A	11973.0	12406.3	433.3	TUNEL	C/LC	Vía	
02,21A	10693.7	10830.0	136.3	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA DE ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vía			0.0164	a nivel de vía			0.0068
a nivel de Patios y Talleres			0.0164	a nivel de Patios y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.00	durmiente de concreto sobre balasto			44.00
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.50	durmiente de madera sobre balasto			8.30

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPS-SAS		Pk inicio del tramo (m)		12405.7	Pk final del tramo (m)		14269.8
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
10.12	12405.7	12567.9	162.2	TUNEL	C/LC	Via	
14,14B	12567.9	12910.3	342.4	TUNEL	C/LC	Via	
14,14A	12910.3	13250.6	340.3	TUNEL	C/LC	Via	
14.13	13250.6	13412.8	162.2	TUNEL	C/LC	Via	
14.12	13412.8	13574.9	162.1	TUNEL	C/LC	Via	
18.15	13574.9	13860.4	285.5	TUNEL	C/LC	Via	
18,15A	13860.4	14105.0	244.6	TUNEL	C/LC	Via	
18.14	14105.0	14269.8	164.8	TUNEL	C/LC	Via	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPP-SAS		Pk inicio del tramo (m)		9469.30	Pk final del tramo (m)		12406.30
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
10.22	12406.3	12567.7	161.4	TUNEL	C/LC	Via	
10.21	12567.7	12705.0	137.3	TUNEL	C/LC	Via	
10,20B	12705.0	13060.0	355.0	TUNEL	C/LC	Via	
10,20A	13060.0	13412.7	352.7	TUNEL	C/LC	Via	
14.22	13412.7	13574.9	162.2	TUNEL	C/LC	Via	
14,25B	13574.9	13697.9	123.0	TUNEL	C/LC	Via	
14,25A	13697.9	14114.1	416.2	TUNEL	C/LC	Via	
18.24	14114.1	14300.8	186.7	TUNEL	C/LC	Via	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patios y Talleres			0.0164	a nivel de Patios y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto

Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SAS-SCP		Pk inicio del tramo (m)		14269.8	Pk final del tramo (m)		16022.3
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
18.12	14422.8	14584.8	162.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18.11	14584.8	14837.0	252.2	DESCUBIERTA	C/B	Via	
22.10	14837.0	15328.9	491.9	DESCUBIERTA	C/B	Via	
22.09	15328.9	15451.3	122.4	DESCUBIERTA	C/B	Via	
22.12	15451.3	15611.4	160.1	DESCUBIERTA	C/B	Via	
26,14B	15611.4	16022.3	410.9	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18.13	14269.8	14422.8	153.0	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SAS-SCP		Pk inicio del tramo (m)		14300.8	Pk final del tramo (m)		16022.1
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
18.22	14423.3	14584.9	161.6	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18,21B	14584.9	14732.1	147.2	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18,21A	14732.1	14836.9	104.8	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18,20B	14836.9	15325.8	488.9	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18,20A	15325.8	15451.2	125.4	DESCUBIERTA	C/B	Via	
22.22	15451.2	15613.2	162.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
22.21	15613.2	15770.0	156.8	DESCUBIERTA	C/B	Via	
22,20B	15770.0	16022.1	252.1	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18.23	14300.8	14423.3	122.5	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
RESISTENCIA ELÉCTRICA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica de Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patio y Talleres			0.0164	a nivel de Patio y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto

Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SCP-SPC		Pk inicio del tramo (m)		16022.30	Pk final del tramo (m)		17769.80
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	MEDIO DE	ZONA DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO	UBICACIÓN	VÍA	CIRCUITO (m)	
26,14A	16022.3	16157.9	135.6	TUNEL	C/LC	Vía	
26.13	16157.9	16281.7	123.8	TUNEL	C/LC	Vía	
26.12	16281.7	16443.9	162.2	TUNEL	C/LC	Vía	
30.15	16443.9	16741.3	297.4	TUNEL	C/LC	Vía	
30.14	16741.3	16902.7	161.4	TUNEL	C/LC	Vía	
30,12B	17027.0	17128.4	101.4	TUNEL	C/LC	Vía	
30,12A	17128.4	17189.0	60.6	TUNEL	C/LC	Vía	
34,14B	17189.0	17483.8	294.8	TUNEL	C/LC	Vía	
34,11A	17483.8	17608.4	124.6	TUNEL	C/LC	Vía	
34.12	17608.4	17769.8	161.4	TUNEL	C/LC	Vía	
30.13	16902.7	17027.0	124.3	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SCP-SPC		Pk inicio del tramo (m)		16002.00	Pk máximo del tramo (m)		17746.80
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (M)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
22,20A	16002.0	16282.1	280.1	TUNEL	C/LC	Vía	
26,22C	16282.1	16321.1	39.0	TUNEL	C/LC	Vía	
26,22B	16321.1	16370.8	49.7	TUNEL	C/LC	Vía	
26,22A	16370.8	16443.9	73.1	TUNEL	C/LC	Vía	
26,25C	16443.9	16474.1	30.2	TUNEL	C/LC	Vía	
26,25B	16474.1	16596.8	122.7	TUNEL	C/LC	Vía	
26,25A	16596.8	16746.9	150.1	TUNEL	C/LC	Vía	
30.24	16746.9	16909.1	162.2	TUNEL	C/LC	Vía	
30,22C	17027.0	17061.2	34.2	TUNEL	C/LC	Vía	
30,22B	17061.2	17127.4	66.2	TUNEL	C/LC	Vía	
30,22A	17127.4	17184.3	56.9	TUNEL	C/LC	Vía	
30,21C	17184.3	17219.0	34.7	TUNEL	C/LC	Vía	
30,21B	17219.0	17346.9	127.9	TUNEL	C/LC	Vía	
30,21A	17346.9	17607.8	260.9	TUNEL	C/LC	Vía	
34,22B	17607.8	17746.8	139.0	TUNEL	C/LC	Vía	
30.23	16909.1	17027.0	117.9	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA ELÉCTRICA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patio yTalleres			0.0164	a nivel de Patio yTalleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPC-SSR		Pk inicio del tramo (m)		17769.8	Pk final del tramo (m)		18756.9
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
38.14	17769.8	17992.5	222.7	TUNEL	C/LC	Via	
38.13	17992.5	18102.4	109.9	TUNEL	C/LC	Via	
38,12B	18102.4	18132.6	30.2	TUNEL	C/LC	Via	
38,12A	18132.6	18282.8	150.2	TUNEL	C/LC	Via	
42,14B	18282.8	18756.9	474.1	TUNEL	C/LC	Via	
TRAMO SPC-SSR		DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1					
NÚMERO DEL		Pk mínimo del tramo (m)		17746.8	Pk máximo del tramo (m)		18756.8
CIRCUITO	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
34,22A	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
34.21	17746.8	17777.2	30.4	TUNEL	C/LC	Via	
34.20	17777.2	17922.0	144.8	TUNEL	C/LC	Via	
38.22	17922.0	18121.9	199.9	TUNEL	C/LC	Via	
38.21	18121.9	18283.9	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
38,20B	18283.9	18427.0	143.1	TUNEL	C/LC	Via	
	18427.0	18756.7	329.7	TUNEL	C/LC	Via	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento							
por vía dos rieles			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
por vía dos rieles			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES			0.0164	alta resistencia (vías)			0.0136
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel							
durmiente de concreto sobre losa de concreto			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento							
durmiente de concreto sobre losa de concreto			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento							
durmiente madera sobre losa de concreto			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SSR-SPV I		Pk inicio del tramo (m)		18756.9	Pk final del tramo		20572.1
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
42,14A	18756.9	18958.4	201.5	TUNEL	C/LC	Vía	
42.13	18958.4	19095.7	137.3	TUNEL	C/LC	Vía	
42.12	19095.7	19257.3	161.6	TUNEL	C/LC	Vía	
46.17	19257.3	19686.0	428.7	TUNEL	C/LC	Vía	
46.16	19686.0	19877.0	191.0	TUNEL	C/LC	Vía	
46.14	20076.4	20275.7	199.3	TUNEL	C/LC	Vía	
46.13	20275.7	20410.1	134.4	TUNEL	C/LC	Vía	
46.12	20410.1	20572.1	162.0	TUNEL	C/LC	Vía	
46.15	19877.0	20076.4	199.4	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SSR-SPV I		Pk inicio del tramo (m)		18756.7	Pk final del tramo (m)		20571.8
NÚMERO DEL	PK		LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
38,20A	18756.7	19095.2	338.5	TUNEL	C/LC	Vía	
42.22	19095.2	19258.2	163.0	TUNEL	C/LC	Vía	
42.27	19258.2	19396.0	137.8	TUNEL	C/LC	Vía	
42.26	19396.0	19655.0	259.0	TUNEL	C/LC	Vía	
46.24	19985.1	20227.7	242.6	TUNEL	C/LC	Vía	
46.23	20227.7	20409.9	182.2	TUNEL	C/LC	Vía	
46.22	20409.9	20571.8	161.9	TUNEL	C/LC	Vía	
46.25	19655.0	19985.1	330.1	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patio y Talleres			0.0164	a nivel de Patio y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPV I-SCO		Pk inicio del tramo (m)		20572.1	Pk final del tramo (m)		22031.6
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
50.14	20572.1	20982.3	410.2	TUNEL	C/LC	Via	
50.13	20982.3	21113.6	131.3	TUNEL	C/LC	Via	
50.12	21113.6	21275.6	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
54.15	21275.6	21737.9	462.3	TUNEL	C/LC	Via	
54.14	21737.9	21899.6	161.7	TUNEL	C/LC	Via	
54,13C	21899.6	21933.5	33.9	TUNEL	C/LC	Via	
54,13A	21999.9	22031.6	31.7	TUNEL	C/LC	Via	
54,13B	21933.5	21999.9	66.4	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPV I-SCO		Pk inicio del tramo (m)		20571.8	Pk final del tramo (m)		22031.9
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
46.21	20571.8	20711.9	140.10	TUNEL	C/LC	Via	
64.20	20711.9	21114.2	402.30	TUNEL	C/LC	Via	
50.22	21114.2	21275.6	161.40	TUNEL	C/LC	Via	
50,25B	21275.6	21416.1	140.50	TUNEL	C/LC	Via	
50,25A	21416.1	21743.9	327.80	TUNEL	C/LC	Via	
54.24	21743.9	21906.4	162.50	TUNEL	C/LC	Via	
54.23	21906.4	22031.9	125.50	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctricaTercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patio y Talleres			0.0164	a nivel de Patio y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SCO-SCH		Pk inicio del tramo (m)		22031.60	Pk final del tramo (m)		23509.40
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
54.12	22031.6	22193.8	162.2	TUNEL	C/LC	Via	
54.11	22193.8	22505.0	311.2	TUNEL	C/LC	Via	
58,10B	22505.0	22862.5	357.5	TUNEL	C/LC	Via	
58,10A	22862.5	23362.4	499.9	TUNEL	C/LC	Via	
58.09	23362.4	23509.4	147.0	TUNEL	C/LC	Via	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SCO-SCH		Pk inicio del tramo (m)		22031.9	Pk final del tramo (m)		23509.2
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
54.22	22031.9	22193.8	161.9	TUNEL	C/LC	Via	
54,21B	22193.8	22334.4	140.6	TUNEL	C/LC	Via	
54,21A	22334.4	22505.0	170.6	TUNEL	C/LC	Via	
54,20C	22505.0	22862.4	357.4	TUNEL	C/LC	Via	
58,20B	22862.4	23185.0	322.6	TUNEL	C/LC	Via	
58,20A	23185.0	23509.2	324.2	TUNEL	C/LC	Via	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patio y Talleres			0.0164	a nivel de Patio y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiende de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiende de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiende de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiende de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiende madera sobre losa de concreto			1.5	durmiende de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SCH-SDE		Pk inicio del tramo (m)		23509.2	Pk final del tramo (m)		25289.4
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
58.12	23509.2	23671.2	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
62.14	23671.2	24154.9	483.7	TUNEL	C/LC	Via	
62.13	24154.9	24290.9	136.0	TUNEL	C/LC	Via	
62.12	24290.9	24452.9	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
66,14B	24452.9	24718.0	265.1	TUNEL	C/LC	Via	
66,14A	24718.0	24985.2	267.2	TUNEL	C/LC	Via	
66.13	24985.2	25127.4	142.2	TUNEL	C/LC	Via	
66.12	25127.4	25289.4	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SCO-SDE		Pk inicio del tramo (m)		23509.2	Pk final del tramo (m)		25289.4
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
58.22	23509.2	23671.2	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
58,21B	23671.2	23804.4	133.2	TUNEL	C/LC	Via	
58,21A	23804.4	24290.9	486.5	TUNEL	C/LC	Via	
62.22	24290.9	24452.9	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
62.21	24452.9	24598.9	146.0	TUNEL	C/LC	Via	
62,20B	24598.9	24863.0	264.1	TUNEL	C/LC	Via	
62,20A	24863.0	25127.4	264.4	TUNEL	C/LC	Via	
66.22	25127.4	25289.4	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(Ohmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patio y Talleres			0.0164	a nivel de Patio y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica

M/LC = madera sobre losa de concreto

C/LC = concreto sobre losa de concreto

Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SDE-SLC		Pk inicio del tramo (m)		25289.40	Pk final del tramo (m)		27194.70
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
70,15B	25289.4	25747.0	457.6	TUNEL	C/LC	Via	
70,15A	25747.0	25868.0	121.0	TUNEL	C/LC	Via	
70.14	25868.0	26030.0	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
70.12	26196.7	26358.7	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
70.11	26358.7	26658.3	299.6	TUNEL	C/LC	Via	
74.10	26658.3	26903.3	245.0	TUNEL	C/LC	Via	
74.09	26903.3	27032.7	129.4	TUNEL	C/LC	Via	
74.12	27032.7	27194.7	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
70.13	26030.0	26196.7	166.7	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SDE-SLC		Pk iniicio del tramo (m)		25289.4	Pk final del tramo (m)		27194.7
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
66,25B	25289.4	25425.4	136.0	TUNEL	C/LC	Via	
66,25A	25425.4	25858.4	433.0	TUNEL	C/LC	Via	
70.24	25858.4	26020.4	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
70,22B	26196.7	26297.7	101.0	TUNEL	C/LC	Via	
70,22A	26297.7	26358.7	61.0	TUNEL	C/LC	Via	
70,21C	26358.7	26424.7	66.0	TUNEL	C/LC	Via	
70,21B	26424.7	26501.7	77.0	TUNEL	C/LC	Via	
70,21A	26501.7	26658.0	156.3	TUNEL	C/LC	Via	
70.20	26658.0	27032.7	374.7	TUNEL	C/LC	Via	
74,22B	27032.7	27112.7	80.0	TUNEL	C/LC	Via	
74,22A	27112.7	27194.7	82.0	TUNEL	C/LC	Via	
70.23	26020.4	26196.7	176.3	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patios y Talleres			0.0164	a nivel de Patios y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SLC-SCF		Pk inicio del tramo (m)		27194.7	Pk final del tramo (m)		28205.3
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
78,14B	27194.7	27693.0	498.3	TUNEL	C/LC	Via	
78,14A	27693.0	28075.2	382.2	TUNEL	C/LC	Via	
78.13	28075.2	28205.3	130.1	TUNEL	C/LC	Via	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SLC-SCF		Pk inicio del tramo (m)		27194.7	Pk final del tramo (m)		28205.3
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
74,21B	27194.70	27267.70	73.00	TUNEL	C/LC	Via	
74,21A	27267.70	27357.00	89.30	TUNEL	C/LC	Via	
74,20B	27357.00	27707.00	350.00	TUNEL	C/LC	Via	
74,20A	27707.00	28205.30	498.30	TUNEL	C/LC	Via	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patios y Talleres			0.0164	a nivel de Patios y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto

Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SCF-SPE		Pk inicio del tramo (m)		28205.3	Pk final del tramo (m)		29817.2
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
78.12	28205.3	28367.3	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
78,15B	28367.3	28673.0	305.7	TUNEL	C/LC	Via	
78,15A	28673.0	28980.0	307.0	TUNEL	C/LC	Via	
82,14B	28980.0	29246.0	266.0	TUNEL	C/LC	Via	
82,14A	29246.0	29504.0	258.0	TUNEL	C/LC	Via	
82,13C	29504.0	29584.7	80.7	TUNEL	C/LC	Via	
82,13B	29584.7	29614.7	30.0	TUNEL	C/LC	Via	
82,13A	29614.7	29655.2	40.5	TUNEL	C/LC	Via	
82,12C	29655.2	29711.2	56.0	TUNEL	C/LC	Via	
82,12B	29711.2	29784.2	73.0	TUNEL	C/LC	Via	
82,12A	29784.2	29817.2	33.0	TUNEL	C/LC	Via	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SCF-SPE		Pk inicio del tramo (m)		28205.30	Pk final del tramo (m)		29817.20
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
78,22B	28205.3	28289.0	83.7	TUNEL	C/LC	Via	
78,22A	28289.0	28367.3	78.3	TUNEL	C/LC	Via	
78,21B	28367.3	28413.7	46.4	TUNEL	C/LC	Via	
78,21A	28413.7	28507.7	94.0	TUNEL	C/LC	Via	
78,20C	28507.7	28980.0	472.3	TUNEL	C/LC	Via	
82,20B	28980.0	29317.0	337.0	TUNEL	C/LC	Via	
82,20A	29317.0	29655.2	338.2	TUNEL	C/LC	Via	
82.22	29655.2	29817.2	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patios y Talleres			0.0164	a nivel de Patios y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPE-SPL		Pk inicio del tramo (m)		29817.2	Pk final del tramo (m)		30710.7
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
86.15	29817.2	30316.0	498.8	TUNEL	C/LC	Via	
86.14	30316.0	30526.6	210.6	TUNEL	C/LC	Via	
86,13B	30526.6	30635.1	108.5	TUNEL	C/LC	Via	
86,13A	30635.1	30710.7	75.6	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPE-SPL		Pk inicio del tramo (m)		29817.2	Pk final del tramo (m)		30710.7
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
86.25	29817.2	29952.0	134.8	TUNEL	C/LC	Via	
86.24	29952.0	30316.0	364.0	TUNEL	C/LC	Via	
86,23B	30316.0	30517.6	201.6	TUNEL	C/LC	Via	
86,23A	30517.6	30616.0	98.4	TUNEL	C/LC	Via	
86,23A	30616.0	30710.7	94.7	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(Ohmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patios y Talleres			0.0164	a nivel de Patios y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPL-FOSA		Pk inicio del tramo (m)		30710.7	Pk final del tramo (m)		30387.3
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
86.12	30710.7	30872.7	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
86.11	30872.7	30910.7	38.0	TUNEL	C/LC	Via	
86.10	30978.5	31138.9	160.4	TUNEL	C/LC	Via	
86.08	31222.0	31387.3	165.3	TUNEL	C/LC	Via	
86,11A	30910.7	30978.5	67.8	TUNEL	M/LC	Maniobra	
86.09	31138.9	31222.5	83.6	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPL-FOSA		Pk inicio del tramo (m)		30710.70	Pk final del tramo (m)		31232.50
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
86,22B	30710.7	30813.2	102.5	TUNEL	C/LC	Via	
86,22A	30813.2	30872.7	59.5	TUNEL	C/LC	Via	
86.20	30978.5	31138.9	160.4	TUNEL	C/LC	Via	
86.21	30872.7	30978.5	105.8	TUNEL	M/LC	Maniobra	
86.19	31138.9	31232.5	93.6	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(Ohmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patios y Talleres			0.0164	a nivel de Patios y Talleres			0.0136
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado del Anexo 4.1 y el Anexo 4.8

Anexo 4.3 Tablas de datos técnicos de la Línea 2 tramo “Las Adjuntas-Zoológico-El Silencio”.

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SAJ-SYE		Pk inicio del tramo (m)		229.0	Pk final del tramo (m)		3596.0
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
10.12	3596.0	3201.7	394.3	DESCUBIERTA	C/B	Via	
10,11C	3201.7	3164.6	37.1	DESCUBIERTA	C/B	Via	
12,10C	3006.8	2838.9	167.9	DESCUBIERTA	C/B	Via	
12,10B	2838.9	2351.0	487.9	DESCUBIERTA	C/B	Via	
12,10A	2351.0	1920.0	431.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
12.14	1920.0	1604.0	316.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
12,13C	1604.0	1410.0	194.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
12,13A	1222.0	1095.0	127.0	TUNEL	C/LC	Via	
12.12	1095.0	933.0	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
12,11B	933.0	848.0	85.0	TUNEL	C/LC	Via	
12,11A	848.0	780.0	68.0	TUNEL	C/LC	Via	
14,10B	780.0	505.0	275.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,10A	505.0	229.0	276.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
10,11B	3164.6	3090.4	74.2	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
10,11A	3090.4	3006.8	83.6	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
12,13B	1410.0	1222.0	188.0	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SAJ-SYE		Pk inicio del tramo (m)		229.0	Pk final del tramo (m)		3391.6
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
10.22	3391.6	3201.7	189.9	DESCUBIERTA	C/B	Via	
10,21A	3077.0	2943.9	133.1	DESCUBIERTA	C/B	Via	
10,20C	2943.9	2457.0	486.9	DESCUBIERTA	C/B	Via	
10,20B	2457.0	2188.0	269.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
10,20A	2188.0	1920.0	268.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
10.24	1920.0	1457.2	462.8	DESCUBIERTA	C/B	Via	
12,23A	1257.8	1095.0	162.8	DESCUBIERTO	C/B	Via	
12,22B	1095.0	1014.0	81.0	TUNEL	C/LC	Via	
12,22A	1014.0	936.8	77.2	TUNEL	C/LC	Via	
12,21B	936.8	780.0	156.8	TUNEL	C/LC	Via	
12,21A	780.0	819.0	39.0	TUNEL	C/LC	Via	
12.20	819.0	229.0	590.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
10,21B	3201.7	3077.0	124.7	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
12,23B	1457.2	1257.8	199.4	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patios yTalleres			0.0164	a nivel de Patios yTalleres			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/B = madera sobre balasto C/B = concreto sobre balasto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la
C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.2

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SCC-SYE		Pk inicio del tramo (m)		7.7	Pk final del tramo (m)		3348.0
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
O6,14	7.7	289.4	281.7	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O6,13A	387.0	509.0	122.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O6,12	509.0	667.9	158.9	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O8,1	880.5	1375.0	494.5	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O8,09	1375.0	1509.0	134.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O8,12	1509.0	1671.0	162.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,19D	1671.0	1753.0	82.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,19C	1753.0	2222.0	469.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,19B	2222.0	2889.0	667.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,19A	2889.0	3003.0	114.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,17D	3003.0	3348.0	345.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O6,13B	289.4	387.0	97.6	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
O6,11	667.9	880.5	212.6	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SCC-SYE		Pk inicio del tramo (m)		7.7	Pk final del tramo (m)		3345.0
NÚMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
O6,24	7.7	289.4	281.7	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O6,23A	383.9	509.0	125.1	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O6,22	509.0	671.0	162.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O6,20B	824.0	1142.0	318.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O6,20A	1142.0	1509.0	367.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O8,22	1509.0	1671.0	162.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O8,21B	1671.0	1753.0	82.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O8,21A	1753.0	1826.0	73.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O8,29C	1826.0	2257.0	431.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O8,29B	2257.0	2889.0	632.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O8,29A	2889.0	3154.0	265.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,27D	3154.0	3345.0	191.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
O6,23B	289.4	383.9	94.5	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
O6,21	671.0	824.0	153.0	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
a nivel de vías			0.0164	a nivel de vías			0.0068
a nivel de Patios y Talleres			0.0164	a nivel de Patios y Talleres			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/B = madera sobre balasto C/B = concreto sobre balasto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.2

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SYE-SMM		Pk inicio del tramo (m)		2810.0	Pk final del tramo (m)		4937.3
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
14.18	2810.0	3221.0	411.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,17C	3221.0	3421.1	200.1	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,17B	3345.0	3489.0	144.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,17A	3489.0	3673.4	184.4	DESCUBIERTA	C/B	Via	
16.16	3673.4	4150.0	476.6	DESCUBIERTA	C/B	Via	
16,15B	4150.0	4440.0	290.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
16,15A	4440.0	4730.0	290.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
16.14	4730.0	4937.3	207.3	DESCUBIERTA	C/B	Via	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SYE-SMM		Pk inicio del tramo (m)		2810.0	Pk final del tramo (m)		4961.0
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
14.28	2810.0	3242.0	432.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,27C	3242.0	3371.7	129.7	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,27B	3371.7	3530.0	158.3	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,37A	3580.0	3626.0	46.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14.36	3626.0	3889.3	263.3	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14.26	3889.3	4150.0	260.7	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14.25	4150.0	4496.0	346.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14.24	4496.0	4842.0	346.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
14,23B	4842.0	4937.0	95.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
16.34	4687.5	4919.0	231.5	DESCUBIERTA	C/B	Via	
16,33B	4919.0	4961.0	42.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
por vía dos rieles			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
por vía dos rieles			0.0164	alta resistencia (vías)			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/B = madera sobre balasto C/B = concreto sobre balasto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.2

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SMM-SAM		Pk inicio del tramo (m)		4928.0	Pk final del tramo (m)		6519.0
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
16,12B	5067.4	5275.0	207.6	DESCUBIERTA	C/B	Via	
16,12A	5275.0	5356.0	81.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18,15B	5356.0	5746.0	390.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18,15A	5746.0	6062.5	316.5	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18.14	6062.5	6224.5	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
18.13	6320.0	6355.5	35.5	TUNEL	C/LC	Via	
18,12B	6355.5	6437.9	82.4	TUNEL	C/LC	Via	
18,12A	6437.9	6519.0	81.1	TUNEL	C/LC	Via	
16.13	4928.0	5067.4	139.4	DESCUBIERTA	M/B	Maniobra	
18,13B	6224.5	6320.0	95.5	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SMM-SAM		Pk inicio del tramo (m)		4937.0	Pk final del tramo (m)		6519.0
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
16,22B	5062.4	5275.0	212.6	DESCUBIERTA	C/B	Via	
16,22A	5275.0	5356.0	81.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18,25C	5356.0	5502.0	146.0	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18,25B	5502.0	5745.8	243.8	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18,25A	5745.8	6060.5	314.7	DESCUBIERTA	C/B	Via	
18.24	6060.5	6222.5	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
18.23	6322.0	6357.0	35.0	TUNEL	C/LC	Via	
18,22B	6357.0	6437.9	80.9	TUNEL	C/LC	Via	
18,22A	6437.9	6519.0	81.1	TUNEL	C/LC	Via	
16.23	4928.0	5067.4	139.4	DESCUBIERTA	M/LC	Maniobra	
18,23B	6222.5	6322.0	99.5	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(Ohmios/km)
por vía dos rieles			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
por vía dos rieles			0.0164	alta resistencia (vias)			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/B = madera sobre balasto C/B = concreto sobre balasto
 Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.2

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SAM-SYG		Pk inicio del tramo (m)		6519.0	Pk final del tramo (m)		8970.9
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
18,11B	6519.0	6705.8	186.8	TUNEL	C/LC	Via	
18,11A	6705.8	6788.0	82.2	TUNEL	C/LC	Via	
20.10	6788.0	7261.6	473.6	TUNEL	C/LC	Via	
20.09	7261.6	7391.4	129.8	TUNEL	C/LC	Via	
20,12B	7391.4	7472.4	81.0	TUNEL	C/LC	Via	
20,12A	7472.4	7553.4	81.0	TUNEL	C/LC	Via	
22,14C	7553.4	7929.0	375.6	TUNEL	C/LC	Via	
22,14B	7929.0	8305.0	376.0	TUNEL	C/LC	Via	
22,14A	8305.0	8680.3	375.3	TUNEL	C/LC	Via	
22.13	8680.3	8810.3	130.0	TUNEL	C/LC	Via	
22.12	8810.3	8970.9	160.6	DESCUBIERTA	C/B	Via	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SAM-SYG		Pk inicio del tramo (m)		6519.0	Pk final del tramo (m)		8970.9
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
18,21B	6519.0	6661.0	142.0	TUNEL	C/LC	Via	
18,21A	6661.0	6788.0	127.0	TUNEL	C/LC	Via	
18,20B	6788.0	7090.0	302.0	TUNEL	C/LC	Via	
18,20A	7090.0	7391.4	301.4	TUNEL	C/LC	Via	
20,22B	7391.4	7472.4	81.0	TUNEL	C/LC	Via	
20,22A	7472.4	7553.4	81.0	TUNEL	C/LC	Via	
20.21	7553.4	7695.4	142.0	TUNEL	C/LC	Via	
20,20C	7695.4	8067.0	371.6	TUNEL	C/LC	Via	
20,20B	8067.0	8438.0	371.0	TUNEL	C/LC	Via	
20,20A	8438.0	8808.9	370.9	TUNEL	C/LC	Via	
22,22B	8808.9	8890.4	81.5	DESCUBIERTA	C/B	Via	
22,22A	8890.4	8970.9	80.5	DESCUBIERTA	C/B	Via	
RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
por via dos rieles			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
por via dos rieles			0.0164	alta resistencia (vias)			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica

M/LC = madera sobre losa de concreto

C/LC = concreto sobre losa de concreto

C/B = madera sobre balasto

Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.2

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SYG-SPZ		Pk inicio del tramo (m)		8970.9	Pk final del tramo (m)		10307.3
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
24,14C	8970.9	9281.0	310.1	TUNEL	C/LC	Via	
24,14B	9281.0	9592.0	311.0	TUNEL	C/LC	Via	
24,14A	9592.0	10070.2	478.2	TUNEL	C/LC	Via	
24,13B	10070.2	10177.2	107.0	TUNEL	C/LC	Via	
24,13A	10177.2	10307.3	130.1	TUNEL	C/LC	Via	

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SYG-SPZ		Pk inicio del tramo (m)		8970.9	Pk máximo del tramo (m)		10308.7
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
22,21	8970.9	9116.9	146.0	TUNEL	C/LC	Via	
22,24B	9116.9	9592.0	475.1	TUNEL	C/LC	Via	
22,24A	9592.0	10071.2	479.2	TUNEL	C/LC	Via	
24,23B	10071.2	10194.9	123.7	TUNEL	C/LC	Via	
24,23A	10194.9	10308.7	113.8	TUNEL	C/LC	Via	

RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES			
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento	Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel	R3r(0hmios/km)
por via dos rieles	0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)	0.0068
por via dos rieles	0.0164	alta resistencia (vias)	0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES			
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel	Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel	Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto	70000	durmiente de madera sobre balasto	70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento	Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento	Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto	150.0	durmiente de concreto sobre balasto	44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento	Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento	Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto	1.5	durmiente de madera sobre balasto	8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la
C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.2

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SPZ-SMD		Pk inicio del tramo (m)		10307.3	Pk final del tramo (m)		12658.0
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
24.12	10307.3	10470.7	163.4	DESCUBIERTA	C/B	Via	
24,11A	10569.1	10634.6	65.5	TUNEL	C/LC	Via	
24.10	10634.6	10796.6	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
24,09B	10794.6	10957.0	162.4	TUNEL	C/LC	Via	
24,09A	10957.0	11290.8	333.8	TUNEL	C/LC	Via	
24.08	11290.8	11421.8	131.0	TUNEL	C/LC	Via	
26.12	11421.8	11582.0	160.2	TUNEL	C/LC	Via	
28.16	11582.0	11790.0	208.0	TUNEL	C/LC	Via	
28.15	11790.0	12082.0	292.0	TUNEL	C/LC	Via	
28.14	12082.0	12367.9	285.9	TUNEL	C/LC	Via	
28.13	12367.9	12498.9	131.0	TUNEL	C/LC	Via	
28,12B	12498.9	12577.0	78.1	TUNEL	C/LC	Via	
28,12A	12577.0	12658.0	81.0	TUNEL	C/LC	Via	
24,11B	10470.7	10569.1	98.4	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SPZ-SMD		Pk inicio del tramo (m)		10308.7	Pk final del tramo (m)		12658.0
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
24,22B	10308.7	10389.6	80.9	DESCUBIERTA	C/B	Via	
24,22A	10389.6	10470.7	81.1	DESCUBIERTA	C/B	Via	
24,20C	10588.0	10750.0	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
24,20B	10750.0	10830.5	80.5	TUNEL	C/LC	Via	
24,20A	10830.5	11420.0	589.5	TUNEL	C/LC	Via	
26,22B	11420.0	11493.0	73.0	TUNEL	C/LC	Via	
26,22A	11493.0	11582.0	89.0	TUNEL	C/LC	Via	
26,21B	11582.0	11723.8	141.8	TUNEL	C/LC	Via	
26,21A	11723.8	11790.0	66.2	TUNEL	C/LC	Via	
26,20B	11790.0	12143.0	353.0	TUNEL	C/LC	Via	
26,20A	12143.0	12496.0	353.0	TUNEL	C/LC	Via	
26,22B	12496.0	12577.0	81.0	TUNEL	C/LC	Via	
26,22A	12577.0	12658.0	81.0	TUNEL	C/LC	Via	
24.21	10470.7	10588.0	117.3	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
por via dos rieles			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
por via dos rieles			0.0164	alta resistencia (vias)			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica

M/LC = madera sobre losa de concreto

C/LC = concreto sobre losa de concreto

C/B = madera sobre balasto

Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.2

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 1							
TRAMO SMD-SCU		Pk inicio del tramo (m)		12658.0	Pk final del tramo (m)		13536.0
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
30,15B	12568.0	12946.9	378.9	TUNEL	C/LC	Via	
30,15A	12946.8	13091.9	145.1	TUNEL	C/LC	Via	
30,14	13091.9	13253.9	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
30,13A	13334.9	13372.9	38.0	TUNEL	C/LC	Via	
30,12D	13372.9	13422.0	49.1	TUNEL	C/LC	Via	
30,12C	13422.0	13462.0	40.0	TUNEL	C/LC	Via	
30,12B	13462.0	13496.0	34.0	TUNEL	C/LC	Via	
30,12A	13496.0	13536.0	40.0	TUNEL	C/LC	Via	
30,13B	13253.9	13334.9	81.0	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SMD-SCU		Pk inicio del tramo (m)		12658.0	Pk final del tramo (m)		13536.0
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
28,25B	12658.0	12800.0	142.0	TUNEL	C/LC	Via	
28,25A	12800.0	13091.7	291.7	TUNEL	C/LC	Via	
30,24	13091.7	13253.7	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
30,22B	13374.0	13413.5	39.5	TUNEL	C/LC	Via	
30,22A	13431.5	13536.0	104.5	TUNEL	C/LC	Via	
30,23	13253.7	13374.0	120.3	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
por vía dos rieles			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
por vía dos rieles			0.0164	alta resistencia (vías)			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK =progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electificación de la
C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.2

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V1 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SCU-FOSA		Pk inicio del tramo (m)		13536.0	Pk final del tramo (m)		14955.6
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
30,11B	13536.0	13667.0	131.0	TUNEL	C/LC	Via	
30,11A	13667.0	13809.0	142.0	TUNEL	C/LC	Via	
32,14B	13809.0	14066.0	257.0	TUNEL	C/LC	Via	
32,14A	14066.0	14323.0	257.0	TUNEL	C/LC	Via	
32.12	14496.3	14658.6	162.3	TUNEL	C/LC	Via	
32.10	14765.0	14955.6	190.6	TUNEL	C/LC	Via	
32.13	14323.0	14496.3	173.3	TUNEL	M/LC	Maniobra	
32.11	14682.3	14765.0	82.7	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA V2 DE LA LÍNEA 2							
TRAMO SCU-FOSA		Pk inicio del tramo (m)		13536.0	Pk final del tramo (m)		14955.6
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
30,21B	13536.0	13667.0	131.0	TUNEL	C/LC	Via	
30,21A	13667.0	13823.0	156.0	TUNEL	C/LC	Via	
30.20	13823.0	14423.0	600.0	TUNEL	C/LC	Via	
32,23B	14423.0	14380.0	43.0	TUNEL	C/LC	Via	
32,22B	14496.6	14658.6	162.0	TUNEL	C/LC	Via	
32.20	14765.0	14955.6	190.6	TUNEL	C/LC	Via	
32,23A	14380.0	14496.6	116.6	TUNEL	M/LC	Maniobra	
32.21	14658.6	14765.0	106.4	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
por via dos rieles			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
por via dos rieles			0.0164	alta resistencia (vias)			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK =progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la
C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.2

Anexo 4.4 Tablas de datos técnicos de la Línea 3 tramo “Plaza Venezuela-El Valle”.

DATOS TÉCNICOS DE LA VIA 1 DE LA LINEA 3							
TRAMO SPVI-SPVII		Pk inicio del tramo (m)		1063.2	Pk final del tramo (m)		1540.2
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
30.10	1063.2	1252.0	188.8	TUNEL	C/LC	Via	
30.12	1398.2	1540.2	142.0	TUNEL	C/LC	Via	
30.11	1252.0	1398.2	146.2	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 3							
TRAMO SPVI-SPVII		Pk inicio del tramo (m)		1063.2	Pk final del tramo (m)		1540.5
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO (m)	
30.20	1063.2	1248.0	184.8	TUNEL	C/LC	Via	
30.22	1394.5	1540.5	146.0	TUNEL	C/LC	Via	
30.21	1248.0	1394.5	146.5	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
dos rieles por via			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
dos rieles por via			0.0164	alta resistencia (vias)			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de los Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo deRieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto

Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la

C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.3

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 1 DE LA LÍNEA 3							
TRAMO SPVII-SSL		Pk inicio del tramo (m)		1540.2	Pk final del tramo (m)		3665.7
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
30,13B	1641.0	1894.1	253.1	TUNEL	C/LC	Via	
30.14	1894.1	2035.5	141.4	TUNEL	C/LC	Via	
30.15	2035.5	2529.0	493.5	TUNEL	C/LC	Via	
26.11	2529.0	2662.7	133.7	TUNEL	C/LC	Via	
26.12	2662.7	2804.7	142.0	TUNEL	C/LC	Via	
26.13	2904.7	3025.0	120.3	TUNEL	C/LC	Via	
26.14	3025.0	3523.7	498.7	TUNEL	C/LC	Via	
26.12	3623.7	3665.7	42.0	TUNEL	C/LC	Via	
30,13A	1540.2	1641.0	100.8	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 3							
TRAMO SPVII-SSL		Pk inicio del tramo (m)		1540.7	Pk final del tramo (m)		3665.7
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
30.24	1641.0	1893.5	252.5	TUNEL	C/LC	Via	
26,20A	1893.5	2266.5	373.0	TUNEL	C/LC	Via	
26,20B	2266.2	2517.0	250.8	TUNEL	C/LC	Via	
26.21	2517.0	2662.7	145.7	TUNEL	C/LC	Via	
26.22	2662.7	2804.7	142.0	TUNEL	C/LC	Via	
26.20	2804.7	3303.0	498.3	TUNEL	C/LC	Via	
26.21	3303.0	3523.7	220.7	TUNEL	C/LC	Via	
26.22	3523.7	3665.7	142.0	TUNEL	C/LC	Via	
30.23	1540.7	1641.0	100.3	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
por vía dos rieles			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
por vía dos rieles			0.0164	alta resistencia (vias)			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo deRieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la
C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.3

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 1 DE LA LÍNEA 3							
TRAMO SSL-SVE		Pk inicio del tramo (m)		3665.7	Pk final del tramo (m)		5791.1
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
26.130	3665.7	3808.5	142.8	TUNEL	C/LC	Via	
26.140	3808.5	4308.0	499.5	TUNEL	C/LC	Via	
24.120	4308.0	4448.0	140.0	TUNEL	C/LC	Via	
24.090	4448.0	4591.0	143.0	TUNEL	C/LC	Via	
24,10A	4591.0	4880.0	289.0	TUNEL	C/LC	Via	
24,10B	4880.0	5378.8	498.8	TUNEL	C/LC	Via	
12,10C	5378.8	5544.8	166.0	TUNEL	C/LC	Via	
12.120	5549.1	5791.1	242.0	TUNEL	C/LC	Via	
12.110	5544.8	5649.1	104.3	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 3							
TRAMO SSL-SVE		Pk inicio del tramo (m)		3665.7	Pk final del tramo (m)		5791.1
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	VIA	DURMIENTE	CIRCUITO	
24.20	3665.7	4148.0	482.3	TUNEL	C/LC	Via	
24.21	4148.0	4308.0	160.0	TUNEL	C/LC	Via	
24.22	4308.0	4448.0	140.0	TUNEL	C/LC	Via	
24.23	4448.0	4644.0	196.0	TUNEL	C/LC	Via	
12.20	4644.0	5101.0	457.0	TUNEL	C/LC	Via	
12,21A	5101.0	5547.0	446.0	TUNEL	C/LC	Via	
12.22	5650.7	5791.1	140.4	TUNEL	C/LC	Via	
12,21B	5547.0	5650.6	103.6	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
por vía dos rieles			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
por vía dos rieles			0.0164	alta resistencia (vías)			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo deRieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la
C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.3

DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 1 DE LA LÍNEA 3							
TRAMO SVE-FOSA		Pk inicio del tramo (m)		5791.1	Pk final del tramo (m)		6160.5
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	ZONA DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO	VÍA	DURMIENTE	CIRCUITO	
12,13B	5893.0	5980.0	87.0	TUNEL	C/LC	Via	
12.14	5980.0	6160.6	180.6	TUNEL	C/LC	Via	
12,13A	5791.1	5893.0	101.9	TUNEL	M/LC	Maniobra	
DATOS TÉCNICOS DE LA VÍA 2 DE LA LÍNEA 3							
TRAMO SVE-FOSA		Pk inicio del tramo (m)		5791.1	Pk final del tramo (m)		6318.1
NUMERO DEL	PK	PK	LONGITUD DEL	MEDIO DE	TIPO DE	TIPO DE	
CIRCUITO	INICIO (m)	FINAL (m)	CIRCUITO (m)	UBICACIÓN	DURMIENTE	CIRCUITO	
12.24	5892.0	6034.0	142.0	TUNEL	C/LC	Via	
12.25	6034.0	6074.8	40.8	TUNEL	C/LC	Via	
12.26	6074.8	6214.7	139.9	TUNEL	C/LC	Via	
12.27	6214.7	6290.0	75.3	TUNEL	C/LC	Via	
12.28	6290.0	6318.1	28.1	TUNEL	C/LC	Via	
12.23	5791.1	5892.0	100.9	TUNEL	M/LC	Maniobra	
RESISTENCIA LONGITUDINAL DE LOS RIELES							
resistencia eléctrica Rieles de Rodamiento			Rrr(ohmios/km)	resistencia eléctrica Tercer Riel			R3r(0hmios/km)
por via dos rieles			0.0164	baja resistencia (patio y zona de maniobra)			0.0068
por via dos rieles			0.0164	alta resistencia (vias)			0.0138
RESISTENCIA AISLAMIENTO DE LOS RIELES							
resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo del Tercer Riel			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			70000	durmiente de madera sobre balasto			70000
resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente de concreto sobre losa de concreto			150.0	durmiente de concreto sobre balasto			44.0
resistencia Riel-Suelo deRieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)	resistencia Riel-Suelo de Rieles de Rodamiento			Rr-s(ohmios/km)
durmiente madera sobre losa de concreto			1.5	durmiente de madera sobre balasto			8.3

PK = progresión kilométrica M/LC = madera sobre losa de concreto C/LC = concreto sobre losa de concreto
 Nota: los datos de esta tabla fueron tomado de los planos de señalización y electrificación de la
 C.A. Metro de Caracas, ver anexo 4.3

Anexo 4.5 Aislamiento riel-suelo de diversos informes realizados en la C. A. Metro de Caracas. [2].

Referencia según estudios de informes de la C. A. Metro De Caracas. (A)				
Tipo de Tendido De la vía férrea	THE HINCHAN COMPANY JULIO DE 1982	SOFRETU/SECCO NOVIEMBRE 1982 (B)	INVEDI/USB FEBRERO 1987 (C)	SOFRETU/SECCO SEPTIEMBRE 1988 (D)
Durmiente de Concreto sobre losa de concreto	150 Ω/km	Mínimo 50 Ω/km Máximo 200Ω/km	150 Ω/km	200 Ω/km
Durmiente de Concreto sobre balasto	150 Ω/km	44 Ω/km	150 Ω/km	Decenas de Ω/km
Durmiente de concreto sobre losa de concreto con A.V. doble	1,5 Ω/km	----- -	Mínimo: 6 Ω/km Máximo: 10 Ω/km	44 Ω/km
Durmiente de concreto sobre losa de concreto con A.V. sencillo	1,5 Ω/km	----- -	Mínimo: 5 Ω/km Máximo: 10 Ω/km	44 Ω/km
Durmiente de concreto sobre losa de concreto con A.V. doble	1,5 Ω/km hasta 9 Ω/km	8,3 Ω/km	-----	Decenas de Ω/km
Durmiente de concreto sobre losa de concreto con A.V. sencillo	1,5 Ω/km hasta 9 Ω/km	16,7 Ω/km	-----	Decenas de Ω/km

(A) Todos los valores en Ω /km, expresión de la aclarado en el recuadro, están en kilómetro de vía.

(B) simple (dos rieles por vía).

(B) Estudio SOFRETU/SECCO, modelo de caso pesimista 10 Ω /km y como optimista 40 Ω /km.

(C) Se expresa en el informe que son valores de diseño del sistema.

(D) Especificaciones para vías limpias, secas del Metro de Paris.

A.V. = aparatos de vía que se encuentran en la zonas de maniobras.

Anexo 4.6 Característica técnicas de los rectificadores de potencia correspondientes a la Línea1 y 2. [3].

Especificaciones	Rectificador de Potencia de 4,0 MW	Rectificador de Potencia de 3,5 MW	Rectificador de Potencia de 3,0 MW
Enfriamiento	Convección natural de aire	Convección natural de aire	Convección natural de aire
Tensión nominal	800 Vcc	800 Vcc	800 Vcc
Corriente nominal	5000 A	4375	3750 A
Números de diodos por rectificador	72	72	72
Números de diodos por ramas	6	6	6
Tipos de diodos	24 Z (press-pack)	24 Z (press-pack)	24 Z (press-pack)
Vrms a 170 °C	2400 V	2400 V	2400 V
Pérdidas a corriente nominal	20 kW	17,5 kW	15 kW
Pérdidas potencia en vacío	1,2 kW	1,2 kW	1,2 kW
Tipo de fusible del diodo	Feraz	Feraz	Feraz
Rating	1250 A	1250 A	1250 A
Altura	2250 mm	2250 mm	2250 mm
Longitud	2200 mm	2200 mm	2200 mm
Ancho	1500 mm	1500 mm	1500 mm
Peso	1200 kg	1200 kg	1200 kg

Anexo 4.7 Característica de la explotación comercial de los trenes en la C. A. Metro de Caracas [3].

DIA LABORAL	LÍNEA 1	LÍNEA 2	LÍNEA 3
Cantidad de trenes hora pico mañana Intervalo de tiempo entre trenes	29 120 segundos	14 200 segundos	5 215 segundos
Cantidad de trenes hora valle Intervalo de tiempo entre trenes	18 235 segundos	9 325 segundos	3 340 segundos
Cantidad de trenes hora pico tarde Intervalo de tiempo entre trenes	28 155 segundos	13 215 segundos	5 215 segundos
Cantidad total de vueltas	288	218	197

DIA SABADO	LÍNEA 1
Cantidad de trenes hora pico mañana Intervalo de tiempo entre trenes	19 225 segundos
Cantidad de trenes hora valle Intervalo de tiempo entre trenes	16 260 segundos
Cantidad de trenes hora pico tarde Intervalo de tiempo entre trenes	18 235 segundos
Cantidad total de vueltas	232

DIA DOMINGO	LÍNEA 1	LÍNEA 2	LÍNEA 3
Cantidad de trenes hora pico mañana Intervalo de tiempo entre trenes	15 280 segundos	7 390 segundos	3 360 segundos
Cantidad de trenes hora valle Intervalo de tiempo entre trenes	16 260 segundos	9 305 segundos	3 360 segundos
Cantidad de trenes hora pico tarde Intervalo de tiempo entre trenes	13 320 segundos	7 390 segundos	3 360 segundos
Cantidad total de vueltas	209	195	163

Anexo 4.8 Característica físicas y eléctricas de los conductores utilizados en la C. A. Metro de Caracas [3].

ESPECIFICACIONES TÉCNICA	TIPOS DE CABLES						
	30 KV			12,47 KV		5 KV	
	4/0 AWG	500 MCM	750 MCM	3/0 AWG	500 MCM	750 MCM	500 MCM
Clase	8	8	8	8	8	8	8
Sección (mm ²)	107	253	380	85	253	380	253
Número de hilos	19	37	61	19	37	61	259
Diámetro de los hilos (mm)	2,68	2,95	2,82	2,39	2,95	2,92	1,12
Diámetro del conductor (mm)	12,90	19,80	24,10	11,90	19,80	25,30	23,40
Peso del cobre (kg/km)	972	2300	3450	771	2300	3450	2355
Resistencia C.C. 20 °C (Ω /km)	0,1640	0,0694	0,0463	0,2069	0,0694	0,0463	0,071
Resistencia C.C. 85°C (Ω /km)	0,2058	0,0871	0,0581	0,2596	0,0871	0,0581	0,089
Resistencia C.A 85 °C (Ω /km)	0,2067	0,0895	0,0619	0,2617	0,0902	-	-
Impendancia (Ω /km)	0,26 $\angle$ 37,4	0,16 $\angle$ 55,8	0,14 $\angle$ 63,5	0,29 $\angle$ 27,4	0,14 $\angle$ 51,4	-	-
Self inducción (mH/km)	0,42	0,35	0,33	0,36	0,30	-	-

Anexo 4.9 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ) y la S/E de tracción Y (SYE) respecto a la vía 1 y la vía 2.

Nombres de los distintos elementos que conforman el modelo eléctrico pasivo a simular.

Rreg1= resistencia eléctrica de regulación 1.

Rreg2= resistencia eléctrica de regulación 2.

RC1 = RC2 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que desde el rectificador de potencia a la CRN.

RC3 = RC4 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que van desde la CRN hasta los Rieles de Rodamiento.

RC5 = RC6 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde la CRN hasta el shunt del CTN.

RC7 = RC8 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde el shunt del CTN hasta la malla de tierra.

RCTN = Resistencia del shunt del CTN.

CTN = Contactor de Puesta a Tierra del Negativo.

CRN = Caja de Retorno Negativo.

R3r1 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R3r2 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R1...R17= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

R18...R34 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

RCT1...RCT15= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 1**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

R1...R15= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

R16...R30 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

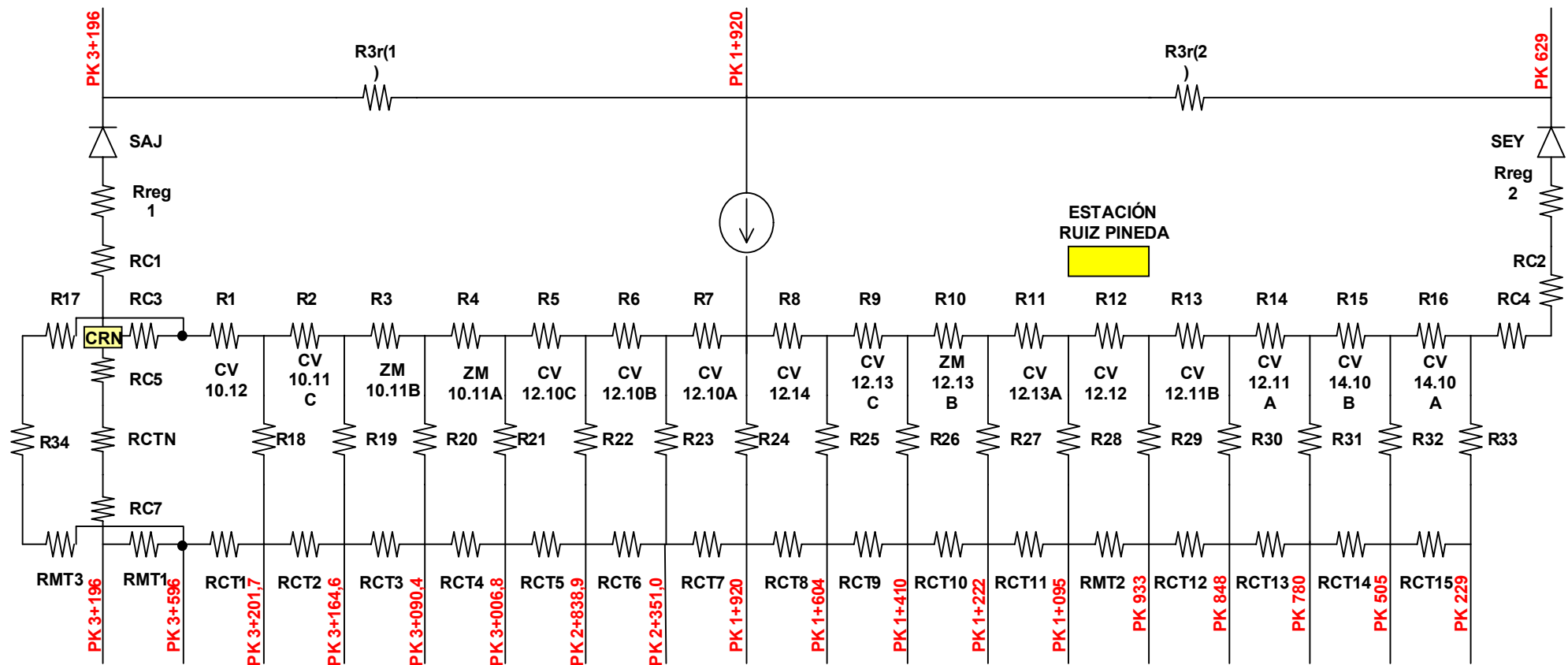
RCT1...RCT15= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 2**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

RMT1 ...RMT3 = Resistencia de la malla de tierra ubicada en las Sub-Estaciones de Tracción y Estaciones de Pasajeros.

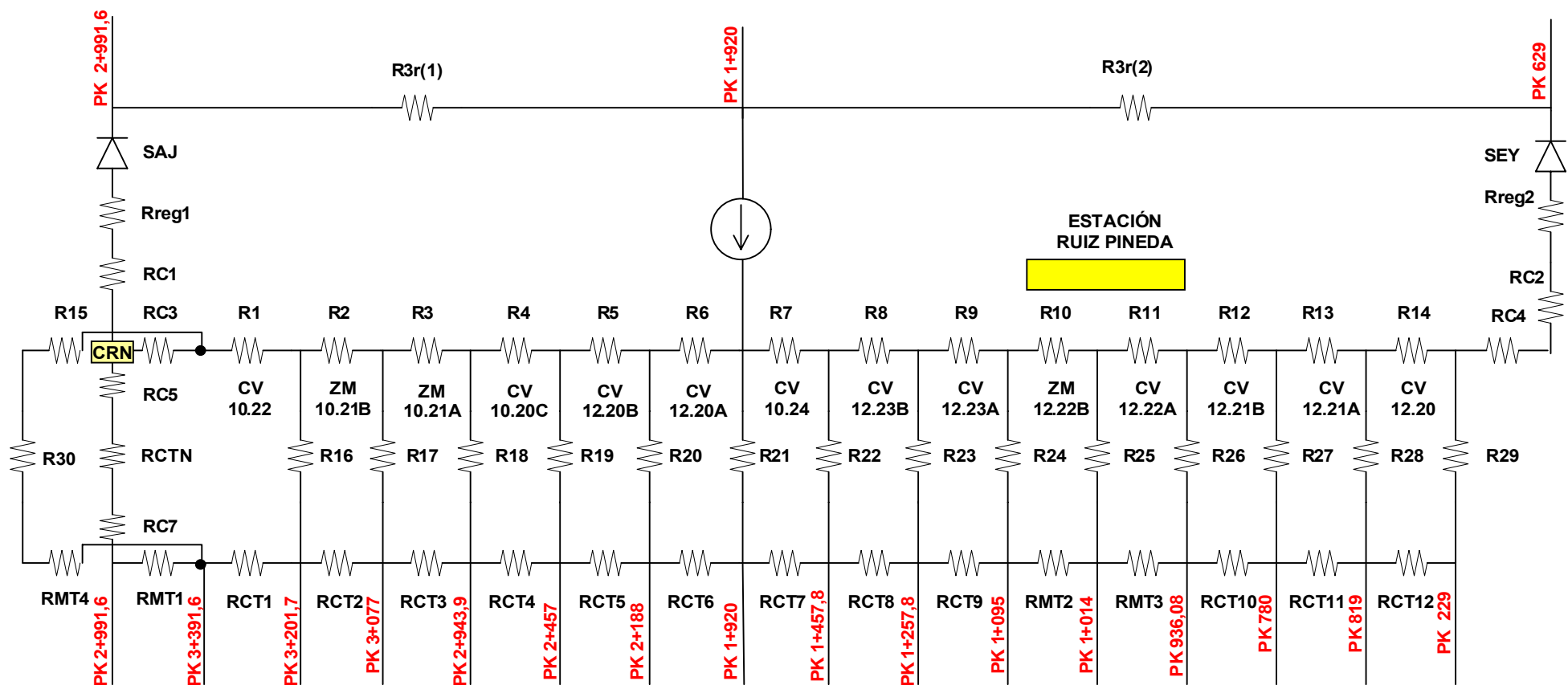
PK = Progresión Kilométrica.

CV = Circuito de vía.

ZM = Zona de Maniobra.



**MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN LAS
 ADJUNTAS(SAJ) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN Y (SEY) RESPECTO A LA VÍA 1.**



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN LAS ADJUNTAS (SAJ) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN Y (SEY) RESPECTO A LA VÍA 2.

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Las Adjuntas (SAJ) y la sub-estación de tracción Y (SYE) correspondiente a la vía 1.

R3r(1)	8,67 mΩ	R1	6,47 mΩ	R18	17,3 Ω	RCT1	67,18 mΩ
R3r (2)	8,77 mΩ	R2	0,61 mΩ	R19	1,63 Ω	RCT2	6,32 mΩ
Rc1	0,26 mΩ	R3	1,22 mΩ	R20	0,60 Ω	RCT3	12,91 mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	1,33 mΩ	R21	0,69 Ω	RCT4	14,24 mΩ
Rc3	1,06 mΩ	R5	2,75 mΩ	R22	7,38 Ω	RCT5	28,61 mΩ
Rc4	1,06 mΩ	R6	8,00 mΩ	R23	21,40 Ω	RCT6	83,13 Ω
Rc5	0,36 mΩ	R7	7,07 mΩ	R24	18,96 Ω	RCT7	73,44 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	5,18 mΩ	R25	13,90 Ω	RCT8	53,84 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	3,18mΩ	R26	8,53 Ω	RCT9	33,05 mΩ
Rc8	0,14 mΩ	R10	3,08 mΩ	R27	1,56 Ω	RCT10	32,03 mΩ
RMT1	2,00 Ω	R11	2,08 mΩ	R28	19,05 Ω	RCT11	21,64 mΩ
RMT2	2,00 Ω	R12	2,66 mΩ	R29	24,30 Ω	RMT2	2,0 Ω
RCTN1	0,05 mΩ	R13	1,39 mΩ	R30	12,75 Ω	RCT12	14,48 mΩ
RCTN2	0,05 mΩ	R14	1,12 mΩ	R31	10,20 Ω	RCT13	11,58 mΩ
		R15	4,51 mΩ	R32	12,20 Ω	RCT14	46,86 mΩ
		R16	4,53 mΩ	R33	12,14 Ω	RCT15	47,03 mΩ
		R17	4,58 mΩ	R34	16,24 Ω	RMT4	2,0 Ω

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Las Adjuntas (SAJ) y la sub-estación de tracción Y (SYE) correspondiente a la vía 2.

R3r (1)	8,67 mΩ	R1	3,11 mΩ	R16	8,35 Ω	RCT1	32,35 mΩ
R3r (2)	8,77 mΩ	R2	2,05 mΩ	R17	1,03 Ω	RCT2	21,24 mΩ
Rc1	0,26 mΩ	R3	2,18 mΩ	R18	5,85 Ω	RCT3	22,68 mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	7,99mΩ	R19	21,42 Ω	RCT4	82,96 mΩ
Rc3	1,06 mΩ	R5	4,41 mΩ	R20	11,83 Ω	RCT5	45,83 mΩ
Rc4	1,06 mΩ	R6	4,40 mΩ	R21	11,79 Ω	RCT6	45,66 mΩ
Rc5	0,36 mΩ	R7	7,59 mΩ	R22	20,36 Ω	RCT7	78,86 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	3,27 mΩ	R23	1,65 Ω	RCT8	33,97 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	2,67 mΩ	R24	7,16 Ω	RCT9	27,74 mΩ
Rc8	0,14 mΩ	R10	1,33 mΩ	R25	12,15 Ω	RMT2	2,0 Ω
RMT1	2,00 Ω	R11	1,27 mΩ	R26	11,58 Ω	RMT3	2,0 Ω
RMT4	2,00 Ω	R12	2,57 mΩ	R27	23,52 Ω	RCT10	26,71 mΩ
RCTN1	0,05 mΩ	R13	0,64 mΩ	R28	5,85 Ω	RCT11	6,64 mΩ
RCTN2	0,05 mΩ	R14	9,68 mΩ	R29	25,96 Ω	RCT12	100,53mΩ
		R15	6,56 mΩ	R30	17,60 Ω	RMT5	2,0 Ω

Anexo 4.10 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ) y la S/E de tracción Y (SYE).

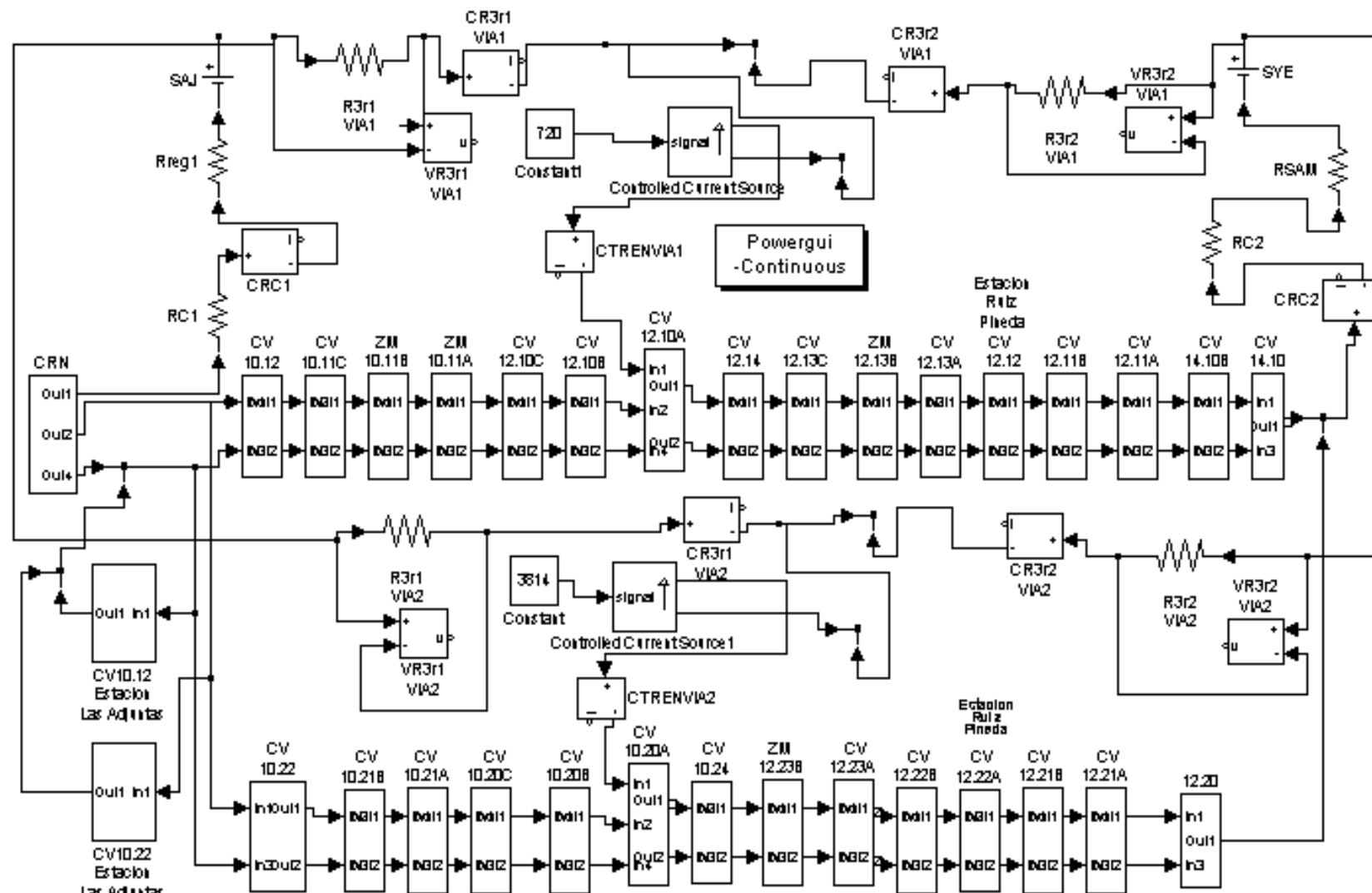
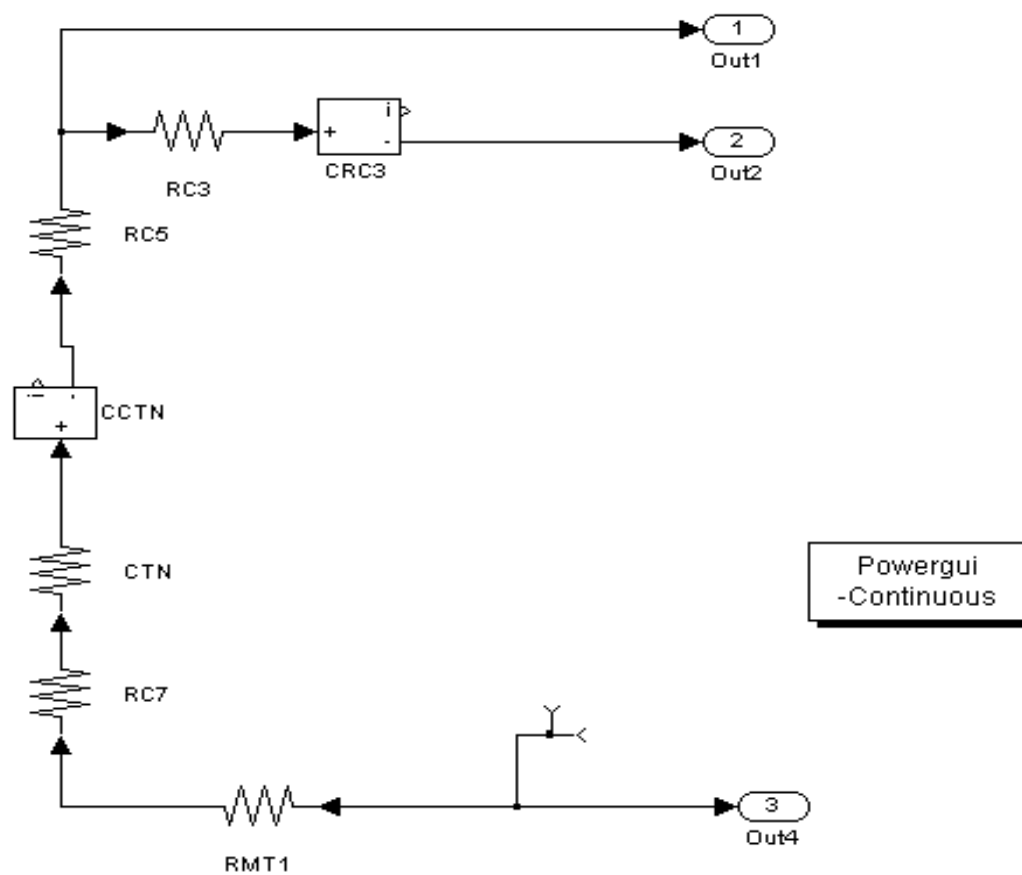
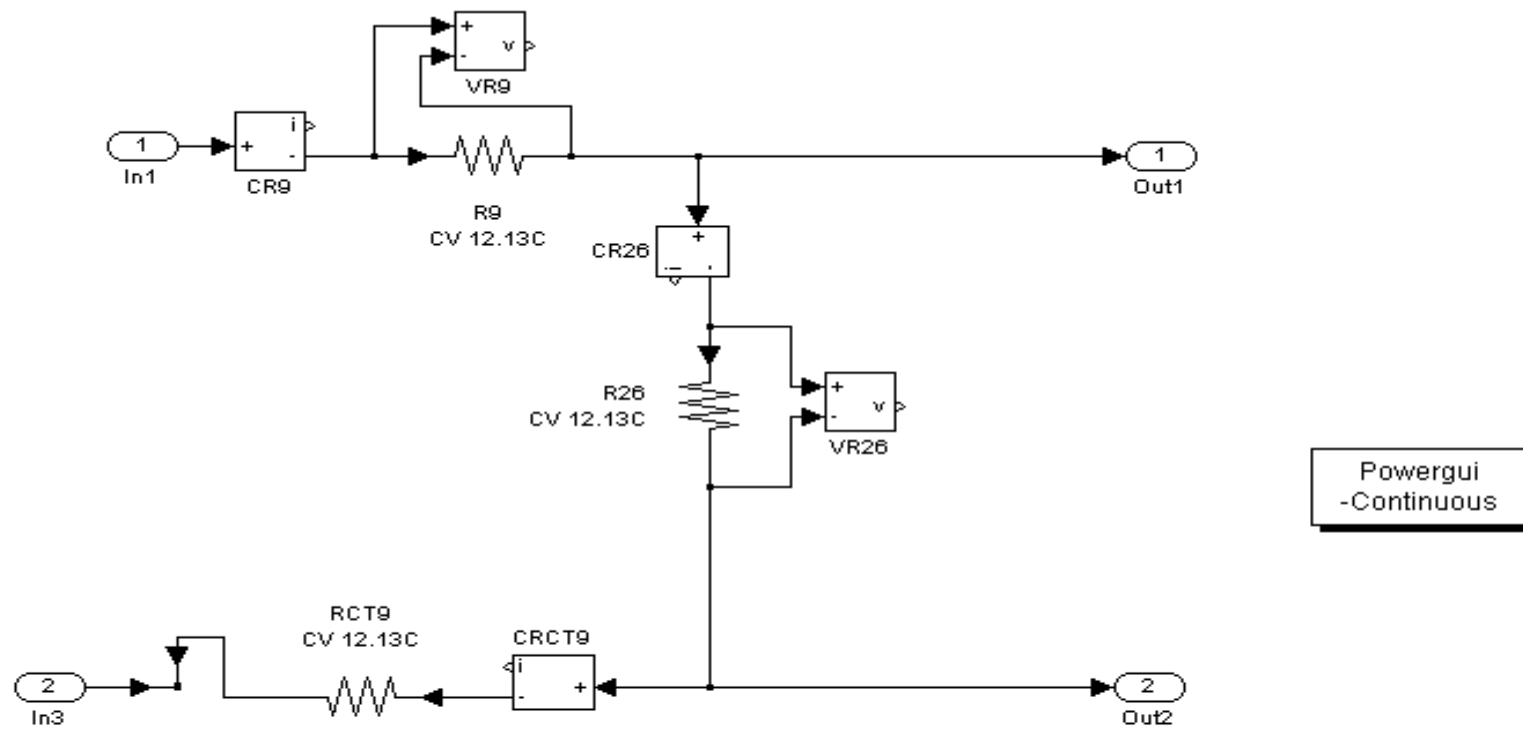


DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR EN MATLAB DE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LAS ADJUNTAS (SAJ) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN Y (SYE) RESPECTO A LA VÍA 1 Y LA VÍA 2



Elementos que conforman la caja que representa a el Contactor de Puesta a Tierra del Negativo (CTN) en el modelo eléctrico a simular.



Elementos que conforman las cajas que representa a los circuitos de vías y de zonas de maniobras en el modelo eléctrico a simular.

SimPowerSystems Report.
generated by powergui,
10-Aug-2005 16:22:51

Esta simulación corresponde para **B5 = 0 A** y **B6 = 3814 A** el resto de las simulaciones están en el C. D. Digital de la tesis.

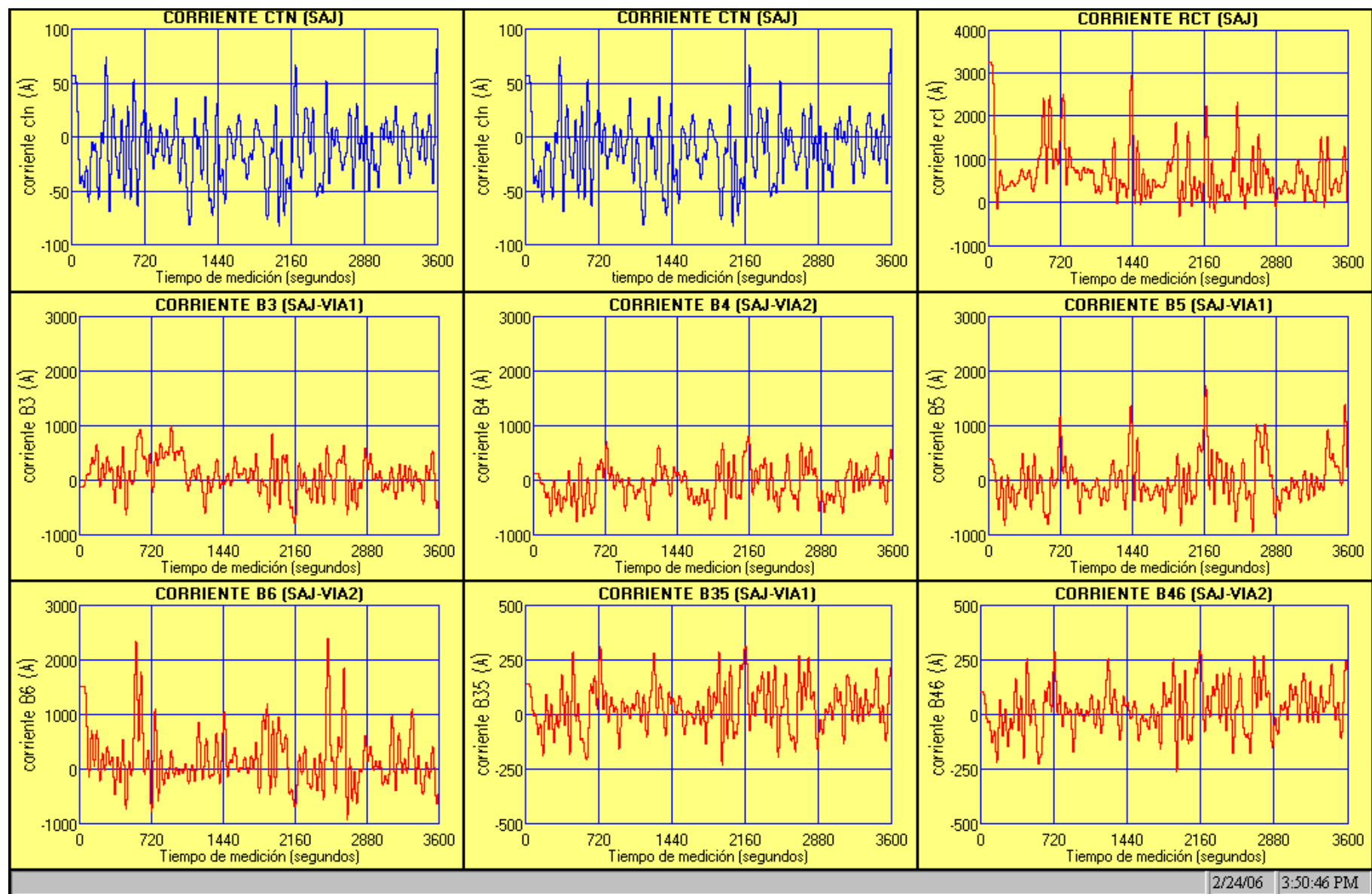
CV 10.20C/VR19	=	21.99 V
CV 10.20C/VR4	=	-16.3 V
CV 10.11C/VR18	=	-4.344 V
CV 10.11C/VR2	=	0.02979 V
CV 10.20B/VR20	=	30.07 V
CV 10.20B/VR5	=	-8.999 V
CV 10.21B/VR17	=	3.519 V
CV 10.21B/VR2	=	-4.171 V
CV 10.24/VR22	=	23.7 V
CV 10.24/VR7	=	13.42 V
CV 12.10B/VR23	=	-4.15 V
CV 12.10B/VR6	=	0.5192 V
CV 12.10C/VR22	=	-4.08 V
CV 12.10C/VR5	=	0.177 V
CV 12.11A/VR14	=	0.07786 V
CV 12.11A/VR31	=	-2.693 V
CV 12.11B/VR13	=	0.09635 V
CV 12.11B/VR30	=	-2.624 V
CV 12.13A/VR11	=	0.1435 V
CV 12.13A/VR28	=	-4.537 V
CV 12.13C/VR26	=	-4.352 V
CV 12.13C/VR9	=	0.2087 V
CV 12.21A/VR13	=	1.122 V
CV 12.21A/VR28	=	0.6735 V
CV 12.22A/VR11	=	2.227 V
CV 12.22A/VR26	=	6.285 V
CV 12.22B/VR10	=	2.333 V
CV 12.22B/VR25	=	8.73 V
CV 12.23A/VR24	=	12.72 V
CV 12.23A/VR9	=	4.688 V
CV 14.10B/VR15	=	0.3147 V
CV 14.10B/VR32	=	-2.983 V
ZM 10.11A/VR21	=	-4.073 V
ZM 10.11A/VR4	=	0.07773 V
ZM 12.13B/VR10	=	0.2037 V
ZM 12.13B/VR27	=	-4.423 V
CV 10.12/VR1	=	0.3143 V
CV 10.12/VR17	=	-4.45 V

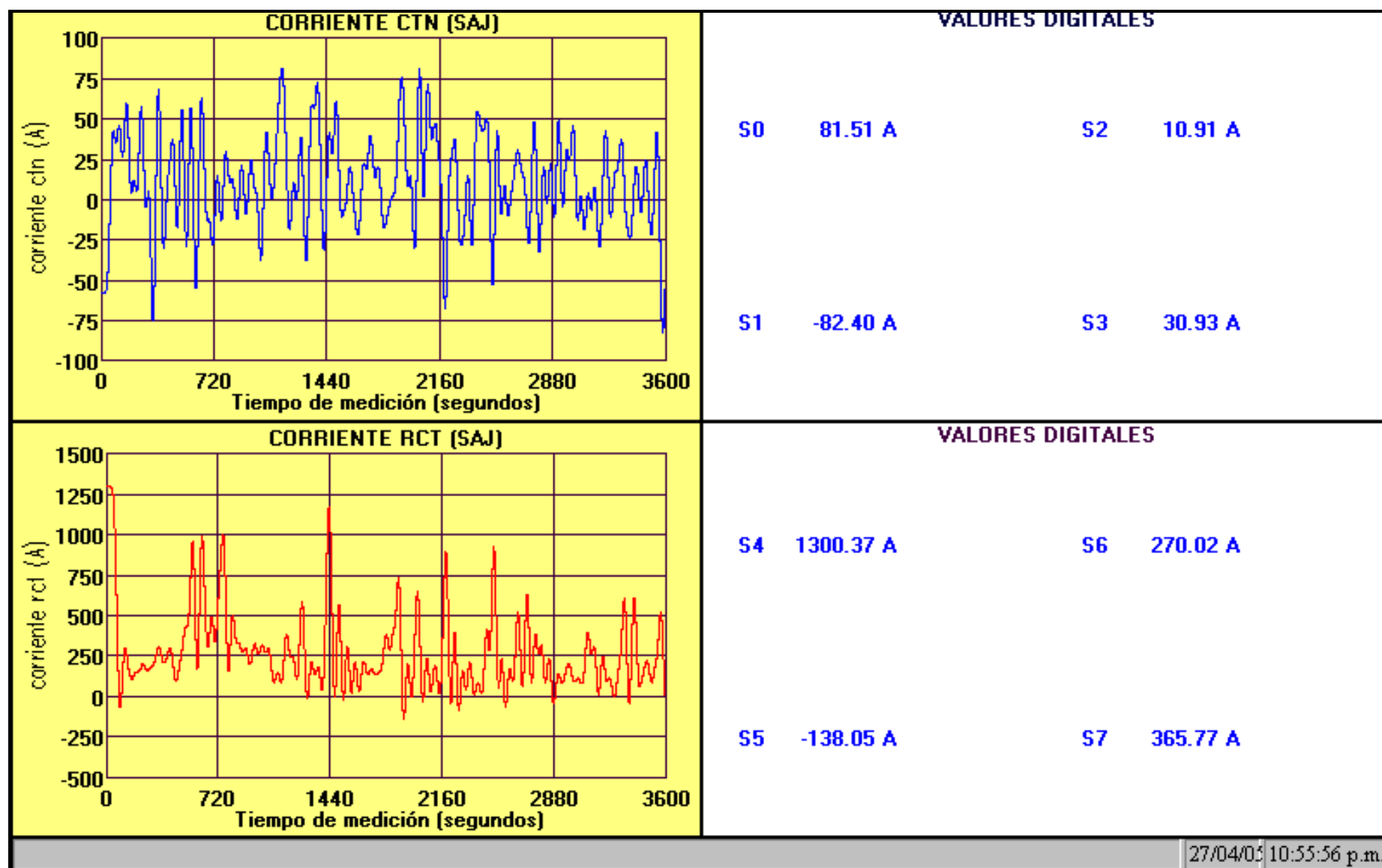
CV 10.22/VR1	=	-6.328 V
CV 10.22/VR16	=	-0.1027 V
12.20/VR14	=	16.97 V
12.20/VR29	=	-16.23 V
CV 10.21A/VR18	=	7.453 V
CV 10.21A/VR3	=	-4.443 V
CV 14.10/VR16	=	0.3172 V
CV 14.10/VR33	=	-3.288 V
CV 10.20A/VR21	=	38.25 V
CV 10.20A/VR6	=	-8.989 V
CV 12.10A/VR24	=	-4.228 V
CV 12.10A/VR7	=	0.4602 V
CV 12.14/VR25	=	-4.298 V
CV 12.14/VR8	=	0.3383 V
CV 12.21B/VR12	=	4.505 V
CV 12.21B/VR27	=	1.792 V
Estación Ruiz Pineda CV 12.12/VR12	=	0.1841 V
Estación Ruiz Pineda CV 12.12/VR29	=	-2.542 V
VR3r1 VIA1	=	-0.3139 V
VR3r1 VIA2	=	16.94 V
VR3r2 VIA1	=	-0.3175 V
VR3r2 VIA2	=	16.31 V
ZM 10.11B/VR20	=	-4.164 V
ZM 10.11B/VR3	=	0.06284 V
ZM 12.23B/VR3	=	17.48 V
ZM 12.23B/VR8	=	5.777 V
CV 10.20C/CR19	=	1.027 A
CV 10.20C/CR4	=	-2039 A
CV 10.20C/CRCT3	=	21.17 A
CV 10.11C/CR19	=	-2.665 A
CV 10.11C/CR2	=	48.84 A
CV 10.11C/CRCT2	=	-21.46 A
CV 10.20B/CR20	=	2.542 A
CV 10.20B/CR5	=	-2041 A
CV 10.20B/CRCT3	=	20.15 A
CV 10.21B/CR17	=	3.417 A
CV 10.21B/CR2	=	-2035 A
CV 10.21B/CRCT2	=	25.86 A
CV 10.24/CR22	=	1.164 A
CV 10.24/CR7	=	1768 A
CV 10.24/CRCT7	=	14.36 A
CV 12.10B/CR23	=	-0.1939 A
CV 12.10B/CR6	=	64.9 A
CV 12.10B/CRCT6	=	-5.4 A
CV 12.10C/CR22	=	-0.5528 A

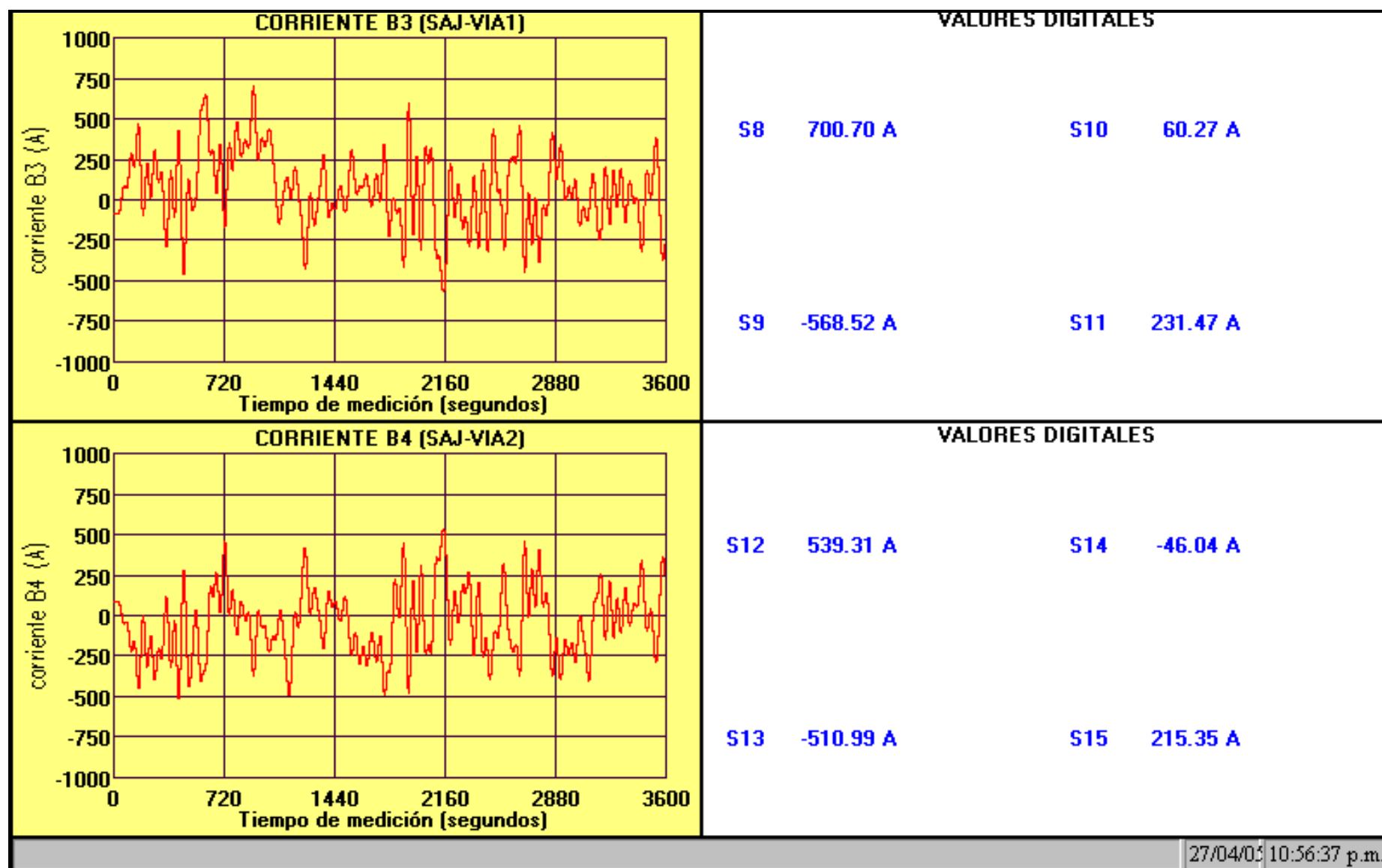
CV 12.10C/CR5	=	64.35 A
CV 12.10C/CRCT5	=	-5.952 A
CV 12.11A/CR14	=	69.52 A
CV 12.11A/CR31	=	-0.264 A
CV 12.11A/CRCT3	=	-0.7794 A
CV 12.11B/CR13	=	69.32 A
CV 12.11B/CR30	=	-0.2058 A
CV 12.11B/CRCT12	=	-0.9852 A
CV 12.13A/CR11	=	68.97 A
CV 12.13A/CR28	=	-0.2382 A
CV 12.13A/CRCT11	=	-1.328 A
CV 12.13C/CR26	=	-0.5102 A
CV 12.13C/CR9	=	65.63 A
CV 12.13C/CRCT9	=	-4.673 A
CV 12.21A/CR13	=	1753 A
CV 12.21A/CR28	=	0.1151 A
CV 12.21A/CRCT13	=	-0.5101 A
CV 12.22A/CR11	=	1753 A
CV 12.22A/CR26	=	0.5428 A
CV 12.22A/CRMT3	=	0.1089 A
CV 12.22B/CMT2	=	0.8274 A
CV 12.22B/CR10	=	1754 A
CV 12.22B/CR25	=	0.7185 A
CV 12.23A/CR24	=	1.776 A
CV 12.23A/CR9	=	1756 A
CV 12.23A/CRCT3	=	2.604 A
CV 14.10B/CR15	=	69.79 A
CV 14.10B/CR32	=	-0.2445 A
CV 14.10B/CRCT14	=	-0.5154 A
ZM 10.11A/CR21	=	-5.903 A
ZM 10.11A/CR4	=	58.45 A
ZM 10.11A/CRCT4	=	-11.86 A
ZM 12.13B/CR10	=	66.14 A
ZM 12.13B/CR27	=	-2.835 A
ZM 12.13B/CRCT10	=	-4.163 A
CV 10.12/CR1	=	48.58 A
CV 10.12/CR18	=	-0.2572 A
CV 10.12/CRCT1	=	-21.72 A
CV 10.22/CR1	=	-2035 A
CV 10.22/CR16	=	-0.0123 A
CV 10.22/CRCT1	=	25.85 A
12.20/CR14	=	1753 A
12.20/CR29	=	-0.6252 A
12.20/CRC4	=	1753 A
12.20/RCT12	=	-0.6252 A

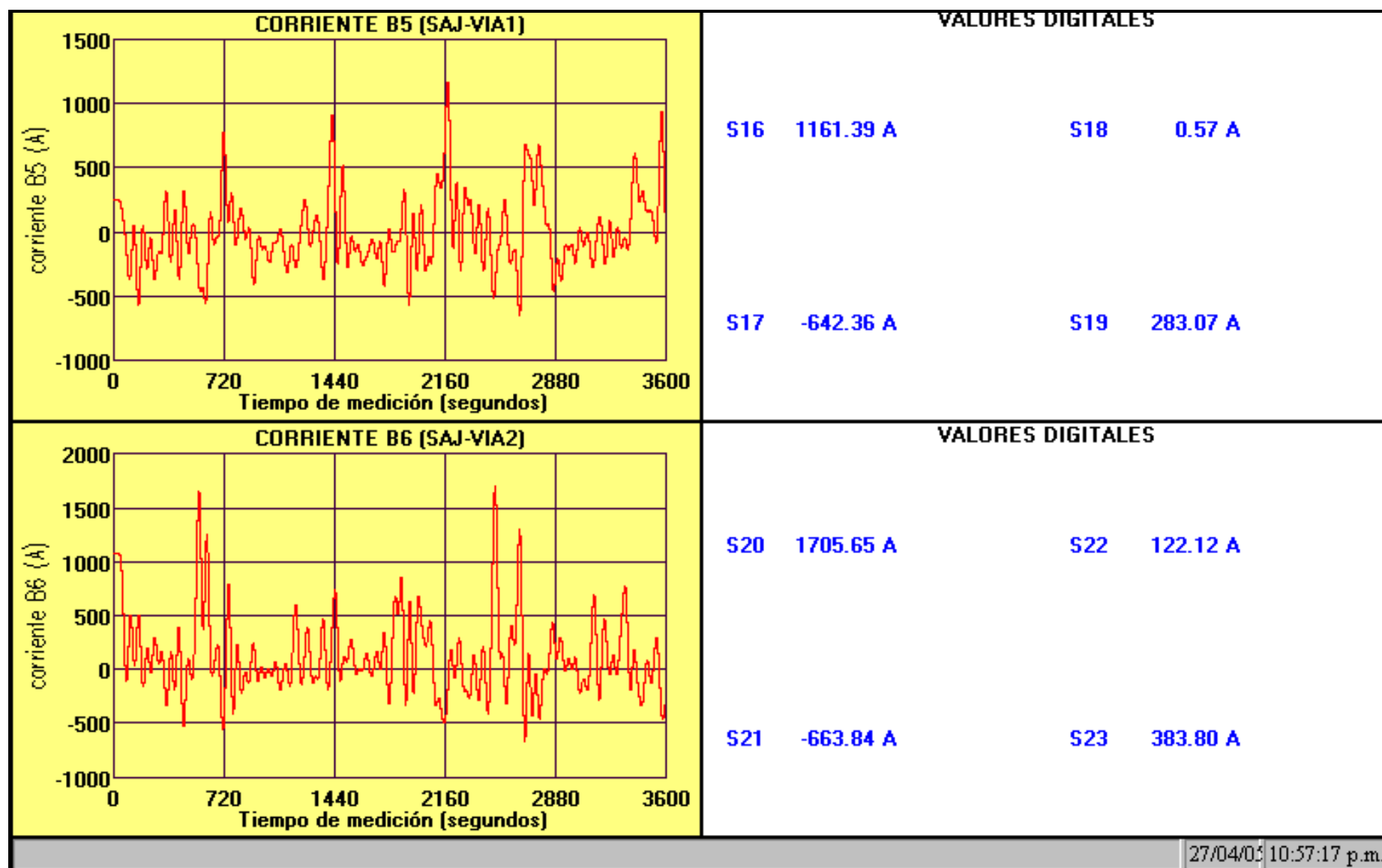
CR3r1 VIA1	=	36.21 A
CR3r1 VIA2	=	1954 A
CR3r2 VIA1	=	-36.21 A
CR3r2 VIA2	=	1860 A
CRC1	=	1990 A
CRC2	=	1824 A
CRN/CCTN	=	3.849 A
CRN/CRC3	=	-1986 A
CTRENVIA1	=	0 A
CTRENVIA2	=	3814 A
CV 10.21A/CR18	=	1.274 A
CV 10.21A/CR3	=	-2038 A
CV 10.21A/CRMT3	=	22.45 A
CV 14.10/CR16	=	70.03 A
CV 14.10/CR33	=	-0.2708 A
CV 14.10/CRC4	=	70.3 A
CV 14.10/CRCT16	=	-0.2708 A
CV 10.20A/CR21	=	3.245 A
CV 10.20A/CR6	=	-2043 A
CV 10.20A/CRCT6	=	17.61 A
CV 12.10A/CR24	=	-0.223 A
CV 12.10A/CR7	=	65.1 A
CV 12.10A/CRCT7	=	-5.206 A
CV 12.14/CR25	=	-0.3092 A
CV 12.14/CR8	=	65.32 A
CV 12.14/CRCT8	=	-4.983 A
CV 12.21B/CR12	=	1753 A
CV 12.21B/CR27	=	0.07619 A
CV 12.21B/CRCT12	=	-0.4339 A
Estacion Ruiz Pineda CV 12.12/CR12	=	69.21 A
Estacion Ruiz Pineda CV 12.12/CR29	=	-0.1046 A
Estacion Ruiz Pineda CV 12.12/CRCT12	=	-1.09 A
ZM 10.11B/CR20	=	-6.94 A
ZM 10.11B/CR3	=	51.51 A
ZM 10.11B/CRCT3	=	-18.8 A
ZM 12.23B/CR23	=	10.59 A
ZM 12.23B/CR8	=	1767 A
ZM 12.23B/CRCT8	=	13.2 A
SAJ	=	800 V
SYE	=	800 V
Controlled Current Source	=	0 A
Controlled Current Source	=	3814 A

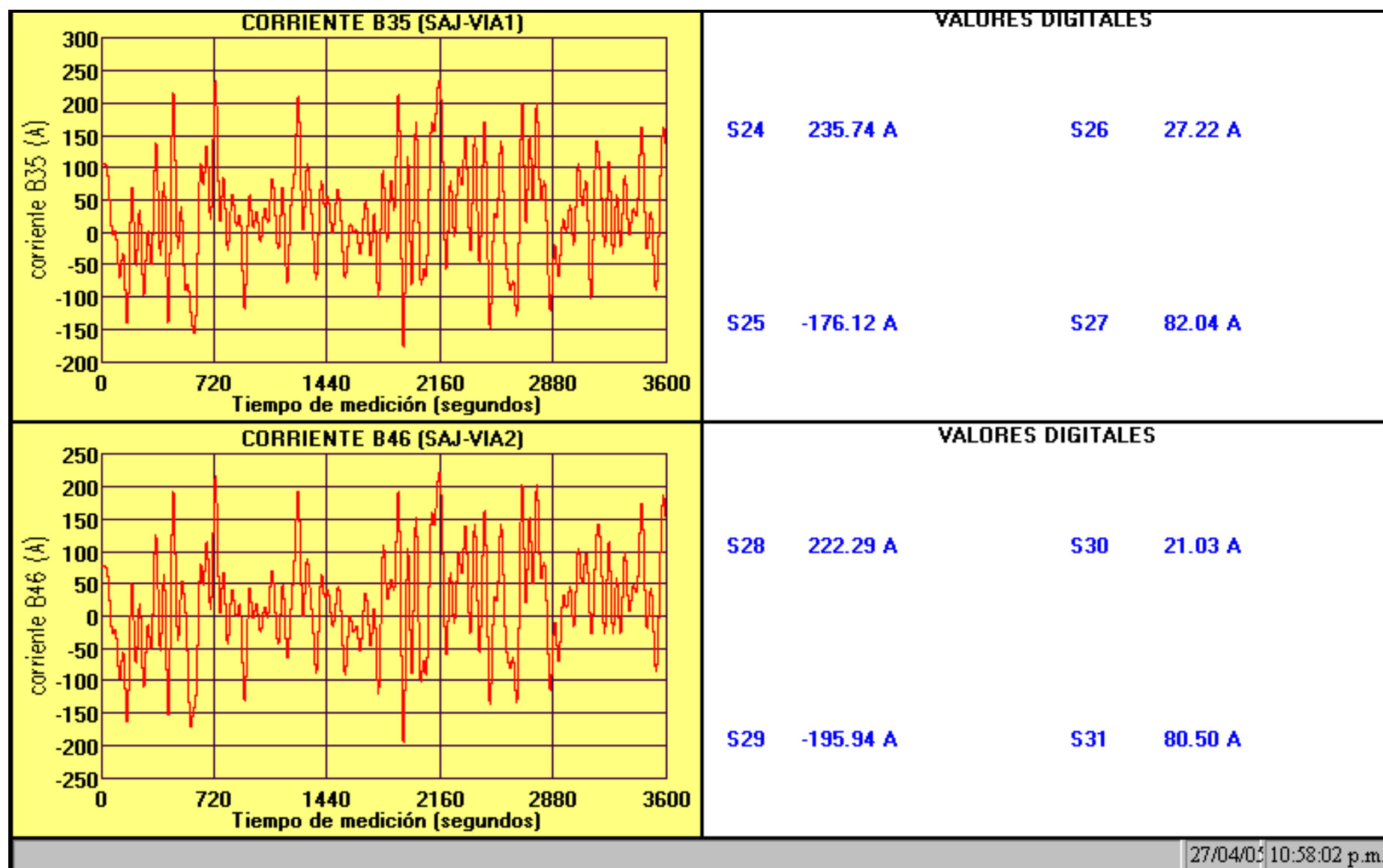
Anexo 4.11 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción Las Adjuntas (SAJ).











Anexo 4.12 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Caricuao (SCC) y la S/E de tracción Y (SYE) respecto a la vía 1 y la vía 2.

Nombres de los distintos elementos que conforman el modelo eléctrico pasivo a simular.

Rreg1= resistencia eléctrica de regulación 1.

Rreg2= resistencia eléctrica de regulación 2.

RC1 = RC2 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que desde el rectificador de potencia a la CRN.

RC3 = RC4 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que van desde la CRN hasta los Rieles de Rodamiento.

RC5 = RC6 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde la CRN hasta el shunt del CTN.

RC7 = RC8 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde el shunt del CTN hasta la malla de tierra.

RCTN = Resistencia del shunt del CTN.

CTN = Contactor de Puesta a Tierra del Negativo.

CRN = Caja de Retorno Negativo.

R3r1 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R3r2 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R1...R13= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

R14...R26 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

RCT1...RCT11= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 1**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

R1...R14= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobra.

R15...R28 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

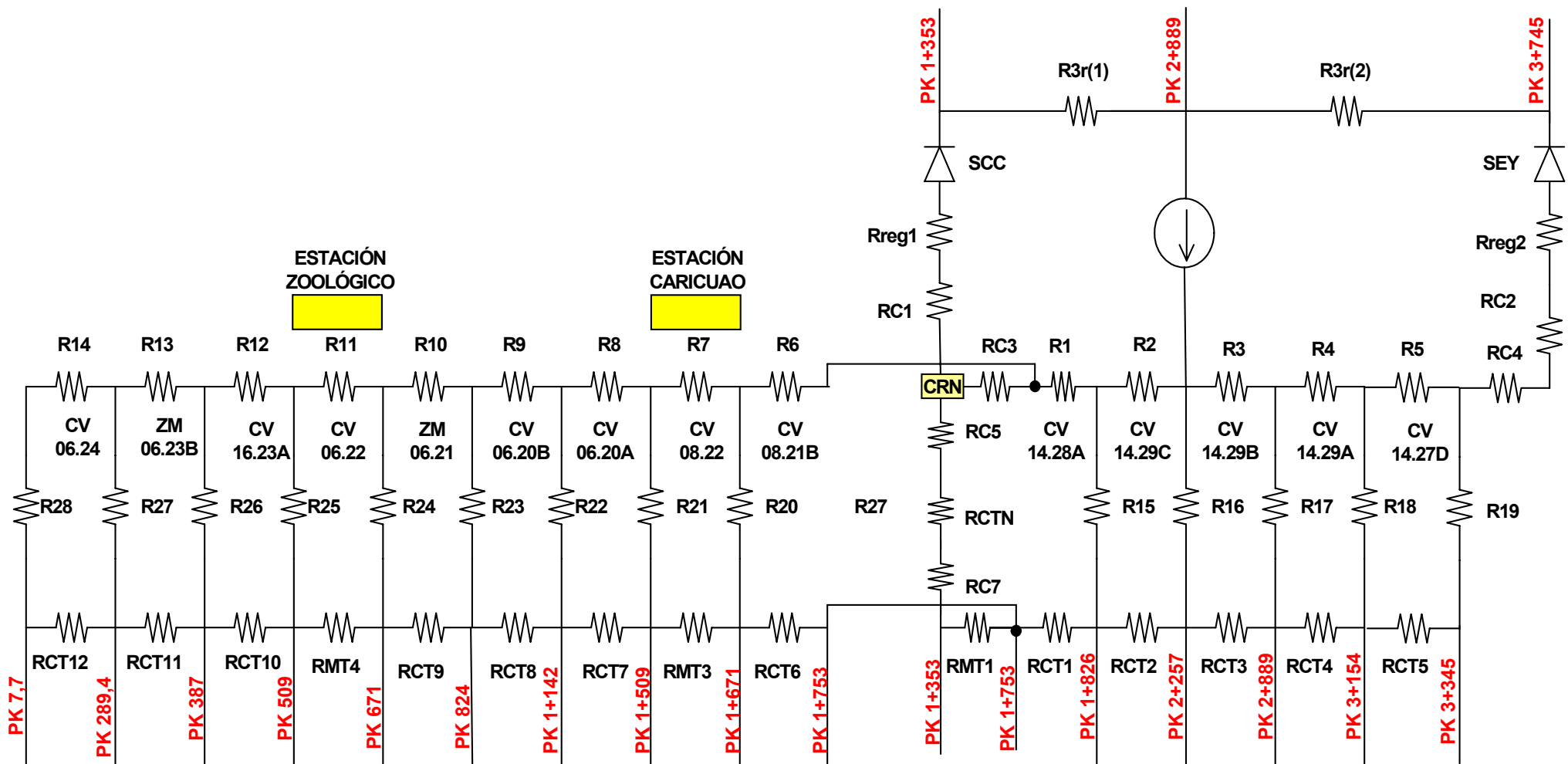
RCT1...RCT12= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 2**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

RMT1 ...RMT4 = Resistencia de la malla de tierra ubicada en las Sub-Estaciones de Tracción y Estaciones de Pasajeros.

PK = Progresión Kilométrica.

CV = Circuito de vía.

ZM = Zona de Maniobra.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN CARICUAO (SCC) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN Y (SYE) RESPECTO A LA VÍA 2.

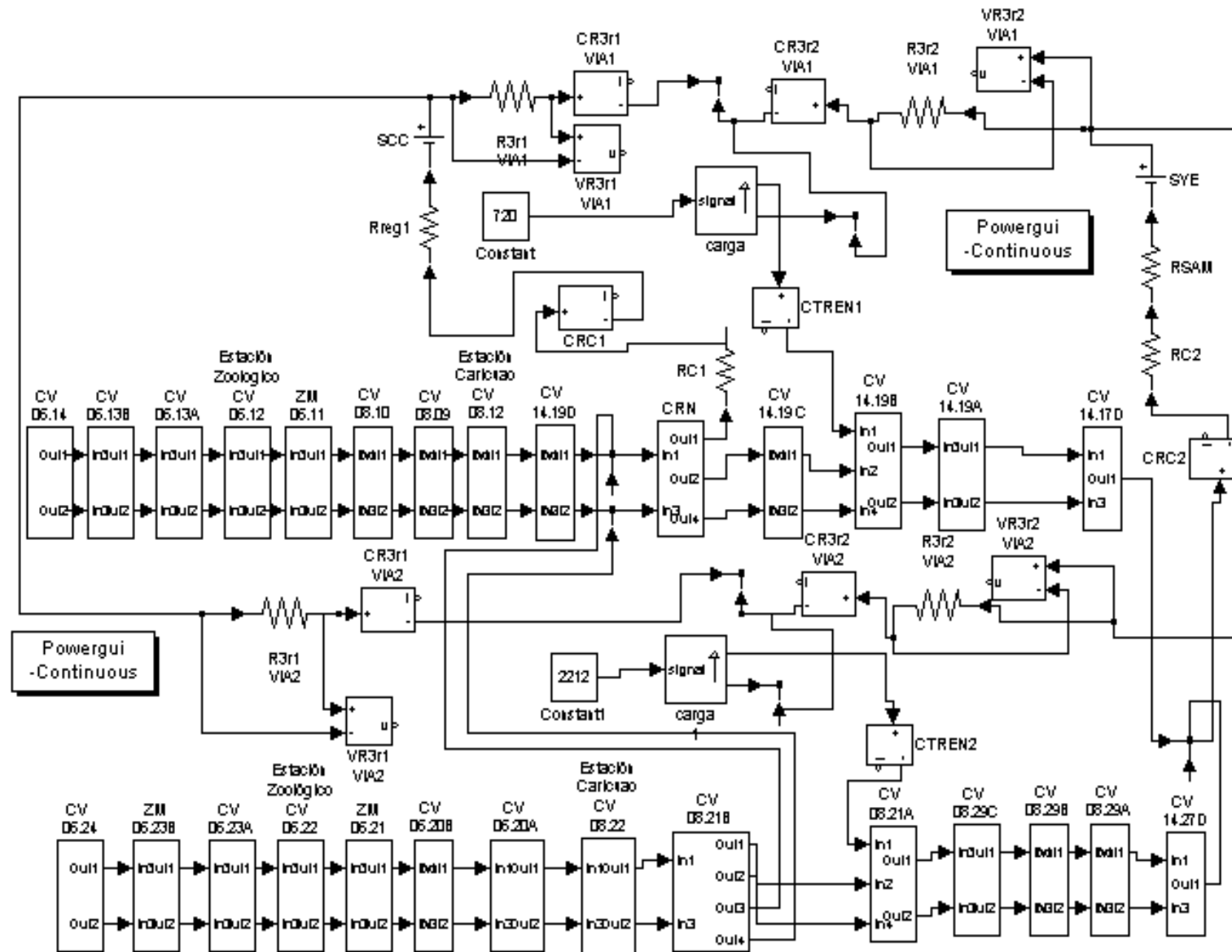
Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Caricuao (SCC) y la sub-estación de tracción Y (SYE) correspondiente a la vía 1

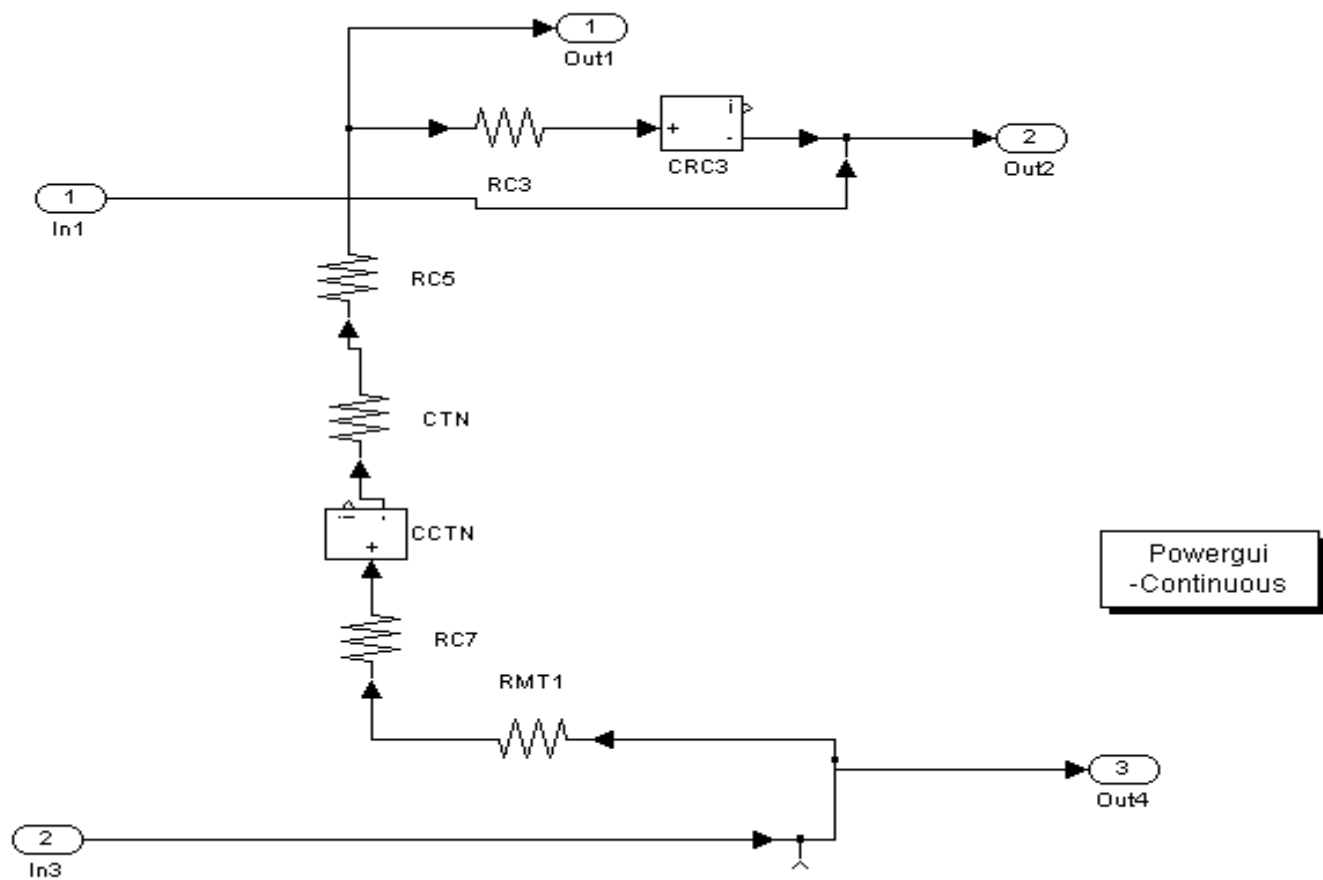
R3r(1)	10,44 mΩ	R1	7,69 mΩ	R14	20,63 Ω	RCT1	79,91 mΩ
R3r (2)	5,84 mΩ	R2	10,94mΩ	R15	29,34 Ω	RCT2	113,65mΩ
Rc1	0,26 mΩ	R3	1,87 mΩ	R16	5,01 Ω	RCT3	19,42 mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	5,66 mΩ	R17	15,18 Ω	RCT4	58,78 mΩ
Rc3	1,06 mΩ	R5	1,34 mΩ	R18	3,60 Ω	RCT5	13,97 mΩ
Rc4	1,06 mΩ	R6	2,66 mΩ	R19	7,12 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc5	0,36 mΩ	R7	2,20 mΩ	R20	5,89 Ω	RCT6	22,83 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	8,11 mΩ	R21	21,75 Ω	RCT7	84,26 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	3,49 mΩ	R22	1,76 Ω	RCT8	36,22 mΩ
Rc8	0,14 mΩ	R10	2,61 mΩ	R23	6,99 Ω	RMT4	2,0 Ω
RMT1	2,0 Ω	R11	2,0 mΩ	R24	5,36 Ω	RCT9	20,78 mΩ
RMT2	2,0 Ω	R12	1,60 mΩ	R25	0,81 Ω	RCT10	16,63 mΩ
RCTN1	0,05 mΩ	R13	4,62 mΩ	R26	12,39 Ω	RCT11	48,00 mΩ
RCTN2	0,05 mΩ						

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Caricuao (SCC) y la sub-estación de tracción Y (SYE) correspondiente a la vía 2.

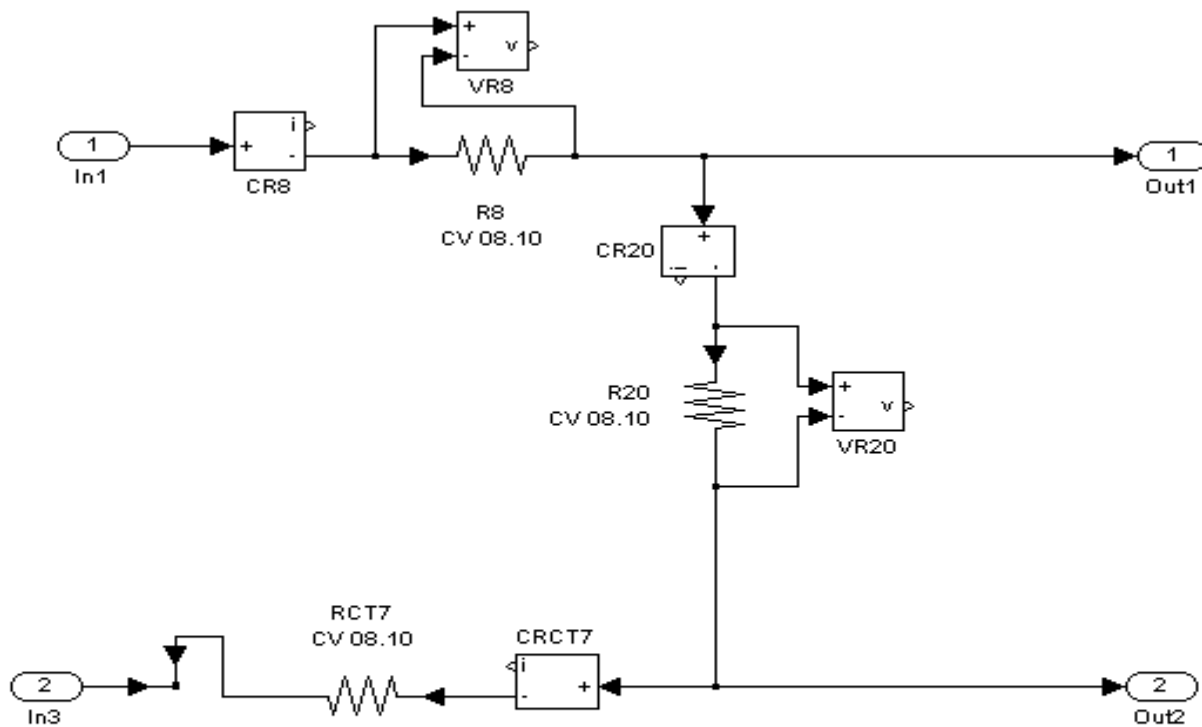
R3r (1)	10,44 mΩ	R1	1,20 mΩ	R15	3,21 Ω	RCT1	12,43 mΩ
R3r (2)	5,84 mΩ	R2	7,07 mΩ	R16	18,96 Ω	RCT2	73,44 mΩ
Rc1	0,26 mΩ	R3	10,36mΩ	R17	27,80 Ω	RCT3	107,69mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	4,35 mΩ	R18	11,66 Ω	RCT4	45,15 mΩ
Rc3	1,06 mΩ	R5	3,13 mΩ	R19	8,40 Ω	RCT5	32,54 mΩ
Rc4	1,06 mΩ	R6	1,34 mΩ	R20	3,60 Ω	RCT6	13,97 mΩ
Rc5	0,36 mΩ	R7	2,66 mΩ	R21	7,12 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc6	0,36 mΩ	R8	6,02 mΩ	R22	16,14 Ω	RCT7	62,53 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	5,22 mΩ	R23	13,99 Ω	RCT8	54,18 mΩ
Rc8	0,14 mΩ	R10	2,51 mΩ	R24	6,73 Ω	RCT9	26,07 m Ω
RMT1	2,0 Ω	R11	2,66 mΩ	R25	7,12 Ω	RMT4	2,0 Ω
RMT4	2,0 Ω	R12	2,05 mΩ	R26	5,50 Ω	RCT10	21,31 mΩ
RCTN1	0,05 mΩ	R13	1,55 mΩ	R27	0,78 Ω	RCT11	16,10 mΩ
RCTN2	0,05 mΩ	R14	4,10 mΩ	R28	12,38 Ω	RCT12	48,00 mΩ

Anexo 4.13 Resultados de la simulación entre las S/E de tracción Caricuao (SCC) y la S/E de tracción Y (SYE).





Elementos que conforman la caja que representa a el Contactor de Puesta a Tierra del Negativo (CTN) en el modelo eléctrico a simular



Powergui
-Continuous

Elementos que conforman las cajas que representa a los circuitos de vías y de zonas de maniobras en el modelo eléctrico a simular.

SimPowerSystems Report.
generated by powergui,
10-Aug-2005 14:56:50

Esta simulación corresponde para **B5 = 0 A** y **B6 = 794 A** el resto de las simulaciones están en el C. D. Digital de la tesis.

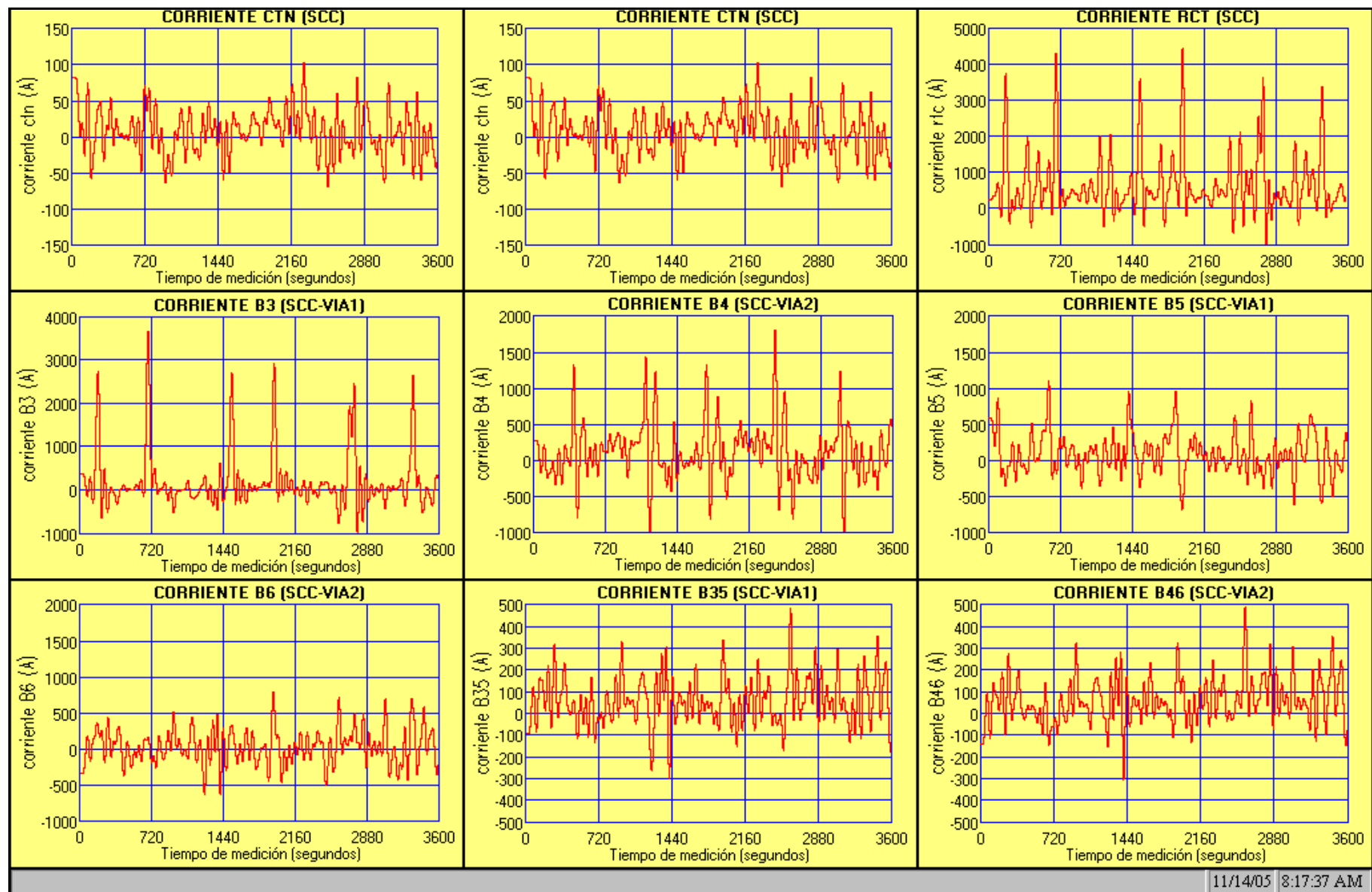
CV 14.17D/VR17	=	-4.572 V
CV 14.17D/VR4	=	1.232 V
CV 14.27D/VR19	=	-4.586 V
CV 14.27D/VR5	=	0.004581 V
CV 06.13A/VR11	=	-0.0001968 V
CV 06.13A/VR23	=	0.009332 V
CV 06.13B/VR12	=	-0.0001553 V
CV 06.13B/VR24	=	0.007091 V
CV 06.14/VR13	=	-0.000418 V
CV 06.14/VR25	=	0.005322 V
CV 06.20A/VR21	=	0.3213 V
CV 06.20A/VR8	=	-0.001369 V
CV 06.20B/VR22	=	0.3061 V
CV 06.20B/VR9	=	-0.001054 V
CV 06.23A/VR12	=	-0.000279 V
CV 06.23A/VR25	=	0.01284 V
CV 06.24/VR14	=	-0.0005125 V
CV 06.24/VR27	=	0.007286 V
CV 08.09/VR19	=	0.2455 V
CV 08.09/VR7	=	-0.0005919 V
CV 08.10/VR20	=	0.2388 V
CV 08.10/VR8	=	-0.001853 V
CV 08.21A/VR1	=	-0.9509 V
CV 08.21A/VR15	=	1.818 V
CV 08.29A/VR18	=	-4.599 V
CV 08.29A/VR4	=	0.004651 V
CV 08.29B/VR17	=	-4.637 V
CV 08.29B/VR3	=	6.641 V
CV 08.29C/VR16	=	1.885 V
CV 08.29C/VR2	=	0.007082 V
CV 14.19 C/VR1	=	1.668 V
CV 14.19 C/VR14	=	-0.7182 V
CV 14.19A/VR16	=	-3.357 V
CV 14.19A/VR3	=	0.4059 V
CV 14.19B/VR15	=	-2.97 V
CV 14.19B/VR2	=	2.374 V
CV 14.19D/VR5	=	-0.0007244 V

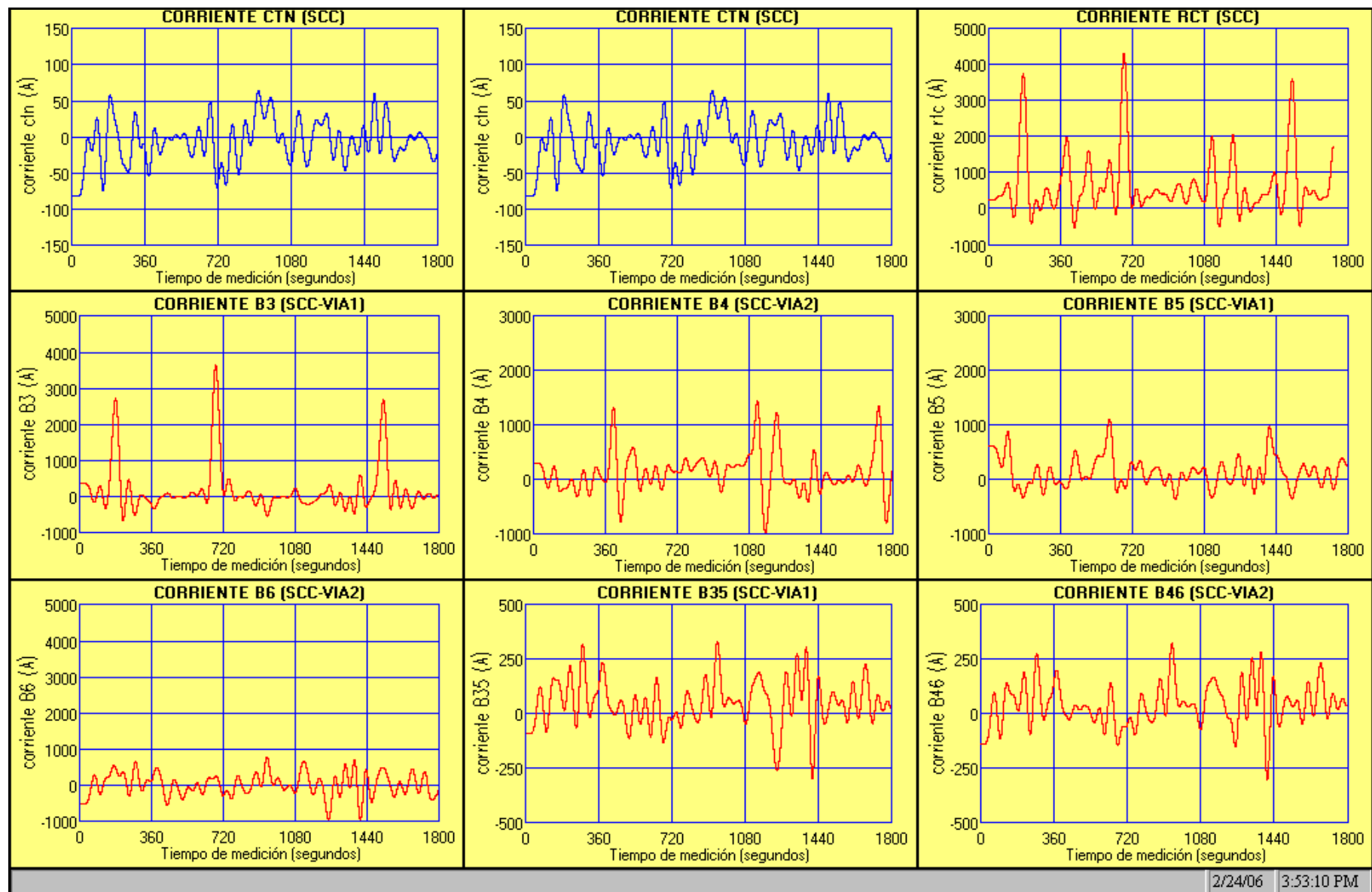
Estación Caricuao CV 08.12/VR18	=	0.8534 V
Estación Caricuao CV 08.12/VR6	=	-0.0008073 V
Estación Caricuao CV 08.22/VR20	=	0.8539 V
Estación Caricuao CV 08.22/VR7	=	-0.0007074 V
Estación Zoologico CV 06.12/VR10	=	-0.0002603 V
Estación Zoologico CV 06.12/VR22	=	0.209 V
Estación Zoológico CV 06.22/VR11	=	-0.0003668 V
Estación Zoológico CV 06.22/VR24	=	0.289 V
VR3r1 VIA1	=	-1.509 V
VR3r1 VIA2	=	-4.483 V
VR3r2 VIA1	=	-0.8442 V
VR3r2 VIA2	=	2.129 V
ZM 06.11/VR21	=	0.2177 V
ZM 06.11/VR9	=	-0.0007625 V
ZM 06.21/VR10	=	-0.0004539 V
ZM 06.21/VR23	=	0.2942 V
ZM 06.23B/VR13	=	-0.0002082 V
ZM 06.23B/VR26	=	0.009657 V
CV 14.17D/CR17	=	-0.3012 A
CV 14.17D/CR4	=	217.7 A
CV 14.17D/CRC4	=	218.1 A
CV 14.17D/CRCT4	=	-0.3012 A
CV 14.27D/CR19	=	-0.5459 A
CV 14.27D/CR5	=	1.464 A
CV 14.27D/CRC4	=	2.009 A
CV 14.27D/CRCT5	=	-0.5459 A
CR3r1 VIA1	=	144.6 A
CR3r1 VIA2	=	429.4 A
CR3r2 VIA1	=	-144.6 A
CR3r2 VIA2	=	364.6 A
CRC1	=	573.9 A
CRC2	=	220.1 A
CRN/CCTN	=	-0.5049 A
CRN/CRC3	=	-574.4 A
CTREN1	=	0 A
CTREN2	=	794 A
CV 06.13A/CR11	=	-0.09838 A
CV 06.13A/CR23	=	0.001335 A
CV 06.13A/CRCT3	=	-0.09838 A
CV 06.13B/CR12	=	-0.09706 A
CV 06.13B/CR24	=	0.001323 A
CV 06.13B/CRCT10	=	-0.09706 A
CV 06.14/CR25	=	0.00657 A
CV 06.14/CRCT11	=	-0.09049 A
CV 06.20A/CR21	=	0.04513 A

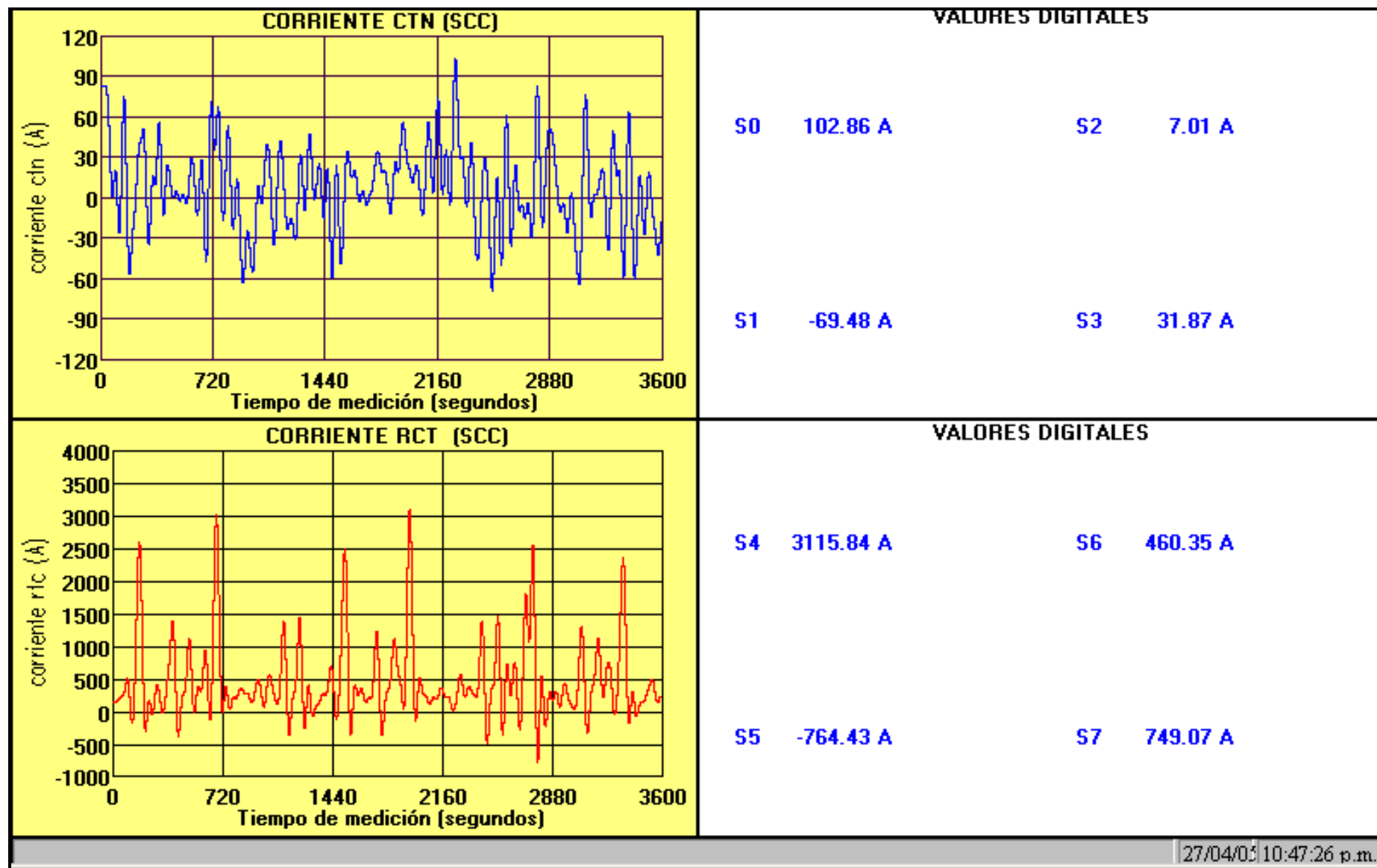
CV 06.20A/CR8	=	-0.2208 A
CV 06.20A/CRCT7	=	-0.2208 A
CV 06.20B/CR22	=	0.01897 A
CV 06.20B/CR9	=	-0.2019 A
CV 06.20B/CRCT8	=	-0.2019 A
CV 06.23A/CR12	=	-0.1361 A
CV 06.23A/CR25	=	0.001803 A
CV 06.23A/CRCT10	=	-0.1361 A
CV 06.24/CR14	=	-0.125 A
CV 06.24/CR27	=	0.009341 A
CV 06.24/CRCT12	=	-0.125 A
CV 08.09/CR19	=	0.03449 A
CV 08.09/CR7	=	-0.269 A
CV 08.09/CRCT3	=	-0.269 A
CV 08.10/CR20	=	0.04054 A
CV 08.10/CR8	=	-0.2285 A
CV 08.10/CRCT7	=	-0.2285 A
CV 08.21A/CR1	=	-792.4 A
CV 08.21A/CR15	=	0.5664 A
CV 08.21A/CRCT1	=	-0.4413 A
CV 08.21B/CR1	=	-0.5032 A
CV 08.21B/CRCT6	=	0.5032 A
CV 08.29A/CR18	=	-0.3944 A
CV 08.29A/CR4	=	1.069 A
CV 08.29A/CRCT4	=	-0.9403 A
CV 08.29B/CR17	=	-0.1668 A
CV 08.29B/CR3	=	0.9023 A
CV 08.29B/CRCT3	=	-1.107 A
CV 08.29C/CR16	=	0.09942 A
CV 08.29C/CR2	=	1.002 A
CV 08.29C/CRCT3	=	-1.008 A
CV 14.19 C/CR1	=	216.9 A
CV 14.19 C/CR14	=	-0.03481 A
CV 14.19 C/CRCT1	=	-1.107 A
CV 14.19A/CR16	=	-0.6701 A
CV 14.19A/CR3	=	217.1 A
CV 14.19A/CRCT3	=	-0.9713 A
CV 14.19B/CR15	=	-0.1012 A
CV 14.19B/CR2	=	217 A
CV 14.19B/CRCT2	=	-1.072 A
CV 14.19D/CR5	=	-0.5406 A
CV 14.19D/CRCT5	=	0.5406 A
Estación Caricuao CV 08.12/CR18	=	0.237 A
Estación Caricuao CV 08.12/CR6	=	-0.3035 A

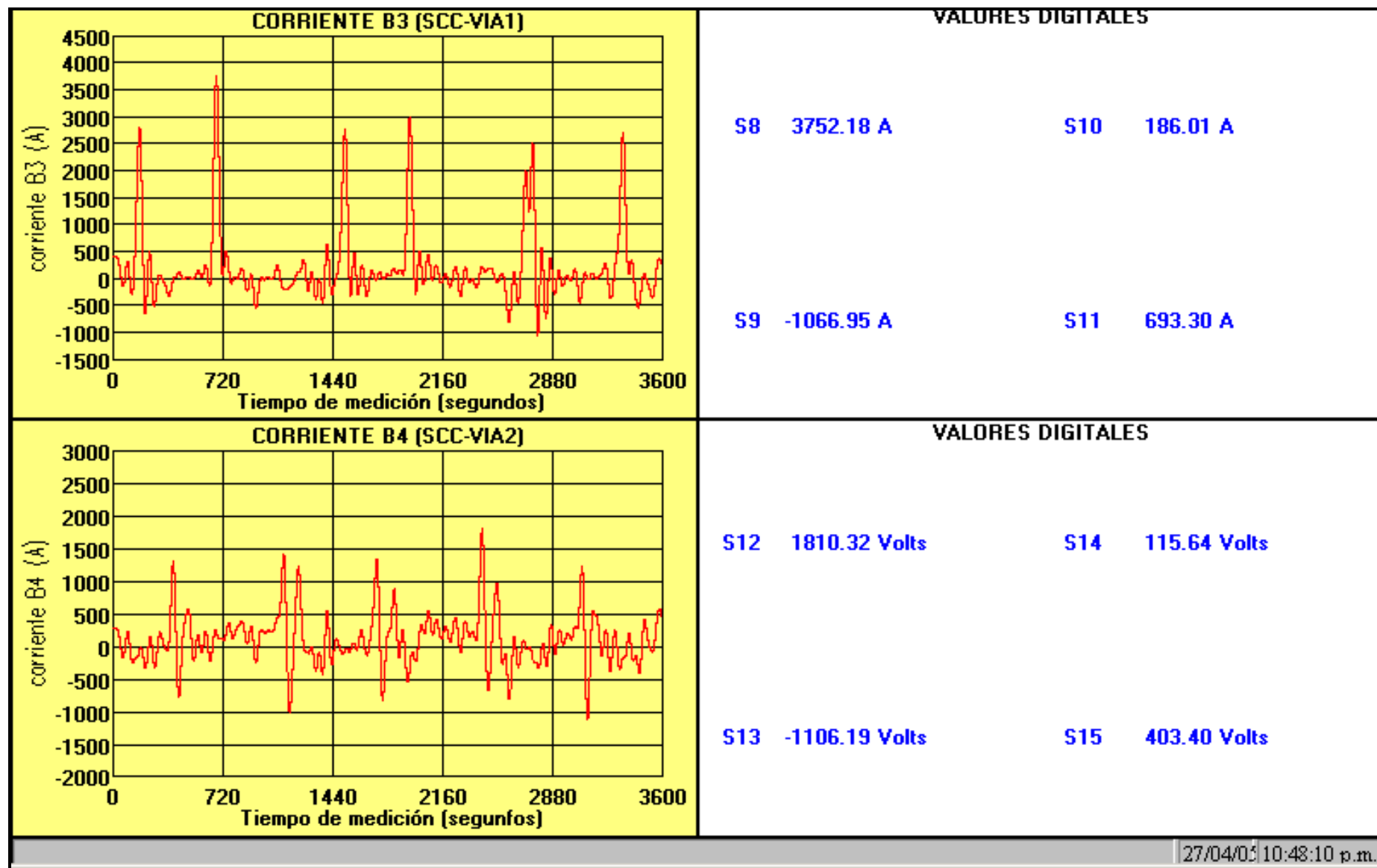
Estación Caricuao CV 08.12/CRMT3	=	-0.3035 A
Estación Caricuao CV 08.22/CR20	=	0.2372 A
Estación Caricuao CV 08.22/CR7	=	-0.266 A
Estación Caricuao CV 08.22/CRMT3	=	-0.266 A
Estación Zoologico CV 06.12/CR10	=	-0.09971 A
Estación Zoologico CV 06.12/CR22	=	0.1188 A
Estación Zoologico CV 06.12/CRMT4	=	-0.09971 A
Estación Zoológico CV 06.22/CR11	=	-0.1379 A
Estación Zoológico CV 06.22/CR24	=	0.04294 A
Estación Zoológico CV 06.22/CRMT4	=	-0.1379 A
ZM 06.11/CR21	=	0.01001 A
ZM 06.11/CR9	=	-0.2185 A
ZM 06.11/CRCT3	=	-0.2185 A
ZM 06.21/CR10	=	-0.1808 A
ZM 06.21/CR23	=	0.02103 A
ZM 06.21/CRCT3	=	-0.1808 A
ZM 06.23B/CR13	=	-0.1343 A
ZM 06.23B/CR26	=	0.001756 A
ZM 06.23B/CRCT3	=	-0.1343 A
SCC	=	800 V
SYE	=	800 V
carga	=	0 A
carga 1	=	794 A

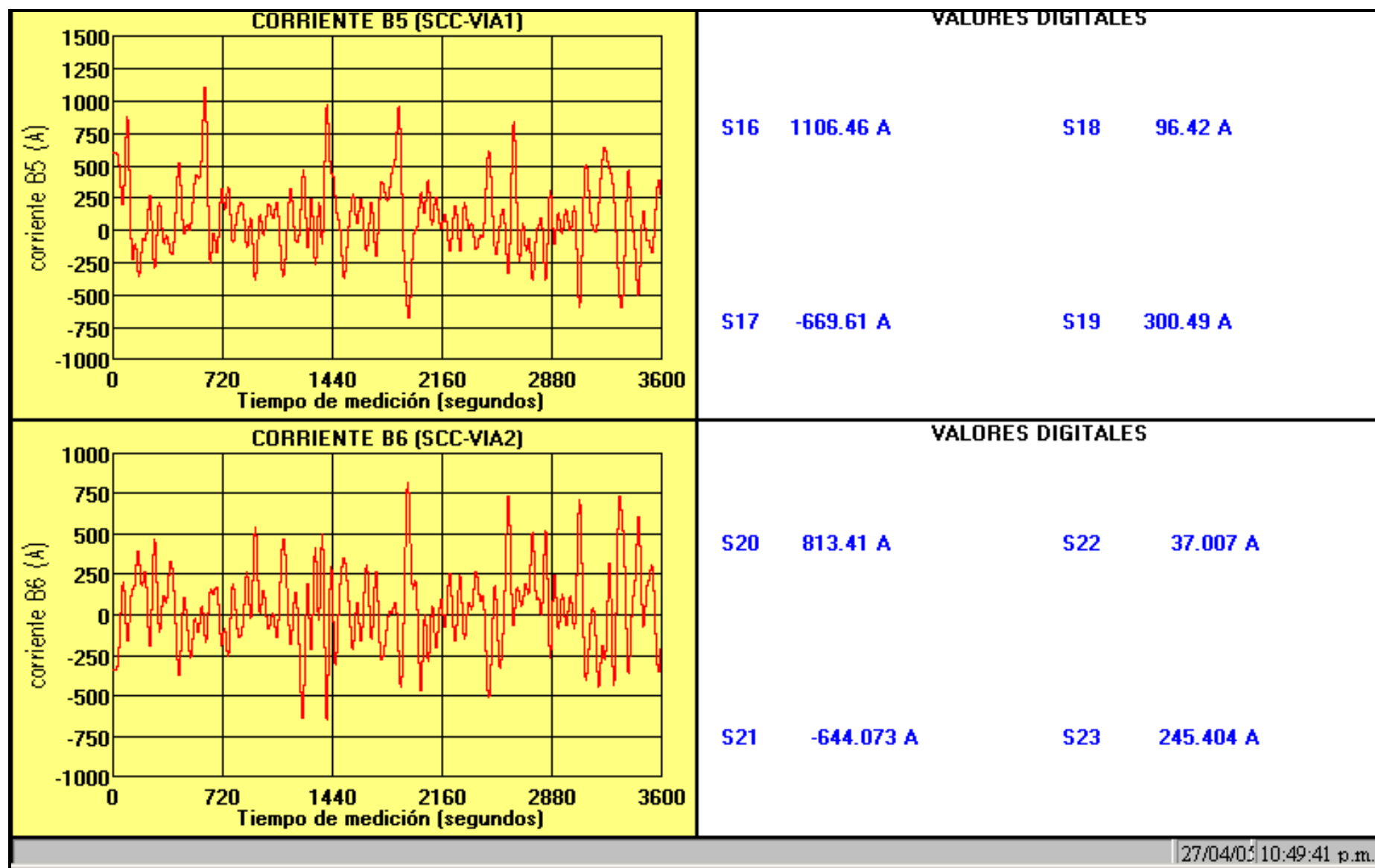
Anexo 4.14 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción Caricuao (SCC).

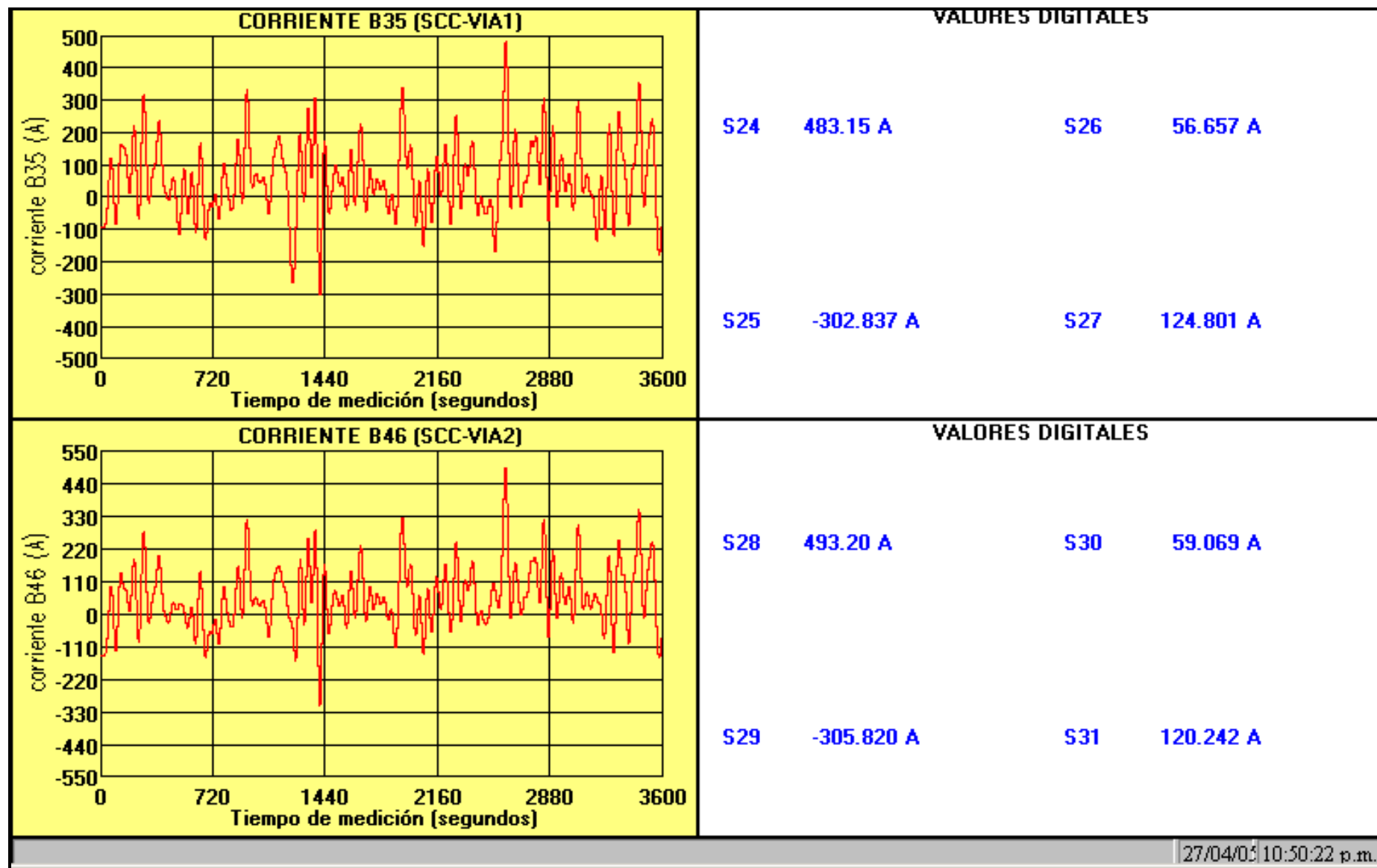












Anexo 4.15 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Propatria (SPP) y la S/E de tracción Plaza Sucre (SPS) respecto a la vía 1 y la vía 2.

Nombres de los distintos elementos que conforman el modelo eléctrico pasivo a simular.

Rreg1= resistencia eléctrica de regulación 1.

Rreg2= resistencia eléctrica de regulación 2.

RC1 = RC2 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que desde el rectificador de potencia a la CRN.

RC3 = RC4 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que van desde la CRN hasta los Rieles de Rodamiento.

RC5 = RC6 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde la CRN hasta el shunt del CTN.

RC7 = RC8 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde el shunt del CTN hasta la malla de tierra.

RCTN = Resistencia del shunt del CTN.

CTN = Contactor de Puesta a Tierra del Negativo.

CRN = Caja de Retorno Negativo.

R3r1 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R3r2 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R1...R11= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

R12...R22 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

RCT1...RCT9= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 1**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

R1...R11= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobra.

R12...R22 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

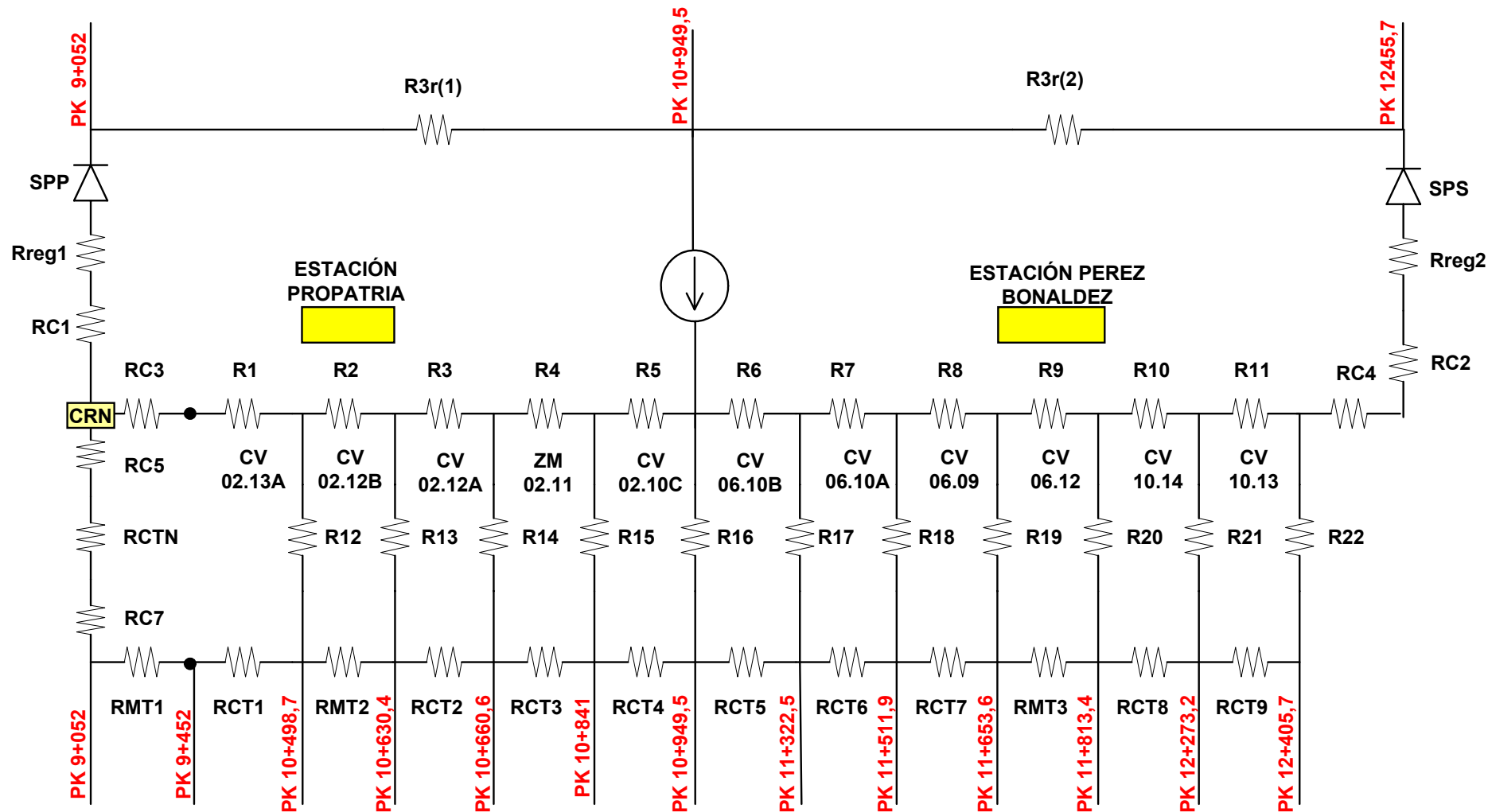
RCT1...RCT9= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 2**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

RMT1 ...RMT3 = Resistencia de la malla de tierra ubicada en las Sub-Estaciones de Tracción y Estaciones de Pasajeros.

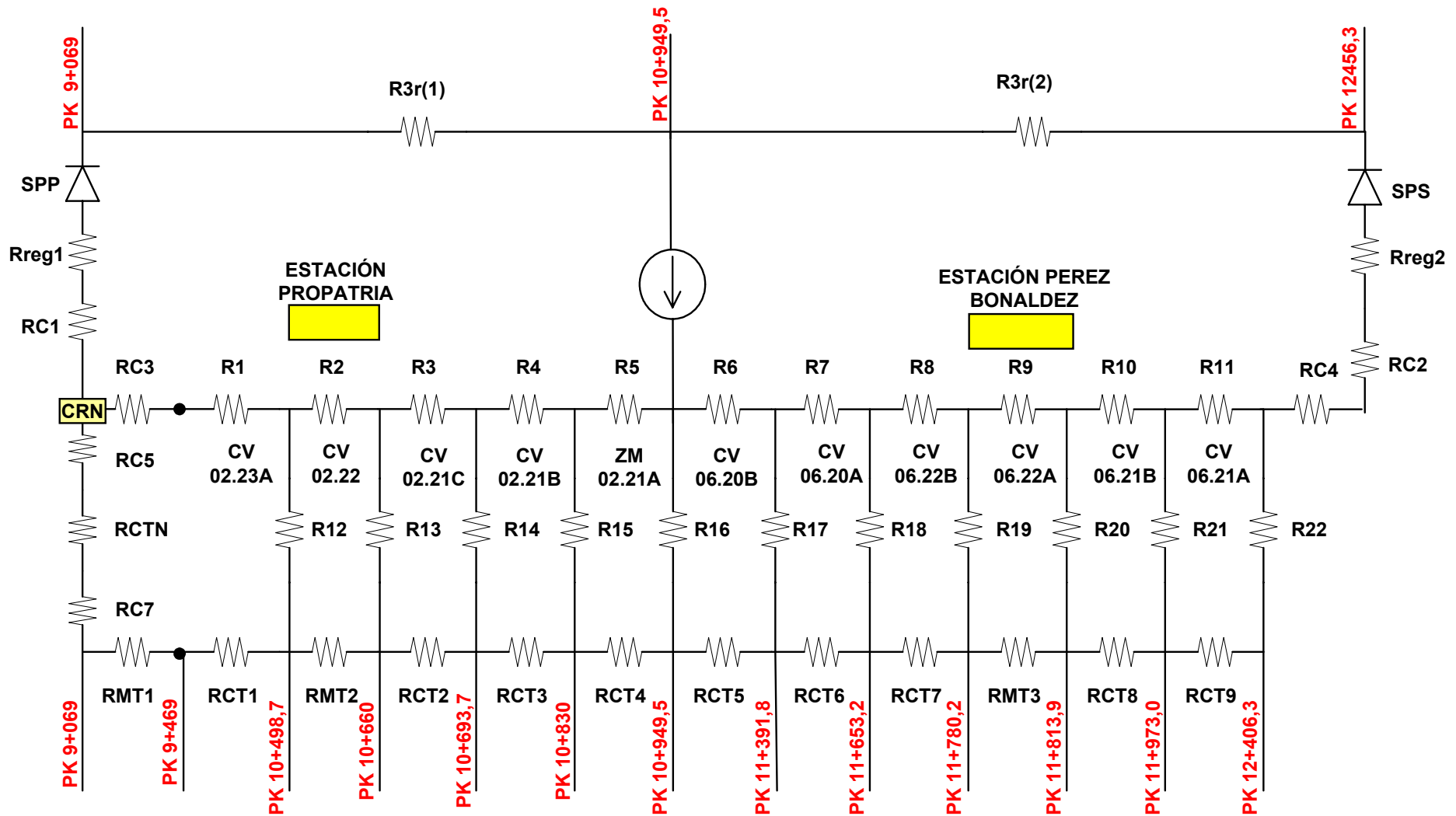
PK = Progresión Kilométrica.

CV = Circuito de vía.

ZM = Zona de Maniobra.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN PROPATRIA (SPP) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN PLAZA SUCRE (SPS) RESPECTO A LA VÍA 1.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN PROPATRIA (SPP) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN PLAZA SUCRE (SPS) RESPECTO A LA VÍA 2.

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Propatria (SPP) y la sub-estación de tracción Plaza Sucre (SPS) correspondiente a la vía 1.

R3r(1)	12,90 mΩ	R1	17,17mΩ	R12	157,0 Ω	RCT1	178,35mΩ
R3r (2)	10,24 mΩ	R2	2,16 mΩ	R13	19,75 Ω	RMT2	2,0 Ω
Rc1	0,26 mΩ	R3	0,50 mΩ	R14	4,53 Ω	RCT2	5,14 mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	2,96 mΩ	R15	27,06 Ω	RCT3	30,74 mΩ
Rc3	1,06 mΩ	R5	1,78 mΩ	R16	16,27 Ω	RCT4	18,48 mΩ
Rc4	1,06 mΩ	R6	6,12 mΩ	R17	55,95 Ω	RCT5	63,55 mΩ
Rc5	0,36 mΩ	R7	3,11 mΩ	R18	28,41 Ω	RCT6	32,27 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	2,32 mΩ	R19	21,25 Ω	RCT7	24,14 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	2,62 mΩ	R20	23,97 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc8	0,14 mΩ	R10	7,54 mΩ	R21	68,97 Ω	RCT8	78,34 mΩ
RMT1	2,0 Ω	R11	3,81 mΩ	R22	34,87 Ω	RCT9	39,61 mΩ
RMT4	2,0 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Propatria (SPP) y la sub-estación de tracción Plaza Sucre (SPS) correspondiente a la vía 2.

R3r(1)	12,78 mΩ	R1	16,88mΩ	R12	154,4 Ω	RCT1	175,40mΩ
R3r (2)	10,24 mΩ	R2	2,66 mΩ	R13	24,28 Ω	RMT2	2,0 Ω
Rc1	0,26 mΩ	R3	0,54 mΩ	R14	4,96 Ω	RCT2	5,64 mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	2,24 mΩ	R15	20,44 Ω	RCT3	23,22 mΩ
Rc3	1,06 mΩ	R5	1,96 mΩ	R16	17,92 Ω	RCT4	43,58 mΩ
Rc4	1,06 mΩ	R6	7,25 mΩ	R17	66,30 Ω	RCT5	75,31 mΩ
Rc5	0,36 mΩ	R7	4,29 mΩ	R18	39,21 Ω	RCT6	44,54 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	2,08 mΩ	R19	19,05 Ω	RCT7	21,64 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	0,55 mΩ	R20	5,05 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc8	0,14 mΩ	R10	2,61 mΩ	R21	23,86 Ω	RCT8	27,11 mΩ
RMT1	2,00 Ω	R11	7,11 mΩ	R22	64,99 Ω	RCT9	73,83 Ω
RMT4	2,00 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Anexo 4.16 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Propatria (SPP) y la S/E de tracción Plaza Sucre (SPS).

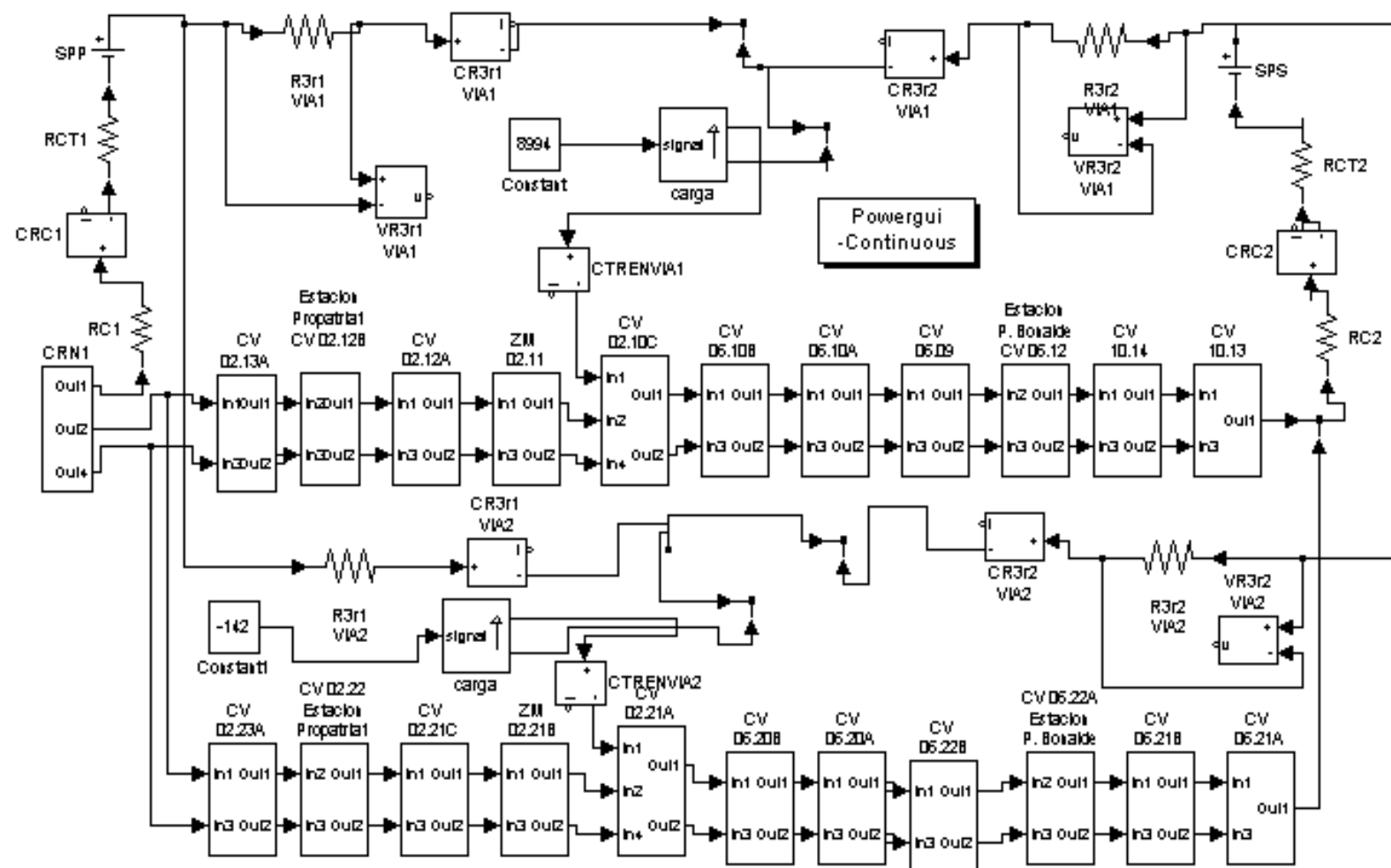
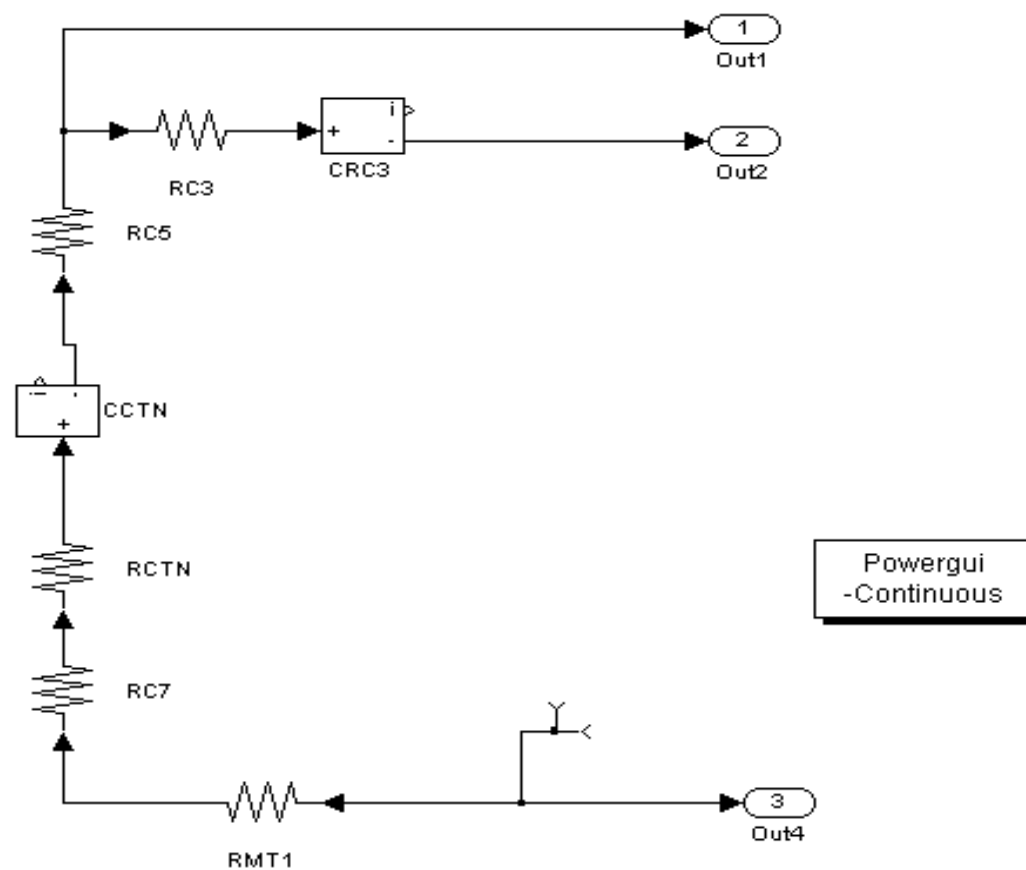
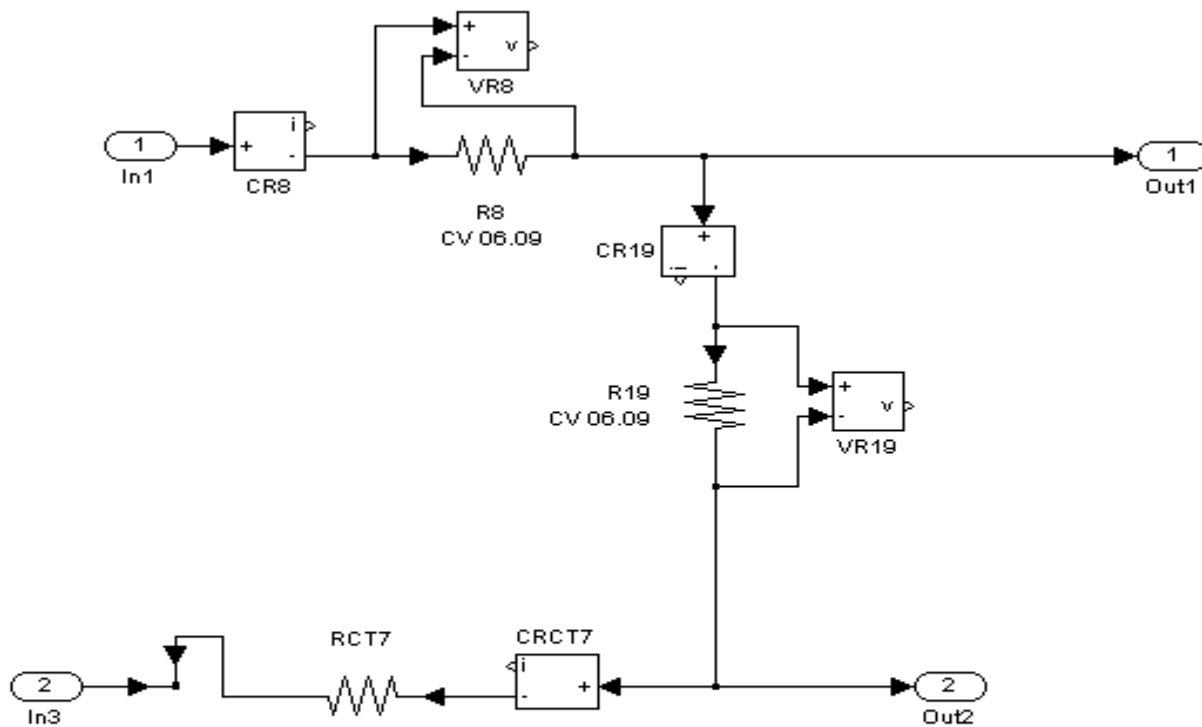


DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR EN MATLAB DE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN PROPATRIA (SPP) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN PLAZA SUCRE (SPS) RESPECTO A LA VÍA 1 Y LA VÍA 2



Elementos que conforman la caja que representa a el Contactor de Puesta a Tierra del Negativo (CTN) en el modelo eléctrico a simular



Powergui
-Continuous

Elementos que conforman las cajas que representa a los circuitos de vías y de zonas de maniobras en el modelo eléctrico a simular.

SimPowerSystems Report.
generated by powergui,
10-Aug-2005 15:04:52

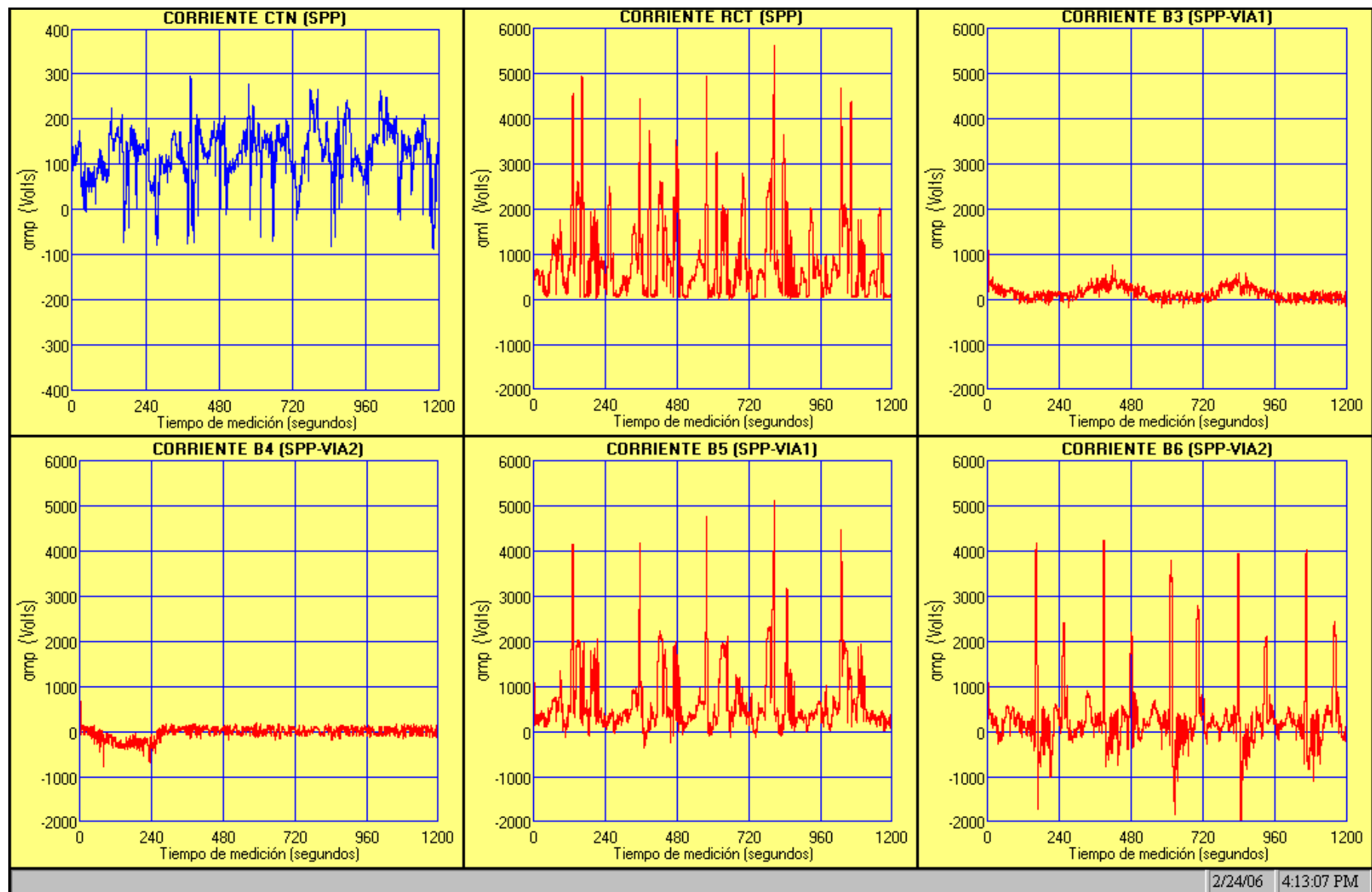
Esta simulación corresponde para **B5 = 8994 A** y **B6 = 0 A** el resto de las simulaciones están en el C. D. Digital de la tesis.

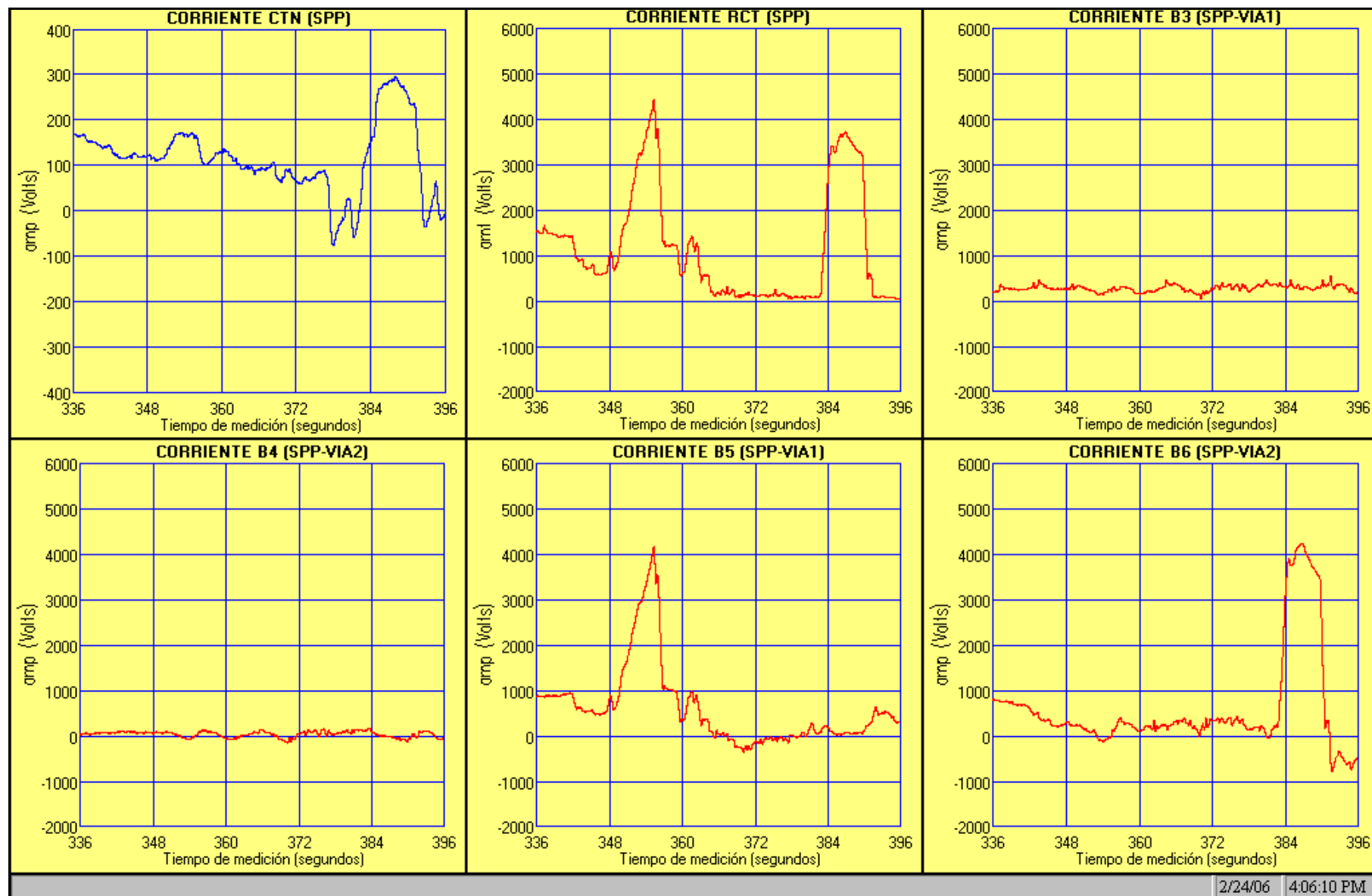
CV 02.13A/VR1	=	-77.43 V
CV 02.13A/VR12	=	58.09 V
CV 02.12A/VR14	=	38.63 V
CV 02.12A/VR3	=	-2.256 V
CV 06.22B/VR19	=	-10.1 V
CV 06.22B/VR8	=	0.3288 V
CV 10.14/VR10	=	33.68 V
CV 10.14/VR21	=	-33.12 V
CV 02.10C/VR16	=	59.83 V
CV 02.10C/VR5	=	-8.05 V
CV 02.21A/VR16	=	-8.216 V
CV 02.21A/VR5	=	0.3082 V
CV 02.21C/VR14	=	-7.775 V
CV 02.21C/VR3	=	0.08385 V
CV 02.23A/VR1	=	2.614 V
CV 02.23A/VR12	=	-18.12 V
CV 06.09/VR19	=	8.311 V
CV 06.09/VR8	=	10.36 V
CV 06.10A/VR18	=	18.64 V
CV 06.10A/VR7	=	13.89 V
CV 06.10B/VR17	=	32.5 V
CV 06.10B/VR6	=	27.34 V
CV 06.20A/VR18	=	-9.822 V
CV 06.20A/VR7	=	0.7765 V
CV 06.20B/VR17	=	-9.159 V
CV 06.20B/VR6	=	1.143 V
CV 06.21A/VR11	=	1.139 V
CV 06.21A/VR22	=	-8.227 V
CV 06.21B/VR10	=	0.4174 V
CV 06.21B/VR21	=	-7.097 V
CV 10.13/VR11	=	17.02 V
CV 10.13/VR22	=	-50.08 V
CV 02.22 Estacion Propatria1/VR13	=	-7.72 V
CV 02.22 Estacion Propatria1/VR2	=	0.4122 V
CV 06.22A Estacion P. Bonalde/VR20	=	-6.691 V
CV 06.22A Estacion P. Bonalde/VR9	=	0.08724 V
Estacion P. Bonalde CV 06.12/VR20	=	0.4074 V

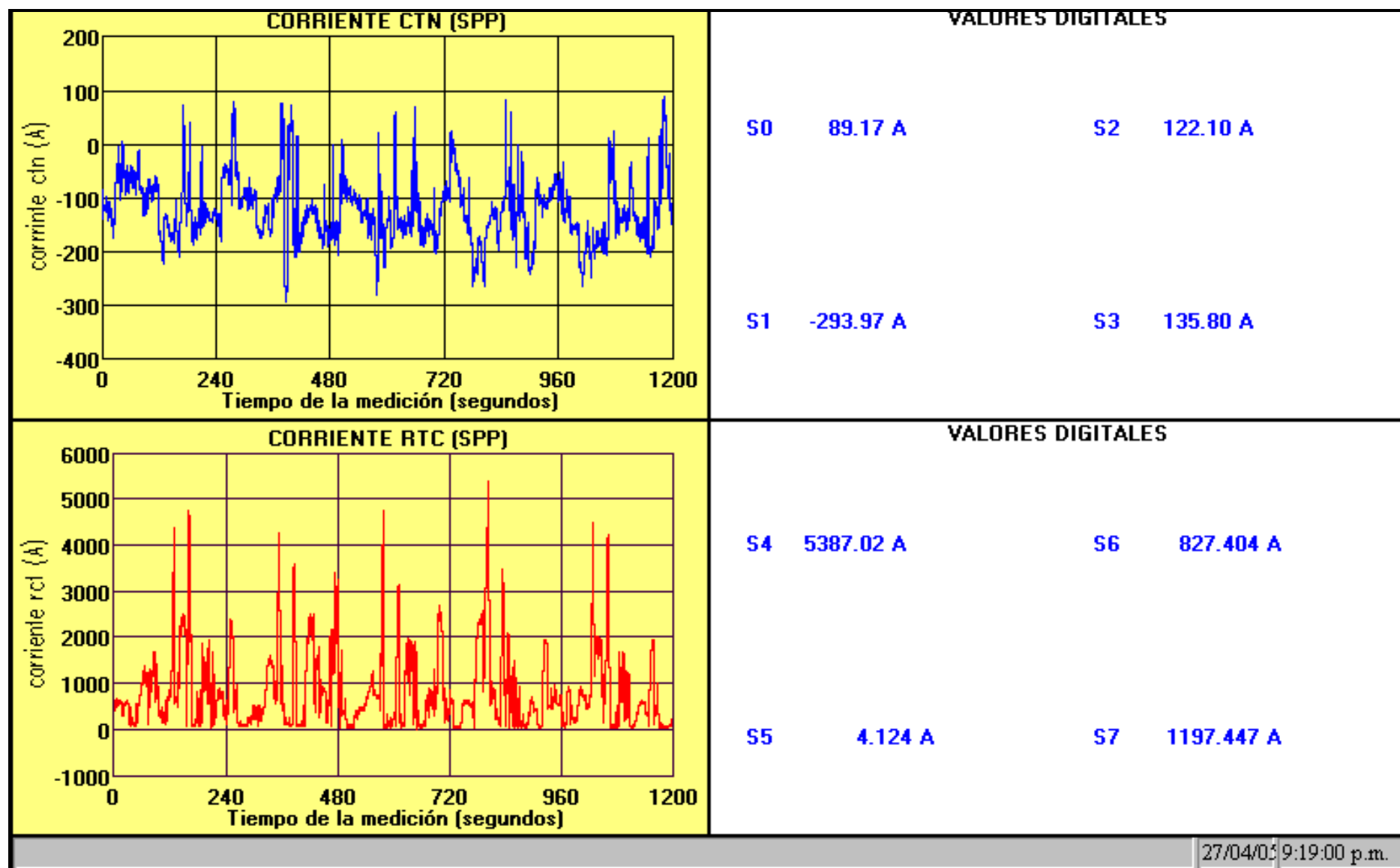
Estacion P. Bonalde CV 06.12/VR9	=	11.7 V
Estacion Propatria1 CV 02.12B /VR2	=	-9.741 V
Estacion Propatria1 CV 02.12B /VRrs	=	36.44 V
VR3r1 VIA1	=	-53.82 V
VR3r2 VIA1	=	49.38 V
VR3r2 VIA2	=	-1.977 V
ZM 02.11/VR15	=	51.84 V
ZM 02.11/VR3	=	-13.38 V
ZM 02.21B/VR15	=	-8.044 V
ZM 02.21B/VR4	=	0.3513 V
CV 02.13A/CR1	=	-4510 A
CV 02.13A/CR12	=	0.37 A
CV 02.13A/CRmt	=	16.06 A
CR3r1 VIA1	=	4172 A
CR3r1 VIA2	=	193.1 A
CR3r2 VIA1	=	4822 A
CR3r2 VIA2	=	-193.1 A
CRC1	=	4365 A
CRC2	=	4629 A
CTN/CRN1/CCTN	=	10.54 A
CTN/CRN1/CRC3	=	-4355 A
CTRENVIA1	=	8994 A
CTRENVIA2	=	0 A
CV 02.12A/CR14	=	8.527 A
CV 02.12A/CR3	=	-4512 A
CV 02.12A/CRCT2	=	13.85 A
CV 06.22B/CR19	=	-0.5303 A
CV 06.22B/CR8	=	158.1 A
CV 06.22B/CRCT7	=	-2.279 A
CV 10.14/CR10	=	4466 A
CV 10.14/CR21	=	-0.4802 A
CV 10.14/CRCT8	=	-1.916 A
CV 02.10C/CR16	=	3.677 A
CV 02.10C/CR5	=	-4522 A
CV 02.10C/CRCT4	=	3.406 A
CV 02.21A/CR16	=	-0.4585 A
CV 02.21A/CR5	=	157.2 A
CV 02.21A/CRCT4	=	-3.126 A
CV 02.21C/CR14	=	-1.567 A
CV 02.21C/CR3	=	155.3 A
CV 02.21C/CRct	=	-5.087 A
CV 02.23A/CR1	=	154.8 A
CV 02.23A/CR12	=	-0.1173 A
CV 02.23A/CRCT1	=	-5.523 A
CV 06.09/CR19	=	0.3911 A

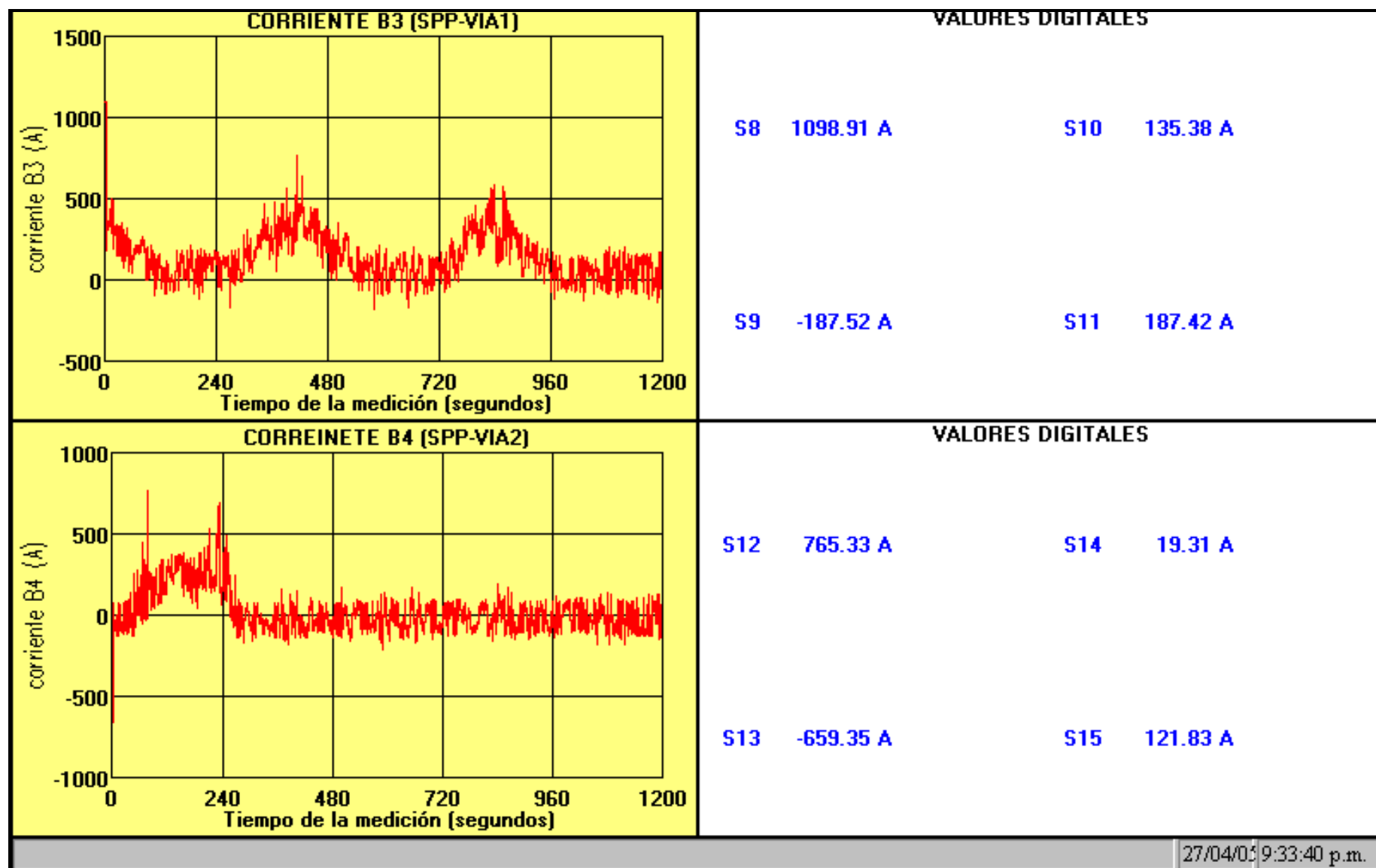
CV 06.09/CR8	=	4467 A
CV 06.09/CRCT7	=	-1.508 A
CV 06.10A/CR18	=	0.656 A
CV 06.10A/CR7	=	4468 A
CV 06.10A/CRCT6	=	-0.8523 A
CV 06.10B/CR17	=	0.5809 A
CV 06.10B/CR6	=	4468 A
CV 06.10B/CRCT5	=	-0.2714 A
CV 06.20A/CR18	=	-0.2505 A
CV 06.20A/CR7	=	157.8 A
CV 06.20A/CRct	=	-2.53 A
CV 06.20B/CR17	=	-0.1381 A
CV 06.20B/CR6	=	157.7 A
CV 06.20B/CRct	=	-2.668 A
CV 06.21A/CR11	=	160.2 A
CV 06.21A/CR22	=	-0.1266 A
CV 06.21A/CRC2	=	160.4 A
CV 06.21A/CRCT9	=	-0.1266 A
CV 06.21B/CR10	=	159.9 A
CV 06.21B/CR21	=	-0.2974 A
CV 06.21B/CRCT8	=	-0.424 A
CV 10.13/CR11	=	4467 A
CV 10.13/CR22	=	-1.436 A
CV 10.13/CRC4	=	4468 A
CV 10.13/CRCT9	=	-1.436 A
CV 02.22 Estacion Propatria1/CR13	=	-0.3179 A
CV 02.22 Estacion Propatria1/CR2	=	155 A
CV 02.22 Estacion Propatria1/CRMT2	=	-5.405 A
CV 06.22A Estacion P. Bonalde/CR20	=	-1.325 A
CV 06.22A Estacion P. Bonalde/CR9	=	158.6 A
CV 06.22A Estacion P. Bonalde/CRMT3	=	-1.749 A
Estacion P. Bonalde CV 06.12/CR20	=	0.017 A
Estacion P. Bonalde CV 06.12/CR9	=	4466 A
Estacion P. Bonalde CV 06.12/CRct	=	-1.899 A
Estacion Propatria1 CV 02.12B /CR13	=	1.845 A
Estacion Propatria1 CV 02.12B /CR2	=	-4510 A
Estacion Propatria1 CV 02.12B /CRmt	=	15.69 A
ZM 02.11/CR15	=	1.916 A
ZM 02.11/CR3	=	-4520 A
ZM 02.11/CRCT3	=	5.322 A
ZM 02.21B/CR15	=	-0.3936 A
ZM 02.21B/CR4	=	156.8 A
ZM 02.21B/CRCT3	=	-3.52 A
SPP	=	800 V
SPS	=	800 V

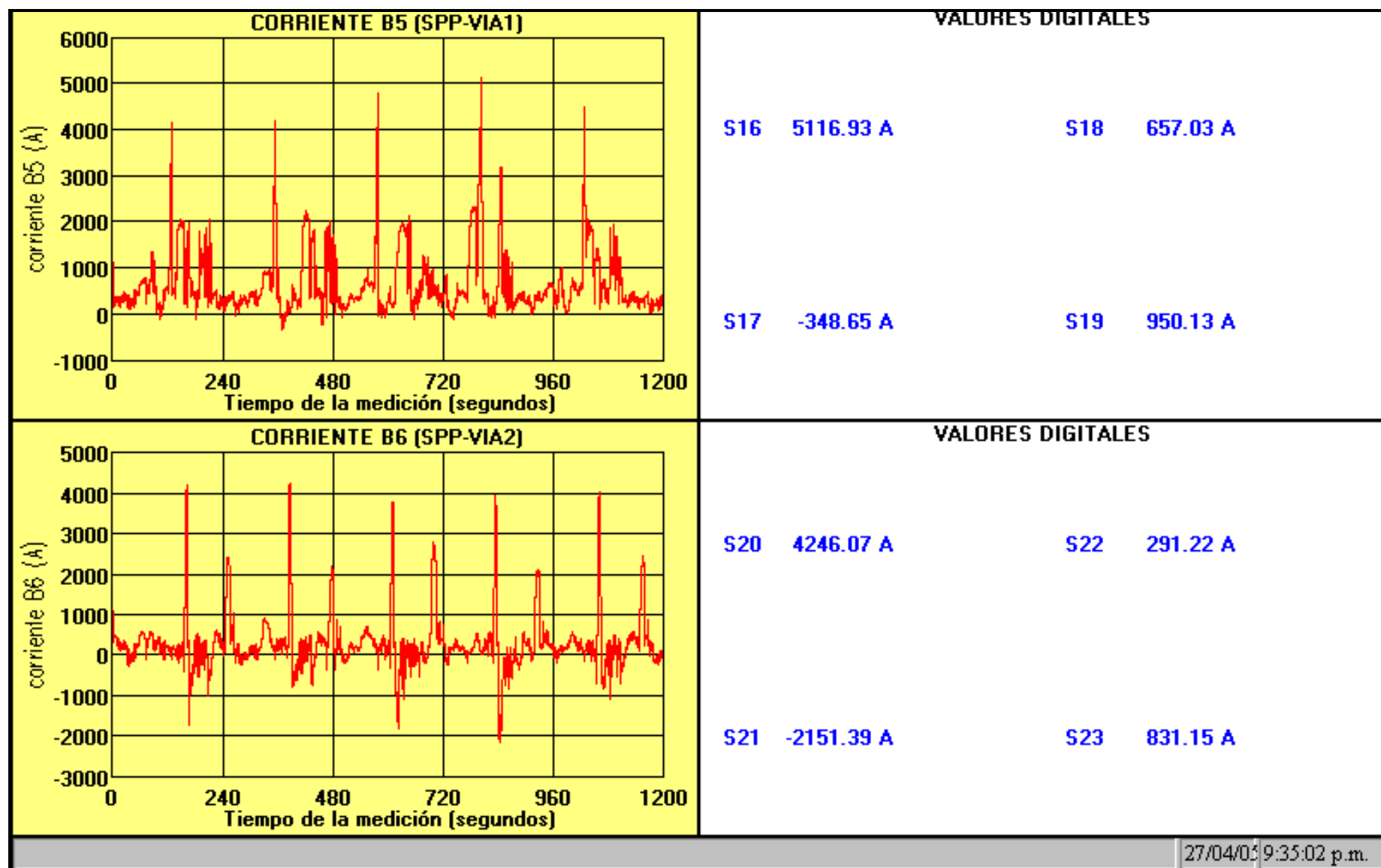
Anexo 4.17 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción Propatria (SPP).











Anexo 4.18 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Antímano (SAM) respecto a la vía 1 y la vía 2.

Nombres de los distintos elementos que conforman el modelo eléctrico pasivo a simular.

Rreg1= resistencia eléctrica de regulación 1.

Rreg2= resistencia eléctrica de regulación 2.

RC1 = RC2 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que desde el rectificador de potencia a la CRN.

RC3 = RC4 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que van desde la CRN hasta los Rieles de Rodamiento.

RC5 = RC6 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde la CRN hasta el shunt del CTN.

RC7 = RC8 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde el shunt del CTN hasta la malla de tierra.

RCTN = Resistencia del shunt del CTN.

CTN = Contactor de Puesta a Tierra del Negativo.

CRN = Caja de Retorno Negativo.

R3r1 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R3r2 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R1...R10= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

R11...R20 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

RCT1...RCT6= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 1**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

R1...R11= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobra.

R12...R22 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

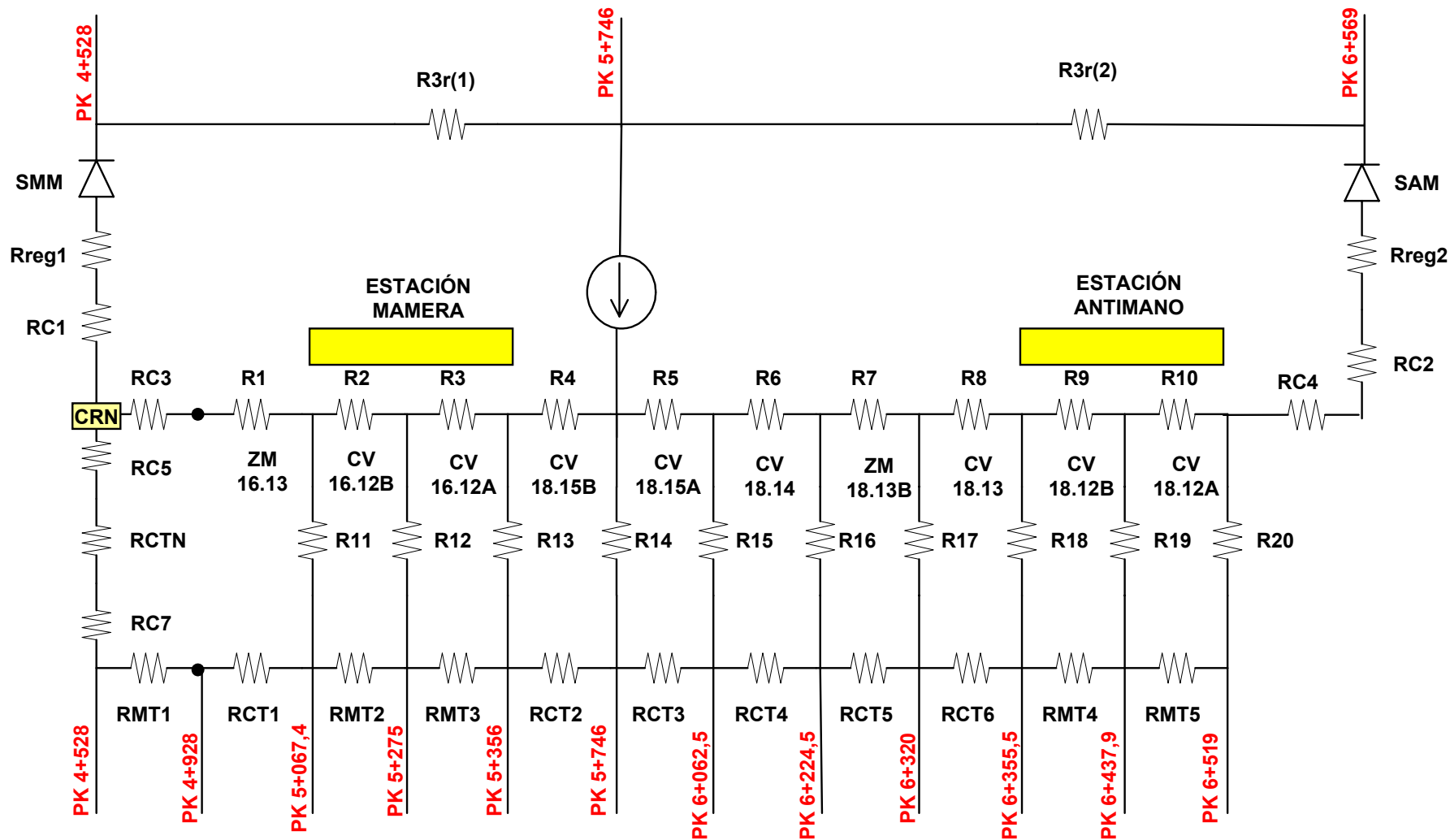
RCT1...RCT7= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 2**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

RMT1 ...RMT5 = Resistencia de la malla de tierra ubicada en las Sub-Estaciones de Tracción y Estaciones de Pasajeros.

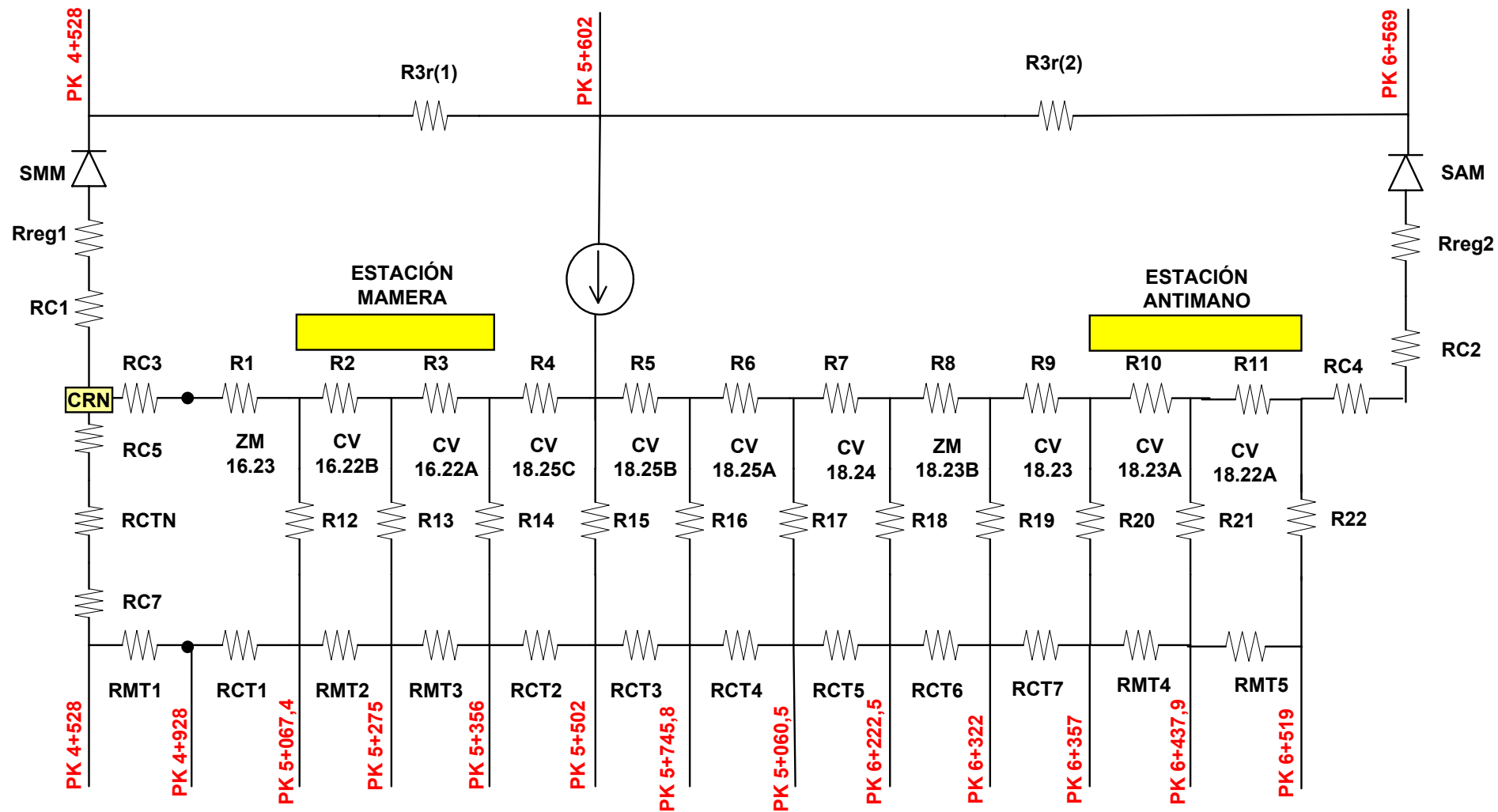
PK = Progresión Kilométrica.

CV = Circuito de vía.

ZM = Zona de Maniobra.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN MAMERA (SMM) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN ANTIMANO (SAM) RESPECTO A LA VÍA 1.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN MAMERA (SMM) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN ANTIMANO (SAM) RESPECTO A LA VÍA 2.

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Mamera (SMM) y la sub-estación de tracción Antímáno (SAM) correspondiente a la vía 1.

R3r(1)	8,28 mΩ	R1	2,29 mΩ	R11	1,15 Ω	RCT1	23,75 mΩ
R3r (2)	5,59 mΩ	R2	3,40 mΩ	R12	9,13Ω	RMT2	2,0 Ω
Rc1	0,26 mΩ	R3	1,33 mΩ	R13	3,56 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc2	0,26 mΩ	R4	6,40 mΩ	R14	17,16 Ω	RCT2	66,45 mΩ
Rc3	1,06 mΩ	R5	5,19 mΩ	R15	13,92 Ω	RCT3	53,93 mΩ
Rc4	0,14 mΩ	R6	2,66 mΩ	R16	24,30 Ω	RCT4	27,60 mΩ
Rc5	0,36 mΩ	R7	1,57 mΩ	R17	0,14 Ω	RCT5	16,27 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	0,58 mΩ	R18	5,32 Ω	RCT6	6,04 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	1,35 mΩ	R19	12,36 Ω	RMT4	2,0 Ω
Rc8	0,14 mΩ	R10	1,33 mΩ	R20	12,16 Ω	RMT5	2,0 Ω
RMT1	2,0 Ω						
RMT6	2,0 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Mamera (SMM) y la sub-estación de tracción Antímáno (SAM) correspondiente a la vía 2.

R3r(1)	8,28 mΩ	R1	2,29 mΩ	R12	0,20 Ω	RCT1	22,86 mΩ
R3r (2)	5,59 mΩ	R2	3,49 mΩ	R13	9,35 Ω	RMT2	2,0 Ω
Rc1	0,26 mΩ	R3	1,33 mΩ	R14	3,56 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc2	0,26 mΩ	R4	2,39 mΩ	R15	6,42 Ω	RCT2	23,94 mΩ
Rc3	1,06 mΩ	R5	4,00 mΩ	R16	10,72 Ω	RCT3	41,54 mΩ
Rc4	0,14 mΩ	R6	5,16 mΩ	R17	13,84 Ω	RCT4	53,62 mΩ
Rc5	0,36 mΩ	R7	2,66 mΩ	R18	24,30 Ω	RCT5	27,60 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	1,63 mΩ	R19	0,14 Ω	RCT6	16,95 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	2,29 mΩ	R20	20,91 Ω	RCT7	23,75 mΩ
Rc8	0,14 mΩ	R10	1,33 mΩ	R21	12,13 Ω	RMT4	2,0 Ω
RMT1	2,0 Ω	R11	1,33mΩ	R22	12,16 Ω	RMT5	2,0 Ω
RMT6	2,0 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Anexo 4.19 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Antímano (SAM).

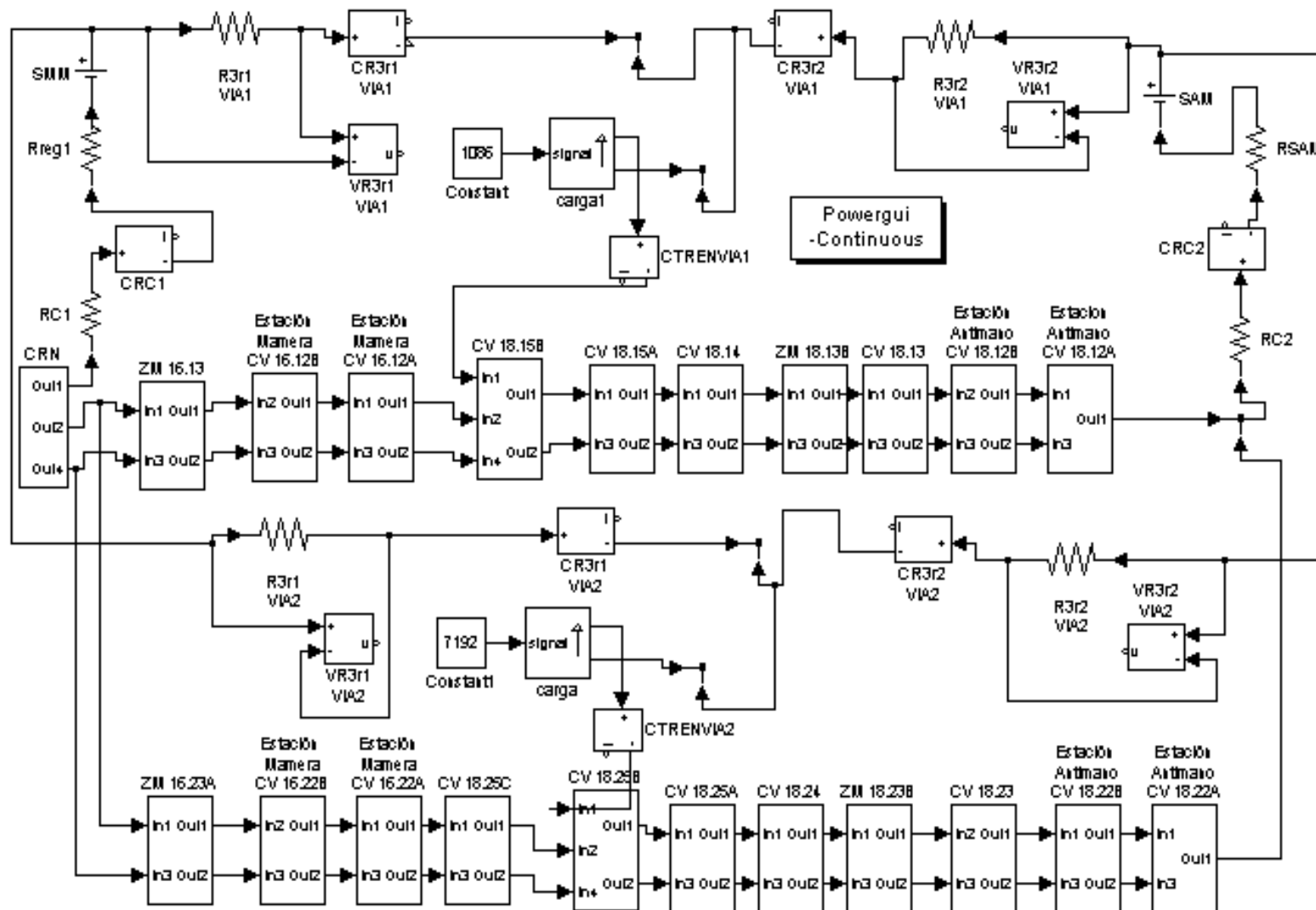
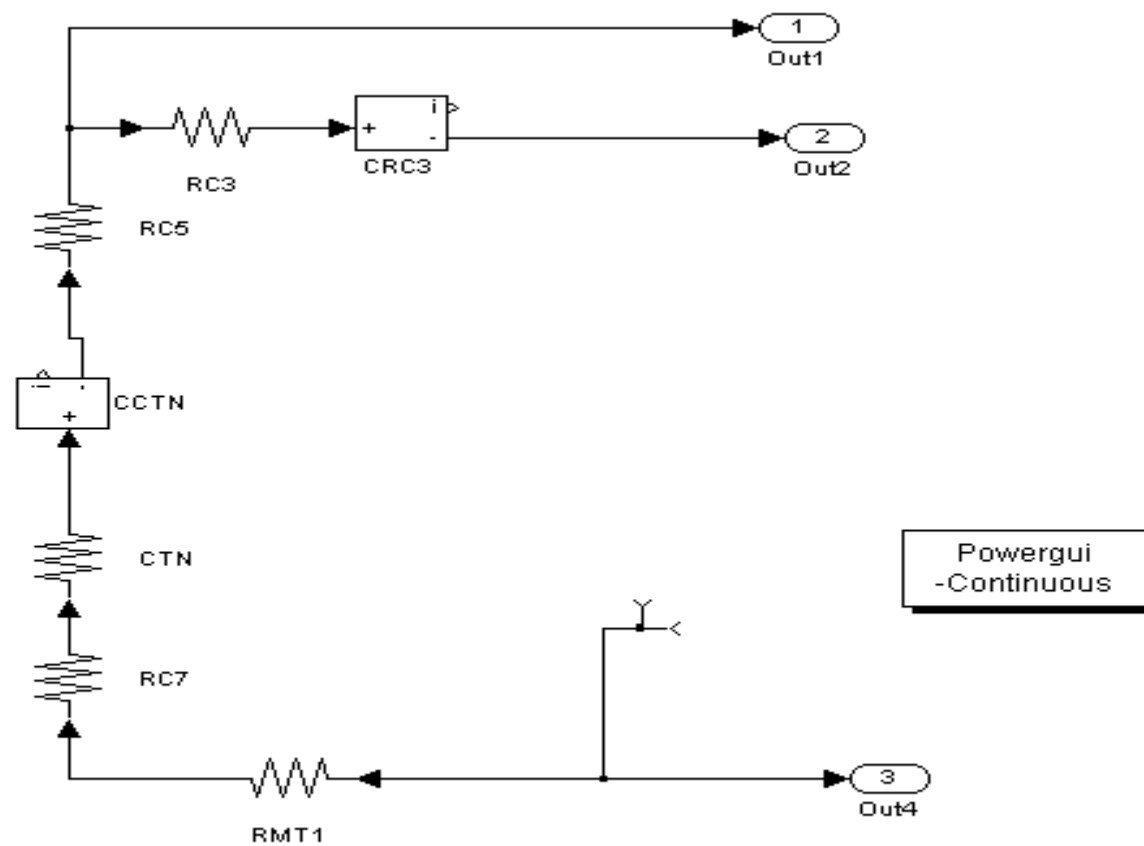
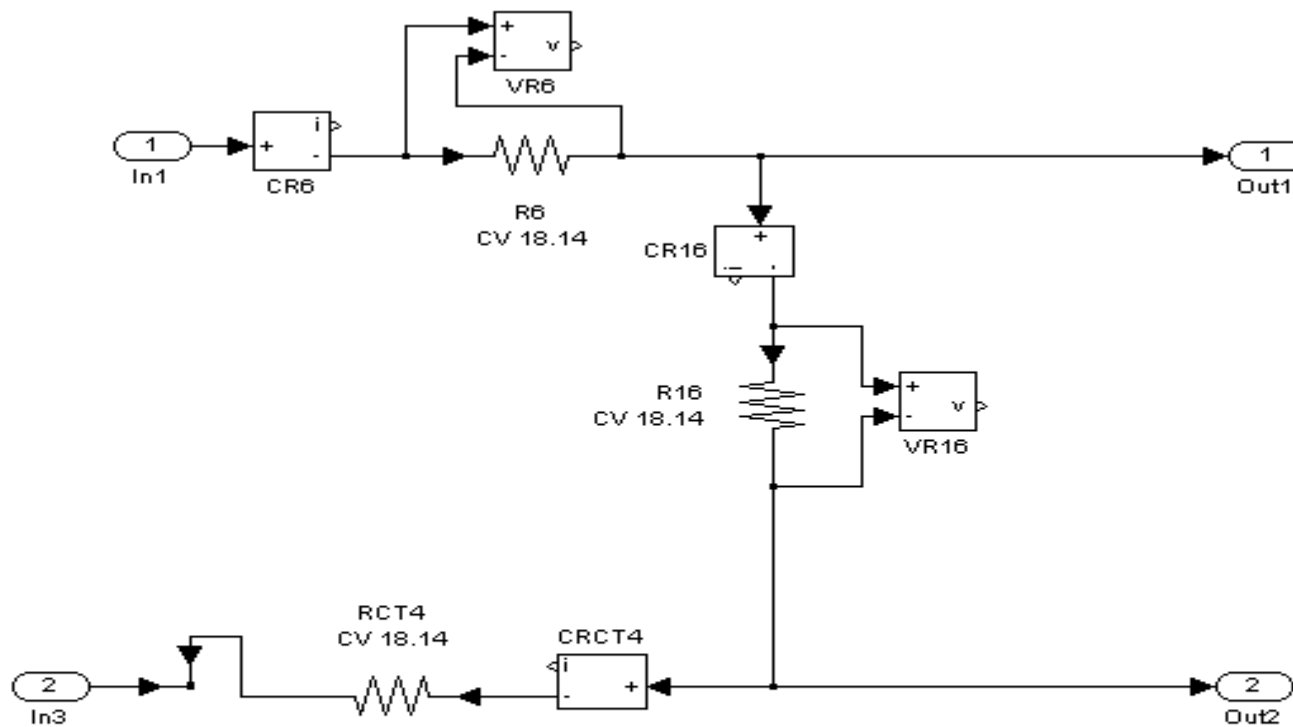


DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR EN MATLAB DE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN MAMERA (SMM) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN ANTÍMANO (SAM) RESPECTO A LA VÍA 1 Y LA VÍA 2.



Elementos que conforman la caja que representa a el Contactor de Puesta a Tierra del Negativo (CTN) en el modelo eléctrico a simular



Powergui
-Continuous

Elementos que conforman las cajas que representa a los circuitos de vías y de zonas de maniobras en el modelo eléctrico a simular.

SimPowerSystems Report.
generated by powergui,
10-Aug-2005 15:50:24

Esta simulación corresponde para **B3 = 3362 A** y **B4 = 0 A** el resto de las simulaciones están en el C. D. Digital de la tesis.

CV 18.13/VR18	=	-1.449 V
CV 18.13/VR8	=	1.075 V
CV 18.14/VR16	=	2.477 V
CV 18.14/VR6	=	4.923 V
CV 18.15A/VR15	=	7.316 V
CV 18.15A/VR5	=	9.607 V
CV 18.15B/VR14	=	16.79 V
CV 18.15B/VR4	=	-9.663 V
CV 18.23/VR20	=	-0.1716 V
CV 18.23/VR9	=	0.1726 V
CV 18.24/VR18	=	0.1046 V
CV 18.24/VR7	=	0.198 V
CV 18.25A/VR17	=	0.2766 V
CV 18.25A/VR6	=	0.3842 V
CV 18.25B/VR16	=	0.6095 V
CV 18.25B/VR5	=	0.298 V
CV 18.25C/VR15	=	0.8716 V
CV 18.25C/VR4	=	0.1784 V
Estacion Antimano CV 18.12A/VR10	=	1.094 V
Estacion Antimano CV 18.12A/VR20	=	-0.9175 V
Estación Antimano CV 18.12B/VR19	=	-0.1258 V
Estación Antimano CV 18.12B/VR9	=	2.502 V
Estación Antimano CV 18.22A/VR11	=	0.1003 V
Estación Antimano CV 18.22A/VR22	=	-0.2555 V
Estación Mamera CV 16.12A/VR13	=	7.025 V
Estación Mamera CV 16.12A/VR3	=	-2.005 V
Estación Mamera CV 16.12B/VR12	=	5.922 V
Estación Mamera CV 16.12B/VR2	=	-5.125 V
Estación Mamera CV 16.22A/VR14	=	1.032 V
Estación Mamera CV 16.22A/VR3	=	0.09966 V
Estación Antimano CV 18.22B/VR10	=	0.1002 V
Estación Antimano CV 18.22B/VR21	=	-0.1973 V
Estación Mamera CV 16.22B/VR13	=	0.1838 V
Estación Mamera CV 16.22B/VR2	=	0.2616 V
VR3r1 VIA1	=	-11.36 V
VR3r1 VIA2	=	0.5009 V
VR3r2 VIA1	=	10.52 V
VR3r2 VIA2	=	-0.3382 V

ZM 16.13/VR1	=	-3.446 V
ZM 16.13/VR11	=	2.998 V
ZM 16.23A/VR1	=	0.1663 V
ZM 16.23A/VR12	=	-0.4628 V
ZM 18.13B/VR17	=	-0.3772 V
ZM 18.13B/VR7	=	2.905 V
ZM 18.23B/VR19	=	-0.0001309 V
ZM 18.23B/VR8	=	0.1213 V
CR3r1 VIA1	=	1372 A
CR3r1 VIA2	=	60.49 A
CR3r2 VIA1	=	1990 A
CR3r2 VIA2	=	-60.49 A
CRC1	=	1433 A
CRC2	=	1929 A
CRN/CCTN	=	0.9386 A
CRN/CRC3	=	-1432 A
CTRENVIA1	=	3362 A
CTRENVIA2	=	0 A
CV 18.13/CR18	=	-0.2725 A
CV 18.13/CR8	=	1853 A
CV 18.13/CRCT6	=	-0.4335 A
CV 18.14/CR16	=	0.1019 A
CV 18.14/CR6	=	1851 A
CV 18.14/CRCT4	=	-3.026 A
CV 18.15A/CR15	=	0.5256 A
CV 18.15A/CR5	=	1851 A
CV 18.15A/CRCT3	=	-2.5 A
CV 18.15B/CR14	=	0.9784 A
CV 18.15B/CR4	=	-1510 A
CV 18.15B/CRCT2	=	-1.522 A
CV 18.23/CR20	=	-0.008208 A
CV 18.23/CRCT7	=	-0.04549 A
CV 18.23/CRrr	=	75.36 A
CV 18.24/CR18	=	0.004303 A
CV 18.24/CR7	=	74.43 A
CV 18.24/CRCT5	=	-0.9762 A
CV 18.25A/CR17	=	0.01999 A
CV 18.25A/CR6	=	74.45 A
CV 18.25A/CRCT4	=	-0.9562 A
CV 18.25B/CR16	=	0.05686 A
CV 18.25B/CR5	=	74.51 A
CV 18.25B/CRCT3	=	-0.8994 A
CV 18.25C/CR15	=	0.1358 A
CV 18.25C/CR4	=	74.65 A
CV 18.25C/CRCT2	=	-0.7636 A

Estacion Antimano CV 18.12A/CR10	=	1854 A
Estacion Antimano CV 18.12A/CR20	=	-0.1509 A
Estacion Antimano CV 18.12A/CRC4	=	1854 A
Estacion Antimano CV 18.12A/CRMT5	=	-0.1509 A
Estación Antimano CV 18.12B/CR19	=	-0.01018 A
Estación Antimano CV 18.12B/CR9	=	1853 A
Estación Antimano CV 18.12B/CRMT4	=	-0.1611 A
Estación Antimano CV 18.22A/CR11	=	75.39 A
Estación Antimano CV 18.22A/CR22	=	-0.02102 A
Estación Antimano CV 18.22A/CRC4	=	75.41 A
Estación Antimano CV 18.22A/CRMT5	=	-0.02102 A
Estación Mamera CV 16.12A/CR13	=	1.973 A
Estación Mamera CV 16.12A/CR3	=	-1508 A
Estación Mamera CV 16.12A/CRMT3	=	0.4515 A
Estación Mamera CV 16.12B/CR12	=	0.6487 A
Estación Mamera CV 16.12B/CR2	=	-1507 A
Estación Mamera CV 16.12B/CRMT2	=	1.1 A
Estación Mamera CV 16.22A/CR14	=	0.2898 A
Estación Mamera CV 16.22A/CR3	=	74.94 A
Estación Mamera CV 16.22A/CRMT3	=	-0.4738 A
Estación Antimano CV 18.22B/CR10	=	75.37 A
Estación Antimano CV 18.22B/CR21	=	-0.01627 A
Estación Antimano CV 18.22B/CRMT4	=	-0.03728 A
Estación Mamera CV 16.22B/CR13	=	0.01966 A
Estación Mamera CV 16.22B/CR2	=	74.95 A
Estación Mamera CV 16.22B/CRMT2	=	-0.4541 A
ZM 16.13/CR1	=	-1505 A
ZM 16.13/CR11	=	2.607 A
ZM 16.13/CRCT1	=	3.707 A
ZM 16.23A/CR1	=	72.64 A
ZM 16.23A/CR12	=	-2.314 A
ZM 16.23A/CRCT1	=	-2.768 A
ZM 18.13B/CR17	=	-2.694 A
ZM 18.13B/CR7	=	1851 A
ZM 18.13B/CRCT5	=	-3.128 A
ZM 18.23B/CR19	=	-0.935 A
ZM 18.23B/CR8	=	74.43 A
ZM 18.23B/CRCT6	=	-0.9805 A
SAM	=	800 V
SMM	=	800 V
carga	=	0 A
carga l	=	3362 A

Anexo 4.20 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Antímano (SAM) y la S/E de tracción La Yaguara (SYG) respecto a la vía 1 y la vía 2.

Nombres de los distintos elementos que conforman el modelo eléctrico pasivo a simular.

Rreg1= resistencia eléctrica de regulación 1.

Rreg2= resistencia eléctrica de regulación 2.

RC1 = RC2 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que desde el rectificador de potencia a la CRN.

RC3 = RC4 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que van desde la CRN hasta los Rieles de Rodamiento.

RC5 = RC6 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde la CRN hasta el shunt del CTN.

RC7 = RC8 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde el shunt del CTN hasta la malla de tierra.

RCTN = Resistencia del shunt del CTN.

CTN = Contactor de Puesta a Tierra del Negativo.

CRN = Caja de Retorno Negativo.

R3r1 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R3r2 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R1...R11= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

R12...R22 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

RCT1...RCT8= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 1**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

R1...R12= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobra.

R13...R24 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

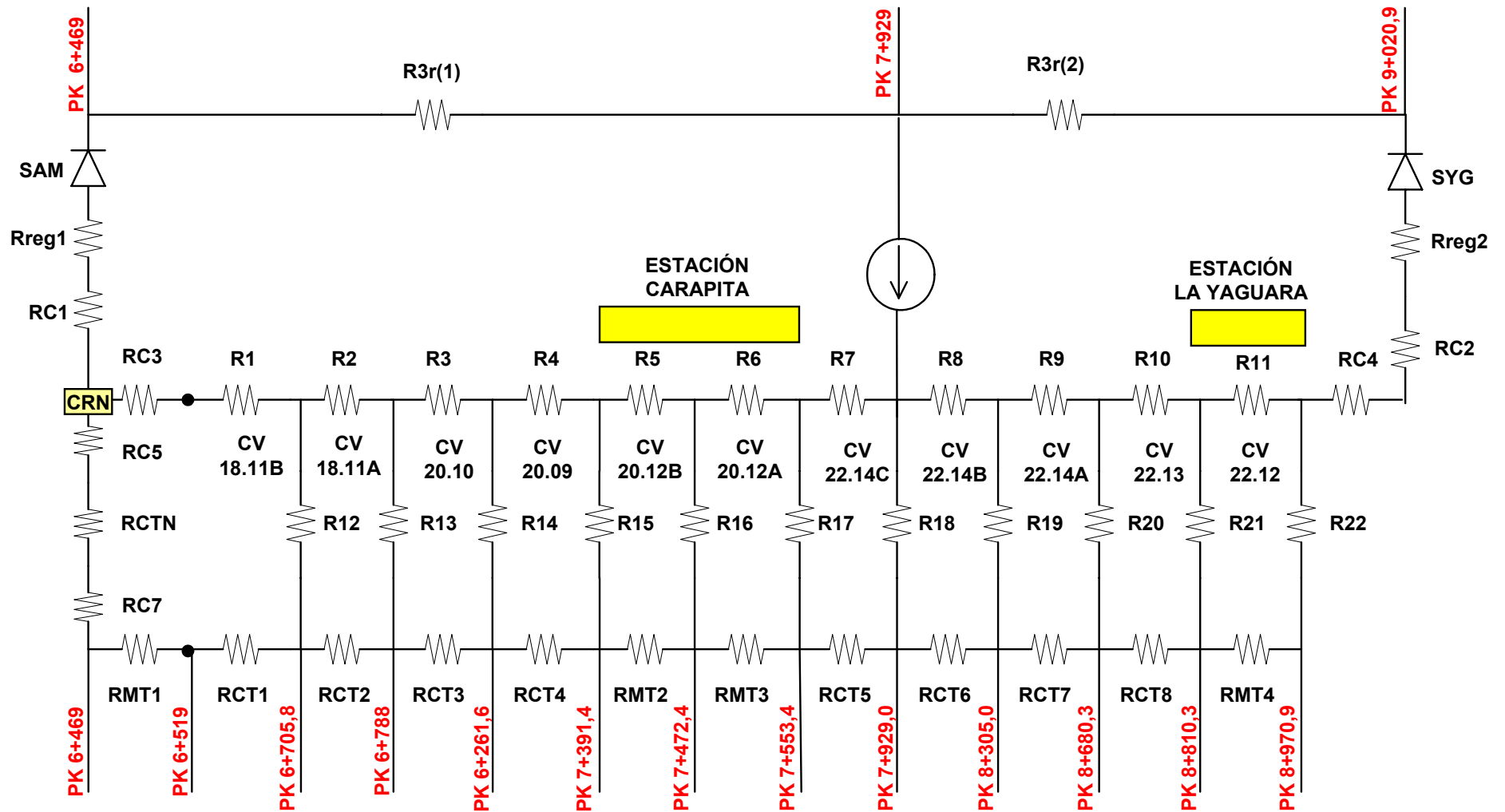
RCT1...RCT8= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 2**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

RMT1 ...RMT5 = Resistencia de la malla de tierra ubicada en las Sub-Estaciones de Tracción y Estaciones de Pasajeros.

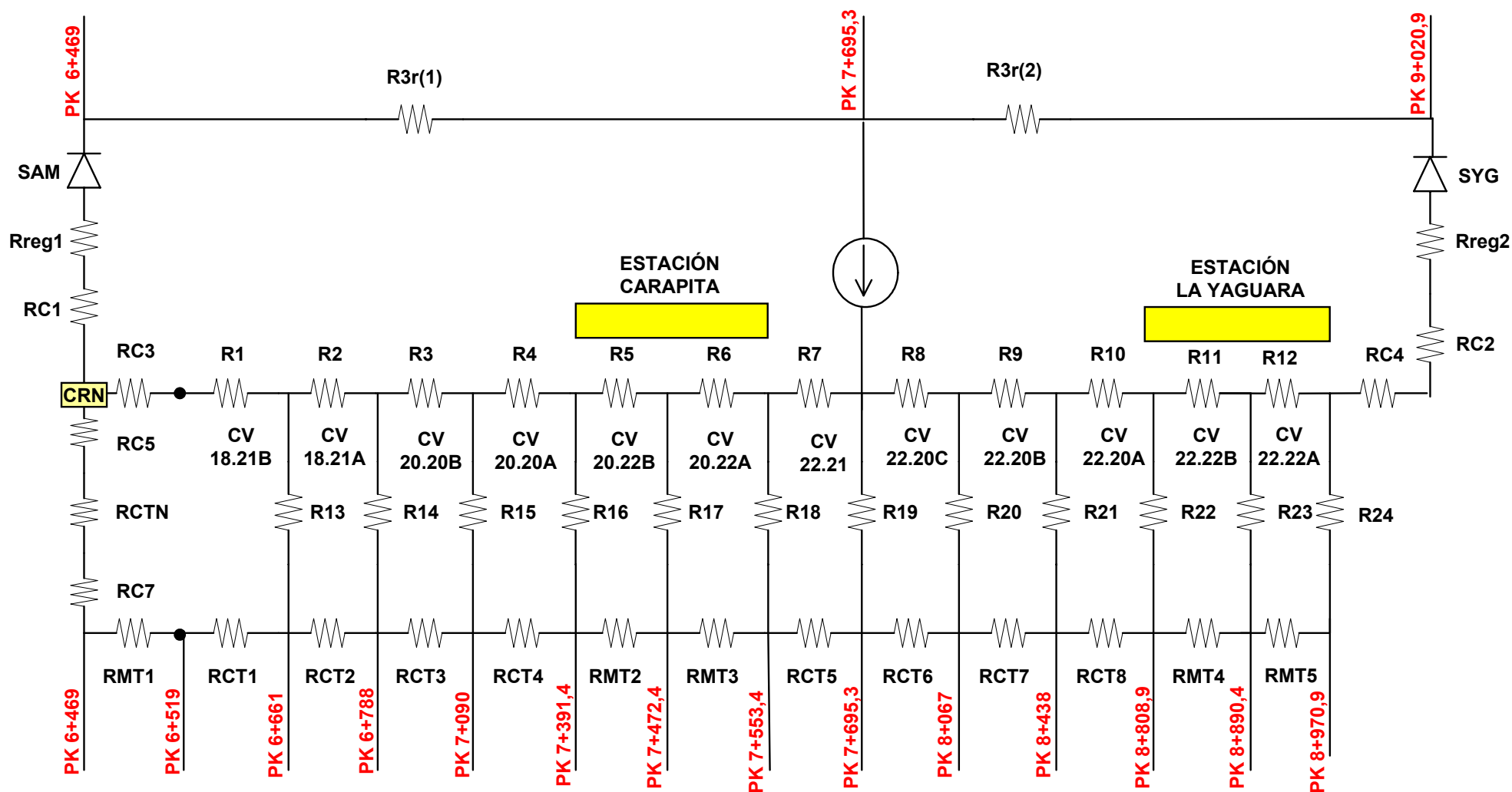
PK = Progresión Kilométrica.

CV = Circuito de vía.

ZM = Zona de Maniobra.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN ANTIMANO (SAM) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LA YAGUARA (SYG) RESPECTO A LA VÍA 1.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN ANTIMANO (SAM) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LA YAGUARA (SYG) RESPECTO A LA VÍA 2.

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Antímamo (SAM) y la sub-estación de tracción La Yaguara (SYG) correspondiente a la vía 1.

R3r(1)	9,92 mΩ	R1	3,06 mΩ	R12	28,04 Ω	RCT1	31,83 mΩ
R3r (2)	7,42 mΩ	R2	1,35 mΩ	R13	12,33 Ω	RCT2	14,00 mΩ
Rc1	0,26 mΩ	R3	7,77 mΩ	R14	71,05 Ω	RCT3	80,70 mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	2,13 mΩ	R15	19,47 Ω	RCT4	22,11 mΩ
Rc3	0,16 mΩ	R5	1,33 mΩ	R16	12,15 Ω	RMT2	2,0 Ω
Rc4	0,16 mΩ	R6	1,33 mΩ	R17	12,15 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc5	0,36 mΩ	R7	6,16 mΩ	R18	56,34 Ω	RCT5	64,07 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	6,17 mΩ	R19	56,40 Ω	RCT6	64,07 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	6,15 mΩ	R20	56,29 Ω	RCT7	63,95 mΩ
Rc8	0,14 mΩ	R10	2,13 mΩ	R21	19,50 Ω	RCT8	22,15 mΩ
RMT1	2,0 Ω	R11	2,63 mΩ	R22	7,06 Ω	RMT4	2,0 Ω
RMT5	2,0 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Antímamo (SAM) y la sub-estación de tracción La Yaguara (SYG) correspondiente a la vía 2.

R3r(1)	8,33 mΩ	R1	2,33 mΩ	R13	21,30 Ω	RCT1	24,19 mΩ
R3r (2)	9,01 mΩ	R2	2,08 mΩ	R14	19,05 Ω	RCT2	21,64 mΩ
Rc1	0,26 mΩ	R3	4,95 mΩ	R15	45,30 Ω	RCT3	51,46 mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	4,94 mΩ	R16	45,21 Ω	RCT4	51,35 mΩ
Rc3	0,16 mΩ	R5	1,33 mΩ	R17	12,15 Ω	RMT2	2,0 Ω
Rc4	0,16 mΩ	R6	1,33 mΩ	R18	12,50 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc5	0,36 mΩ	R7	2,33 mΩ	R19	21,30 Ω	RCT5	24,19 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	6,09 mΩ	R20	55,74 Ω	RCT6	63,32 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	6,08 mΩ	R21	55,65 Ω	RCT7	63,21 mΩ
Rc8	0,14 mΩ	R10	6,08 mΩ	R22	55,63 Ω	RCT8	63,20 mΩ
RMT1	2,0 Ω	R11	1,34 mΩ	R23	3,58 Ω	RMT4	2,0 Ω
RMT6	2,0 Ω	R12	1,16 mΩ	R24	2,54 Ω	RMT5	2,0 Ω
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Anexo 4.21 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Antímano (SAM) y la S/E de tracción La Yaguara (SYG).

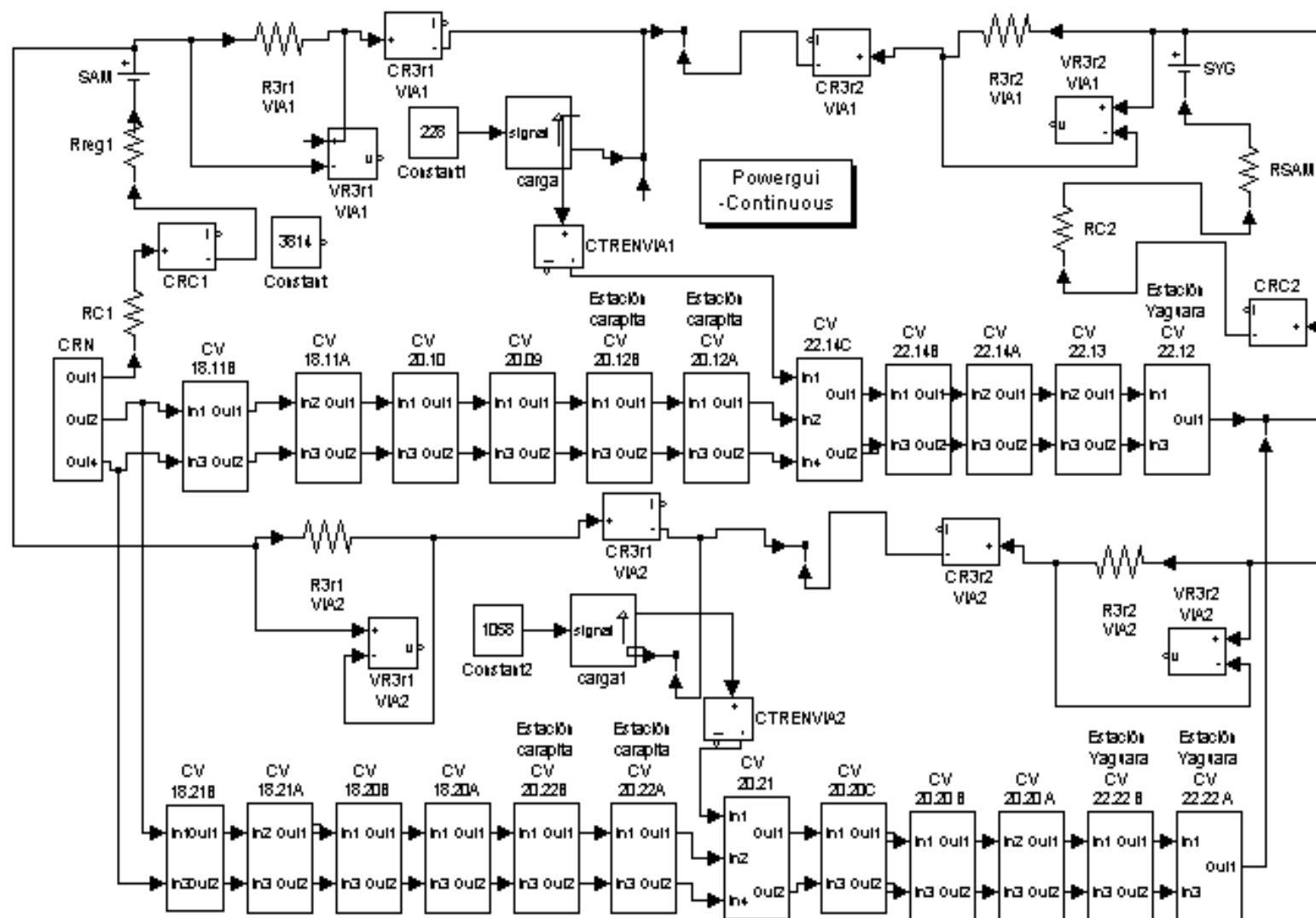
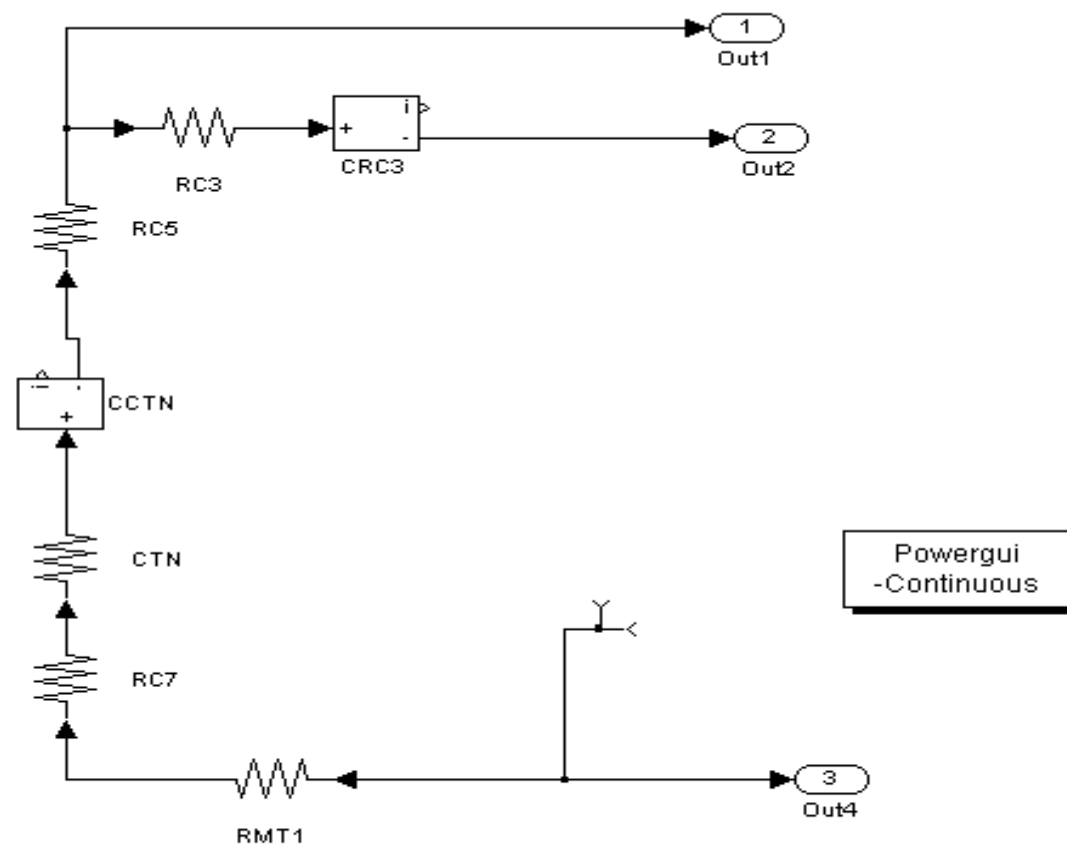
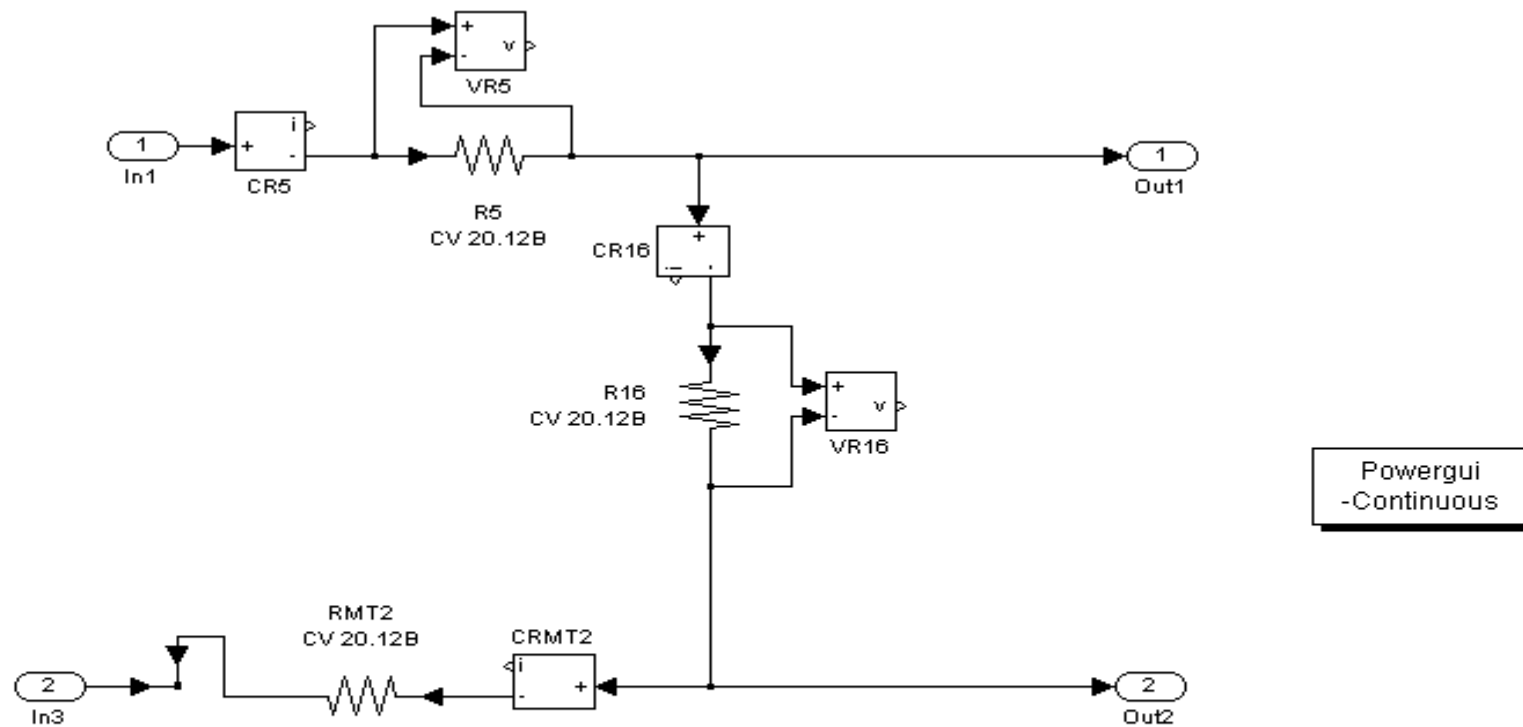


DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR EN MATLAB DE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN ANTÍMANO (SAM) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LA YAGÜARA (SYG) RESPECTO A LA VIA 1 Y LA VIA 2



Elementos que conforman la caja que representa a el Contactor de Puesta a Tierra del Negativo (CTN) en el modelo eléctrico a simular.



Elementos que conforman las cajas que representa a los circuitos de vías y de zonas de maniobras en el modelo eléctrico a simular.

SimPowerSystems Report.
generated by powergui,
0-Aug-2005 15:33:05

Esta simulación corresponde para **B5 = 0 A** y **B6 = 1426 A** el resto de las simulaciones están en el C. D. Digital de la tesis.

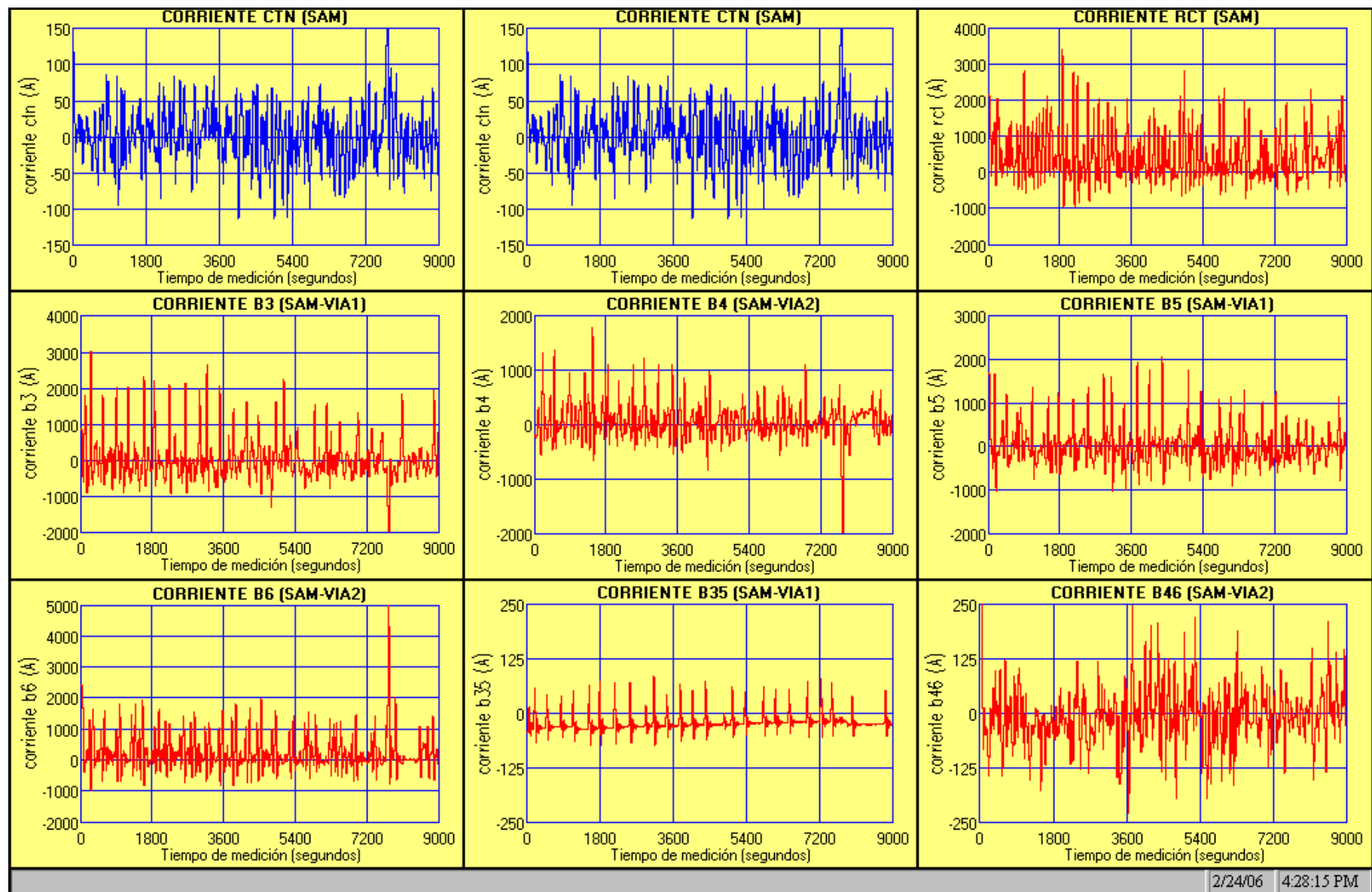
CV 22.13/VR10	=	0.04204 V
CV 22.13/VR21	=	-1.001 V
CV 22.14A/VR20	=	-0.9631 V
CV 22.14A/VR9	=	0.1213 V
CV 18.21A/VR14	=	1.47 V
CV 18.21A/VR2	=	-1.499 V
CV 20.09/VR15	=	-1.835 V
CV 20.09/VR4	=	0.04143 V
CV 20.10/VR14	=	-1.804 V
CV 20.10/VR3	=	0.1509 V
CV 18.11B/VR1	=	0.05884 V
CV 18.11B/VR11	=	-1.674 V
CV 18.21B/VR1	=	-1.679 V
CV 18.21B/VR13	=	0.004988 V
CV 20.20 B/VR21	=	0.05464 V
CV 20.20 B/VR9	=	4.276 V
CV 18.11A/VR13	=	-1.691 V
CV 18.11A/VR2	=	0.02604 V
CV 18.20A/VR16	=	8.454 V
CV 18.20A/VR4	=	-3.561 V
CV 18.20B/VR15	=	4.962 V
CV 18.20B/VR3	=	-3.568 V
CV 20.20 A/VR10	=	4.27 V
CV 20.20 A/VR22	=	-4.125 V
CV 20.20C/VR20	=	4.302 V
CV 20.20C/VR8	=	4.284 V
CV 20.21/VR19	=	8.563 V
CV 20.21/VR7	=	-1.683 V
CV 22.14B/VR19	=	-0.8536 V
CV 22.14B/VR8	=	0.1216 V
CV 22.14C/VR18	=	-0.7448 V
CV 22.14C/VR7	=	0.1213 V
Estación Yaguara CV 22.12/VR11	=	0.05205 V
Estación Yaguara CV 22.12/VR22	=	-0.8209 V
Estación Yaguara CV 22.22 A/VR11	=	0.8156 V
Estación Yaguara CV 22.22 A/VR22	=	-1.774 V
Estación carapita CV 20.12A/VR17	=	-0.6371 V
Estación carapita CV 20.12A/VR6	=	0.02612 V

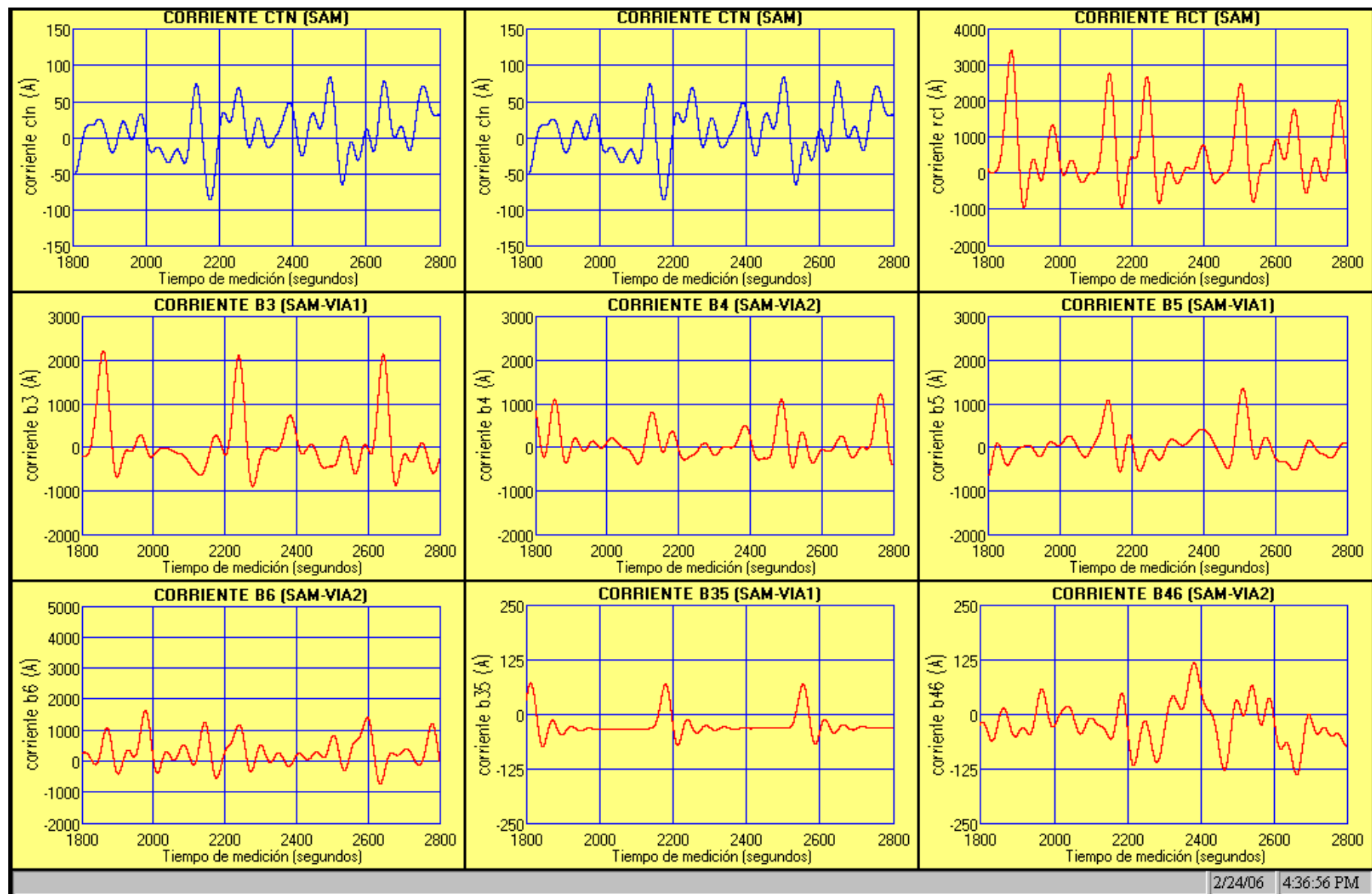
Estación carapita CV 20.12B/VR16	=	-1.142 V
Estación carapita CV 20.12B/VR5	=	0.026 V
Estación carapita CV 20.22A/VR18	=	6.881 V
Estación carapita CV 20.22A/VR6	=	-0.9598 V
Estación carapita CV 20.22B/VR17	=	7.084 V
Estación carapita CV 20.22B/VR5	=	-0.959 V
Estación Yaguara CV 22.22 B/VR11	=	0.9412 V
Estación Yaguara CV 22.22 B/VR23	=	-2.355 V
VR3r1 VIA1	=	0.1916 V
VR3r1 VIA2	=	6.011 V
VR3r2 VIA1	=	0.1433 V
VR3r2 VIA2	=	6.346 V
CV 22.13/CR10	=	19.74 A
CV 22.13/CR21	=	-0.05135 A
CV 22.13/CRCT8	=	-0.1676 A
CV 22.14A/CR20	=	-0.01711 A
CV 22.14A/CR9	=	19.72 A
CV 22.14A/CRCT7	=	-0.1847 A
CR3r1 VIA1	=	-19.32 A
CR3r1 VIA2	=	721.6 A
CR3r2 VIA1	=	19.32 A
CR3r2 VIA2	=	704.4 A
CRC1	=	702.3 A
CRC2	=	723.7 A
CRN/CCTN	=	0.8742 A
CRN/CRC3	=	-701.5 A
CTRENVIA1	=	0 A
CTRENVIA2	=	1426 A
CV 18.21A/CR14	=	0.07719 A
CV 18.21A/CR2	=	-720.7 A
CV 18.21A/CRCT2	=	1.55 A
CV 20.09/CR15	=	-0.09425 A
CV 20.09/CR4	=	19.45 A
CV 20.09/CRCT4	=	-0.4538 A
CV 20.10/CR14	=	-0.02539 A
CV 20.10/CR3	=	19.43 A
CV 20.10/CRCT3	=	-0.4792 A
CV 18.11B/CR1	=	19.23 A
CV 18.11B/CR12	=	-0.0597 A
CV 18.11B/CRCT1	=	-0.676 A
CV 18.21B/CR1	=	-720.7 A
CV 18.21B/CR13	=	0.0002342 A
CV 18.21B/CRCT1	=	1.55 A
CV 20.20 B/CR21	=	0.9819 A
CV 20.20 B/CR9	=	703.3 A

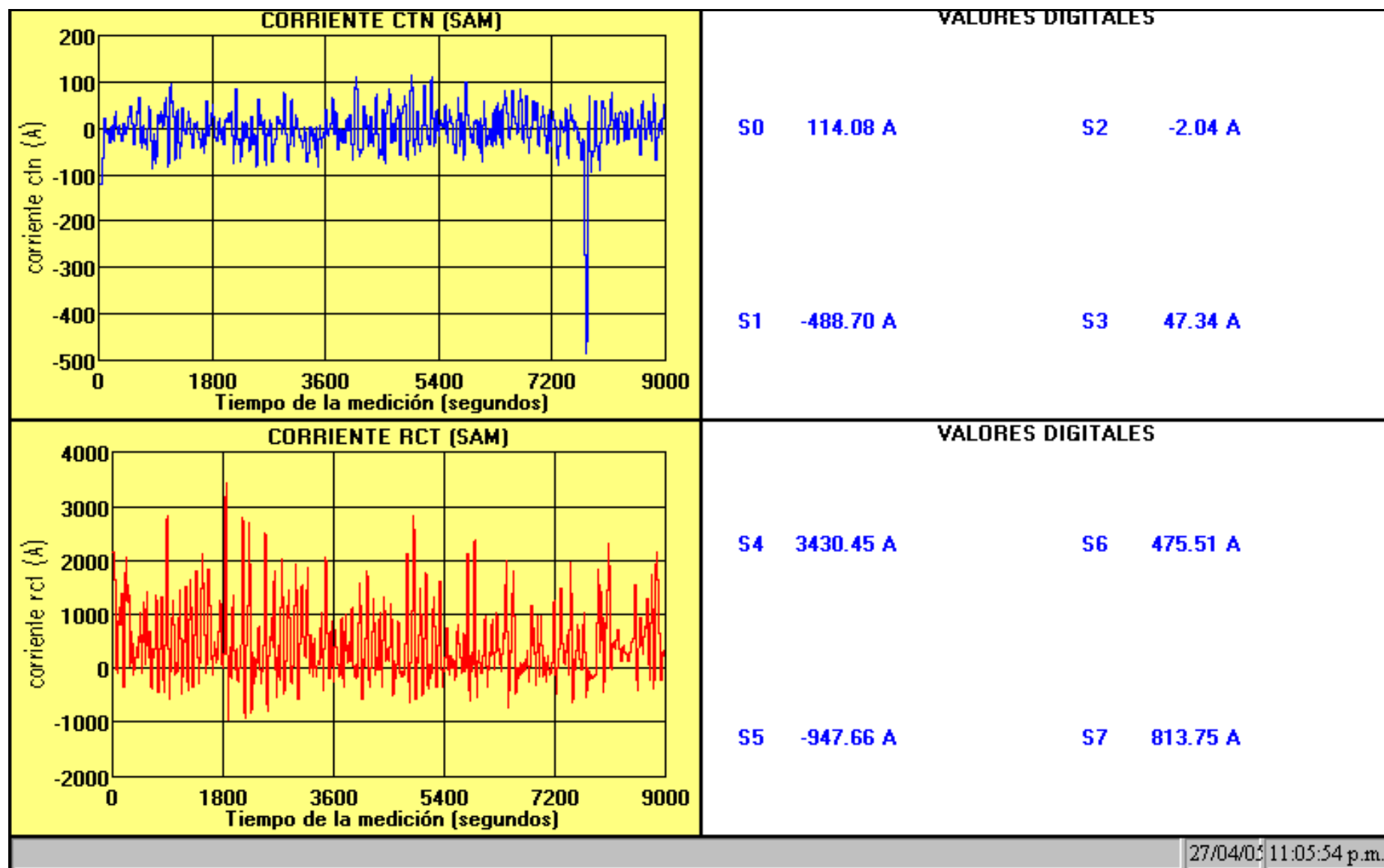
CV 20.20 B/CRCT8	=	-0.4482 A
CV 18.11A/CR13	=	-0.1372 A
CV 18.11A/CR2	=	19.29 A
CV 18.11A/CRCT2	=	-0.6163 A
CV 18.20A/CR16	=	0.1989 A
CV 18.20A/CR4	=	-720.9 A
CV 18.20A/CRCT4	=	1.363 A
CV 18.20B/CR15	=	0.1095 A
CV 18.20B/CR3	=	-720.8 A
CV 18.20B/CRCT3	=	1.473 A
CV 20.20 A/CR10	=	702.3 A
CV 20.20 A/CR22	=	-0.07415 A
CV 20.20 A/CRCT7	=	-1.43 A
CV 20.20C/CR20	=	0.07719 A
CV 20.20C/CR8	=	703.4 A
CV 20.20C/CRCT6	=	-0.371 A
CV 20.21/CR19	=	0.402 A
CV 20.21/CR7	=	-722.2 A
CV 20.21/CRCT5	=	0.03096 A
CV 22.14B/CR19	=	-0.01513 A
CV 22.14B/CR8	=	19.71 A
CV 22.14B/CRCT6	=	-0.1999 A
CV 22.14C/CR18	=	-0.01322 A
CV 22.14C/CR7	=	19.69 A
CV 22.14C/CRCT5	=	-0.2131 A
Estación Yaguara CV 22.12/CR11	=	19.79 A
Estación Yaguara CV 22.12/CR22	=	-0.1163 A
Estación Yaguara CV 22.12/CRC4	=	19.91 A
Estación Yaguara CV 22.12/CRMT6	=	-0.1163 A
Estación Yaguara CV 22.22 A/CR11	=	703.1 A
Estación Yaguara CV 22.22 A/CR22	=	-0.6983 A
Estación Yaguara CV 22.22 A/CRC4	=	703.8 A
Estación Yaguara CV 22.22 A/CRMT5	=	-0.6983 A
Estación carapita CV 20.12A/CR17	=	-0.05244 A
Estación carapita CV 20.12A/CR6	=	19.64 A
Estación carapita CV 20.12A/CRMT3	=	-0.2655 A
Estación carapita CV 20.12B/CR16	=	-0.094 A
Estación carapita CV 20.12B/CR5	=	19.55 A
Estación carapita CV 20.12B/CRMT2	=	-0.3595 A
Estación carapita CV 20.22A/CR18	=	0.5505 A
Estación carapita CV 20.22A/CR6	=	-721.7 A
Estación carapita CV 20.22A/CRCT4	=	0.5814 A
Estación carapita CV 20.22B/CR17	=	0.583 A
Estación carapita CV 20.22B/CR5	=	-721.1 A
Estación carapita CV 20.22B/CRMT2	=	1.164 A

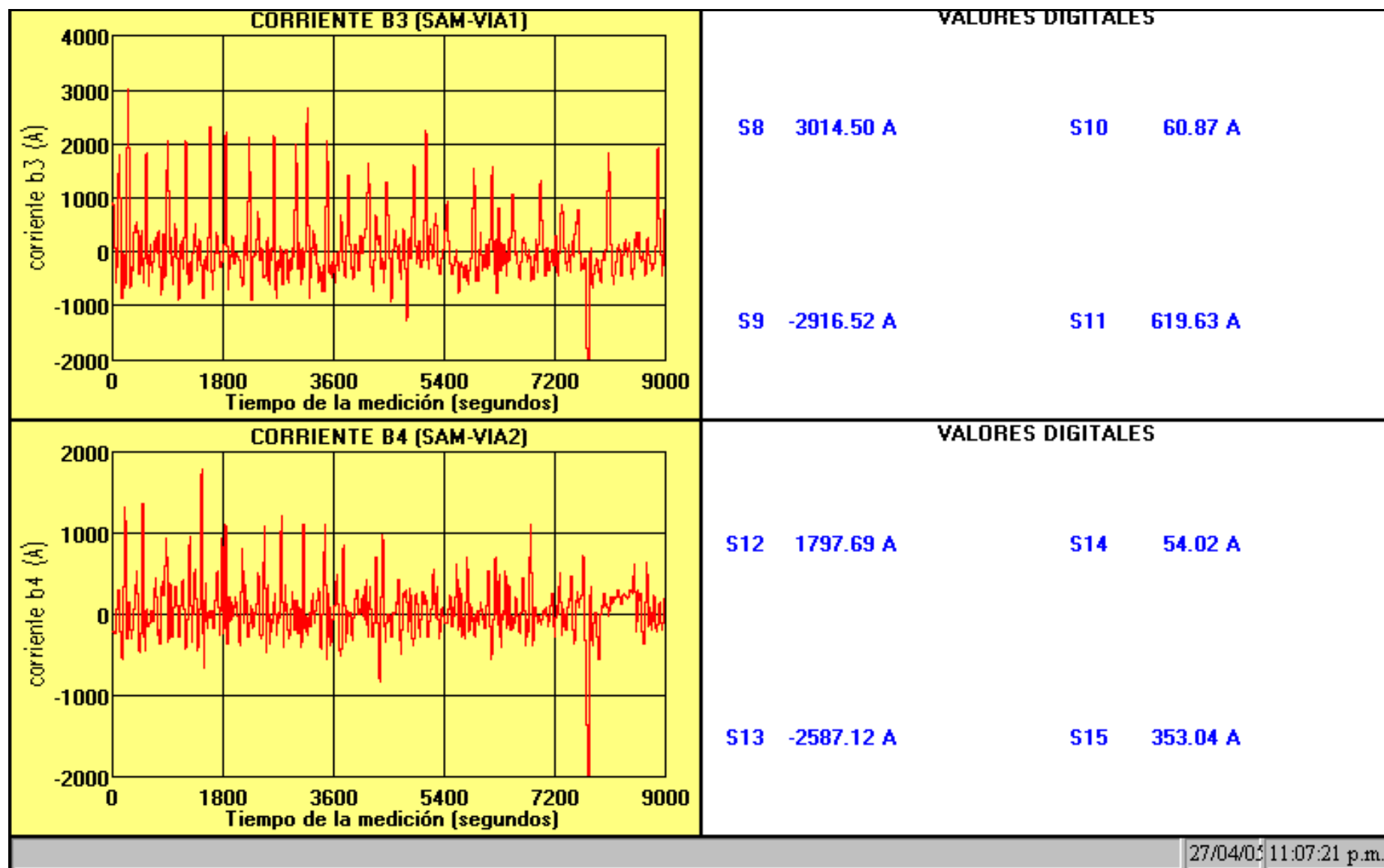
Estación Yaguara CV 22.22 B/CR11	=	702.4 A
Estación Yaguara CV 22.22 B/CR23	=	-0.6577 A
Estación Yaguara CV 22.22 B/CRMT4	=	-1.356 A
SAM	=	800 V
SYG	=	800 V
carga	=	0 A
carga l	=	1426 A

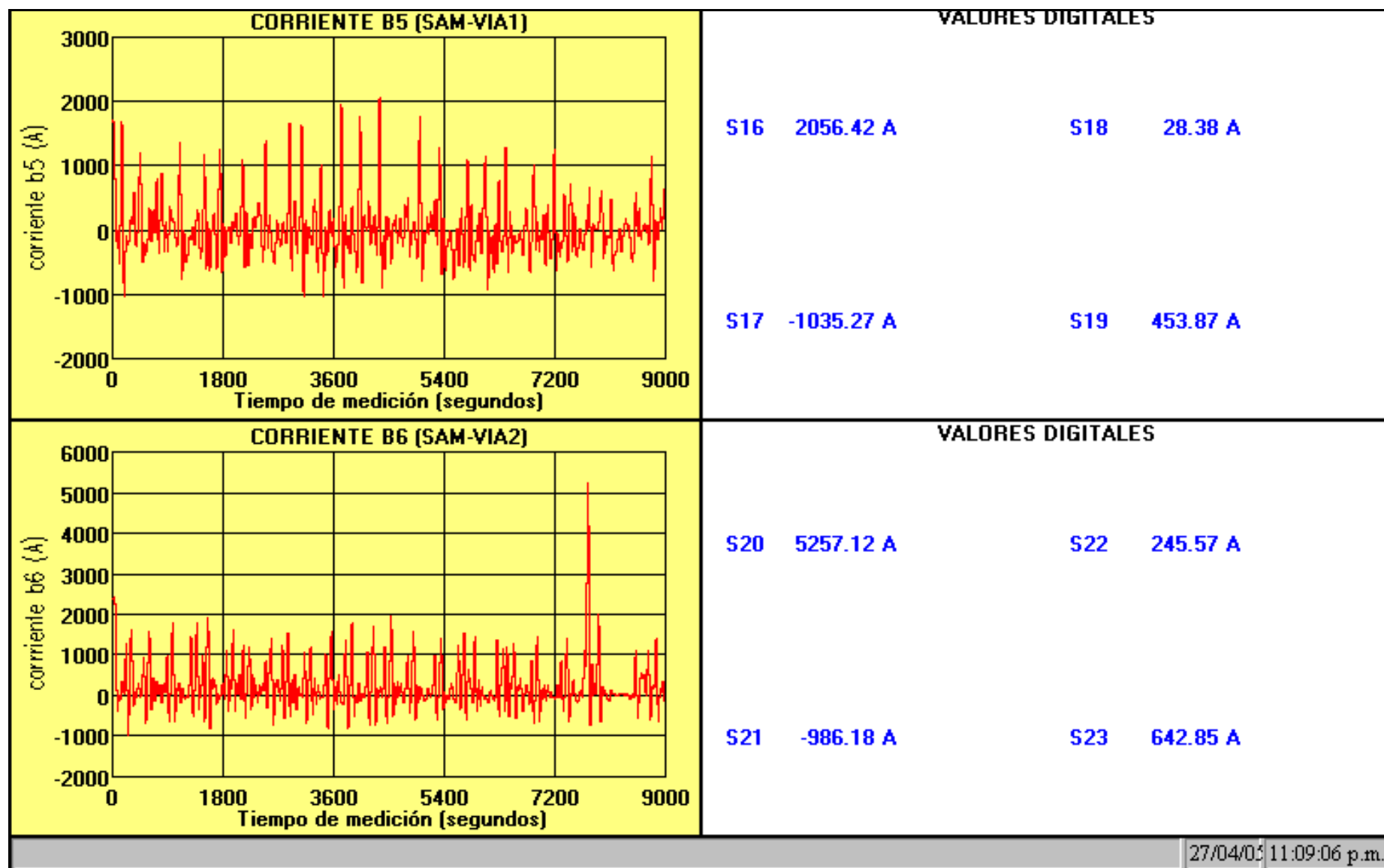
Anexo 4.22 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción Antímano (SAM).

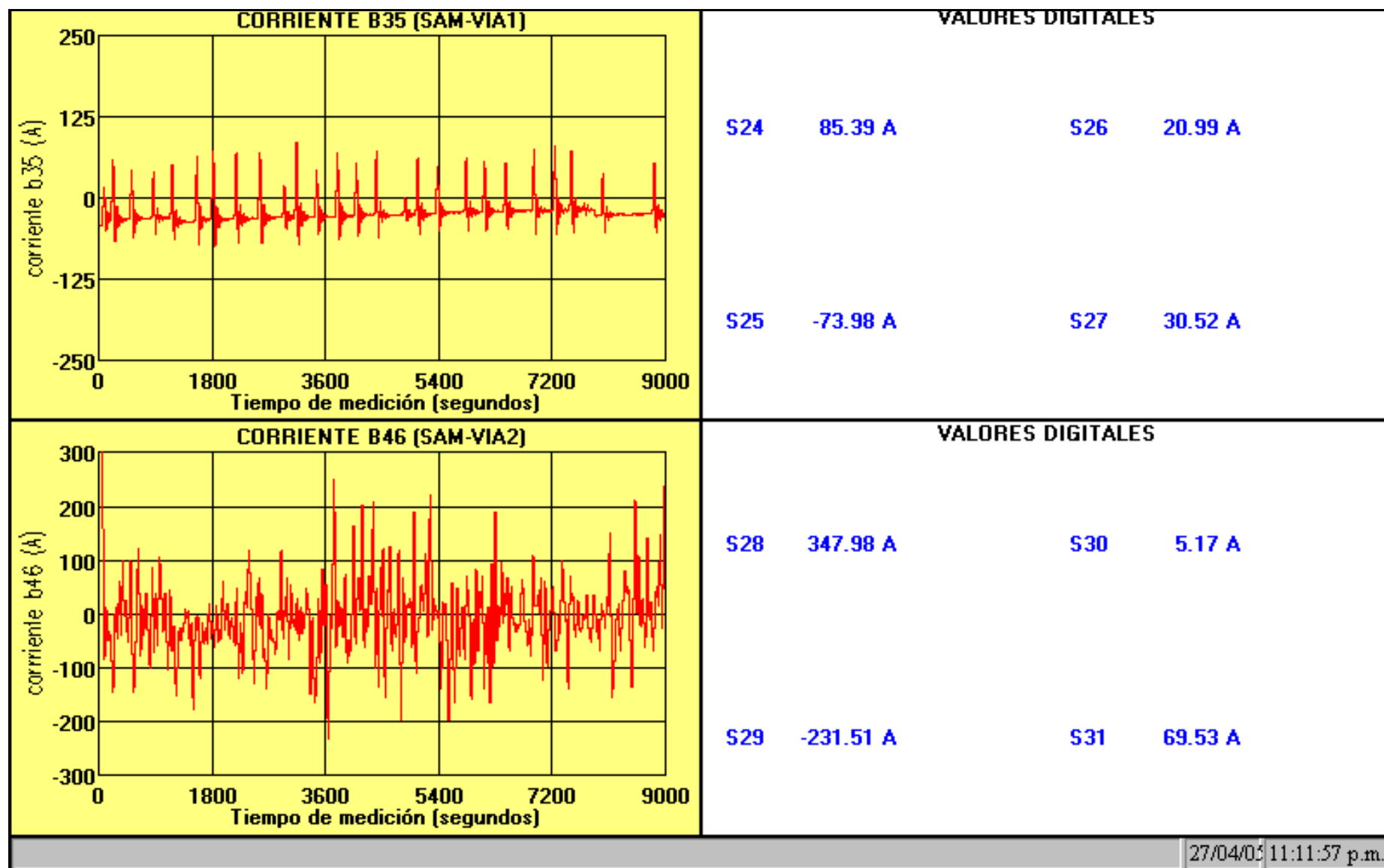












Anexo 4.23 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Y (SYE) y la S/E de tracción Mamera (SMM) respecto a la vía 1 y la vía 2.

Nombres de los distintos elementos que conforman el modelo eléctrico pasivo a simular.

Rreg1= resistencia eléctrica de regulación 1.

Rreg2= resistencia eléctrica de regulación 2.

RC1 = RC2 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que desde el rectificador de potencia a la CRN.

RC3 = RC4 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que van desde la CRN hasta los Rieles de Rodamiento.

RC5 = RC6 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde la CRN hasta el shunt del CTN.

RC7 = RC8 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde el shunt del CTN hasta la malla de tierra.

RCTN = Resistencia del shunt del CTN.

CTN = Contactor de Puesta a Tierra del Negativo.

CRN = Caja de Retorno Negativo.

R3r1 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R3r2 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R1...R8= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

R9...R19 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

RCT1...RCT8= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 1**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

R1...R11 = Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobra.

R12...R22 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

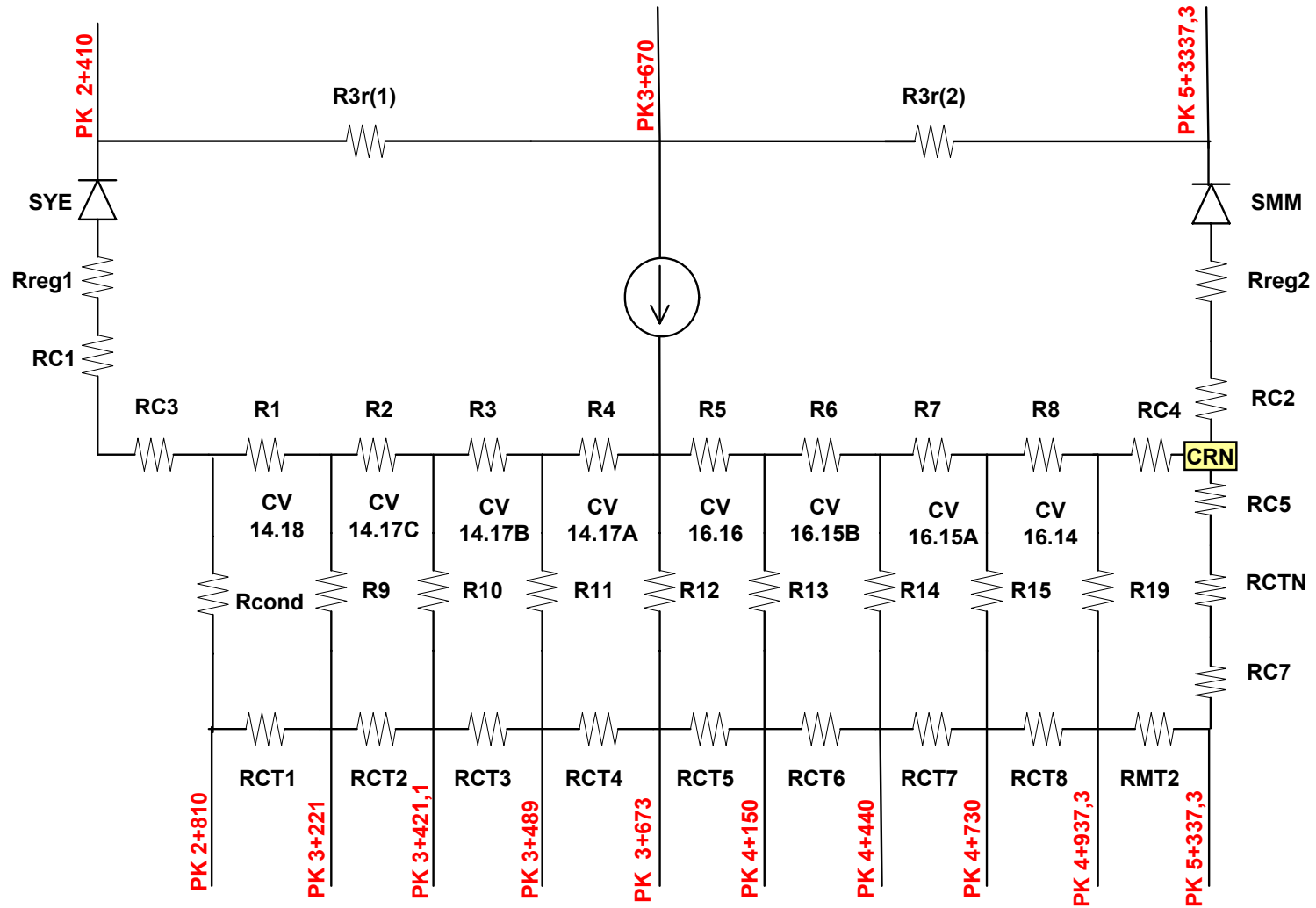
RCT1...RCT11= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 2**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

RMT1 ...RMT2 = Resistencia de la malla de tierra ubicada en las Sub-Estaciones de Tracción y Estaciones de Pasajeros.

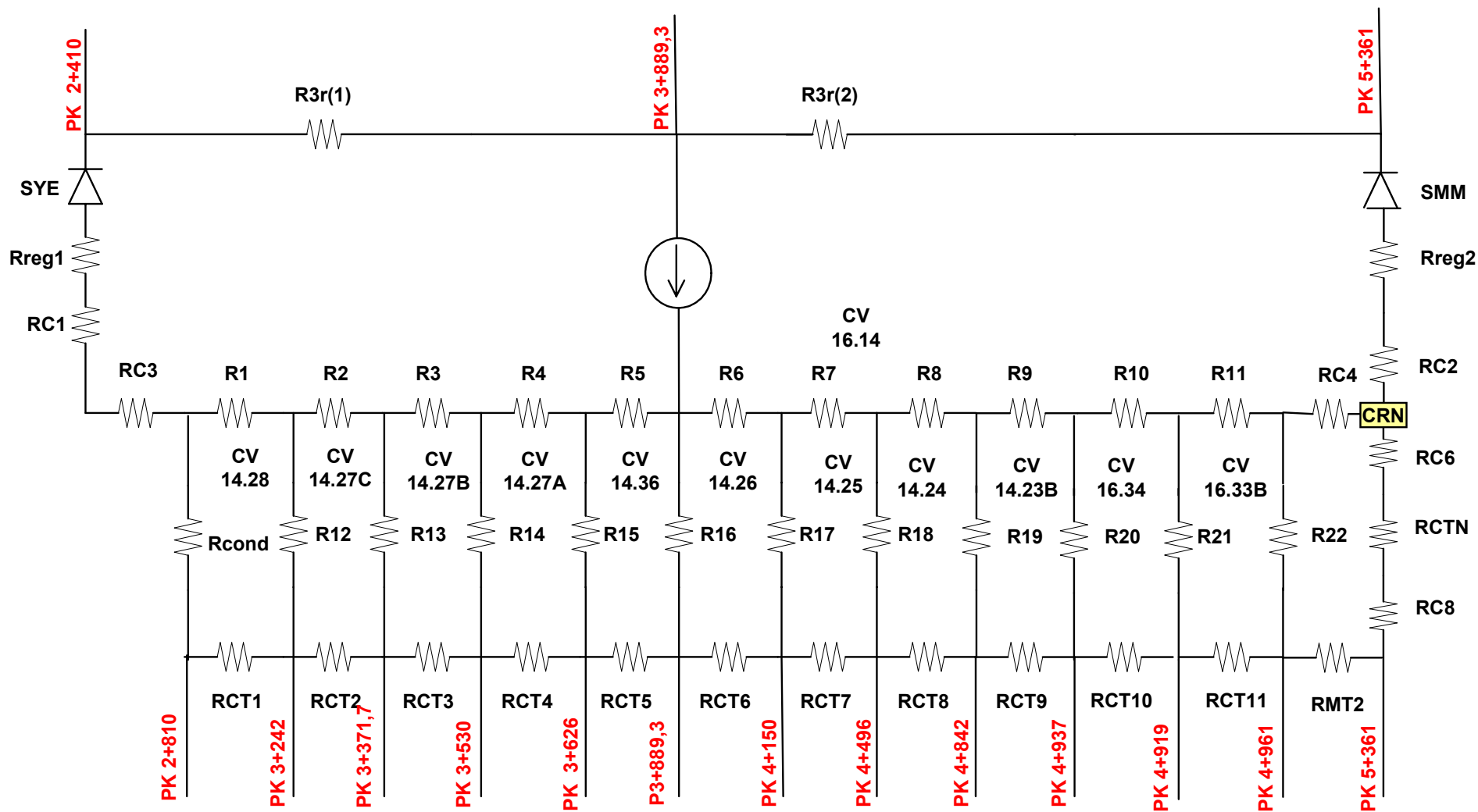
PK = Progresión Kilométrica.

CV = Circuito de vía.

ZM = Zona de Maniobra.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN Y (SYE) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN MAMERA (SMM) RESPECTO A LA VÍA 1.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN Y (SYE) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN MAMERA (SMM) RESPECTO A LA VÍA 2.

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Y (SYE) y la sub-estación de tracción Mamera (SMM) correspondiente a la vía 1.

R3r(1)	8,56 mΩ	R1	6,74 mΩ	R9	18,08 Ω	RCT1	70,03 mΩ
R3r (2)	11,33 mΩ	R2	3,28 mΩ	R10	8,80 Ω	RCT2	34,09 mΩ
RC1	0,26 mΩ	R3	2,36 mΩ	R11	6,33 Ω	RCT3	24,53 mΩ
RC2	0,26 mΩ	R4	3,02 mΩ	R12	8,11 Ω	RCT4	31,42 mΩ
RC3	1,06 mΩ	R5	7,82 mΩ	R13	20,97 Ω	RCT5	81,21 mΩ
RC4	1,06 mΩ	R6	4,76 mΩ	R14	12,76 Ω	RCT6	49,41 mΩ
RC6	0,36 mΩ	R7	4,76 mΩ	R15	12,76 Ω	RCT7	49,41 mΩ
RC8	0,36 mΩ	R8	3,40 mΩ	R16	9,12 Ω	RCT8	35,32 mΩ
RMT1	2,0 Ω						
RCTN	0,05 mΩ						

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Y (SYE) y la sub-estación de tracción Mamera (SMM) correspondiente a la vía 2.

R3r(1)	10,05 mΩ	R1	7,08 mΩ	R12	19,00 Ω	RCT1	73,61 mΩ
R3r (2)	10,00 mΩ	R2	2,13 mΩ	R13	5,70 Ω	RCT2	22,10 mΩ
RC1	0,26 mΩ	R3	2,60 mΩ	R14	6,96 Ω	RCT3	26,97 mΩ
RC2	0,26 mΩ	R4	0,75 mΩ	R15	2,02 Ω	RCT4	7,84 mΩ
RC3	1,06 mΩ	R5	4,32 mΩ	R16	11,58 Ω	RCT5	44,86 mΩ
RC4	1,06 mΩ	R6	4,28 mΩ	R17	11,47 Ω	RCT6	44,42 mΩ
RC5	0,36 mΩ	R7	5,67 mΩ	R18	15,22 Ω	RCT7	58,95 mΩ
RC6	0,36 mΩ	R8	5,57 mΩ	R19	15,22 Ω	RCT8	58,95 mΩ
RC8	0,14 mΩ	R9	1,39 mΩ	R20	4,18 Ω	RCT9	16,18 mΩ
RMT1	2,0 mΩ	R10	3,80 mΩ	R21	10,18 Ω	RCT10	39,44 mΩ
RCTN	0,05 mΩ	R11	0,69 mΩ	R22	1,84 Ω	RCT11	7,15mΩ

Anexo 4.24 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Y (SYE) y la S/E de tracción Mamera (SMM).

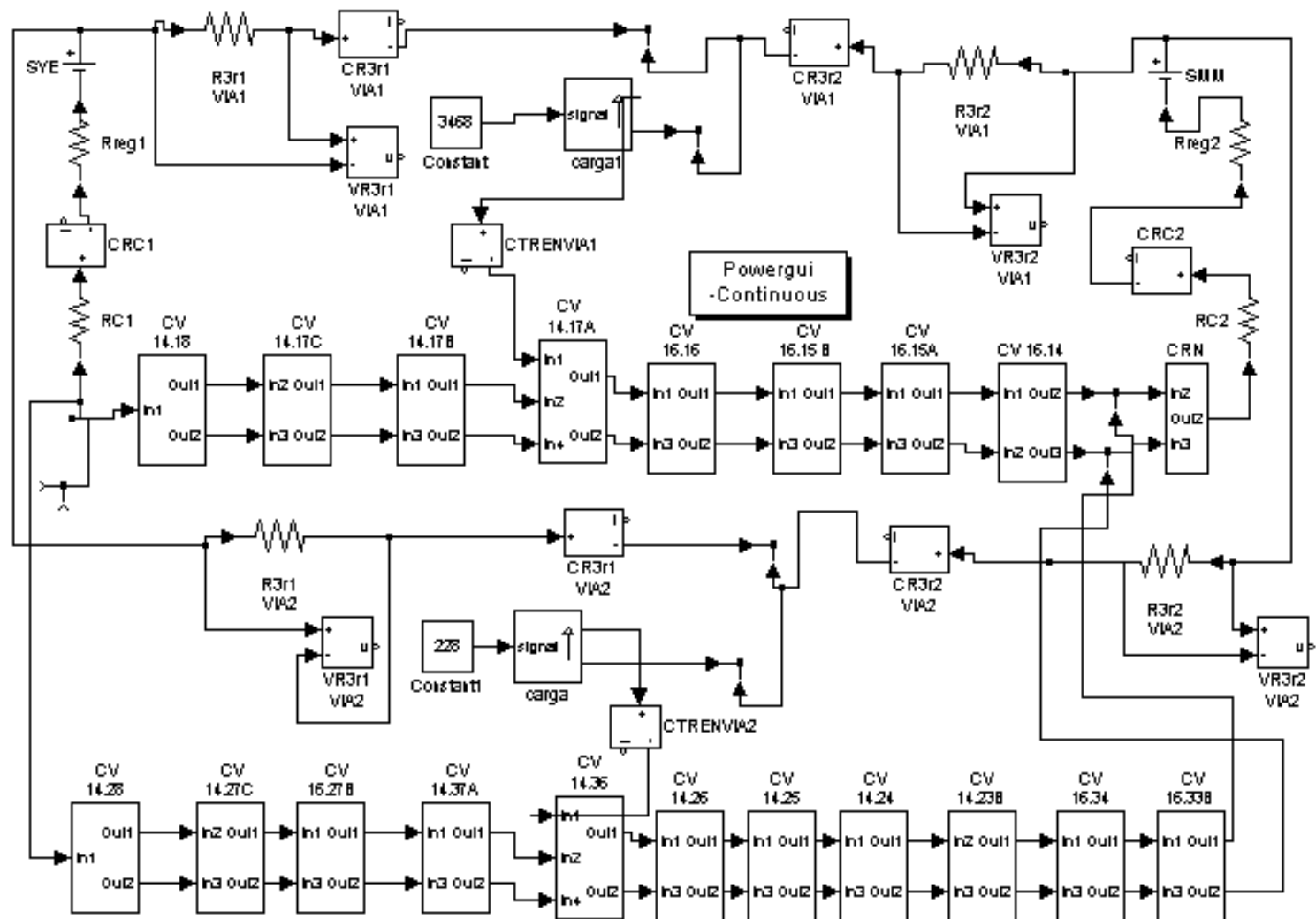
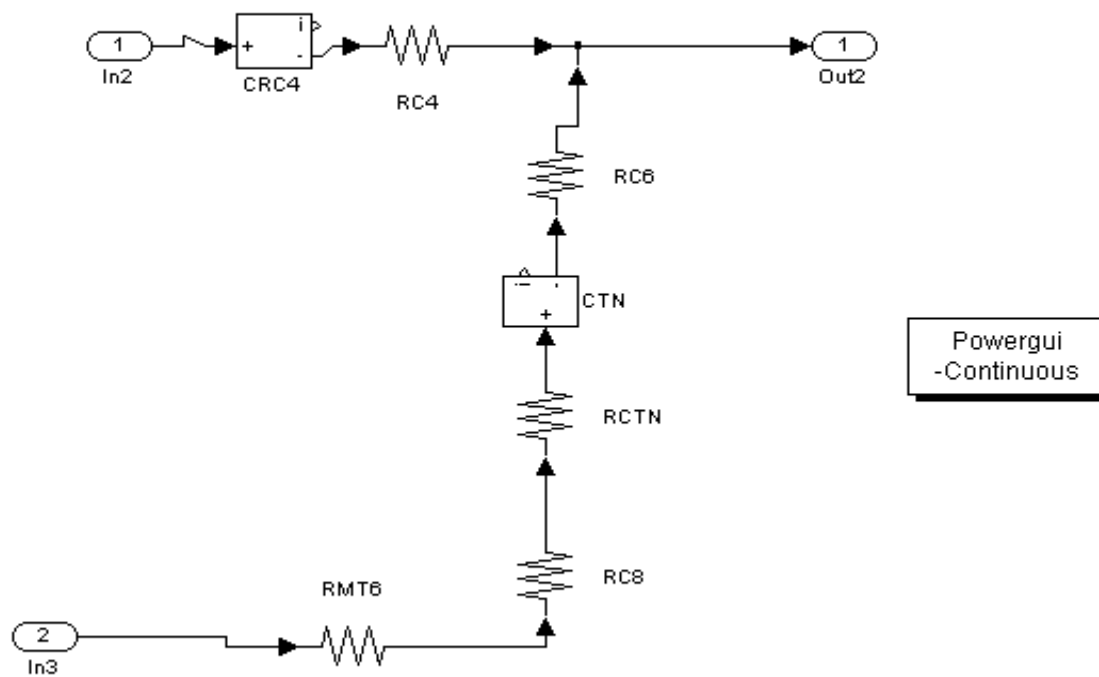
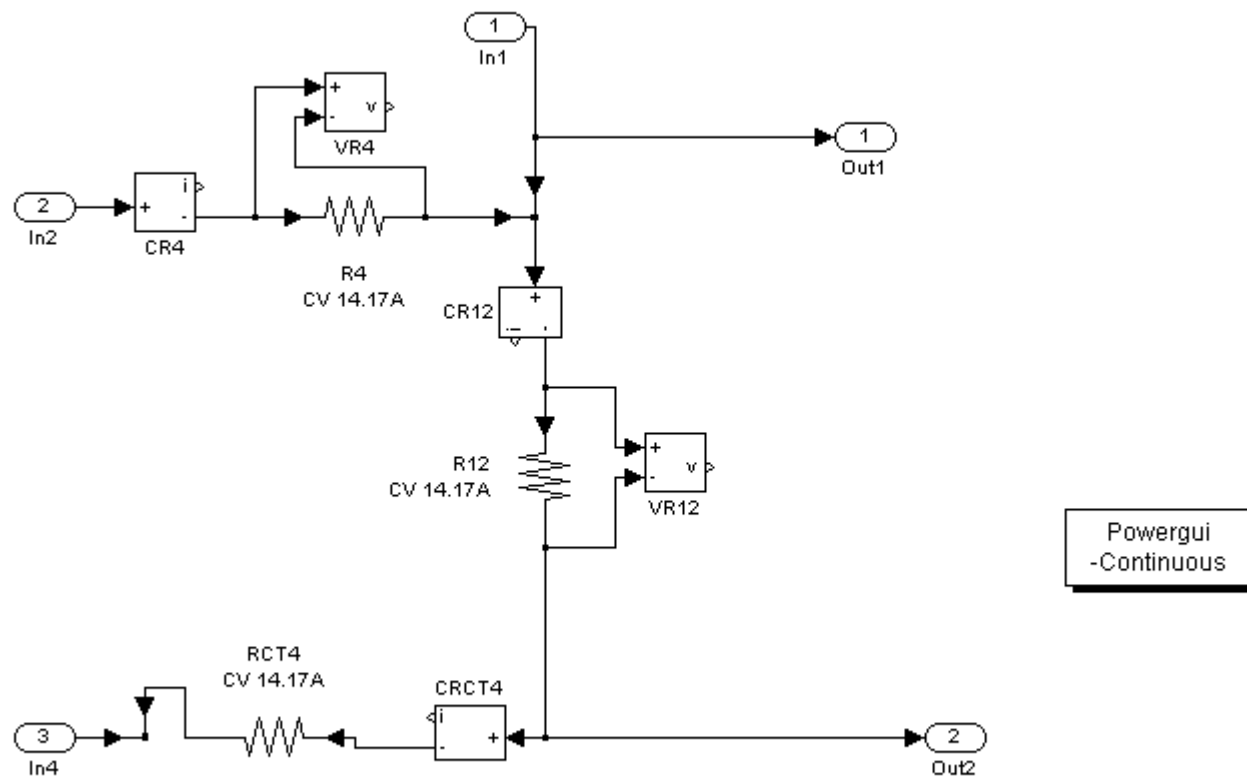


DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR EN MATLAB DE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN Y (SYE) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN MAMERA (SMM) RESPECTO A LA VIA 1 Y LA VIA 2.



Elementos que conforman la caja que representa a el Contactor de Puesta a Tierra del Negativo (CTN) en el modelo eléctrico a simular.



Elementos que conforman las cajas que representa a los circuitos de vías y de zonas de maniobras en el modelo eléctrico a simular.

SimPowerSystems Report.
generated by powergui,
10-Aug-2005 15:41:02

Esta simulación corresponde para **B3 = -1030 A** y **B4 = 0 A** el resto de las simulaciones están en el C. D. Digital de la tesis.

CV 14.17B/VR11	=	-6.645 V
CV 14.17B/VR3	=	1.365 V
CV 14.17C/VR12	=	-5.261 V
CV 14.17C/VR2	=	1.895 V
CV 16.27B/VR14	=	0.1102 V
CV 16.27B/VR3	=	0.01126 V
CV 14.27C/VR13	=	0.1208 V
CV 14.27C/VR2	=	0.009272 V
CV 14.37A/VR15	=	0.1074 V
CV 14.37A/VR4	=	0.003237 V
CV 16.15 B/VR14	=	-3.159 V
CV 16.15 B/VR6	=	-2.149 V
CV 16.15A/VR15	=	-1.178 V
CV 16.15A/VR7	=	-2.148 V
CV 16.33B/VR11	=	0.0008368 V
CV 16.33B/VR22	=	0.2342 V
CV 14.24/VR19	=	0.04547 V
CV 14.24/VR8	=	0.02364 V
CV 14.18/VR1	=	-3.892 V
CV 14.18/VR9	=	-3.36 V
CV 14.28/VR1	=	-0.03087 V
CV 14.28/VR12	=	0.1299 V
CV 14.23B/VR20	=	0.09394 V
CV 14.23B/VR9	=	0.001746 V
CV 14.25/VR18	=	0.06227 V
CV 14.25/VR7	=	0.02409 V
CV 14.36/VR16	=	0.09329 V
CV 14.36/VR5	=	0.01842 V
CV 16.16/VR13	=	-5.153 V
CV 16.16/VR5	=	-3.532 V
CV 16.34/VR10	=	0.004688 V
CV 16.34/VR21	=	0.2126 V
CV 14.17A/VR12	=	-8.452 V
CV 14.17A/VR4	=	1.749 V
CV 14.26/VR17	=	0.07975 V
CV 14.26/VR6	=	0.01821 V
CV 16.14/VR16	=	0.2342 V
CV 16.14/VR8	=	-1.534 V

VR3r1 VIA1	=	5.006 V
VR3r1 VIA2	=	0.03024 V
VR3r2 VIA1	=	-5.066 V
VR3r2 VIA2	=	-0.03009 V
CV 14.17B/CR11	=	-1.05 A
CV 14.17B/CR3	=	578.2 A
CV 14.17B/CRCT3	=	0.7841 A
CV 14.17C/CR10	=	-0.5979 A
CV 14.17C/CR2	=	577.6 A
CV 14.17C/CRCT2	=	0.1863 A
CV 16.27B/CR14	=	0.01584 A
CV 16.27B/CR3	=	4.332 A
CV 16.27B/CRCT3	=	-0.02802 A
CV 14.27C/CR13	=	0.02119 A
CV 14.27C/CR2	=	4.353 A
CV 14.27C/CRCT2	=	-0.006836 A
CV 14.37A/CR15	=	0.05315 A
CV 14.37A/CR4	=	4.316 A
CV 14.37A/CRCT4	=	-0.04386 A
CV 16.15 B/CR14	=	-0.2476 A
CV 16.15 B/CR6	=	-451.4 A
CV 16.15 B/CRCT6	=	3.122 A
CV 16.15A/CR15	=	-0.07474 A
CV 16.15A/CR7	=	-451.2 A
CV 16.15A/CRCT7	=	3.369 A
CV 16.33B/CR11	=	1.213 A
CV 16.33B/CR22	=	0.1273 A
CV 16.33B/CRCT11	=	-3.147 A
CV 14.24/CR19	=	2.988 A
CV 14.24/CR8	=	4.244 A
CV 14.24/CRCT6	=	-0.1161 A
CV 14.18/CR1	=	577.5 A
CV 14.18/CR9	=	-0.1863 A
CV 14.18/CRCT1	=	-1.12e-009 A
CV 14.28/CR1	=	4.36 A
CV 14.28/CR12	=	0.006836 A
CV 14.28/CRCT1	=	-3.384e-010 A
CV 14.23B/CR20	=	0.02247 A
CV 14.23B/CRCT9	=	-3.104 A
CV 14.23B/CRrr	=	1.256 A
CV 14.25/CR18	=	0.004091 A
CV 14.25/CR7	=	4.248 A
CV 14.25/CRCT7	=	-0.112 A
CV 14.36/CR16	=	0.008056 A
CV 14.36/CR5	=	4.263 A

CV 14.36/CRCT5	=	-0.09701 A
CV 16.16/CR13	=	-0.2458 A
CV 16.16/CR5	=	-451.7 A
CV 16.16/CRCT5	=	2.876 A
CV 16.34/CR10	=	1.234 A
CV 16.34/CR21	=	0.02088 A
CV 16.34/CRCT10	=	-3.126 A
CR3r1 VIA1	=	-584.8 A
CR3r1 VIA2	=	3.009 A
CR3r2 VIA1	=	-447.2 A
CR3r2 VIA2	=	-3.009 A
CRC1	=	-581.8 A
CRC2	=	-450.2 A
CRN/CRC4	=	-450 A
CRN/CTN	=	-0.1441 A
CTRENVIA1	=	-1032 A
CTRENVIA2	=	0 A
CV 14.17A/CR12	=	-1.042 A
CV 14.17A/CR4	=	579.3 A
CV 14.17A/CRCT4	=	1.834 A
CV 14.26/CR17	=	0.006953 A
CV 14.26/CR6	=	4.255 A
CV 14.26/CRCT6	=	-0.1051 A
CV 16.14/CR16	=	-0.02568 A
CV 16.14/CR8	=	-451.1 A
CV 16.14/CRCT8	=	-3.444 A
SMM	=	800 V
SYE		800 V
carga	=	0 A
carga1	=	-1032 A

Anexo 4.25 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Antímano (SAM) respecto a la vía 1 y la vía 2.

Nombres de los distintos elementos que conforman el modelo eléctrico pasivo a simular.

Rreg1= resistencia eléctrica de regulación 1.

Rreg2= resistencia eléctrica de regulación 2.

RC1 = RC2 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que desde el rectificador de potencia a la CRN.

RC3 = RC4 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que van desde la CRN hasta los Rieles de Rodamiento.

RC5 = RC6 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde la CRN hasta el shunt del CTN.

RC7 = RC8 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde el shunt del CTN hasta la malla de tierra.

RCTN = Resistencia del shunt del CTN.

CTN = Contactor de Puesta a Tierra del Negativo.

CRN = Caja de Retorno Negativo.

R3r1 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R3r2 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R1...R10= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

R11...R20 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

RCT1...RCT6= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 1**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

R1...R11= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobra.

R12...R22 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

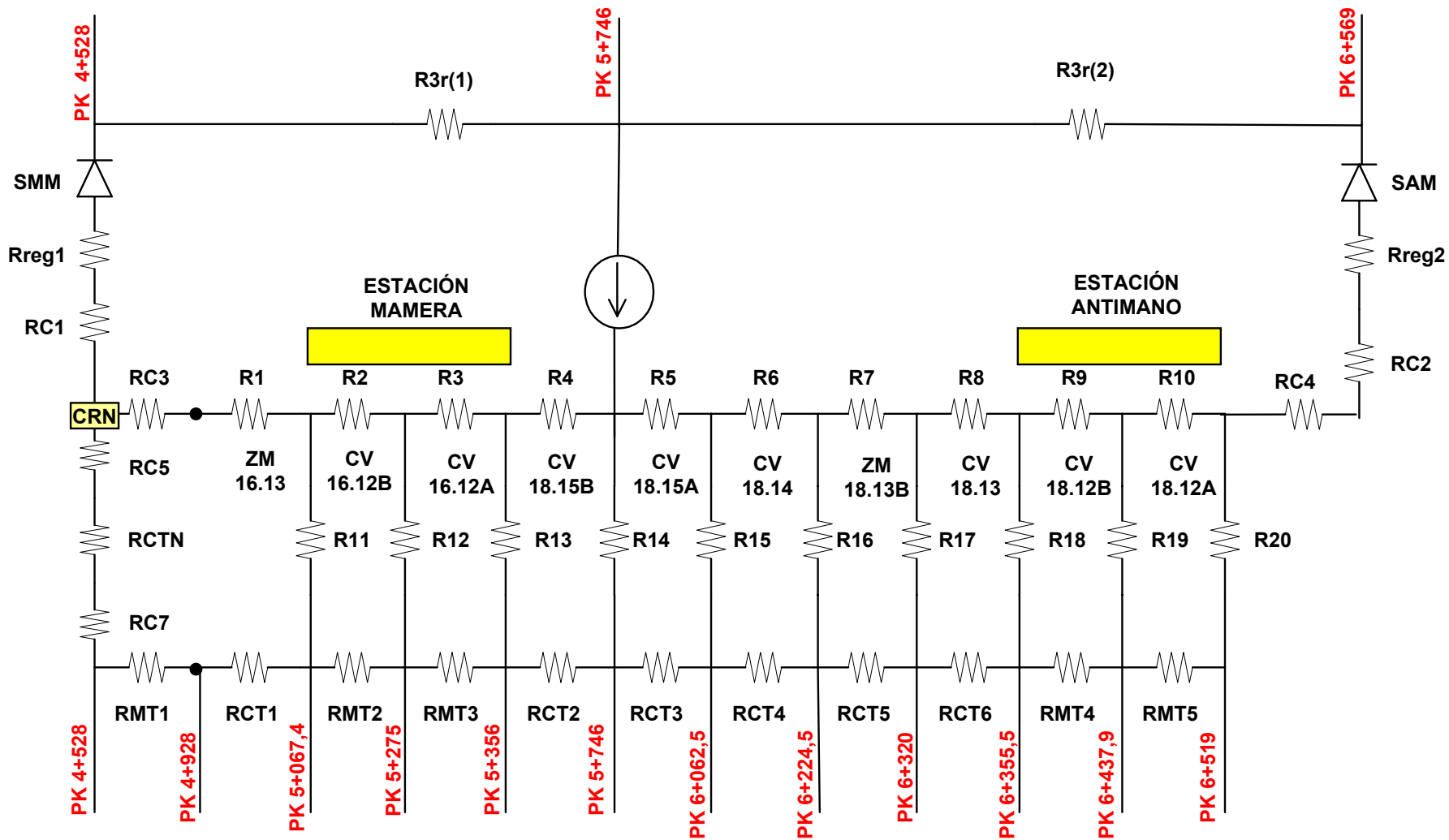
RCT1...RCT7= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 2**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

RMT1 ...RMT5 = Resistencia de la malla de tierra ubicada en las Sub-Estaciones de Tracción y Estaciones de Pasajeros.

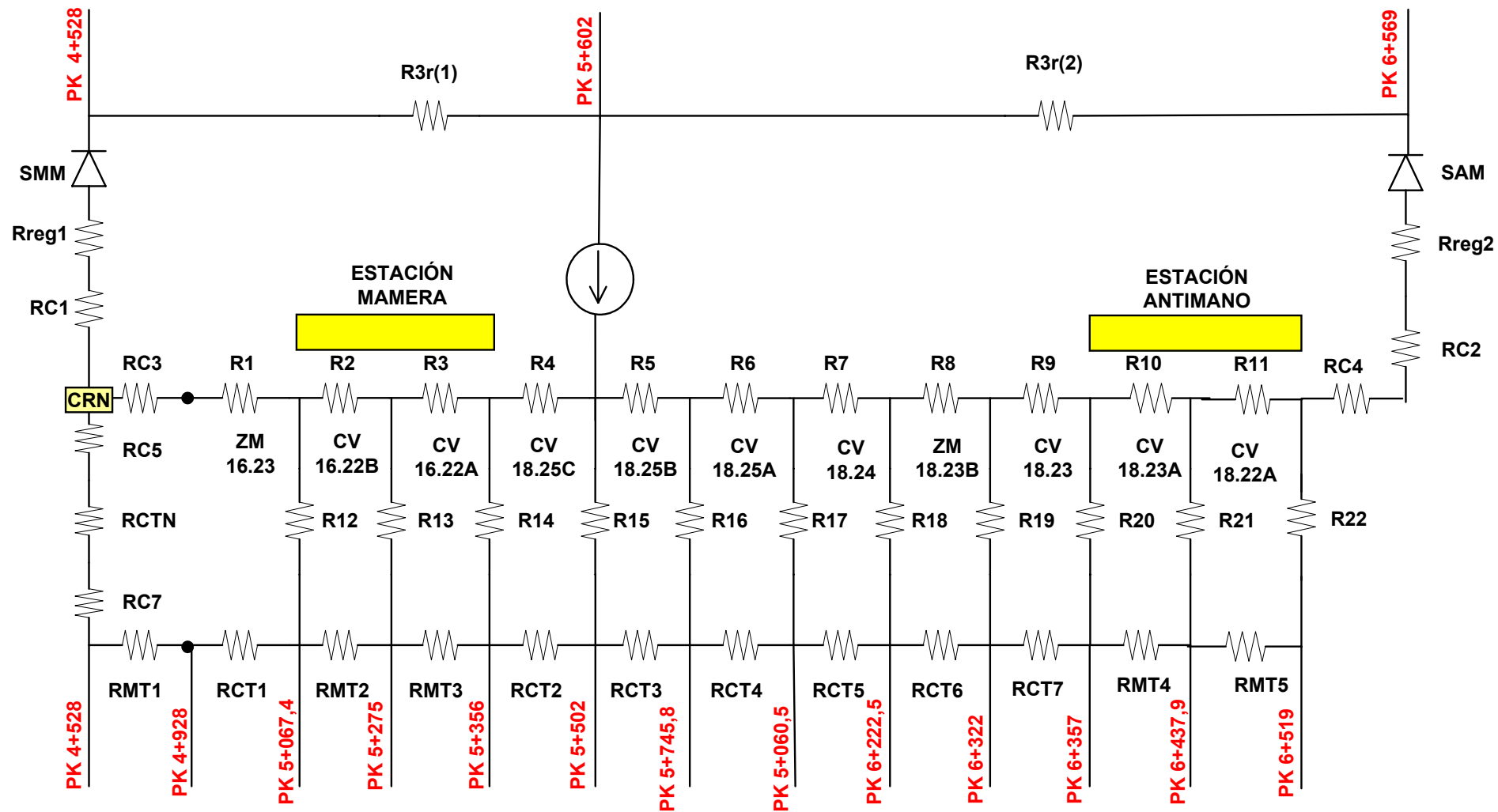
PK = Progresión Kilométrica.

CV = Circuito de vía.

ZM = Zona de Maniobra.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN MAMERA (SMM) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN ANTIMANO (SAM) RESPECTO A LA VÍA 1.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN MAMERA (SMM) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN ANTIMANO (SAM) RESPECTO A LA VÍA 2.

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Mamera (SMM) y la sub-estación de tracción Antímáno (SAM) correspondiente a la vía 1.

R3r(1)	8,28 mΩ	R1	2,29 mΩ	R11	1,15 Ω	RCT1	23,75 mΩ
R3r (2)	5,59 mΩ	R2	3,40 mΩ	R12	9,13Ω	RMT2	2,0 Ω
Rc1	0,26 mΩ	R3	1,33 mΩ	R13	3,56 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc2	0,26 mΩ	R4	6,40 mΩ	R14	17,16 Ω	RCT2	66,45 mΩ
Rc3	1,06 mΩ	R5	5,19 mΩ	R15	13,92 Ω	RCT3	53,93 mΩ
Rc4	0,14 mΩ	R6	2,66 mΩ	R16	24,30 Ω	RCT4	27,60 mΩ
Rc5	0,36 mΩ	R7	1,57 mΩ	R17	0,14 Ω	RCT5	16,27 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	0,58 mΩ	R18	5,32 Ω	RCT6	6,04 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	1,35 mΩ	R19	12,36 Ω	RMT4	2,0 Ω
Rc8	0,14 mΩ	R10	1,33 mΩ	R20	12,16 Ω	RMT5	2,0 Ω
RMT1	2,0 Ω						
RMT6	2,0 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Mamera (SMM) y la sub-estación de tracción Antímáno (SAM) correspondiente a la vía 2.

R3r(1)	8,28 mΩ	R1	2,29 mΩ	R12	0,20 Ω	RCT1	22,86 mΩ
R3r (2)	5,59 mΩ	R2	3,49 mΩ	R13	9,35 Ω	RMT2	2,0 Ω
Rc1	0,26 mΩ	R3	1,33 mΩ	R14	3,56 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc2	0,26 mΩ	R4	2,39 mΩ	R15	6,42 Ω	RCT2	23,94 mΩ
Rc3	1,06 mΩ	R5	4,00 mΩ	R16	10,72 Ω	RCT3	41,54 mΩ
Rc4	0,14 mΩ	R6	5,16 mΩ	R17	13,84 Ω	RCT4	53,62 mΩ
Rc5	0,36 mΩ	R7	2,66 mΩ	R18	24,30 Ω	RCT5	27,60 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	1,63 mΩ	R19	0,14 Ω	RCT6	16,95 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	2,29 mΩ	R20	20,91 Ω	RCT7	23,75 mΩ
Rc8	0,14 mΩ	R10	1,33 mΩ	R21	12,13 Ω	RMT4	2,0 Ω
RMT1	2,0 Ω	R11	1,33mΩ	R22	12,16 Ω	RMT5	2,0 Ω
RMT6	2,0 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Anexo 4.26 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Mamera (SMM) y la S/E de tracción Antímano (SAM).

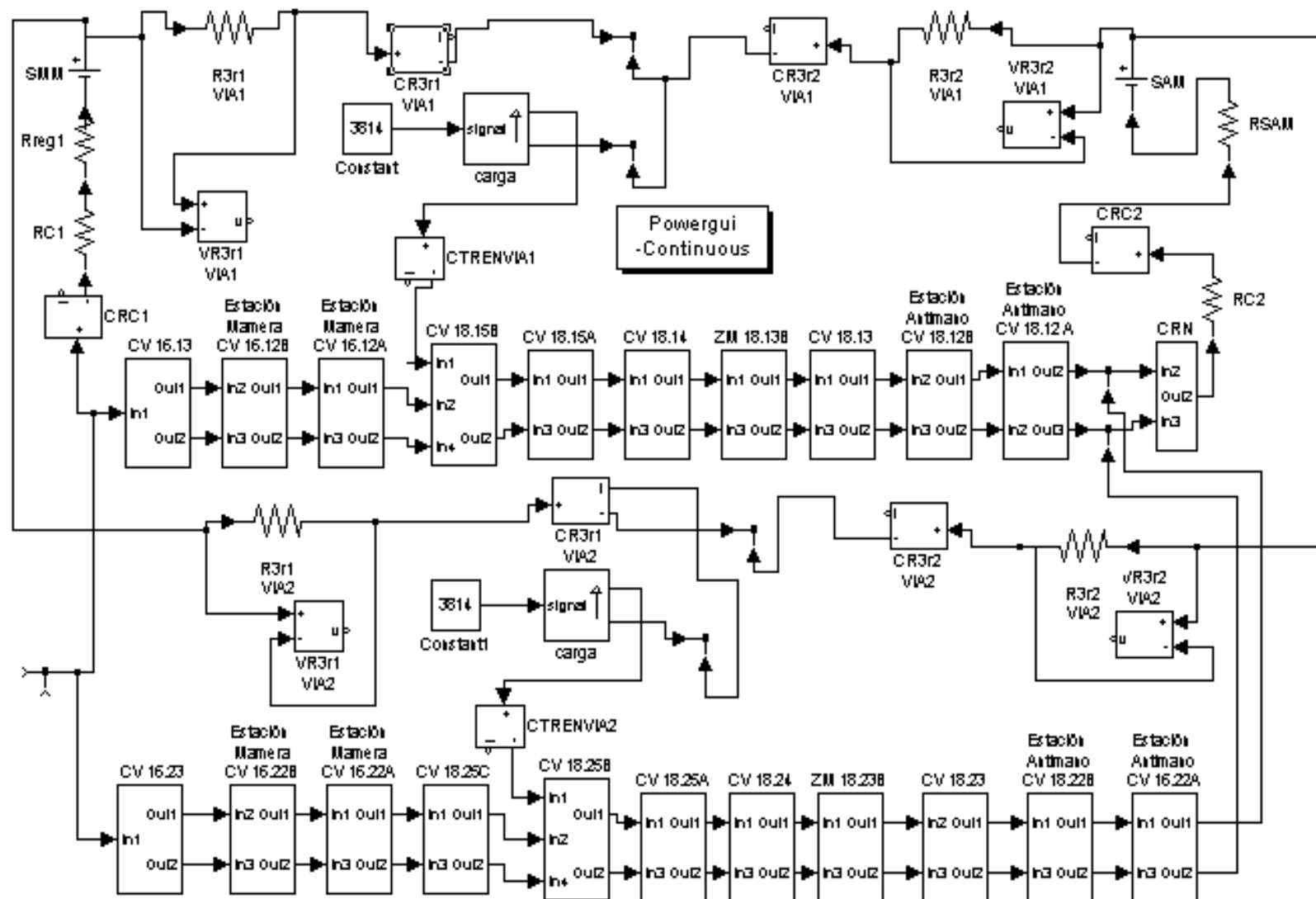
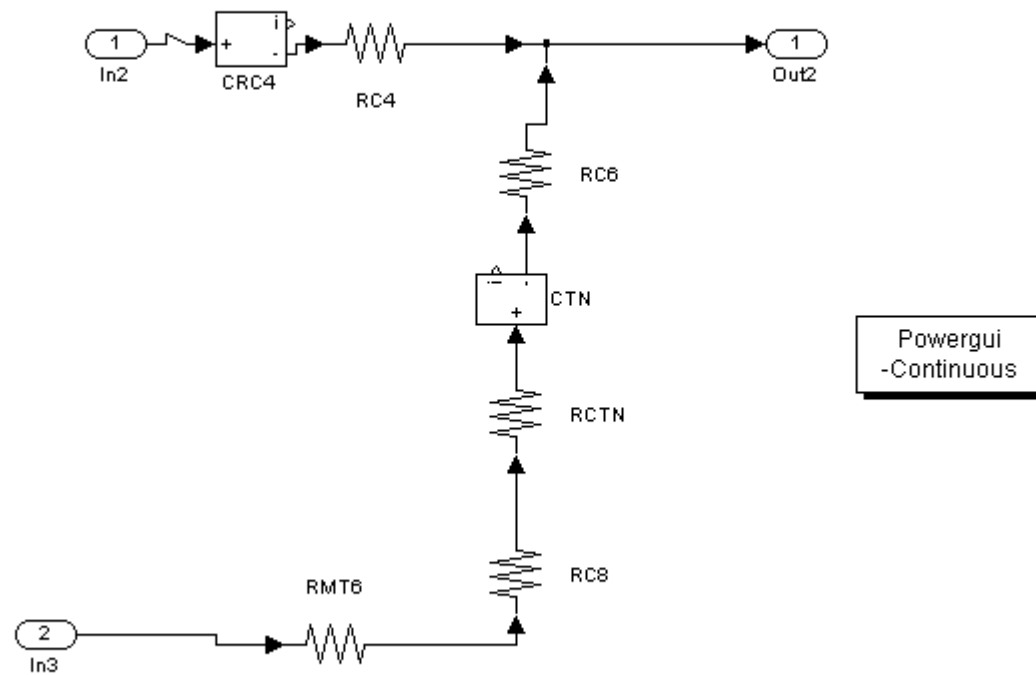
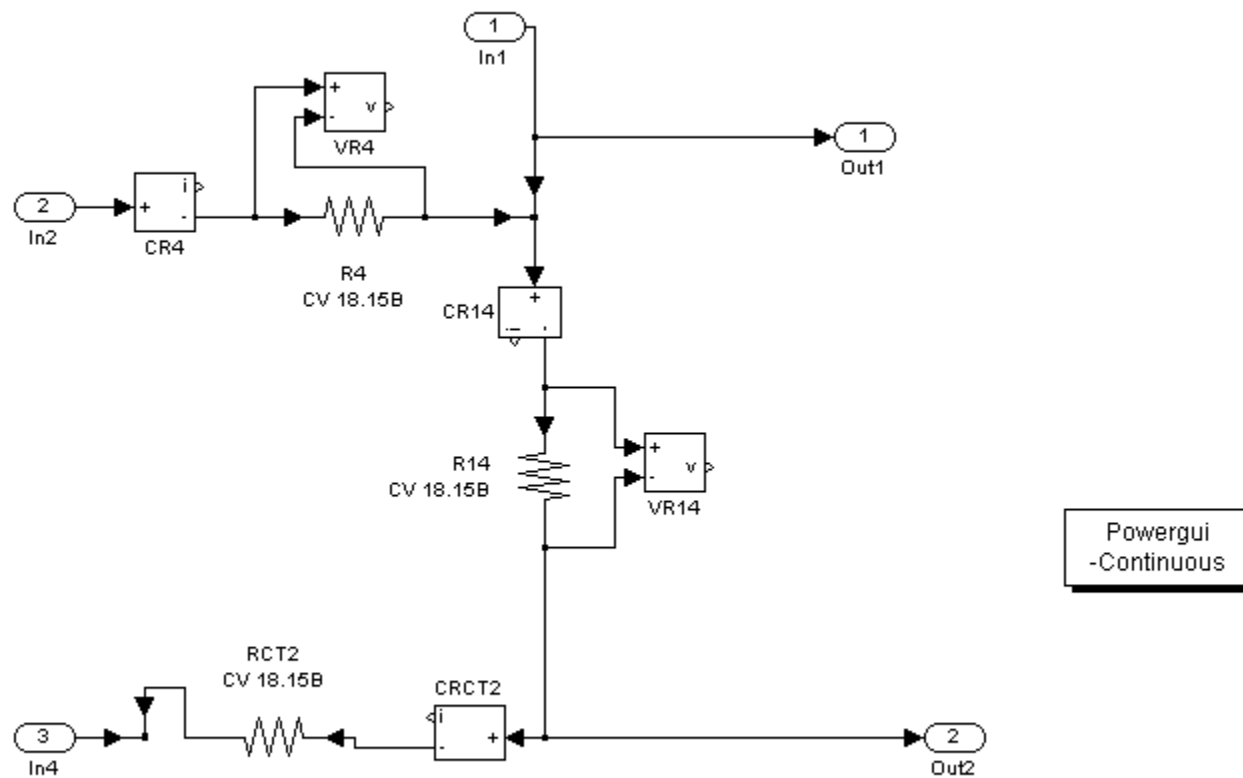


DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODELO ELÉCTRICO ASIMILAR DE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN MAMERA (SMM) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN ANTIMANO (SAM) RESPECTO A LA VIA 1 Y LA VIA 2



Elementos que conforman la caja que representa al Contactor de Puesta a Tierra del Negativo (CTN) en el modelo eléctrico a simular.



Elementos que conforman las cajas que representa a los circuitos de vías y de zonas de maniobras en el modelo eléctrico a simular.

SimPowerSystems Report.
generated by powergui,
10-Aug-2005 15:50:24

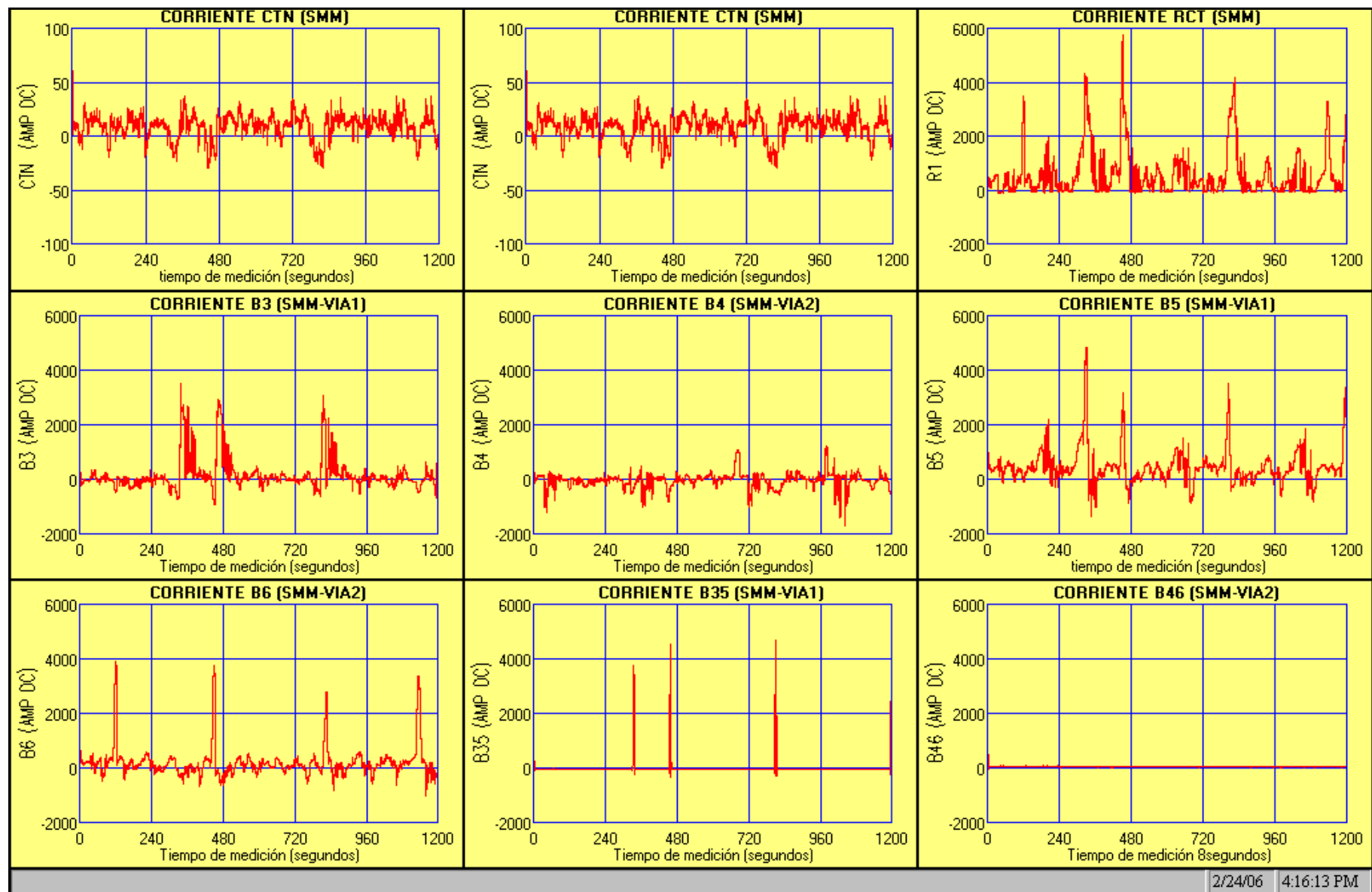
Esta simulación corresponde para **B3 = 0A** y **B4 = 8599A** el resto de las simulaciones están en el C. D. Digital de la tesis.

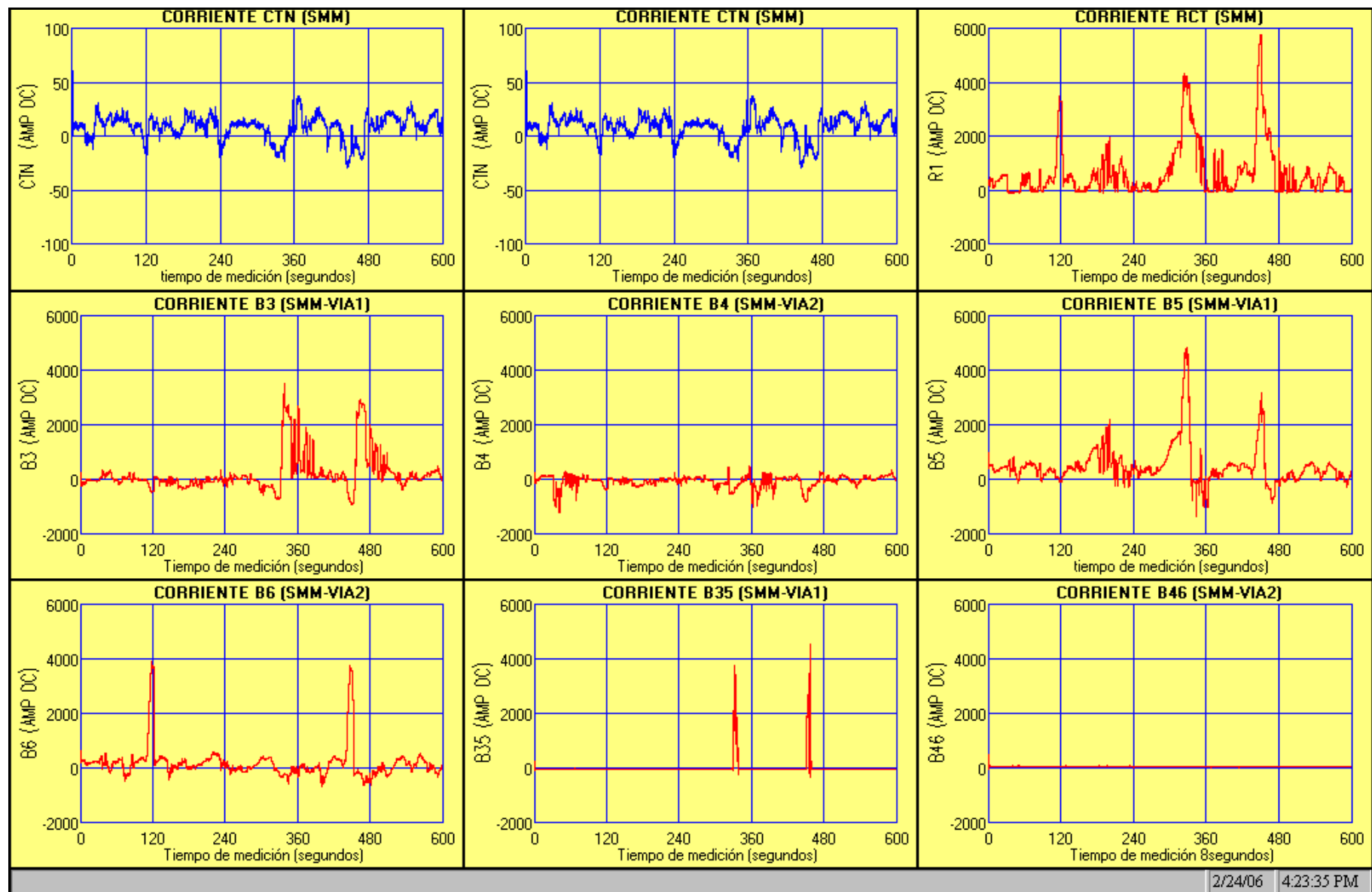
CV 18.13/VR18	=	-0.7435 V
CV 18.13/VR8	=	0.1836 V
CV 18.14/VR16	=	-0.1386 V
CV 18.14/VR6	=	0.8313 V
CV 18.15A/VR15	=	0.5768 V
CV 18.15A/VR5	=	1.622 V
CV 18.15B/VR14	=	1.975 V
CV 18.15B/VR4	=	2.001 V
CV 18.23/VR20	=	-10.08 V
CV 18.23/VR9	=	10.15 V
CV 18.24/VR18	=	7.012 V
CV 18.24/VR7	=	11.76 V
CV 18.25A/VR17	=	18.48 V
CV 18.25A/VR6	=	22.82 V
CV 18.25B/VR16	=	40.77 V
CV 18.25B/VR5	=	-16.69 V
CV 18.25C/VR15	=	23.84 V
CV 18.25C/VR4	=	-9.962 V
Estacion Antimano CV 18.12A/VR10	=	0.4212 V
Estacion Antimano CV 18.12A/VR20	=	-0.4484 V
Estación Antimano CV 18.12B/VR19	=	-0.101 V
Estación Antimano CV 18.12B/VR9	=	0.4275 V
Estación Antimano CV 18.22A/VR11	=	5.894 V
Estación Antimano CV 18.22A/VR22	=	-15.01 V
Estación Mamera CV 16.12A/VR13	=	3.707 V
Estación Mamera CV 16.12A/VR3	=	0.4172 V
Estación Mamera CV 16.12B/VR12	=	-1.875 V
Estación Mamera CV 16.12B/VR2	=	1.066 V
Estación Mamera CV 16.22A/VR14	=	13.83 V
Estación Mamera CV 16.22A/VR3	=	-5.538 V
Estación Antimano CV 18.22B/VR10	=	5.893 V
Estación Antimano CV 18.22B/VR21	=	-11.59 V
Estación Mamera CV 16.22B/VR13	=	11.4 V
Estación Mamera CV 16.22B/VR2	=	-14.53 V
VR3r1 VIA1	=	-1.605 V
VR3r1 VIA2	=	30.27 V
VR3r2 VIA1	=	-1.025 V
VR3r2 VIA2	=	27.64 V

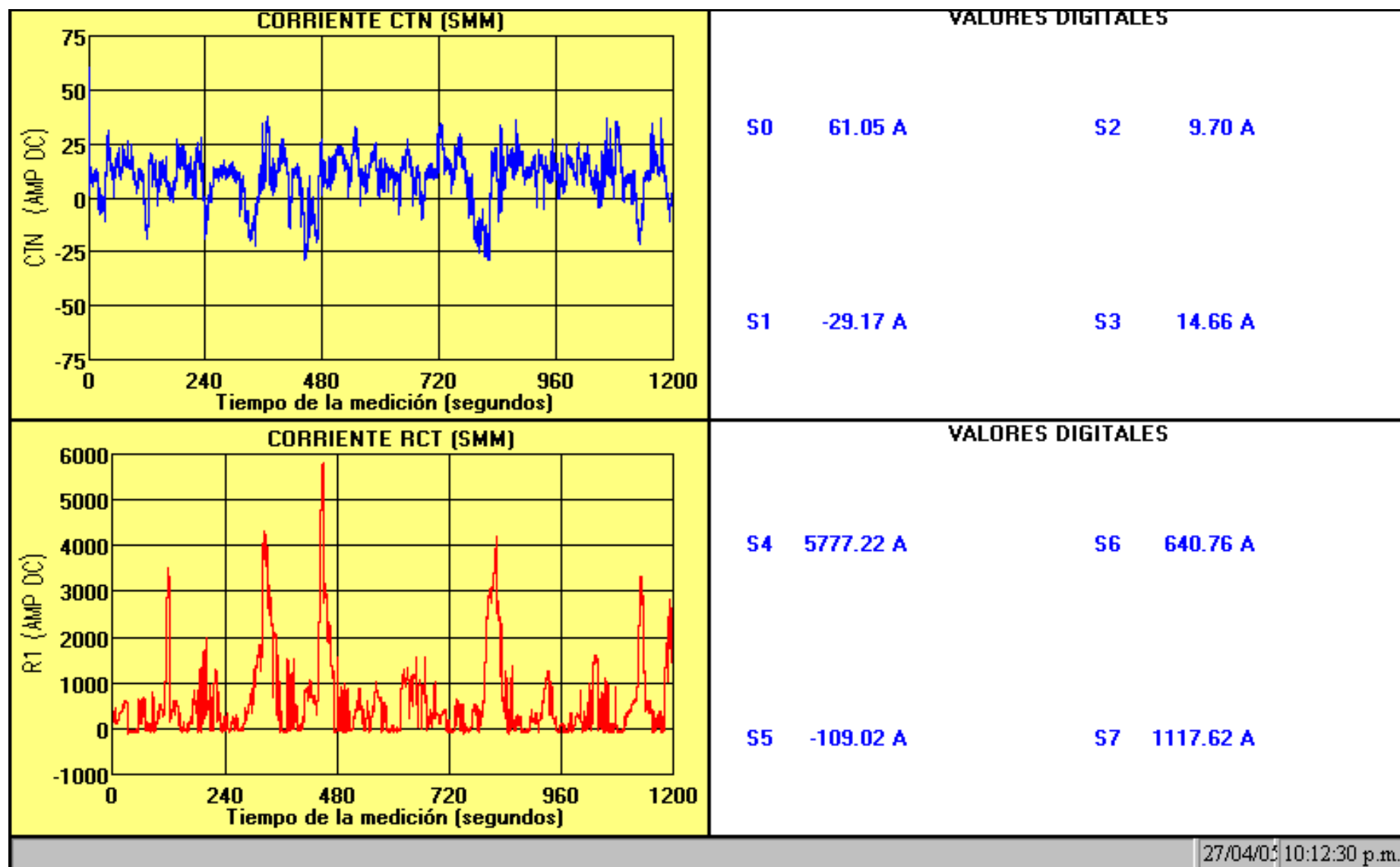
ZM 16.13/VR1	=	0.7036 V
ZM 16.13/VR11	=	-7.22 V
ZM 16.23A/VR1	=	-9.506 V
ZM 16.23A/VR12	=	2.423 V
ZM 18.13B/VR17	=	-0.561 V
ZM 18.13B/VR7	=	0.4907 V
ZM 18.23B/VR19	=	-0.001231 V
ZM 18.23B/VR8	=	7.207 V
CR3r1 VIA1	=	193.8 A
CR3r1 VIA2	=	3655 A
CR3r2 VIA1	=	-193.8 A
CR3r2 VIA2	=	4944 A
CRC1	=	3849 A
CRC2	=	4750 A
CRN/CCTN	=	5.407 A
CRN/CRC3	=	-3844 A
CTRENVIA1	=	0 A
CTRENVIA2	=	8599 A
CV 18.13/CR18	=	-0.1398 A
CV 18.13/CR8	=	316.5 A
CV 18.13/CRCT6	=	-0.1848 A
CV 18.14/CR16	=	-0.005703 A
CV 18.14/CR6	=	312.5 A
CV 18.14/CRCT4	=	-4.198 A
CV 18.15A/CR15	=	0.04144 A
CV 18.15A/CR5	=	312.6 A
CV 18.15A/CRCT3	=	-4.157 A
CV 18.15B/CR14	=	0.1151 A
CV 18.15B/CR4	=	312.7 A
CV 18.15B/CRCT2	=	-4.041 A
CV 18.23/CR20	=	-0.4822 A
CV 18.23/CRCT7	=	-2.675 A
CV 18.23/CRrr	=	4431 A
CV 18.24/CR18	=	0.2886 A
CV 18.24/CR7	=	4422 A
CV 18.24/CRCT5	=	-11.18 A
CV 18.25A/CR17	=	1.335 A
CV 18.25A/CR6	=	4423 A
CV 18.25A/CRCT4	=	-9.846 A
CV 18.25B/CR16	=	3.804 A
CV 18.25B/CR5	=	-4172 A
CV 18.25B/CRCT3	=	-6.042 A
CV 18.25C/CR15	=	3.714 A
CV 18.25C/CR4	=	-4168 A
CV 18.25C/CRCT2	=	-2.328 A

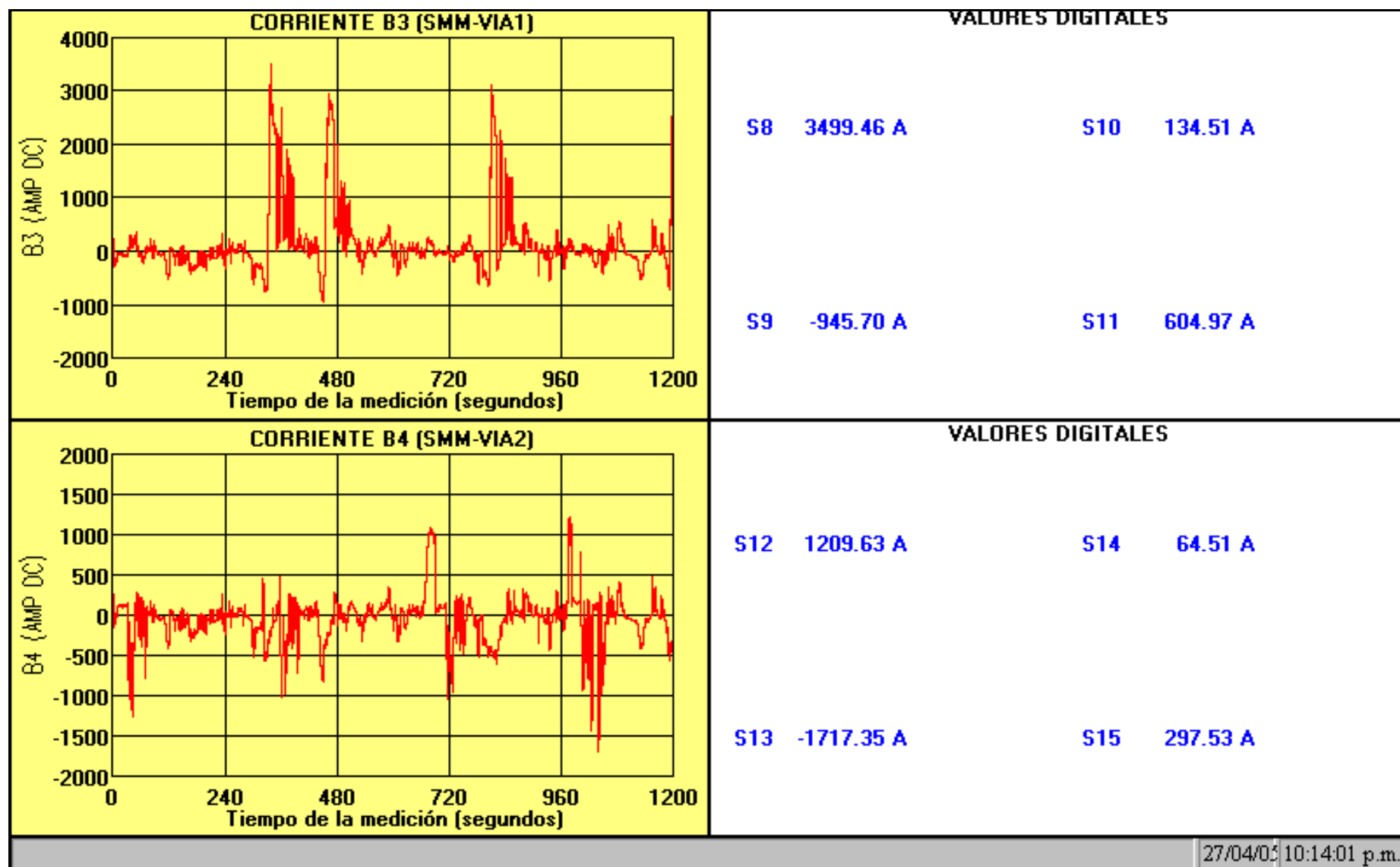
Estacion Antimano CV 18.12A/CR10	=	316.7 A
Estacion Antimano CV 18.12A/CR20	=	-0.03688 A
Estacion Antimano CV 18.12A/CRC4	=	316.7 A
Estacion Antimano CV 18.12A/CRMT5	=	-0.03688 A
Estación Antimano CV 18.12B/CR19	=	-0.008174 A
Estación Antimano CV 18.12B/CR9	=	316.7 A
Estación Antimano CV 18.12B/CRMT4	=	-0.04505 A
Estación Antimano CV 18.22A/CR11	=	4432 A
Estación Antimano CV 18.22A/CR22	=	-1.237 A
Estación Antimano CV 18.22A/CRC4	=	4433 A
Estación Antimano CV 18.22A/CRMT5	=	-1.237 A
Estación Mamera CV 16.12A/CR13	=	1.041 A
Estación Mamera CV 16.12A/CR3	=	313.7 A
Estación Mamera CV 16.12A/CRMT3	=	-3 A
Estación Mamera CV 16.12B/CR12	=	-0.2054 A
Estación Mamera CV 16.12B/CR2	=	313.5 A
Estación Mamera CV 16.12B/CRMT2	=	-3.205 A
Estación Mamera CV 16.22A/CR14	=	3.884 A
Estación Mamera CV 16.22A/CR3	=	-4164 A
Estación Mamera CV 16.22A/CRMT3	=	1.556 A
Estación Antimano CV 18.22B/CR10	=	4431 A
Estación Antimano CV 18.22B/CR21	=	-0.9555 A
Estación Antimano CV 18.22B/CRMT4	=	-2.193 A
Estación Mamera CV 16.22B/CR13	=	1.219 A
Estación Mamera CV 16.22B/CR2	=	-4163 A
Estación Mamera CV 16.22B/CRMT2	=	2.775 A
ZM 16.13/CR1	=	307.2 A
ZM 16.13/CR11	=	-6.279 A
ZM 16.13/CRCT1	=	-9.484 A
ZM 16.23A/CR1	=	-4151 A
ZM 16.23A/CR12	=	12.12 A
ZM 16.23A/CRCT1	=	14.89 A
ZM 18.13B/CR17	=	-4.007 A
ZM 18.13B/CR7	=	312.5 A
ZM 18.13B/CRCT5	=	-4.192 A
ZM 18.23B/CR19	=	-8.794 A
ZM 18.23B/CR8	=	4422 A
ZM 18.23B/CRCT6	=	-11.47 A
SAM	=	800 V
SMM	=	800 V
carga	=	8599 A
carga l	=	0 A

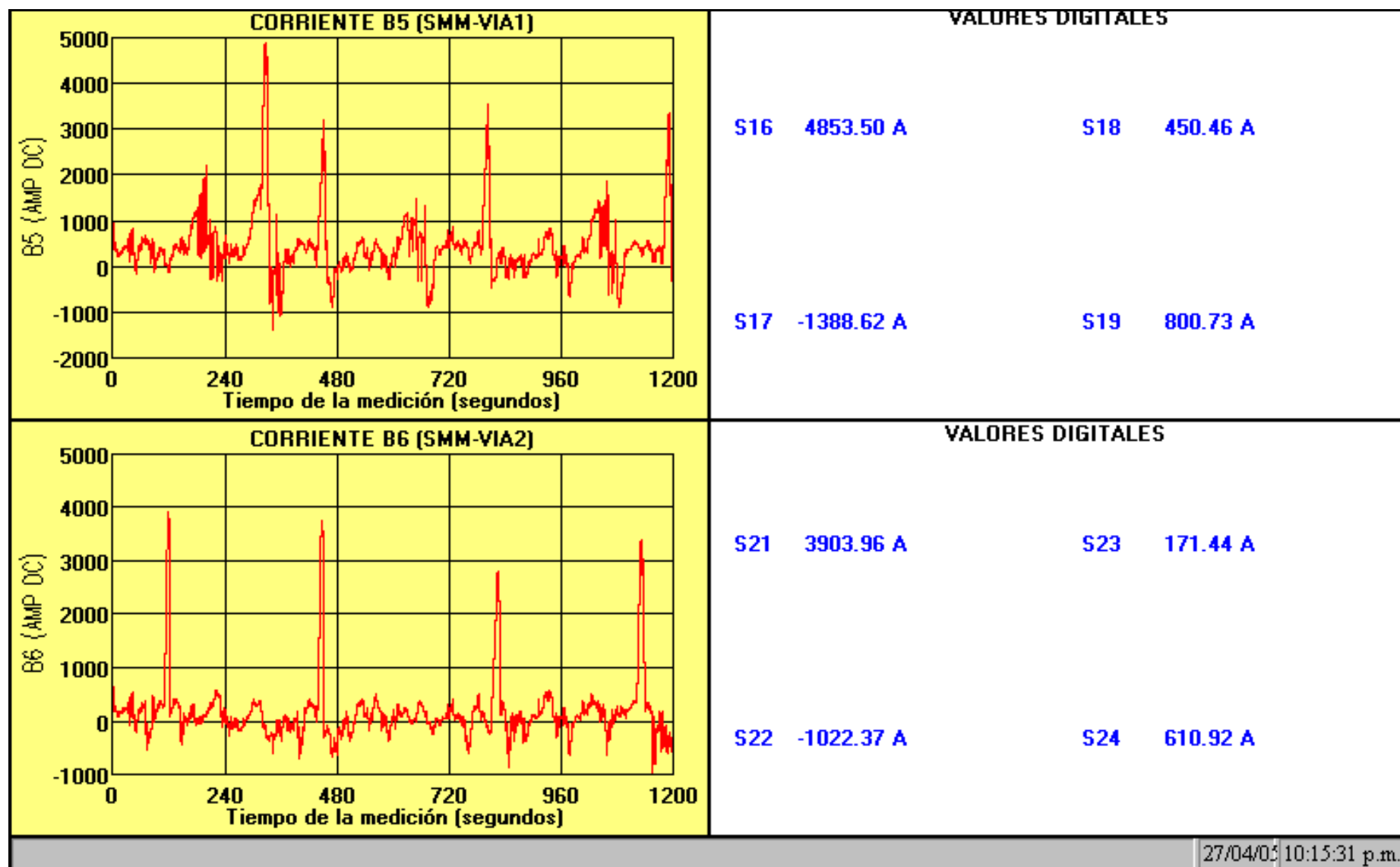
Anexo 4.27 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción Mamera (SMM).

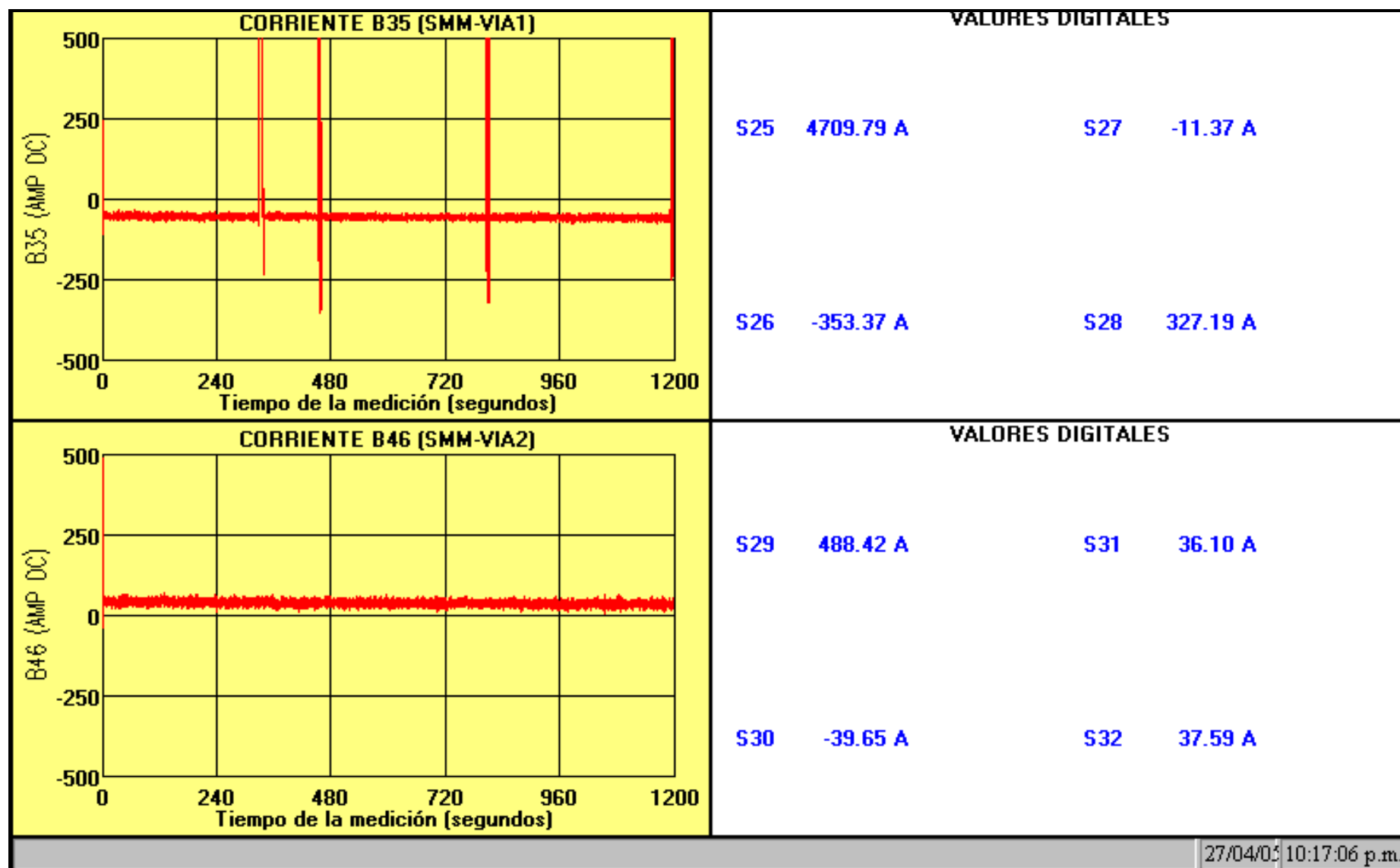












Anexo 4.28 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción Los Cortijos (SLC) y la S/E de tracción La California (SCF) respecto a la vía 1 y la vía 2.

Nombres de los distintos elementos que conforman el modelo eléctrico pasivo a simular.

Rreg1= resistencia eléctrica de regulación 1.

Rreg2= resistencia eléctrica de regulación 2.

RC1 = RC2 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que desde el rectificador de potencia a la CRN.

RC3 = RC4 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que van desde la CRN hasta los Rieles de Rodamiento.

RC5 = RC6 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde la CRN hasta el shunt del CTN.

RC7 = RC8 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde el shunt del CTN hasta la malla de tierra.

RCTN = Resistencia del shunt del CTN.

CTN = Contactador de Puesta a Tierra del Negativo.

CRN = Caja de Retorno Negativo.

R3r1 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R3r2 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R1...R3= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

R4...R7 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

RCT1...RCT4= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 1**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

R1...R4= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobra.

R5...R8 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

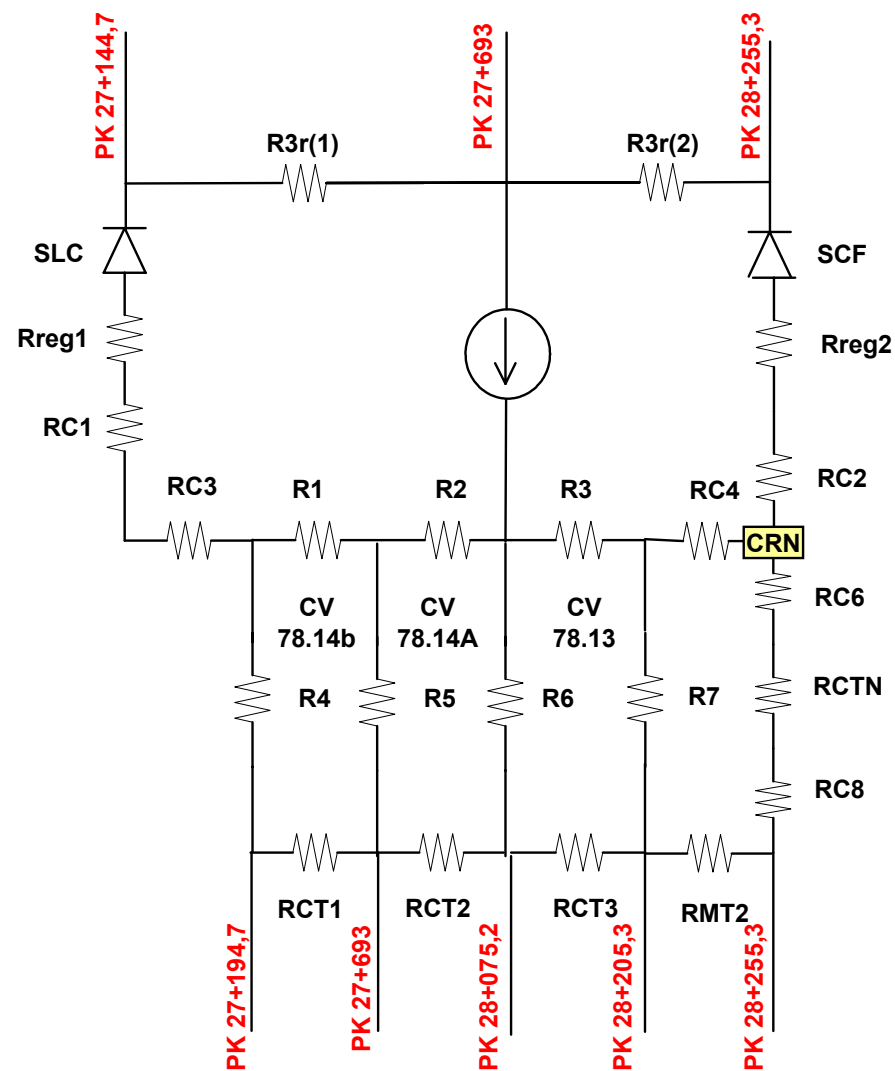
RCT1...RCT3= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 2**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

RMT1 ...RMT2 = Resistencia de la malla de tierra ubicada en las Sub-Estaciones de Tracción y Estaciones de Pasajeros.

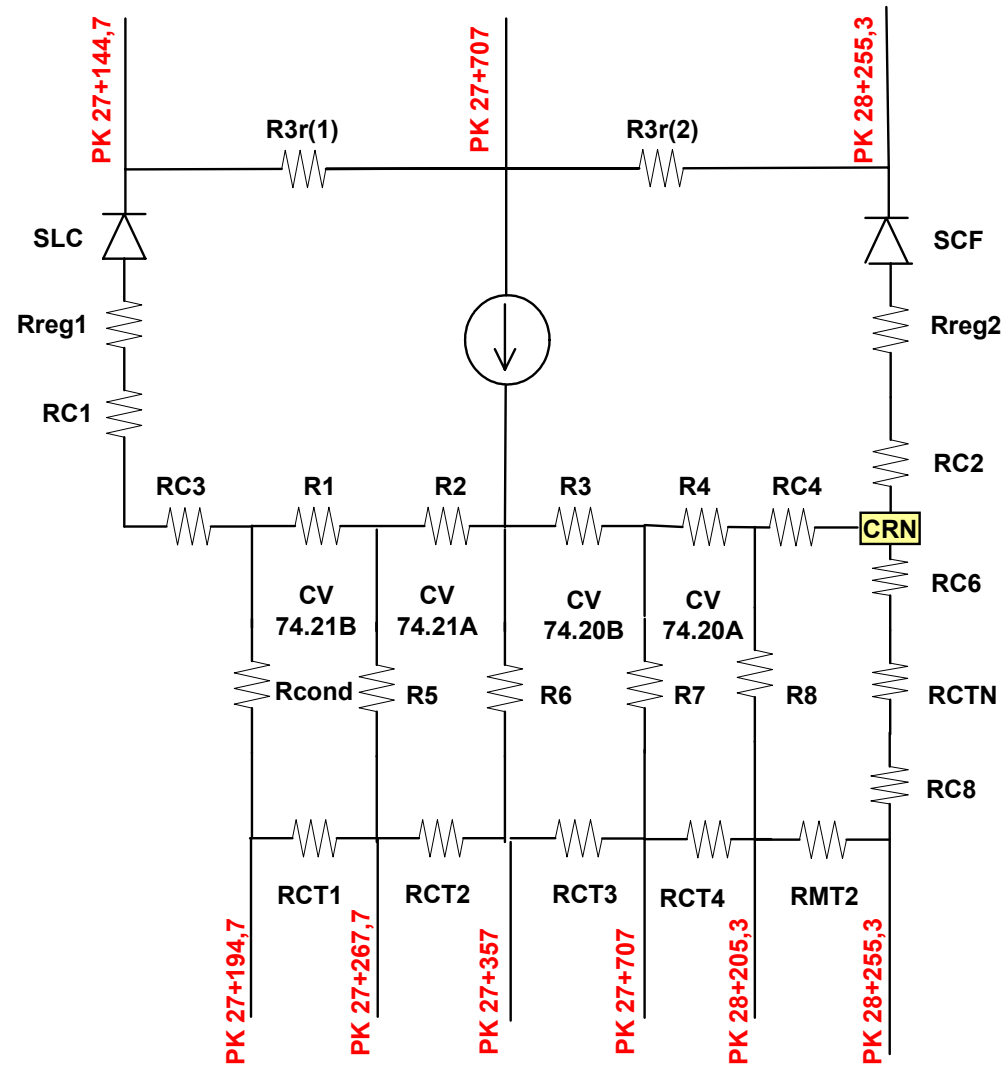
PK = Progresión Kilométrica.

CV = Circuito de vía.

ZM = Zona de Maniobra.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LOS CORTIJOS (SLC) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LA CALIFORNIA (SCF) RESPECTO A LA VÍA 1.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LOS CORTIJOS(SLC) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LA CALIFORNIA (SCF) RESPECTO A LA VÍA 2.

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Los Cortijos (SLC) y la sub-estación de tracción La California (SCF) correspondiente a la vía 1.

R3r(1)	3,72 mΩ	R1	8,17 mΩ	R4	74,44 Ω	RCT1	84,91 mΩ
R3r (2)	3,82 mΩ	R2	6,27 mΩ	R5	57,33 Ω	RCT2	65,12 mΩ
Rc1	0,26 mΩ	R3	2,13 mΩ	R6	19,51 Ω	RCT3	22,16 mΩ
Rc2	0,26 mΩ						
Rc3	0,16 mΩ						
Rc4	0,16 mΩ						
Rc5	0,36 mΩ						
Rc6	0,36 mΩ						
Rc7	0,14 mΩ						
Rc8	0,14 mΩ						
RMT1	2,0 Ω						
RMT2	2,0 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción Los Cortijos (SLC) y la sub-estación de tracción La California (SCF) correspondiente a la vía 2.

R3r(1)	3,82 mΩ	R1	1,20 mΩ	R5	10,95 Ω	RCT1	12,43 mΩ
R3r (2)	3,72 mΩ	R2	1,46 mΩ	R6	13,39 Ω	RCT2	15,21 mΩ
Rc1	0,26 mΩ	R3	5,74 mΩ	R7	52,50 Ω	RCT3	59,64 mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	8,17 mΩ	R8	74,74 Ω	RCT4	84,85 mΩ
Rc3	0,16 mΩ						
Rc4	0,16 mΩ						
Rc5	0,36 mΩ						
Rc6	0,36 mΩ						
Rc7	0,14 mΩ						
Rc8	0,14 mΩ						
RMT1	2,0 Ω						
RMT2	2,0 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Anexo 4.29 Resultados de la simulación entre la S/E de tracción Los Cortijos (SLC) y la S/E de tracción La California (SCF).

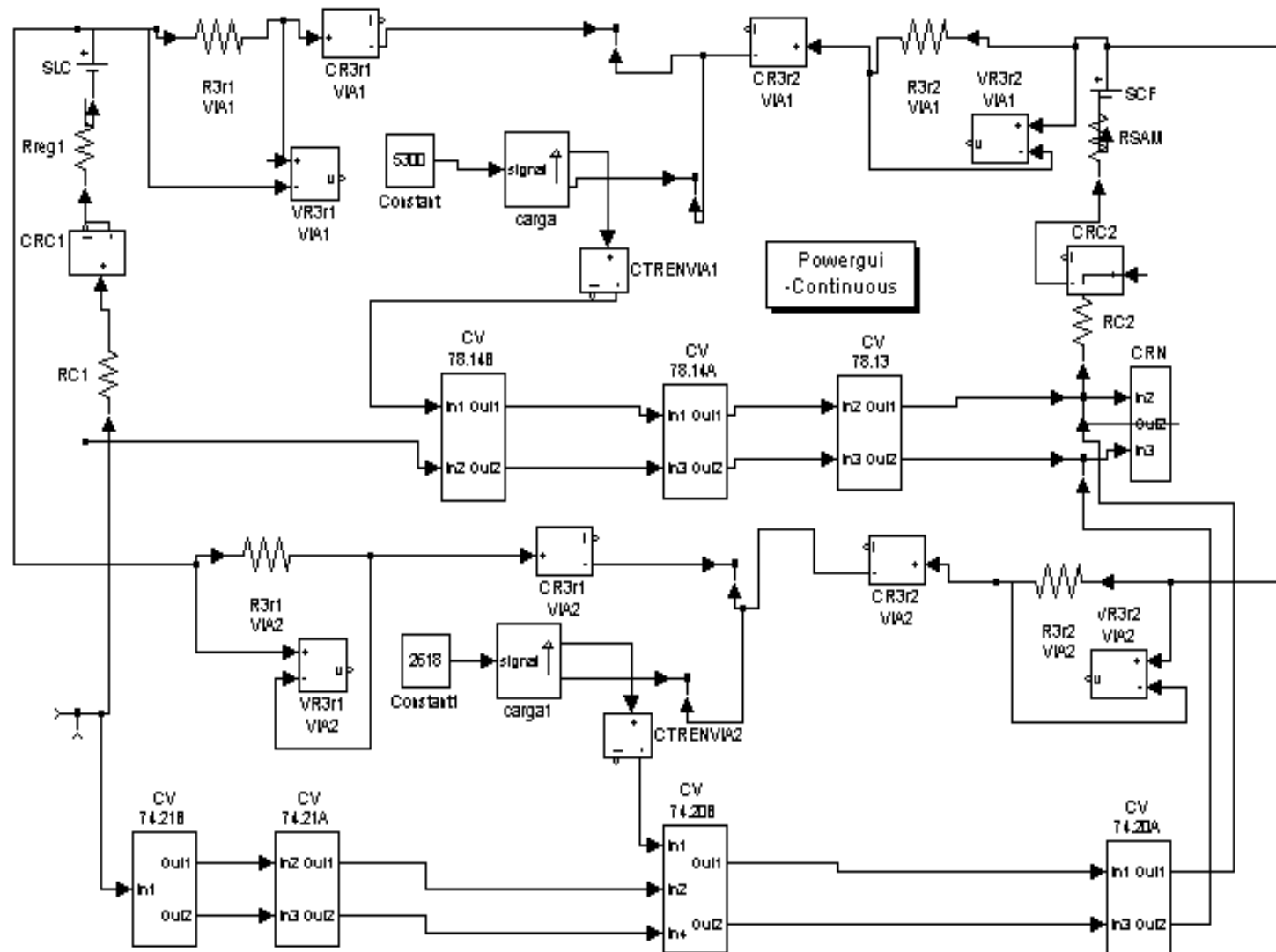
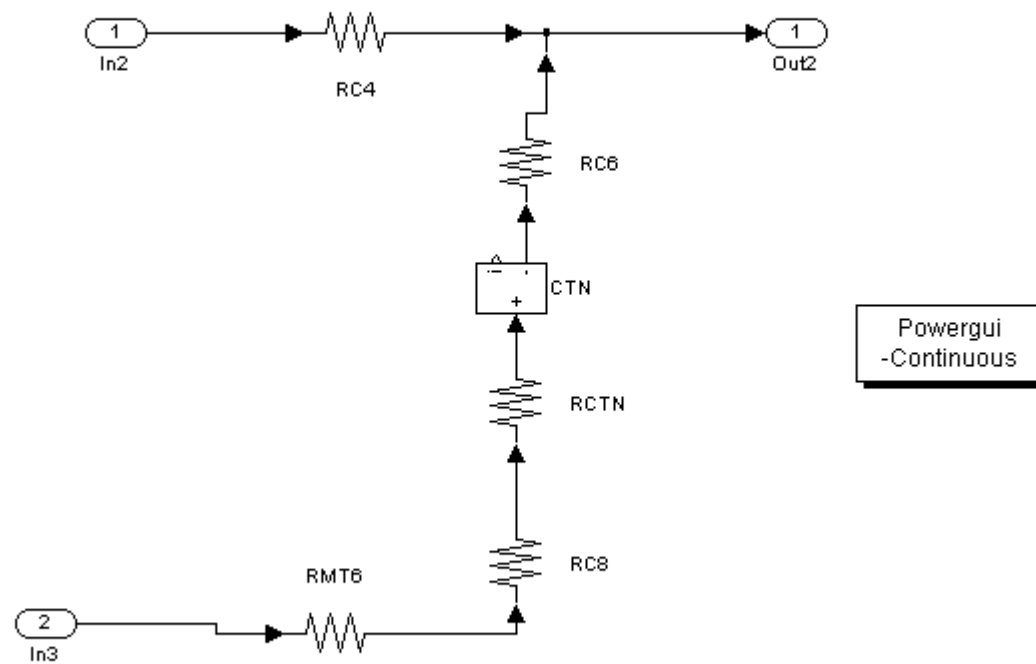
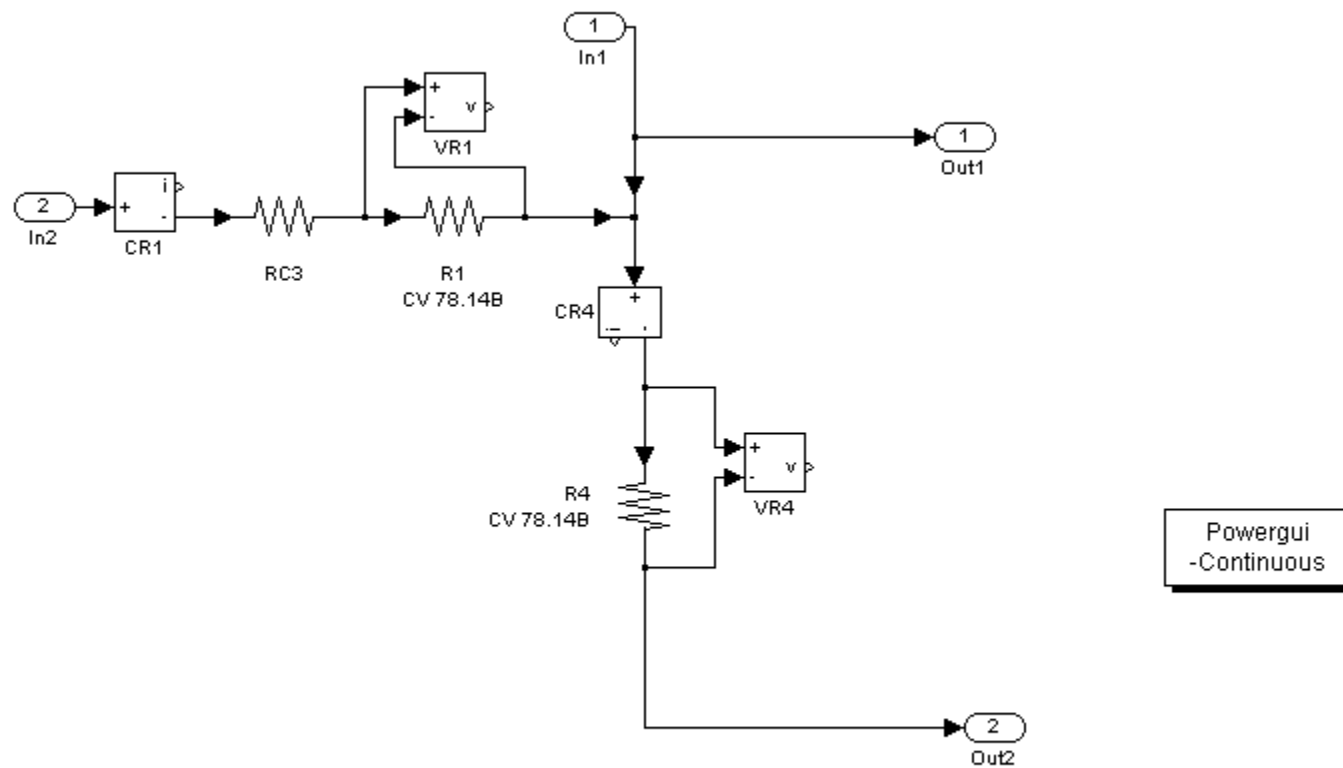


DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODELO ELECTRICO A SIMULAR EN MATLAB DE LA SUB-ESTACIÓN LOS CORTUOS (SLC) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LA CALIFORNIA (SCF) RESPECTO A LA VIA 1 Y LA VIA 2



Elementos que conforman la caja que representa al Contactor de Puesta a Tierra del Negativo (CTN) en el modelo eléctrico a simular.



Elementos que conforman las cajas que representa a los circuitos de vías y de zonas de maniobras en el modelo eléctrico a simular.

SimPowerSystems Report.
generated by powergui,
10-Aug-2005 16:02:32

Esta simulación corresponde para **B3 = 0 B4 = -2394 A** el resto de las simulaciones están en el C. D. Digital de la tesis.

CV 78.13/VR3	=	0.06547 V
CV 78.13/VR6	=	0.264 V
CV 74.21A/VR2	=	0.7959 V
CV 74.21A/VR6	=	-0.8263 V
CV 78.14A/VR2	=	0.1923 V
CV 78.14A/VR5	=	0.3289 V
CV 74.21B/VR1	=	-0.649 V
CV 74.21B/VR12	=	-0.03035 V
CV 78.14B/VR1	=	0.2502 V
CV 78.14B/VR4	=	0.5203 V
CV 74.20A/VR4	=	-4.244 V
CV 74.20A/VR8	=	0.264 V
CV 74.20B/VR3	=	3.123 V
CV 74.20B/VR7	=	-3.957 V
VR3r1 VIA1	=	0.2088 V
VR3r1 VIA2	=	-4.726 V
VR3r2 VIA1	=	0.2144 V
VR3r2 VIA2	=	-4.303 V
CV 78.13/CR3	=	68.91 A
CV 78.13/CR6	=	0.02708 A
CV 78.13/CRCT3	=	-0.02542 A
CV 74.21A/CR2	=	1224 A
CV 74.21A/CR6	=	-0.1235 A
CV 74.21A/CRCT2	=	0.005288 A
CV 78.14A/CR2	=	68.92 A
CV 78.14A/CR5	=	0.01149 A
CV 78.14A/CRCT6	=	-0.01392 A
CV 74.21B/CR1	=	1224 A
CV 74.21B/CR5	=	-0.005288 A
CV 74.21B/CRCT1	=	-1.302e-009 A
CV 78.14B/CR1	=	68.94 A
CV 78.14B/CR4	=	0.01392 A
CR3r1 VIA1	=	-56.13 A
CR3r1 VIA2	=	-1237 A
CR3r2 VIA1	=	56.13 A
CR3r2 VIA2	=	-1157 A
CRC1	=	-1293 A
CRC2	=	-1101 A

CRN/CTN	=	-0.22 A
CTRENVIA1	=	0 A
CTRENVIA2	=	-2394 A
CV 74.20A/CR4	=	-1169 A
CV 74.20A/CR8	=	0.007069 A
CV 74.20A/CRCT4	=	0.2795 A
CV 74.20B/CR3	=	1225 A
CV 74.20B/CR7	=	-0.1507 A
CV 74.20B/CRCT3	=	0.1288 A
SCF	=	800 V
SLC	=	800 V
carga	=	0 A
carga1	=	-2394 A

Anexo 4.30 Modelo eléctrico a simular entre la S/E de tracción La California (SCF) y la S/E de tracción Petare (SPE) respecto a la vía 1 y la vía 2.

Nombres de los distintos elementos que conforman el modelo eléctrico pasivo a simular.

Rreg1= resistencia eléctrica de regulación 1.

Rreg2= resistencia eléctrica de regulación 2.

RC1 = RC2 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que desde el rectificador de potencia a la CRN.

RC3 = RC4 = Resistencia eléctrica de los conductores de 750 MCM que van desde la CRN hasta los Rieles de Rodamiento.

RC5 = RC6 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde la CRN hasta el shunt del CTN.

RC7 = RC8 = Resistencia eléctrica de los conductores de 500 MCM que van desde el shunt del CTN hasta la malla de tierra.

RCTN = Resistencia del shunt del CTN.

CTN = Contactor de Puesta a Tierra del Negativo.

CRN = Caja de Retorno Negativo.

R3r1 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R3r2 = Resistencia eléctrica longitudinal del Riel de Contacto.

R1...R11= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

R12...R22 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 1**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

RCT1...RCT9= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 1**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

R1...R8= Resistencia eléctrica longitudinal de los Rieles de Rodamiento respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobra.

R9...R19 = Resistencia de aislamiento Riel-Suelo respecto **vía 2**, por circuitos de vías y zonas de maniobras.

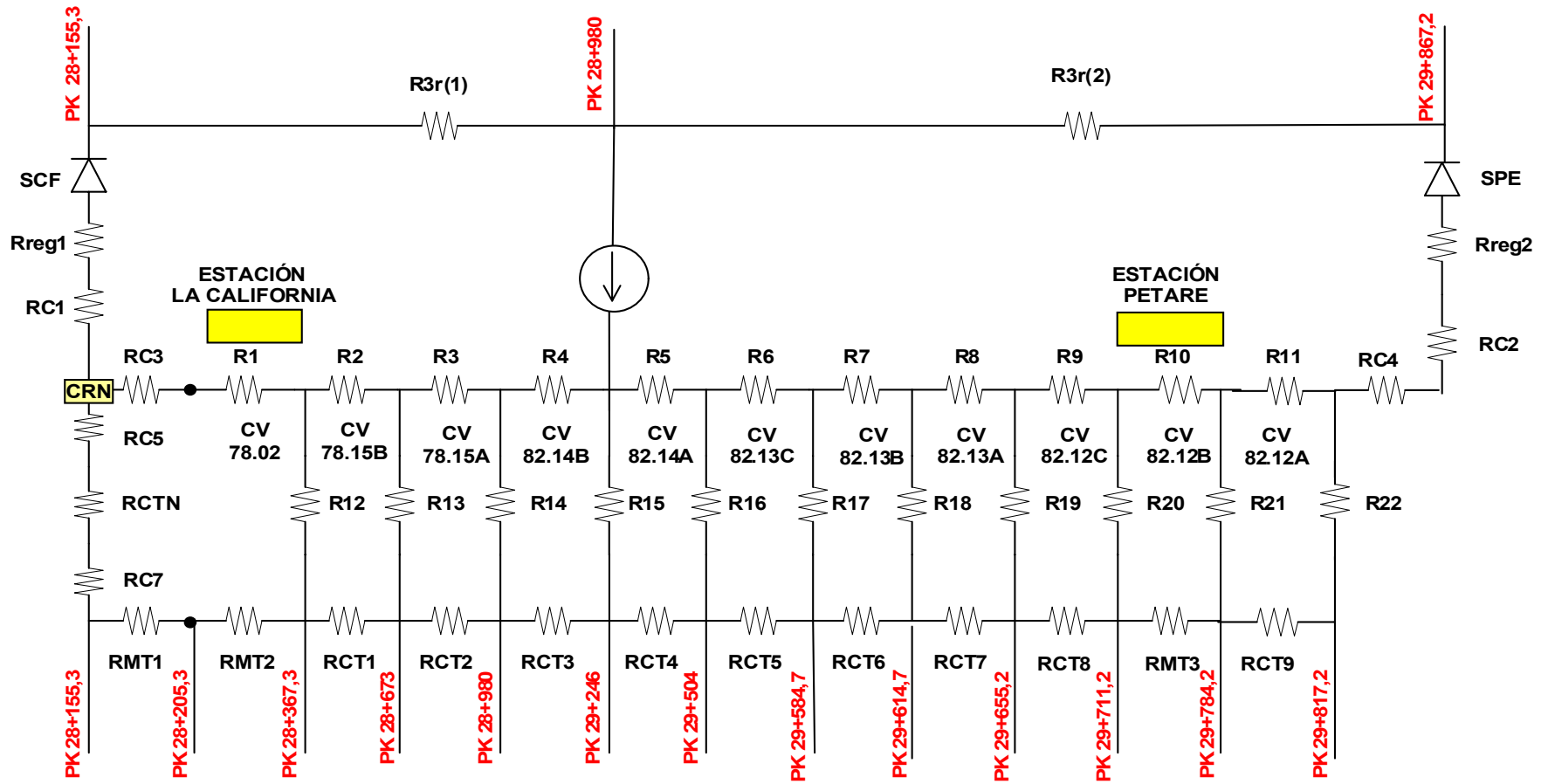
RCT1...RCT6= Resistencia eléctrica del conductor 4/0 AWG por **vía 2**, con respecto a los circuitos de vías y zonas de maniobras.

RMT1 ...RMT3 = Resistencia de la malla de tierra ubicada en las Sub-Estaciones de Tracción y Estaciones de Pasajeros.

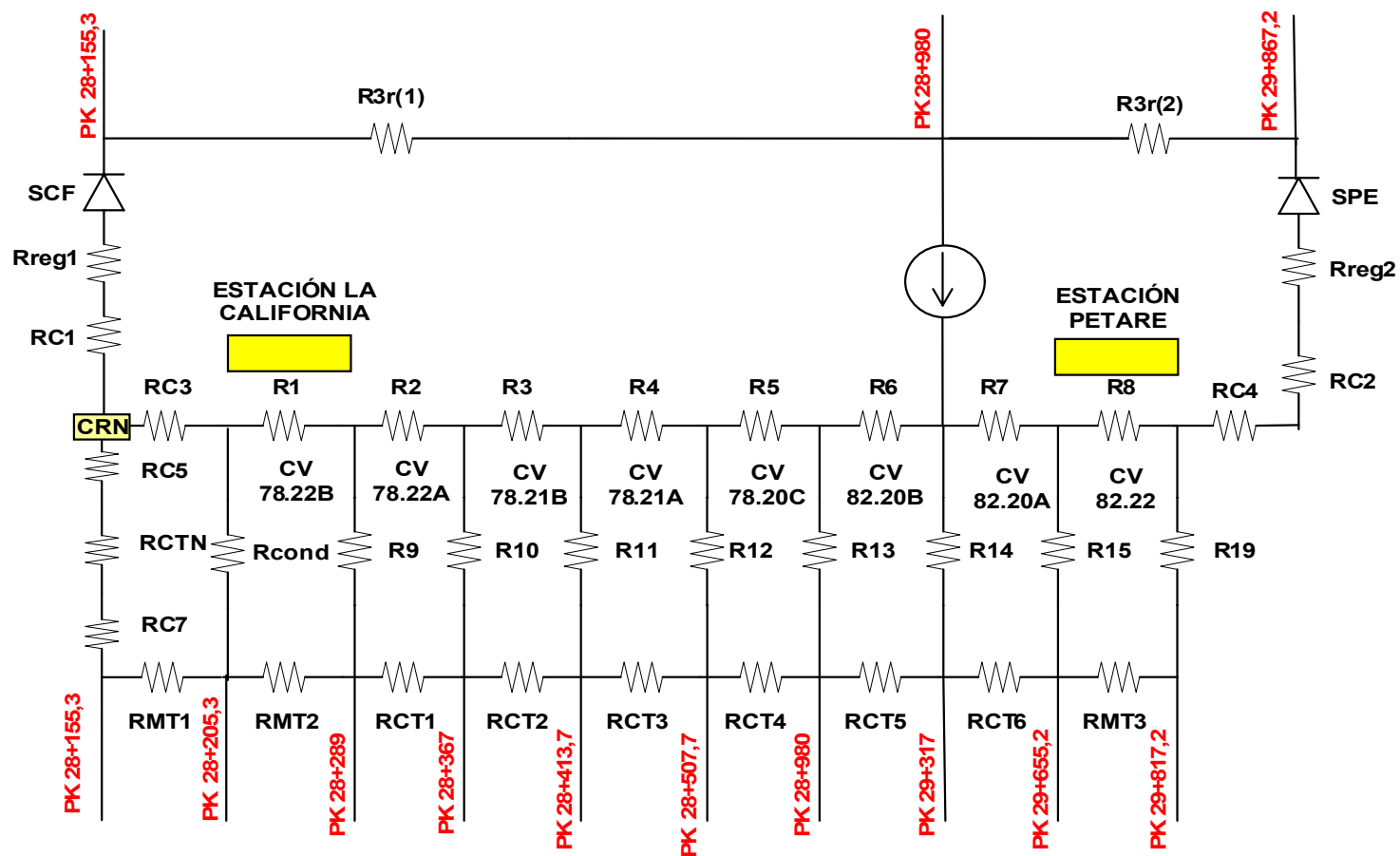
PK = Progresión Kilométrica.

CV = Circuito de vía.

ZM = Zona de Maniobra



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LA CALIFORNIA (SCF) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN PETARE(SPE) RESPECTO A LA VÍA 1.



MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR ENTRE LA SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN LA CALIFORNIA (SCF) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN PETARE(SPE) RESPECTO A LA VÍA 2.

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción La California (SCF) y la sub-estación de tracción (SPE) correspondiente a la vía 1.

R3r(1)	5,60 mΩ	R1	2,66 mΩ	R12	24,30 Ω	RMT2	2,0 Ω
R3r (2)	6,03 mΩ	R2	5,01 mΩ	R13	45,85 Ω	RCT1	52,09 mΩ
Rc1	0,26 mΩ	R3	5,03 mΩ	R14	46,05 Ω	RCT2	52,31 mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	4,36 mΩ	R15	39,90 Ω	RCT3	45,32 mΩ
Rc3	0,16 mΩ	R5	4,23 mΩ	R16	38,70 Ω	RCT4	43,96 mΩ
Rc4	0,16 mΩ	R6	1,32 mΩ	R17	12,10 Ω	RCT5	13,75 mΩ
Rc5	0,36 mΩ	R7	0,49 mΩ	R18	4,5 Ω	RCT6	5,11mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	0,66 mΩ	R19	6,07 Ω	RCT7	6,90 mΩ
Rc7	0,14 mΩ	R9	0,92 mΩ	R20	8,40 Ω	RCT8	9,54 mΩ
Rc8	0,14 mΩ	R10	1,20 mΩ	R21	10,95 Ω	RMT3	2,0 Ω
RMT1	2,00 Ω	R11	0,54 mΩ	R22	4,95 Ω	RCT9	5,62 mΩ
RMT4	2,00 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Valores de las resistencias del modelo eléctrico a simular entre la sub-estación de tracción La California (SCF) y la sub-estación de tracción Petare (SPE) correspondiente a la vía 2.

R3r(1)	5,66 mΩ	R1	1,37 mΩ	R9	12,55 Ω	RMT2	2,0 Ω
R3r (2)	5,97 mΩ	R2	1,28 mΩ	R10	11,74 Ω	RCT1	13,34 mΩ
Rc1	0,26 mΩ	R3	0,76 mΩ	R11	6,96 Ω	RCT2	7,90 mΩ
Rc2	0,26 mΩ	R4	1,54 mΩ	R12	14,10 Ω	RCT3	16,01 mΩ
Rc3	0,16 mΩ	R5	7,75 mΩ	R13	70,85 Ω	RCT4	80,48 mΩ
Rc4	0,16 mΩ	R6	5,53 mΩ	R14	50,55 Ω	RCV5	57,42 mΩ
Rc5	0,36 mΩ	R7	5,55 mΩ	R15	50,73 Ω	RCT6	57,62 mΩ
Rc6	0,36 mΩ	R8	2,66 mΩ	R16	24,30 Ω	RMT3	2,0 Ω
Rc7	0,14 mΩ						
Rc8	0,14 mΩ						
RMT1	2,0 Ω						
RMT4	2,0 Ω						
RCTN1	0,05 mΩ						
RCTN2	0,05 mΩ						

Anexo 4.31 Resultados de la simulación entre la S/E de Tracción La California (SCF) y la S/E de Tracción Petare (SPE).

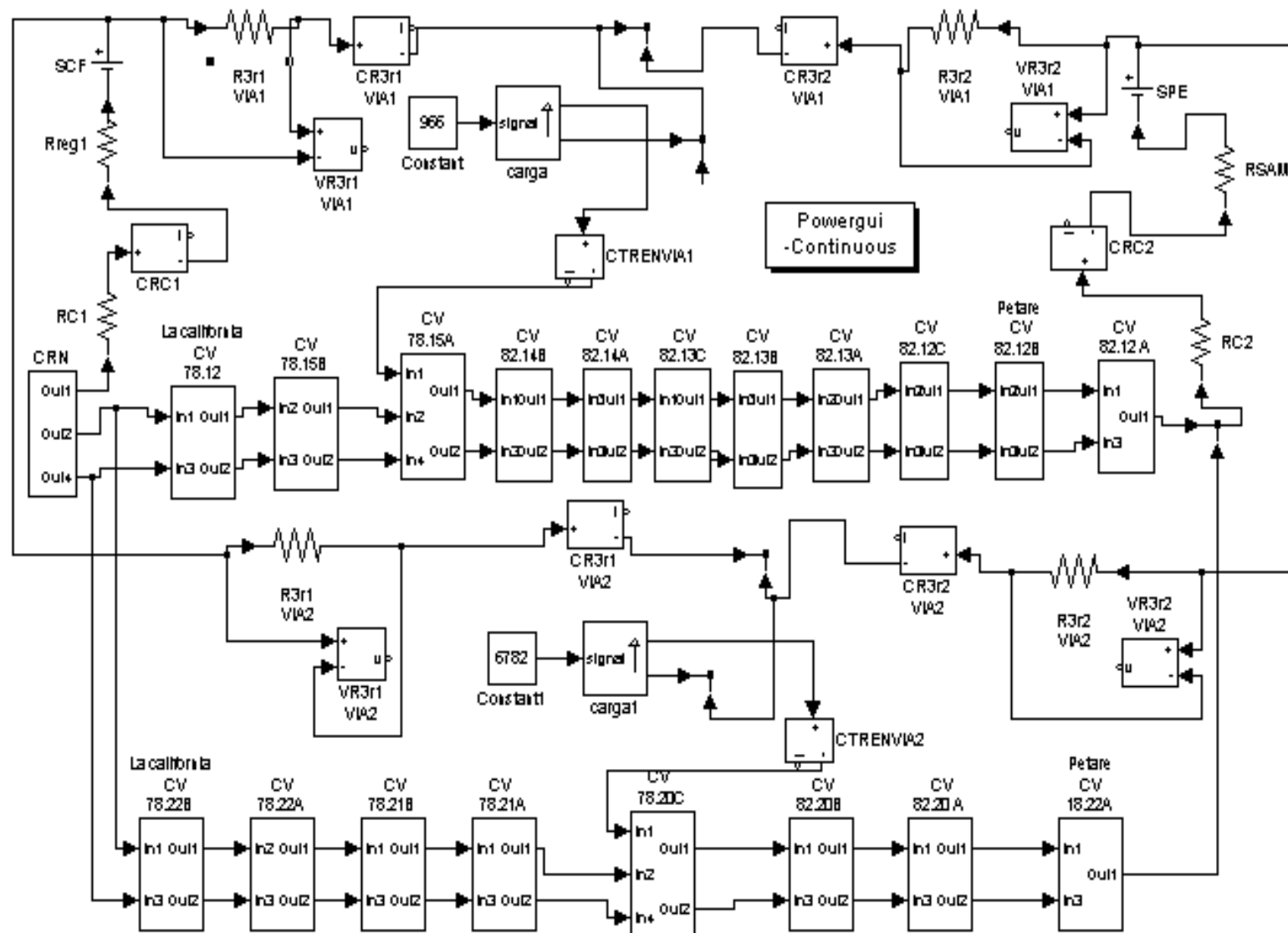
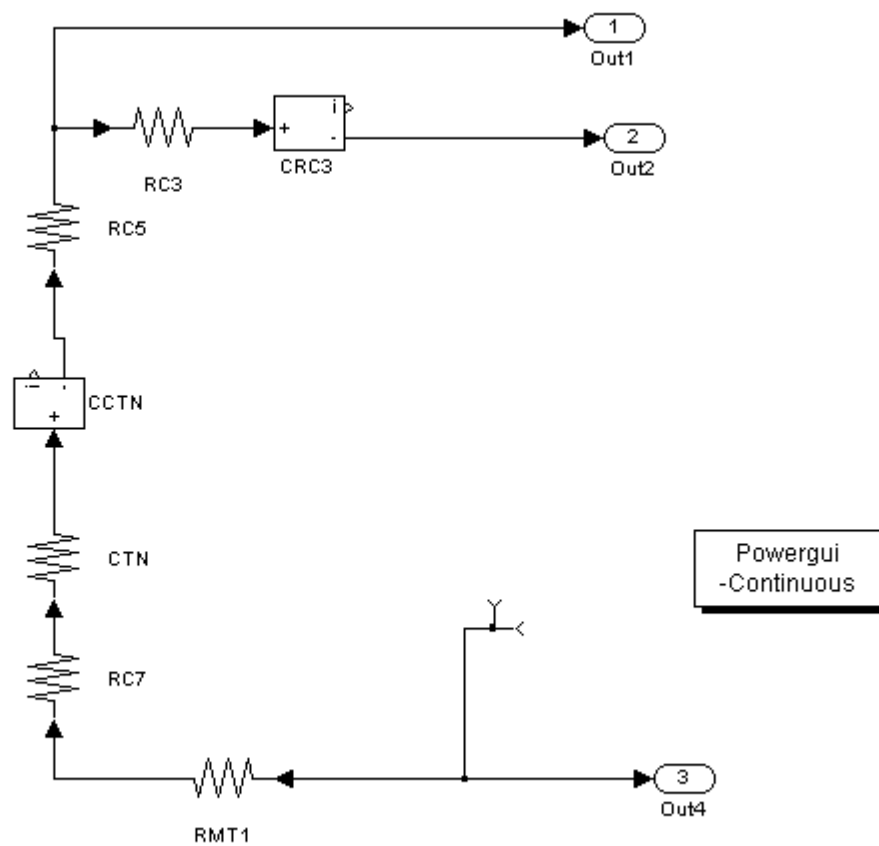
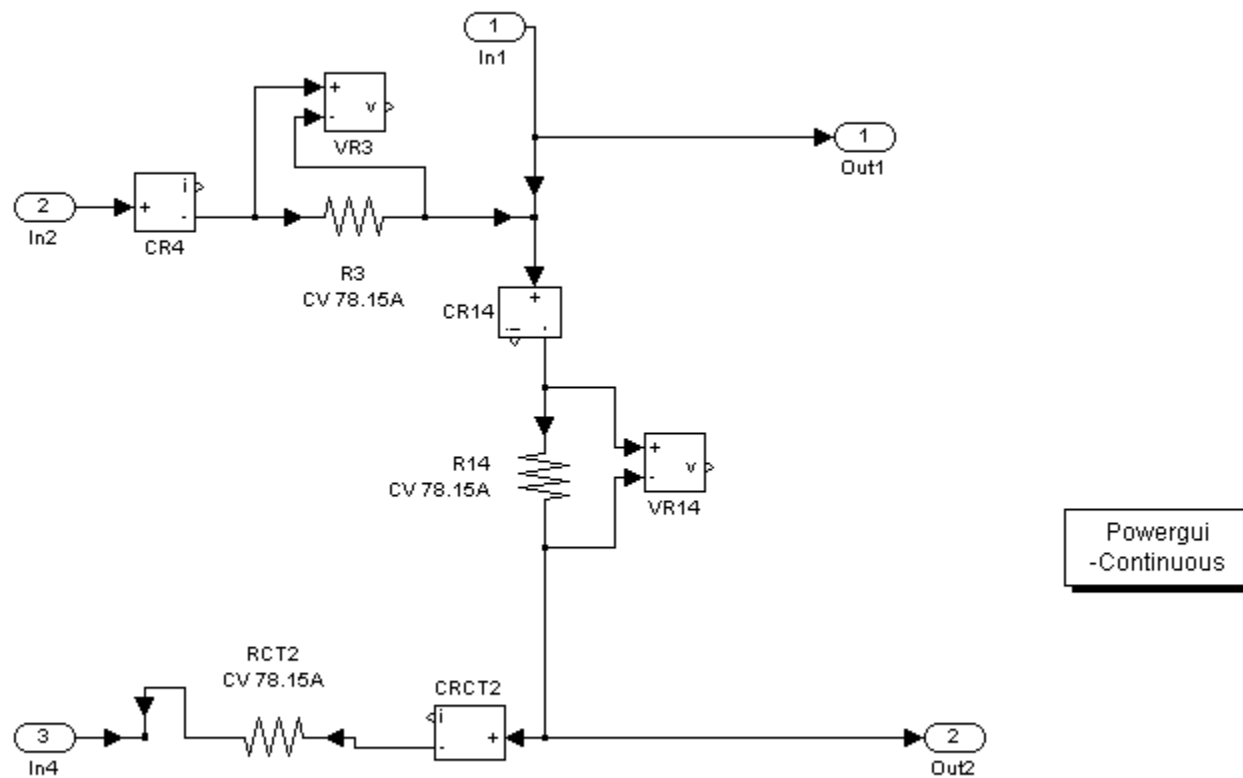


DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MODELO ELÉCTRICO A SIMULAR EN MATLAB DE LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN LA CALIFORNIA (SCF) Y LA SUB-ESTACIÓN DE TRACCIÓN PETARE (SPE) RESPECTO A LA VÍA 1 Y LA VÍA 2



Elementos que conforman la caja que representa al Contactor de Puesta a Tierra del Negativo (CTN) en el modelo eléctrico a simular.



Elementos que conforman las cajas que representa a los circuitos de vías y de zonas de maniobras en el modelo eléctrico a simular.

SimPowerSystems Report.
generated by powergui,
0-Aug-2005 16:08:48

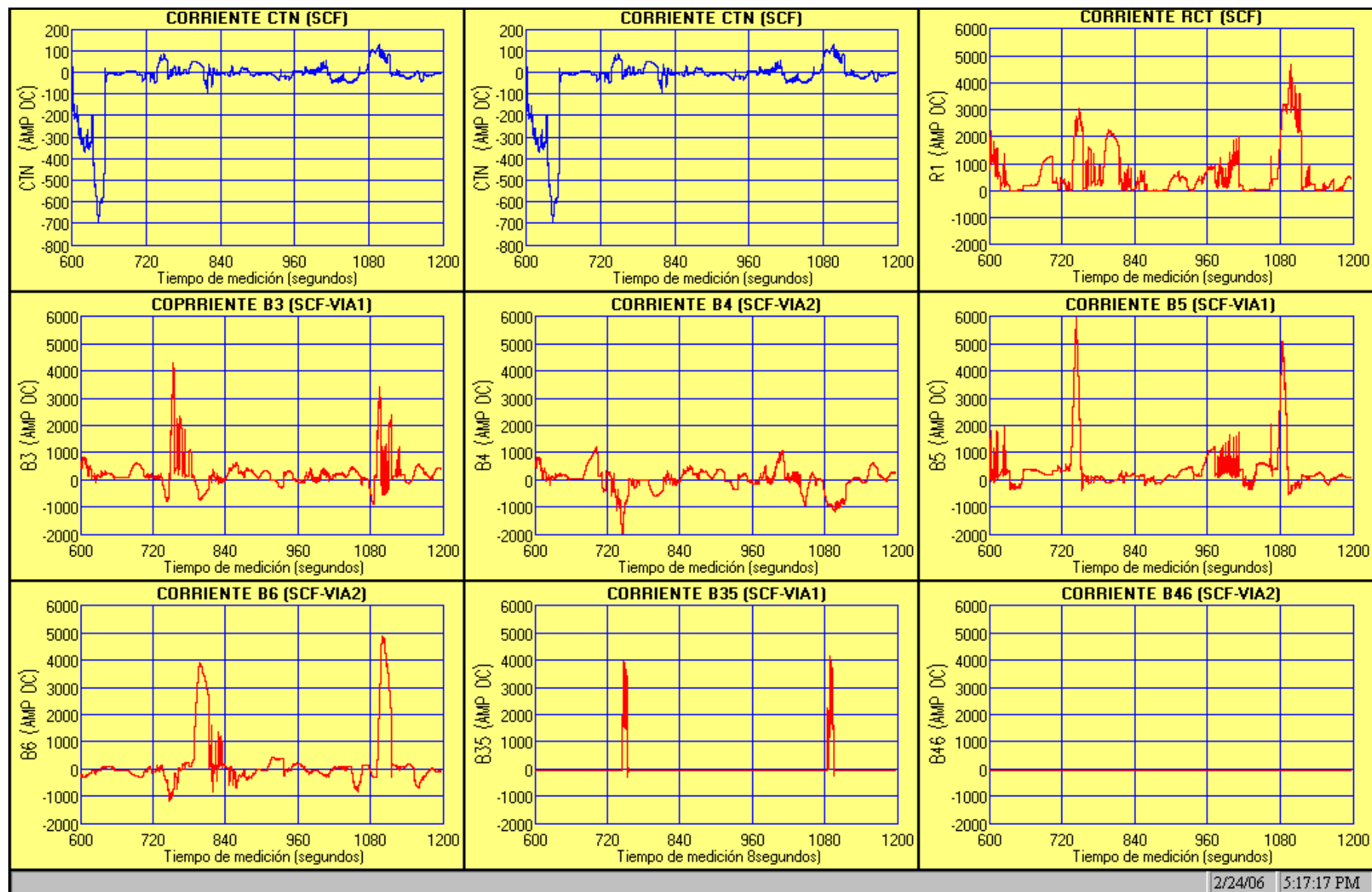
Esta simulación corresponde para **B5= 7620 A B6= 0 A** el resto de las simulaciones están en el C. D. Digital de la tesis.

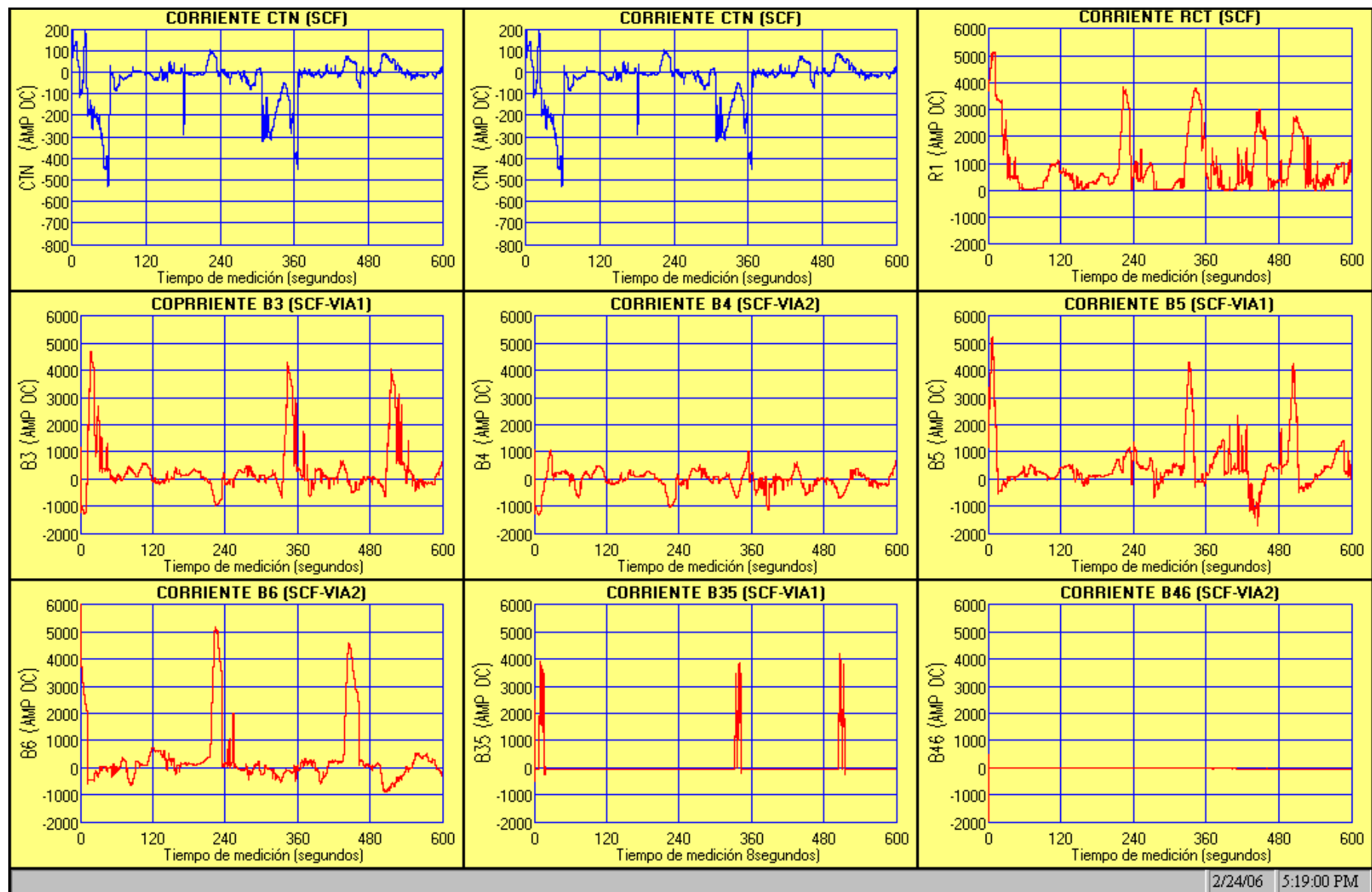
CV 78.15B/VR13	=	7.589 V
CV 78.15B/VR2	=	-36.8 V
CV 82.14B/VR15	=	41.78 V
CV 82.14B/VR4	=	1.191 V
CV 78.21B/VR11	=	-8.862 V
CV 78.21B/VR3	=	1.185 V
CV 82.12C/VR20	=	38.83 V
CV 82.12C/VR9	=	0.2325 V
CV 82.20 A/VR15	=	-40 V
CV 82.20 A/VR7	=	8.669 V
CV 82.20B/VR14	=	-31.48 V
CV 82.20B/VR6	=	8.634 V
CV 82.13C/VR17	=	39.45 V
CV 82.13C/VR6	=	0.3579 V
CV 78.15A/VR14	=	43.67 V
CV 78.15A/VR3	=	-36.95 V
CV 78.22A/VR10	=	-7.721 V
CV 78.22A/VR2	=	1.995 V
CV 82.13A/VR19	=	39.01 V
CV 82.13A/VR8	=	0.2384 V
CV 82.13B/VR18	=	39.26 V
CV 82.13B/VR7	=	0.1312 V
CV 82.14A/VR16	=	39.99 V
CV 82.14A/VR5	=	1.151 V
CV 82.12 A/VR11	=	131.1 V
CV 82.12 A/VR22	=	-73.38 V
CV 78.20C/VR13	=	-23.02 V
CV 78.20C/VR5	=	12.1 V
CV 78.21A/VR12	=	-11.2 V
CV 78.21A/VR4	=	2.403 V
La california CV 78.22B/VR1	=	2.134 V
La california CV 78.22B/VR9	=	-5.808 V
La california CV 78.12/VR1	=	-19.54 V
La california CV 78.12/VR12	=	-28.35 V
Petare CV 82.12B/VR10	=	0.2977 V
Petare CV 82.12B/VR21	=	57.65 V
Petare CV 18.22A/VR16	=	-40.8 V
Petare CV 18.22A/VR8	=	4.157 V

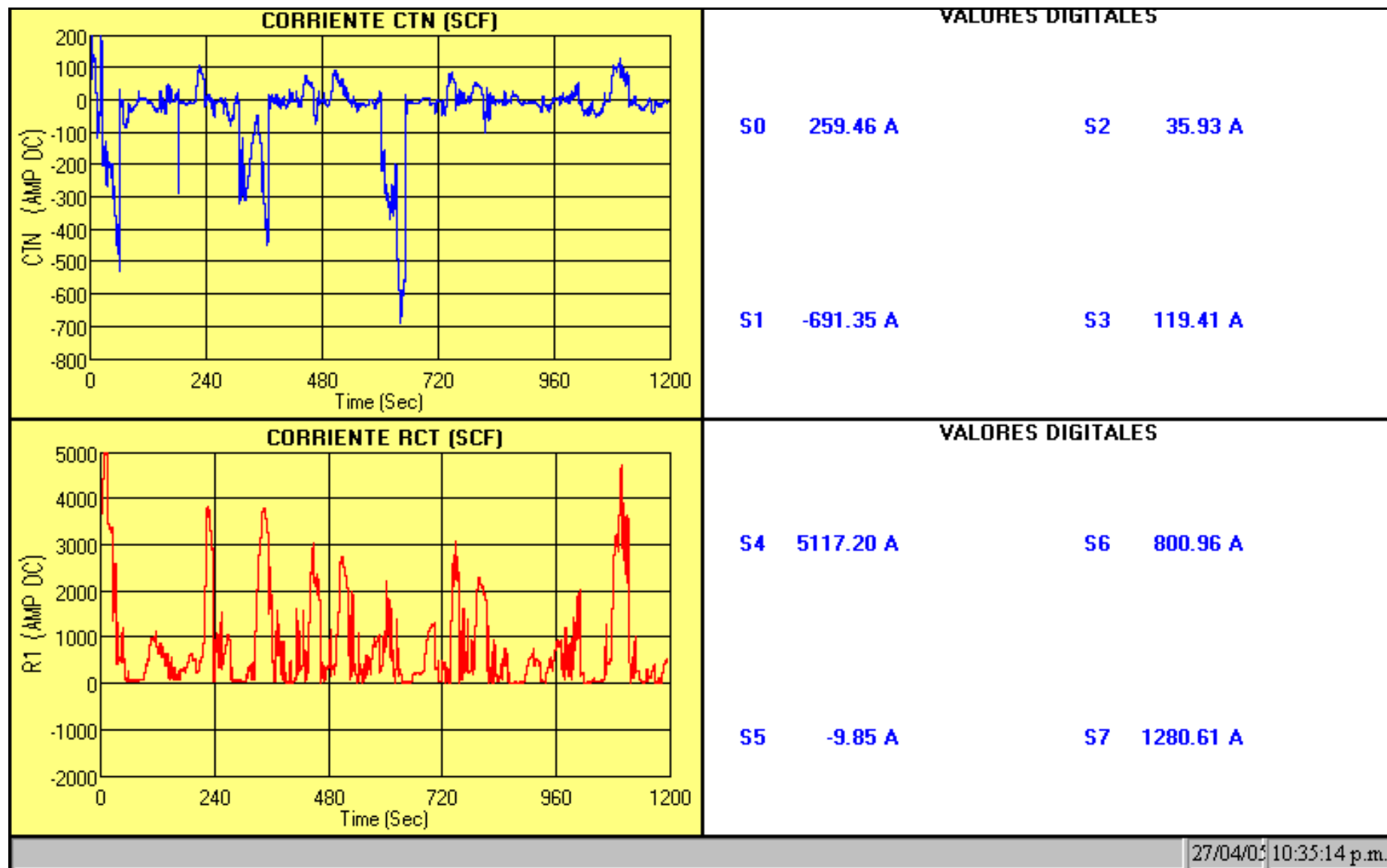
VR3r1 VIA1	=	-27.3 V
VR3r1 VIA2	=	5.227 V
VR3r2 VIA1	=	16.56 V
VR3r2 VIA2	=	-5.514 V
CV 78.15B/CR13	=	0.1655 A
CV 78.15B/CR2	=	-7346 A
CV 78.15B/CRCT1	=	16.67 A
CV 82.14B/CR15	=	1.047 A
CV 82.14B/CR4	=	273.2 A
CV 82.14B/CRCT3	=	15.56 A
CV 78.21B/CR11	=	-1.273 A
CV 78.21B/CR3	=	1559 A
CV 78.21B/CRCT2	=	-5.483 A
CV 82.12C/CR20	=	4.623 A
CV 82.12C/CR9	=	252.7 A
CV 82.12C/CRCT8	=	-4.937 A
CV 82.20 A/CR15	=	-0.7885 A
CV 82.20 A/CR7	=	1562 A
CV 82.20 A/CRCT6	=	-2.468 A
CV 82.20B/CR14	=	-0.6227 A
CV 82.20B/CR6	=	1561 A
CV 82.20B/CRCT5	=	-3.09 A
CV 82.13C/CR17	=	3.26 A
CV 82.13C/CR6	=	271.1 A
CV 82.13C/CRCT5	=	13.48 A
CV 78.15A/CR14	=	0.9484 A
CV 78.15A/CR4	=	-7346 A
CV 78.15A/CRCT2	=	16.5 A
CV 78.22A/CR10	=	-0.6576 A
CV 78.22A/CR2	=	1558 A
CV 78.22A/CRCT1	=	-6.14 A
CV 82.13A/CR19	=	6.427 A
CV 82.13A/CR8	=	259.1 A
CV 82.13A/CRCT7	=	1.491 A
CV 82.13B/CR18	=	8.725 A
CV 82.13B/CR7	=	267.8 A
CV 82.13B/CRCT6	=	10.22 A
CV 82.14A/CR16	=	1.033 A
CV 82.14A/CR5	=	272.1 A
CV 82.14A/CRCT4	=	14.51 A
CR3r1 VIA1	=	4874 A
CR3r1 VIA2	=	923.6 A
CR3r2 VIA1	=	2746 A
CR3r2 VIA2	=	-923.6 A
CRC1	=	5798 A

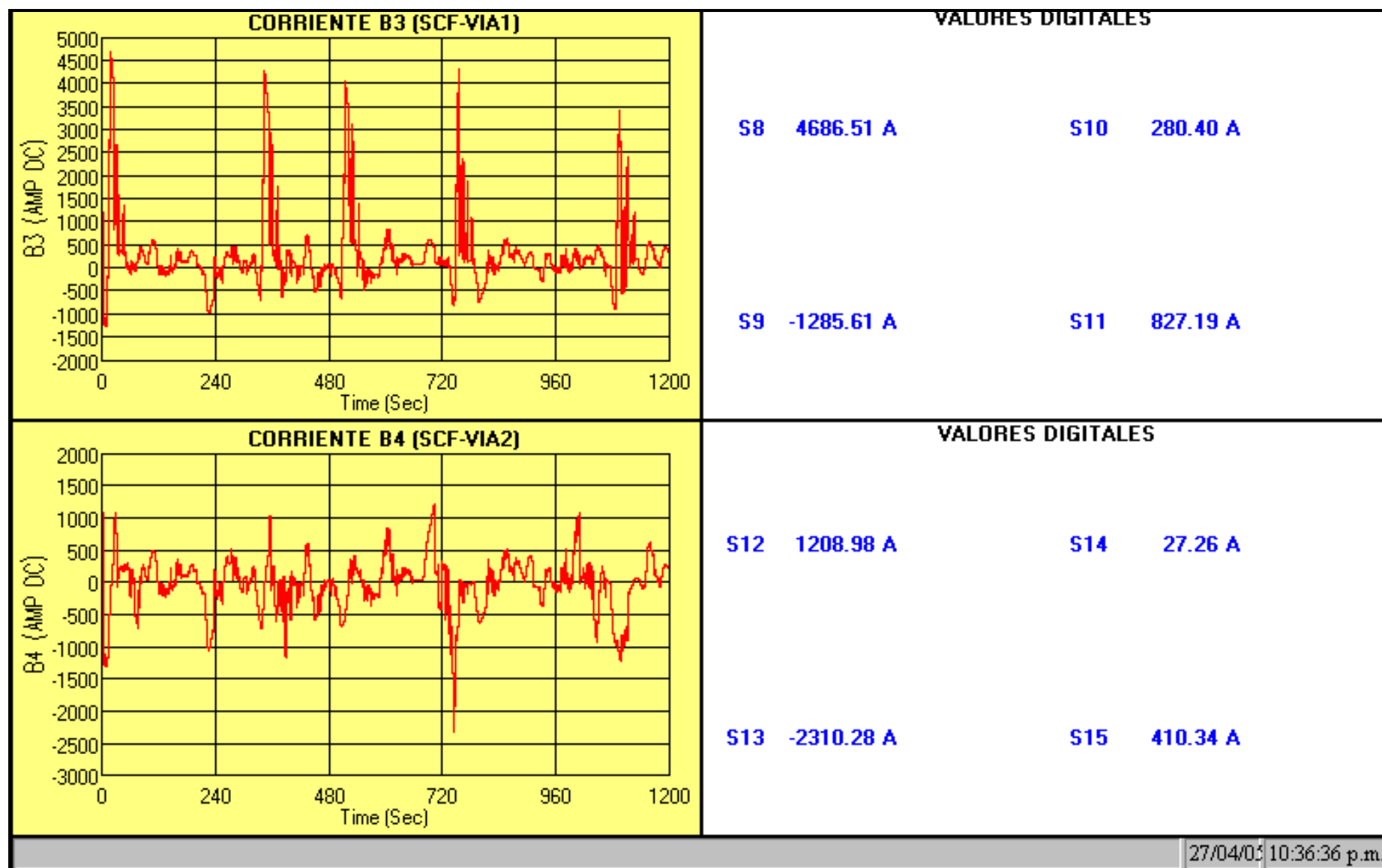
CRC2	=	1822 A
CRN/CCTN	=	8.901 A
CRN/CRC3	=	-5789 A
CTRENVIA1	=	7620 A
CTRENVIA2	=	0 A
CV 82.12 A/CR11	=	242.8 A
CV 82.12 A/CR22	=	-14.82 A
CV 82.12 A/CRC4	=	257.6 A
CV 82.12 A/CRCT9	=	-14.82 A
CV 78.20C/CR13	=	-0.3249 A
CV 78.20C/CR5	=	1561 A
CV 78.20C/CRCT3	=	-3.415 A
CV 78.21A/CR12	=	-0.7941 A
CV 78.21A/CR4	=	1560 A
CV 78.21A/CRCT3	=	-4.209 A
La california CV 78.22B/CR1	=	1558 A
La california CV 78.22B/CR9	=	-0.4628 A
La california CV 78.22B/CRMT2	=	-6.603 A
La california CV 78.12/CR1	=	-7347 A
La california CV 78.12/CR12	=	-1.166 A
La california CV 78.12/CRCT1	=	15.5 A
Petare CV 82.12B/CR10	=	248.1 A
Petare CV 82.12B/CR21	=	5.265 A
Petare CV 82.12B/CRMT2	=	-9.559 A
Petare CV 18.22A/CR11	=	1563 A
Petare CV 18.22A/CR16	=	-1.679 A
Petare CV 18.22A/CRC4	=	1564 A
Petare CV 18.22A/CRMT5	=	-1.679 A
SCF	=	800 V
SPE	=	800 V
carga	=	7620 A
carga1	=	0 A

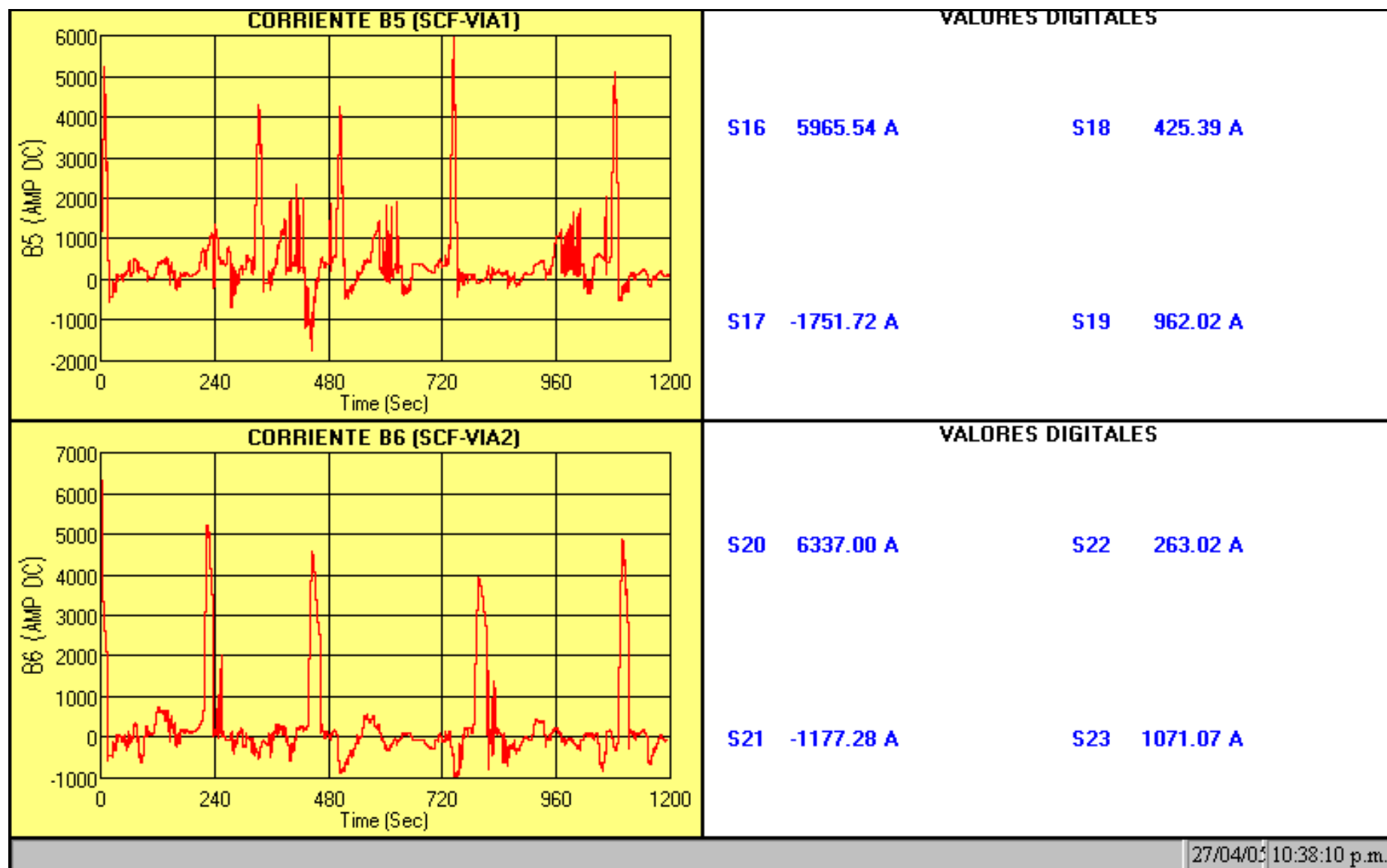
Anexo 4.32 Registros parciales de corrientes medidas en la S/E de tracción La California (SCF).











ANEXOS

CAPÍTULO V

Anexo 5.1 Valores máximo de tensiones riel-suelo, sin la instalación del sistema feeder [14].

Tabla N° I.- Valor máximo de la tensión riel-suelo para cada instante, sin la implantación del sistema feeder.

INSTANTES (SEG.)*	V MAX (VOLT.)
5	90
10	120
15	104
20	75
25	50
30	46
35	30
40	36
45	26
50	18
55	20
60	120
65	130
70	110
75	88
80	43
85	40
90	90
95	70
100	60
105	110
110	72
115	70
120	73

360

Anexo 5.2 Valores máximo de tensiones riel-suelo, con la instalación del sistema feeder [14].

Tabla N° II.- Valor máximo de la tensión riel-suelo para cada instante, con la implantación del sistema feeder.

INSTANTES (SEG.)	V MAX (VOLT.)
5	60
10	67
15	55
20	46
25	33
30	30
35	21
40	23
45	20
50	12
55	13
60	64
65	60
70	57
75	46
80	30
85	25
90	46
95	35
100	30
150	30
110	32
115	35
120	41

Anexo 5.3 Costo de un kilogramo de hierro.

4. PRODUCCION DE ACERO

El hierro esponja es cargado en un horno eléctrico con electrodos de grafito, donde se insufla aire comprimido para rebajar el contenido de carbono del hierro esponja a menos del 2%. Luego esta mezcla es sometida a una temperatura de 800° C para producir acero bruto llamado palanquilla, con un rendimiento mayor al 90% [Escalera, 1993].

La palanquilla es comerciable mundialmente para ser utilizada como materia prima en la producción de aceros especiales (v.g. acero inoxidable). Por ejemplo, Aceros TESA de Oruro compra palanquilla del Paraguay y la transforma en diversos aceros especiales. Aquí hay que resaltar el hecho de que Paraguay produce hierro y acero con mineral de hierro que compra del Mutún en Bolivia (unas 100 mil TM/año), mientras que Bolivia no produce ni un kilogramo de esos materiales, y el consumidor nacional tiene que pagar \$US 0.80 por un kilogramo de hierro de construcción que, en realidad, es el precio de un kilogramo de acero en Brasil o Venezuela. No olvidemos que en El Mutún tenemos cerca de 4.000 millones de toneladas de mineral de hierro (hematita con 50% Fe) que deben ser industrializados para producir hierro esponja y aceros especiales por el Proceso MIDREX. Las reservas de hematita y gas natural en Bolivia son tan grandes que si se instalara una planta que procese 10 mil TM/día (la más grande de todo el mundo) tendríamos materia prima para producir hierro y acero para casi mil años. Entonces, una subestación de gas natural en Puerto Suárez convertiría a Bolivia en el principal productor y distribuidor de Hierro y Acero del continente sudamericano en el futuro. Además, no podemos seguir gravando onerosamente la economía del pueblo boliviano que compra hierro y acero, especialmente si tenemos yacimientos de hierro que son técnica y económicamente viables de explotarlos.

3. COMENTARIOS FINALES.

El trabajo de Kinn y el mio propio se complementan y demuestran ampliamente que la industrialización del gas natural boliviano es técnica y económica factible y será una hermosa realidad para producir bienes de valor agregado y crear empleo y riqueza en casa, que es lo que más falta hace en nuestra querida Bolivia.

Además, la industrialización del gas natural en Bolivia permitirá el establecimiento de industrias derivadas que causarán una

Anexo 5.4 porcentaje utilizado para la evaluación de proyectos.

LINEA 3 ETAPA 2
TRAMO EL VALLE - LA RINCONADA
DISEÑO, FABRICACION, PRUEBAS TRANSPORTE E INSTALACION DE
LOS EQUIPOS Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA INTEGRAL

FRAMECA VR 08

APARATOS DE VIAS

Descripcion	Precio global L4-1	Actualizacion L3-2	Estudios	Interfase tercer riel	Nueva tecnologia (durmientes monobloc)	Nueva tecnologia (fijacion)	Transporte	2 frentes de trabajos	EA y longitudud	Precio global L3-2
Cruzamiento N°10 EA = 11,50 m	1 188 814	13,00%	1,90%	0,25%	15,20%	4,85%	2,80%	2,00%	0%	1 651 803
Cruzamiento N°10 EA = 11,50 m		155 588	22 739	2 992	181 916	58 045	33 511	23 838,28	0	
Cruzamiento N°10 EA = 4,40 m	846 200	13,00%	1,90%	0,25%	13,30%	4,85%	2,80%	2,00%	0%	1 168 802
Cruzamiento N°10 EA = 4,40 m		110 008	18 078	2 115	112 545	41 041	23 684	16 924,00	0	
Desvio N°9	179 852	13,00%	1,90%	0,25%	12,70%	4,85%	3,25%	2,00%	0%	248 105
Desvio N°8		23 381	3 417	450	22 841	8 723	5 845	3 597	0	
Comunicacion N°10 EA = 5,20 m	365 700	13,00%	0,95%	0,15%	11,20%	4,85%	1,90%	2,00%	-6,30%	487 081
Comunicacion N°10 EA = 5,20 m (precio de referencia N°8 EA = 7,34 m)		47 541	3 474	457	40 958	17 736	6 848	7 314	-	23 039