



**Universidad Nacional de Río Cuarto**

**Facultad de Ingeniería**

**Ingeniería Electricista**

**TITULO:**

**Análisis de redistribución de centro de carga y  
coordinación de las protecciones de una red de media  
tensión.**

Alumno: Rodriguez, Leandro  
DNI: 37.876.012

Tutor por parte de la universidad: Ing. Campetelli, Norberto Gabriel  
DNI: 16.484.524

Tutor por parte de la empresa: Ing. Barbero, Victor Osvaldo  
DNI: 16.099.677

Lugar de realización: Cooperativa de Electricidad, Obras y Servicios Públicos Ltda. Las  
Higueras.

Duración: Desde el 05/01/2018 hasta el 15/03/2018

## Resumen

En primer lugar se investigó sobre las actividades realizadas por la cooperativa y su organización, posteriormente se recopiló información de planos y visito el pañol a fin de averiguar los elementos con los que trabajaban habitualmente.

Una de las primeras actividades consistió en realizar un seguimiento del plano de la distribución en media tensión del pueblo y la zona rural, actualizando el mismo.

En base a esto se pudo realizar el análisis de cortocircuito de las dos zonas rurales que alimenta la cooperativa, el objetivo específico era el análisis de la coordinación de las protecciones hasta puntos específicos donde se tiene proyectado instalar reconectores.

Como dato a destacar se puede mencionar el complemento con la formación en la universidad, ya que en conversaciones sobre futuros proyectos se podía siempre identificar la prioridad en la continuidad del servicio, la minimización de las zonas afectadas ante interrupciones permanentes, así como también la posibilidad de maniobras a fin de reducir los tiempos de interrupción.

## Contenido

Resumen .....	2
Objetivos .....	1
Descripción de la empresa .....	1
Tareas Realizadas .....	3
Descripción del sistema de media tensión.....	3
Protecciones asociadas al sistema bajo análisis.....	4
Calculo de corrientes de cortocircuito .....	4
Análisis de cortocircuito trifásico .....	6
Análisis de cortocircuito monofásico .....	13
Descripción de los lineamientos utilizados.....	18
Conclusión.....	18

## Objetivos

Por parte de la empresa:

- Análisis de la viabilidad de instalación de centro de transformación para liberación de carga de centro existente.
- Análisis del sistema de media tensión de la localidad, con sus protecciones asociadas y coordinación de las mismas.

Personales:

- Adquirir experiencia en el campo laboral, previo al egreso de la carrera.
- Aplicar de la mejor manera los conocimientos adquiridos durante la carrera.
- Facilitar la transición desde el ámbito educativo al laboral.
- Complementar la formación técnica con el personal especializado.

El primer objetivo por parte de la empresa no pudo completarse por razones de tiempo, ya que para cumplir con el objetivo referido a la coordinación de las protecciones en media tensión se debieron realizar actividades no previstas.

## Descripción de la empresa

La Cooperativa de Las Higueras es una asociación que brinda cuatro servicios fundamentalmente.

- Energía Eléctrica.
- Video Cable.
- Internet.
- Servicios Sociales.

Fue fundada el 7 de septiembre de 1952 con el propósito de brindar energía eléctrica a la población que tenía la localidad en aquel momento. Actualmente posee 19 empleados y el consejo administrativo está compuesto por 14 miembros.

Se puede ver el organigrama en la figura N°1, se remarca el área donde se trabajó.

Datos:

- Nombre : Cooperativa de Electricidad, Obras y Servicios Públicos Ltda. Las Higueras.
- Domicilio: Italia 198 – Las Higueras.
- Teléfono : (0358) 4970 005
- E-mail : [cooplashigueras@yahoo.com.ar](mailto:cooplashigueras@yahoo.com.ar)

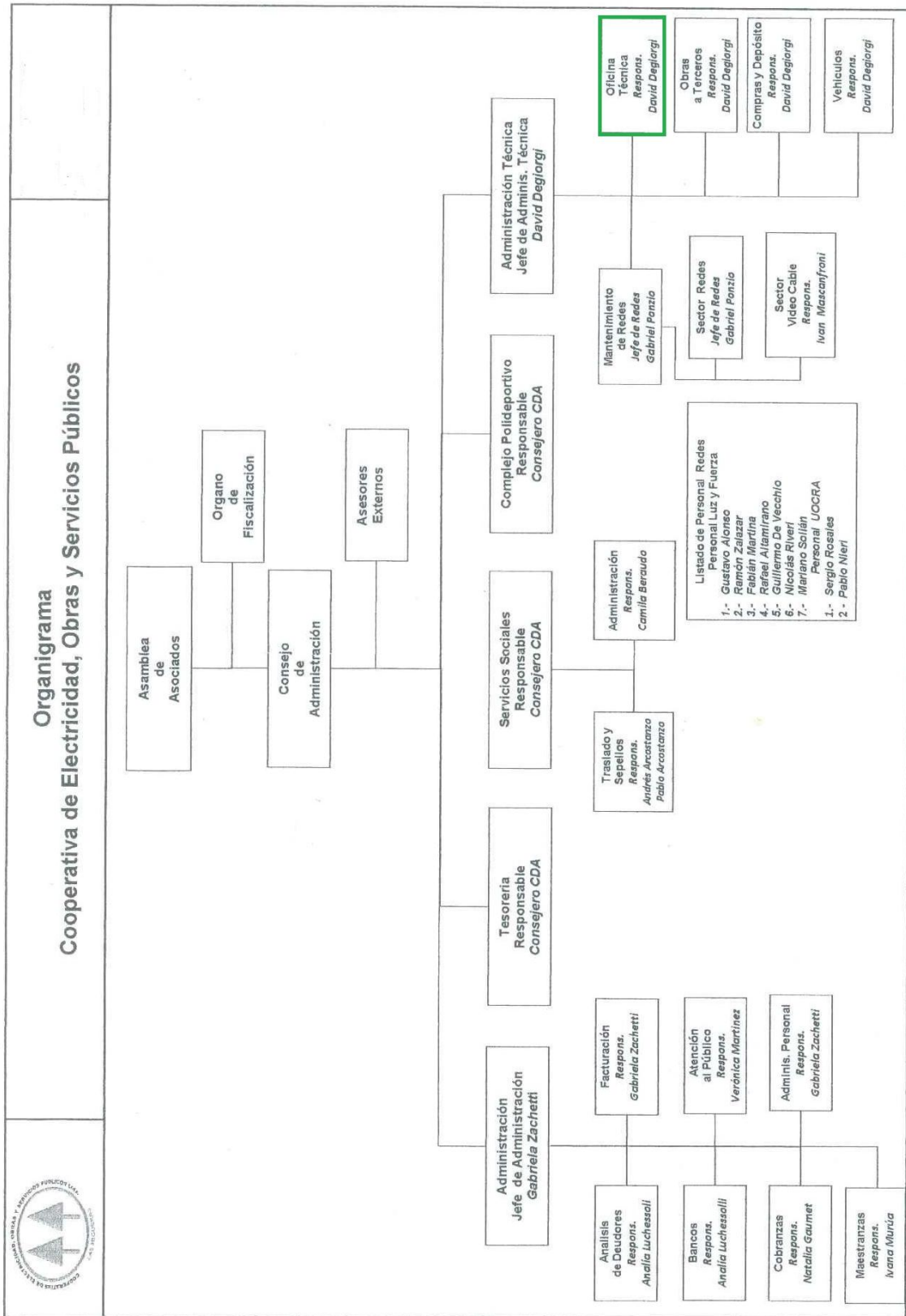


Figura N° 1

## Tareas Realizadas

En primer lugar se realizó el relevamiento del sistema de media tensión de la localidad y la zona rural alimentada por la cooperativa, se identificó las protecciones asociadas, los elementos de maniobra, los centros de transformación y el tipo de tendido.

A partir del relevamiento se actualizó el plano del sistema de media tensión de la cooperativa, se usó dicho plano para calcular la distancia entre las protecciones y poder calcular las impedancias y finalmente los distintos valores de cortocircuito para la coordinación de las protecciones del sistema.

Se realizó dicho análisis para las dos zonas rurales que alimenta la cooperativa, para esto también se identificó el tipo de fusible utilizado, en particular la velocidad del mismo.

## Descripción del sistema de media tensión

Para realizar una descripción simple de los circuitos que se analizaron se puede decir que desde la subestación transformadora ubicada a la vera de la ruta N°158 se tiene un tendido subterráneo con un sistema “4 x (1x95) mm<sup>2</sup> Al” hasta el recinto donde se tiene dos celdas de media tensión. De dichas celdas se alimenta a dos salidas de líneas aéreas con un sistema “4 x (1x95) mm<sup>2</sup> Al”, las líneas alimentan la localidad y luego a las zonas rurales mencionadas, con conductores de aluminio de 35 mm<sup>2</sup>. Se puede ver el tendido en los planos anexos al informe.

Aclaración: Los cuatro cables corresponden a 3 conductores por fase y uno de reserva.

Cabe mencionar que los tendidos aéreos con línea desnuda dentro de la localidad se están reemplazando por línea compacta, esto se debe tener en cuenta en un futuro por los cambios en las impedancias de las líneas.

En particular dentro de la localidad se tiene un alimentador de la empresa distribuidora EPEC conectado entre la ruta N°36 y la subestación de Las Higueras, en caso de una salida de servicio programada de las líneas aéreas, a través de maniobras se podría continuar con el suministro de la localidad a través de este, esto también debe tenerse en cuenta por las diferencias en las corrientes de cortocircuito.

## Protecciones asociadas al sistema bajo análisis

Para hacer un análisis de cortocircuito se muestra en forma simplificada el circuito desde la salida del recinto donde se encuentra las celdas de media tensión hasta los dos reconectadores y para cada uno dos zonas aguas debajo. Ver figura N° 2.

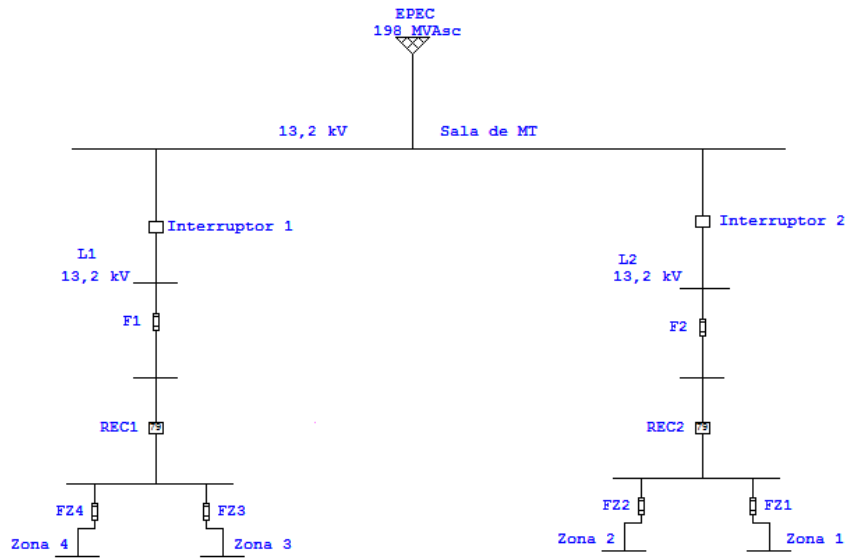


Figura N° 2

## Calculo de corrientes de cortocircuito

En primer lugar se calcula la impedancia de secuencia positiva, y la componente homopolar de las líneas. La impedancia de secuencia negativa es igual a la positiva.

$$Z_{1+} = R_{con} + j * w * 10^{-4} (2 * \ln\left(\frac{A}{r}\right) + 0,5 * \mu), \Omega/\text{Km}$$

$$Z_{0+} = R_{con} + 3 * R_E + j * w * 10^{-4} (6 * \ln\left(\frac{\delta}{\sqrt[3]{r * A^2}}\right) + 0,5 * \mu), \Omega/\text{Km}$$

$Z_{1+}$  = Impedancia de secuencia positiva y/o negativa de la línea por unidad de longitud.  
 $Z_{10}$  = Impedancia homopolar de la línea por unidad de longitud.  
 $A$  = Distancia equivalente entre conductores.  
 $r$  = Radio del conductor.  
 $R_{con}$  = Resistencia por unidad de longitud del conductor  
 $F$  = Frecuencia = 50 Hz  
 $w$  = Pulsación angular =  $314. = 2 * \pi * f$   
 $\rho$  = Resistividad del terreno.  
 $\mu$  = Permeabilidad relativa.  
 $R_E$  = Resistencia del terreno  
 $\delta$  = Profundidad de penetración.

$$\delta = 1650 \sqrt{\frac{\rho}{w}}, \text{ m}$$

$$R_E = \frac{\pi}{2} * w * 10^{-4}, \Omega$$

Para el cálculo de la potencia en la acometida se tiene los valores de potencia de cortocircuito mínima y máxima en la subestación transformadora.

$$Z_{q1} = \frac{1,1 * V_{ll}^2}{S''_k}$$

$S''_k$  = Potencia de cortocircuito (MVA).

$Z_{q1}$  = Impedancia equivalente de secuencia positiva de la acometida.

$V_{ll}$  = Tensión de línea (V).

$$R = 0,1 * Z_{q1}$$

$$X = 0,995 * Z_{q1}$$

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito monofásica se aproxima a cero la resistencia de puesta a tierra de la subestación, la expresión para la impedancia homopolar se muestra a continuación.

$$Z_{q0} = Z_{q1} + 3 * R_N$$

En base a la localización de la falla estudiada, se calcula la impedancia de línea y luego el cortocircuito monofásico y trifásico, con los valores de corriente se coordina la curva del reconector con la protección aguas arriba y luego los fusibles que protegen las dos zonas con el reconector.



$$I_{3\phi} = \frac{V_{fn}}{Z_1 + Z_F}$$

$$I_{1\phi} = \frac{3 * V_{fn}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 * Z_F}$$

$V_{fn}$  = Tensión fase-neutro del sistema.

$Z_F$  = Impedancia de falla.

$I_{3\phi}$  = Corriente de falla trifásica.

$I_{1\phi}$  = Corriente de falla monofásica.

$Z_1$  = Impedancia equivalente de secuencia positiva del sistema hasta el punto de falla.

$Z_2$  = Impedancia equivalente de secuencia negativa del sistema hasta el punto de falla.

$Z_0$  = Impedancia equivalente de componente homopolar del sistema hasta el punto de falla.

## Análisis de cortocircuito trifásico

Se muestra en la Tabla N°1 los valores de corriente de cortocircuito trifásico en el lugar donde se tiene proyectado la instalación de los reconectores, de los fusibles donde se divide cada zona y donde termina cada zona. Además se tiene en cuenta los valores de corriente posibles con una resistencia de falla de 10 [ $\Omega$ ].

En cuanto a la corriente nominal se estimó teniendo en cuenta la potencia de los transformadores aguas debajo de cada elemento y un factor de carga.

Para el análisis de coordinación se tiene en cuenta que la curva del fusible se encuentre arriba y a la derecha de la curva rápida del reconector. Esto debe cumplirse como mínimo para un rango que va desde el cortocircuito mínimo al final de la zona y el máximo al principio de la misma.

En la Figura N°3 se muestra las curvas del reconector 2 y la de cada fusible correspondiente a cada zona.

Lugar	In [A]	Icc max [A]	Icc min [A]
Reconectador 1	19	624	540
Zona 3	10	514	451
Fin Zona 3	-	320	286
Zona 4	4	514	451
Fin Zona 4	-	359	320
Reconectador 2	41	664	570
Zona 1	25	482	425
Fin Zona 1	-	258	232
Zona 2	6	512	450
Fin Zona 2	-	347	309

Tabla N° 1

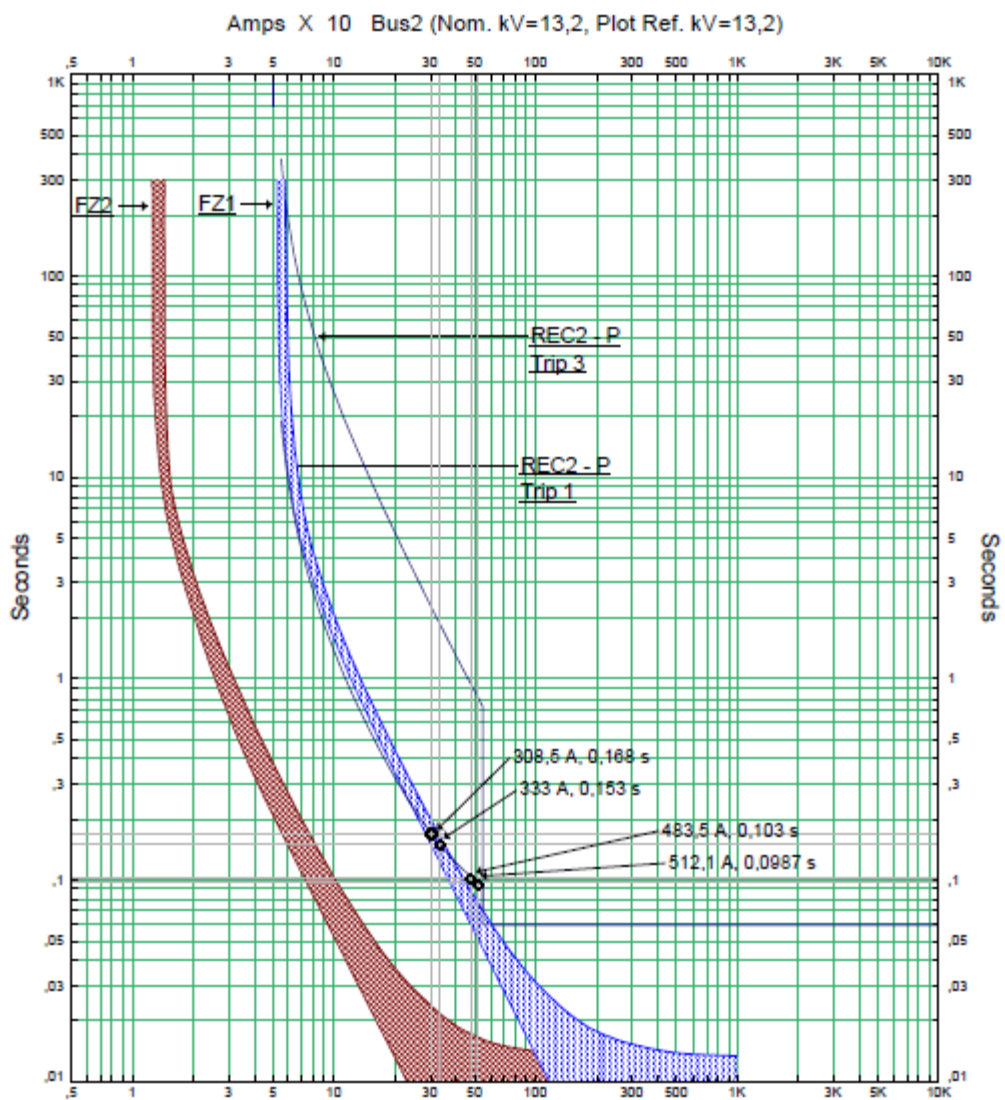


Figura N° 3

Los fusibles seleccionados corresponden a 25 K y 6 K para la zona 1 y zona 2 respectivamente. Esto teniendo en cuenta la corriente nominal del lugar y a modo de actuar como respaldo de las protecciones en cada una de las derivaciones que se hacen a cada carga. Se puede ver que en ningún caso se cumple con la coordinación, por lo que se propone un fusible de 40 K para ambos casos, se muestra en la Figura N°4 que se cumple con la coordinación. En cuanto al elevado valor con respecto a la nominal se sacrifica el respaldo de las protecciones en cada derivación sin poner en riesgo al conductor usado para el tendido ya que es hecho con una línea de 35 mm<sup>2</sup> de aluminio con una capacidad de conducción de 160 [A].

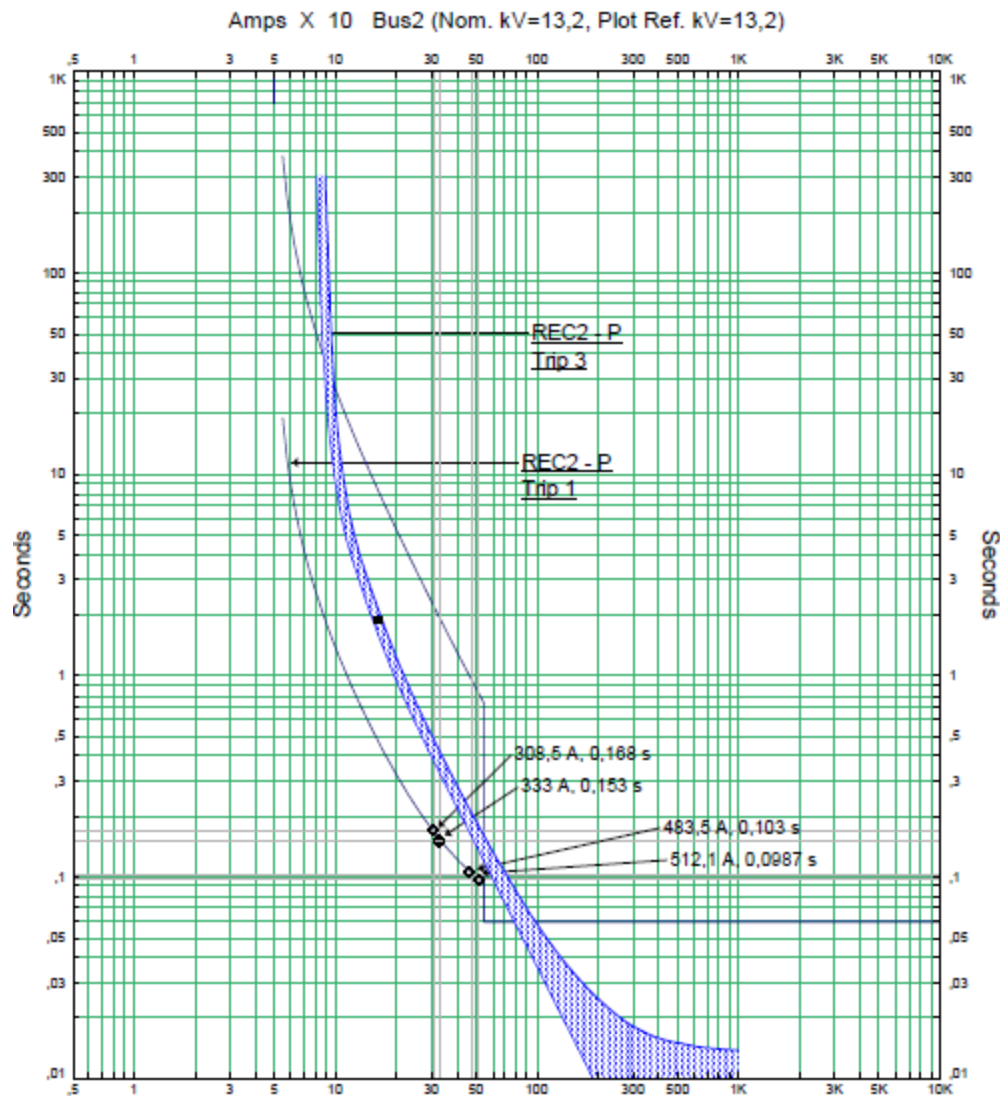


Figura N° 4

Finalmente se muestra en la Figura N° 5 la curva correspondiente al interruptor en cabecera N°2 de línea, las curvas del reconectador y la de un fusible de 40 K. Para la selección de las curvas del reconectador se tuvo en cuenta la corriente nominal y los valores de cortocircuito máximo y mínimo mostrados en la Tabla N°1. El corte instantáneo es hecho a partir de un valor inferior al mínimo de cortocircuito en el lugar pero mayor al máximo de cada zona. Se especifica los parámetros de cada protección debajo de la figura.

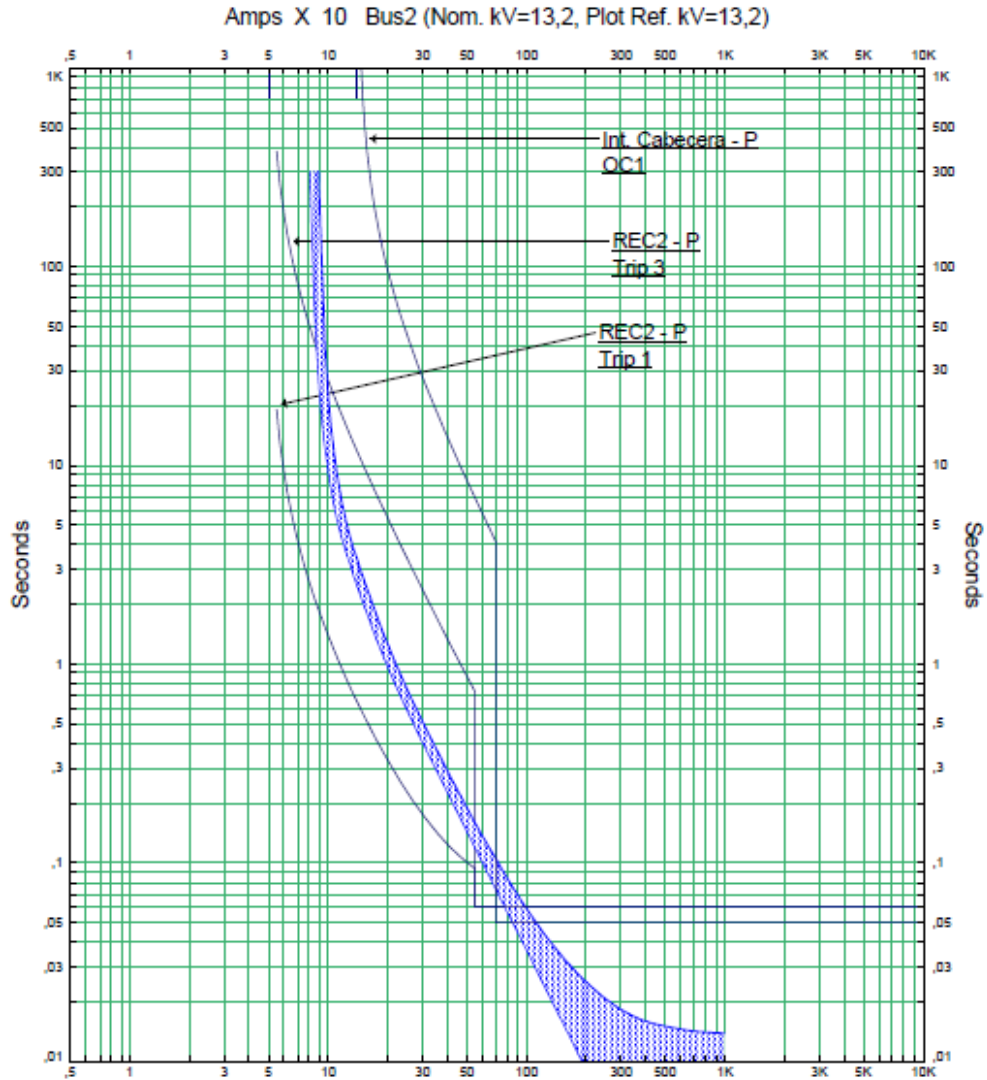


Figura N° 5

Interruptor de cabecera N°2:

- Curva IEC extremely inverse
- $I_n = 140$  [A]
- TMS = 1
- $I_i = 700$  [A]
- $t_i = 50$  [ms]

Reconectador 2:

- Curva IEC extremely inverse
- $I_n = 50$  [A]
- TMS = 1
- $I_i = 550$  [A]
- $t_i = 60$  [ms]

Fusible:

- 40 K

Se realiza el mismo estudio para el caso del reconector 1, se muestra en la Figura N°6 las curvas del reconector y la de los fusibles para cada zona.

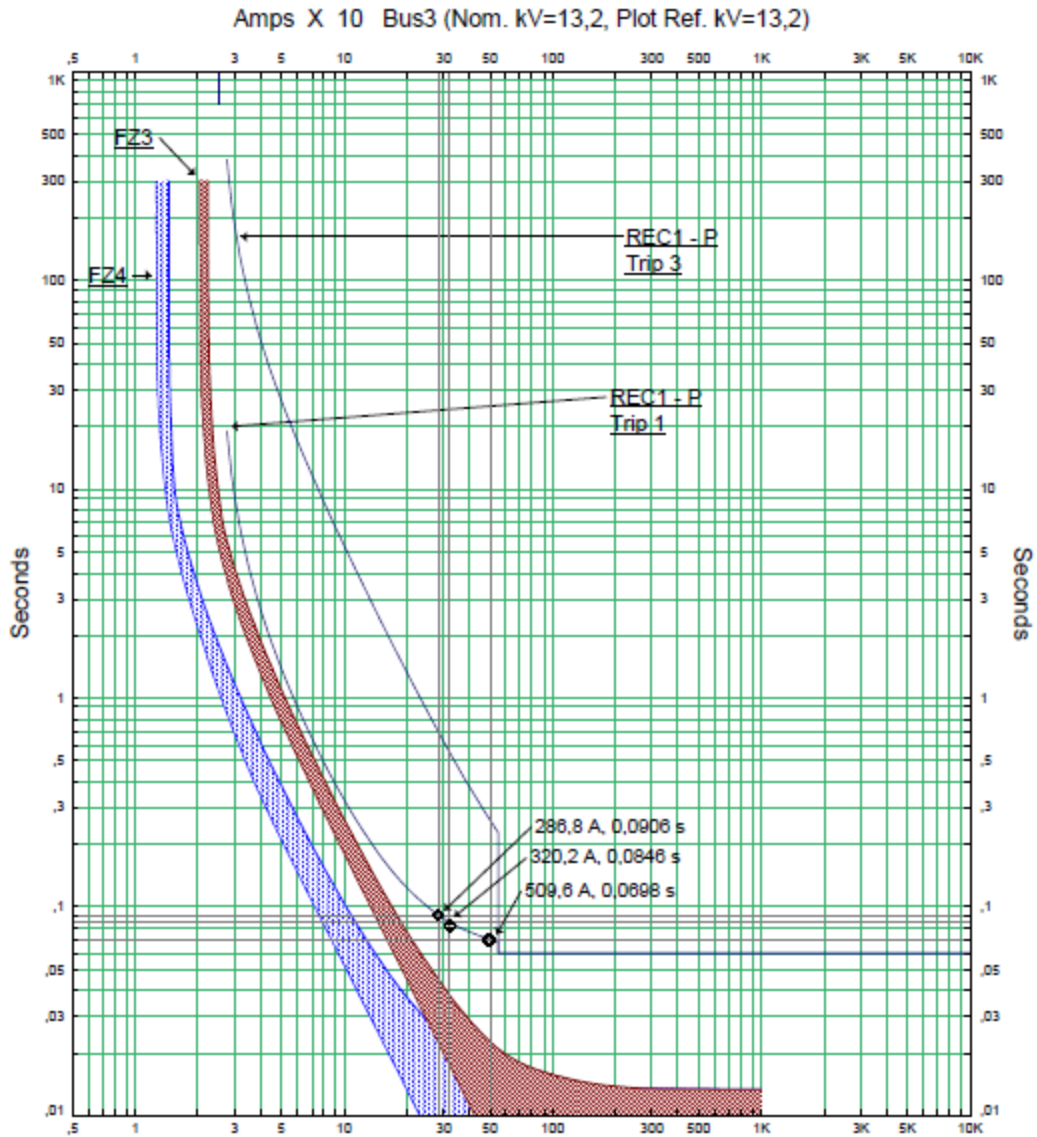


Figura N° 6

Se encuentran resultados similares por lo que se sigue la misma metodología anteriormente descrita en la Figura N° 7 se muestra la coordinación con un Fusible de 40 K.

Se remarca el hecho de que la coordinación del fusible y el reconector debe cumplirse en un rango entre la corriente de cortocircuito mínima y la máxima, esto es, la curva del fusible debe estar entre la curva rápida y la lenta del reconector entre los rangos de corriente especificados.

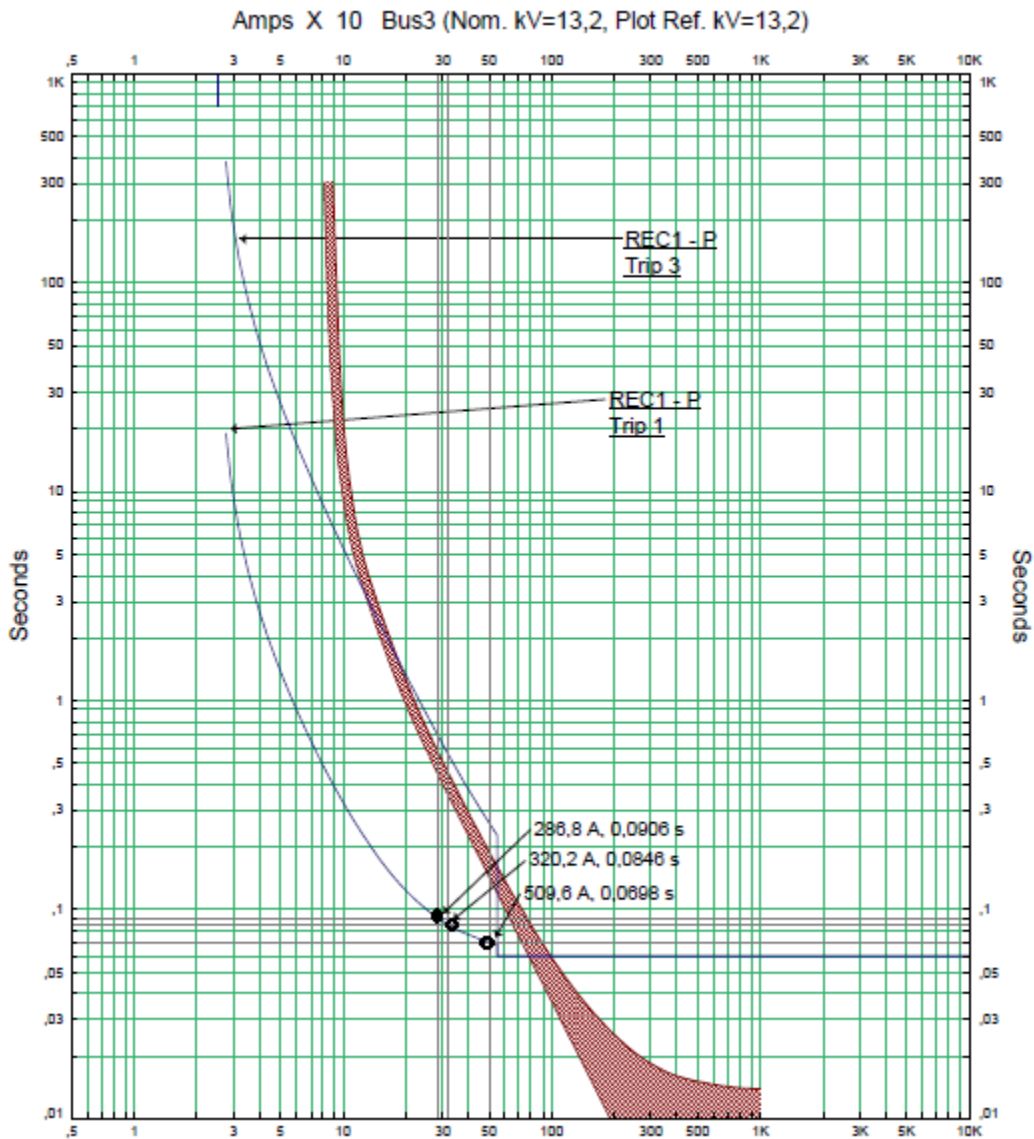
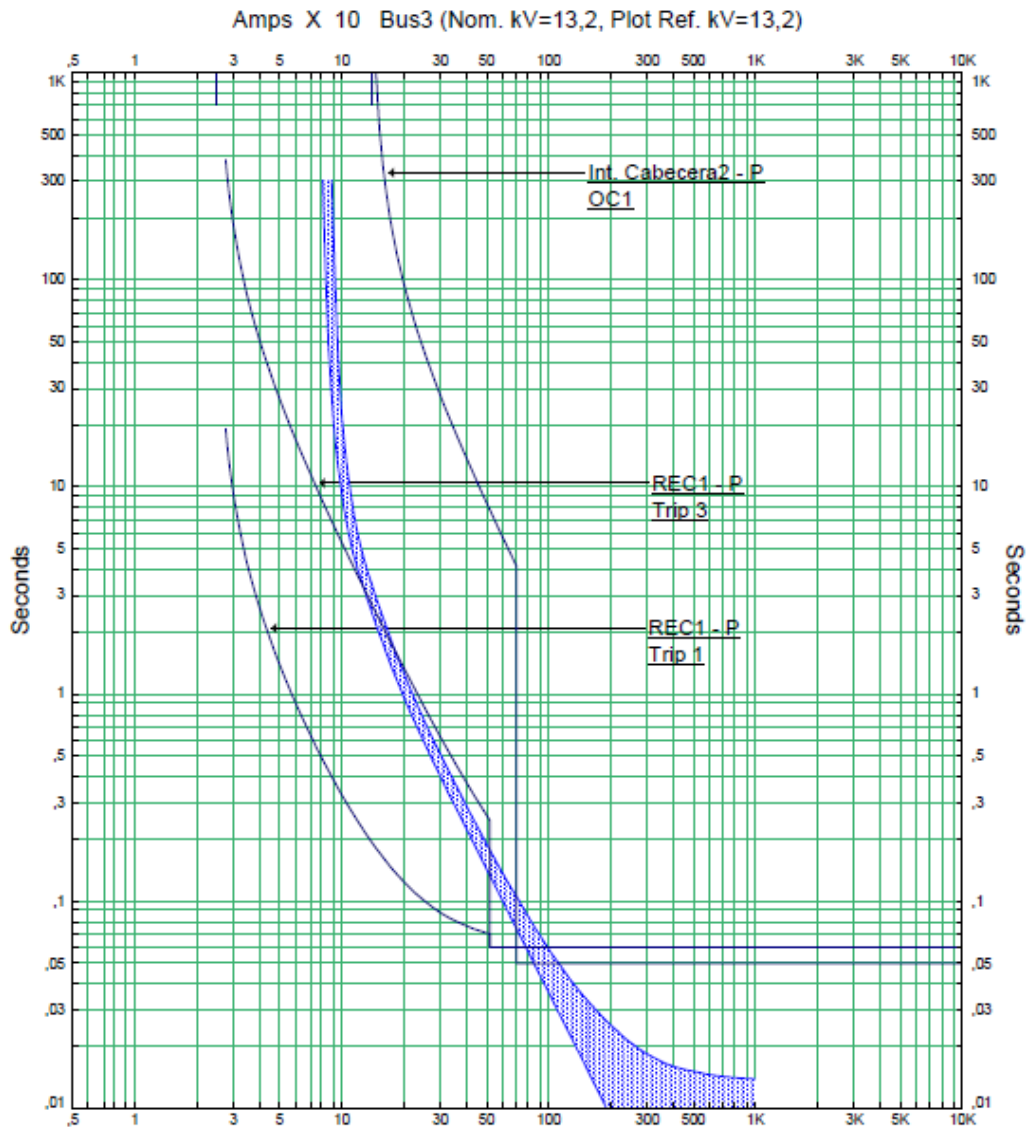


Figura N° 7

Finalmente se muestra en la Figura N° 8 la curva correspondiente al interruptor en cabecera N°1 de línea, las curvas del reconnector y la de un fusible de 40 K. Para la selección de las curvas del reconnector se tuvo en cuenta la corriente nominal y los valores de cortocircuito máximo y mínimo mostrados en la Tabla N°1. El corte instantáneo es hecho a partir de un valor inferior al mínimo de cortocircuito en el lugar pero mayor al máximo de cada zona. Se especifica los parámetros de cada protección debajo de la figura.



Interruptor de cabecera N°1:

- Curva IEC extremely inverse
- $I_n = 140$  [A]
- TMS = 1
- $I_i = 700$  [A]
- $t_i = 50$  [ms]

Reconectador 1:

- Curva IEC extremely inverse
- $I_n = 25$  [A]
- TMS = 1
- $I_i = 520$  [A]
- $t_i = 60$  [ms]

Fusible:

- 40 K

## Análisis de cortocircuito monofásico

Se muestra en la Tabla N°2 los valores de corriente de cortocircuito monofásico en el lugar donde se tiene proyectado la instalación de los reconectores, de los fusibles donde se divide cada zona y donde termina cada zona. Además se tiene en cuenta los valores de corriente posibles con una resistencia de falla de 10 [ $\Omega$ ].

Se pretende mostrar la coordinación con los fusibles ya seleccionados.

Para el análisis de coordinación se tiene en cuenta que la curva del fusible se encuentre arriba y a la derecha de la curva rápida del reconector. Esto debe cumplirse como mínimo para un rango que va desde el cortocircuito mínimo al final de la zona y el máximo al principio de la misma.

En la Figura N°9 se muestra las curvas del reconector 2 y la de un fusible de 40 K.

Lugar	In	Icc max	Icc min
Reconector 1	19	588	507
Zona 3	10	469	410
Fin Zona 3	-	278	247
Zona 4	4	469	410
Fin Zona 4	-	315	279
Reconector 2	41	635	544
Zona 1	25	436	383
Fin Zona 1	-	221	198
Zona 2	6	468	409
Fin Zona 2	-	303	269

Tabla N° 2

Los valores de corriente nominal que figuran en la Tabla N°2 son trifásicos, se hace la aclaración ya que se utiliza la misma para la selección de la corriente de arranque de la curva del reconector tomando un porcentaje de la misma de modo que la protección sea más sensible sin dejar de lado el hecho de que se tiene en su mayoría transformadores bifásicos, provocando esto corrientes de desbalance naturales al sistema bajo estudio, hecho que no deben hacer operar a los reconectores.



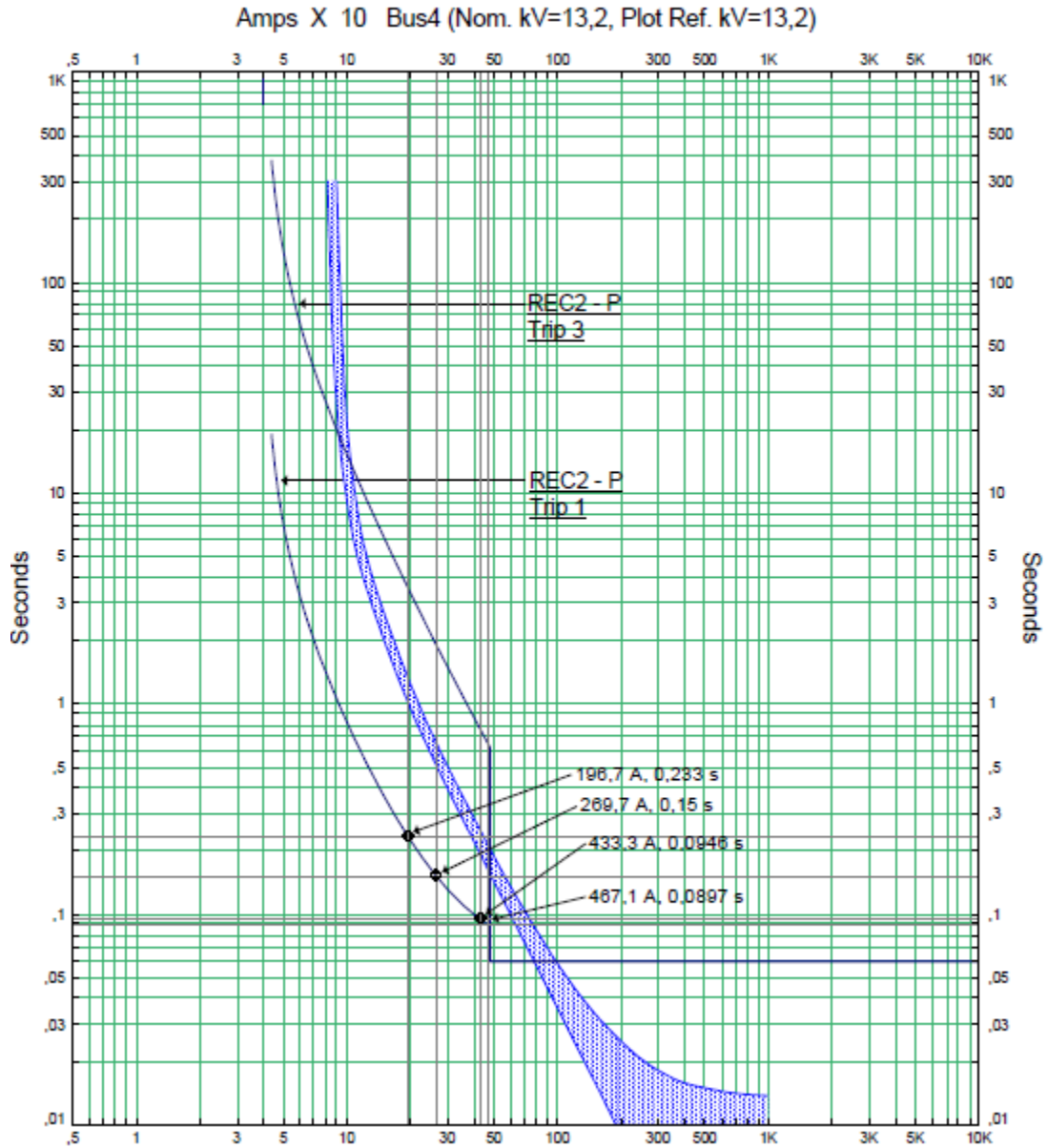


Figura N° 9

Se comprueba la coordinación por lo que muestra la coordinación con el interruptor de cabecera N°1 en la Figura N°10.

El corte instantáneo del reconectador es limitado por la configuración que se tiene en el interruptor de cabecera, por lo que se configura con un valor de corriente superior al máximo de una de las zonas a fin de que actúe solo en caso que ocurra un cortocircuito entre el reconectador y el fusible. Se muestra los parámetros de las protecciones a continuación de la figura.

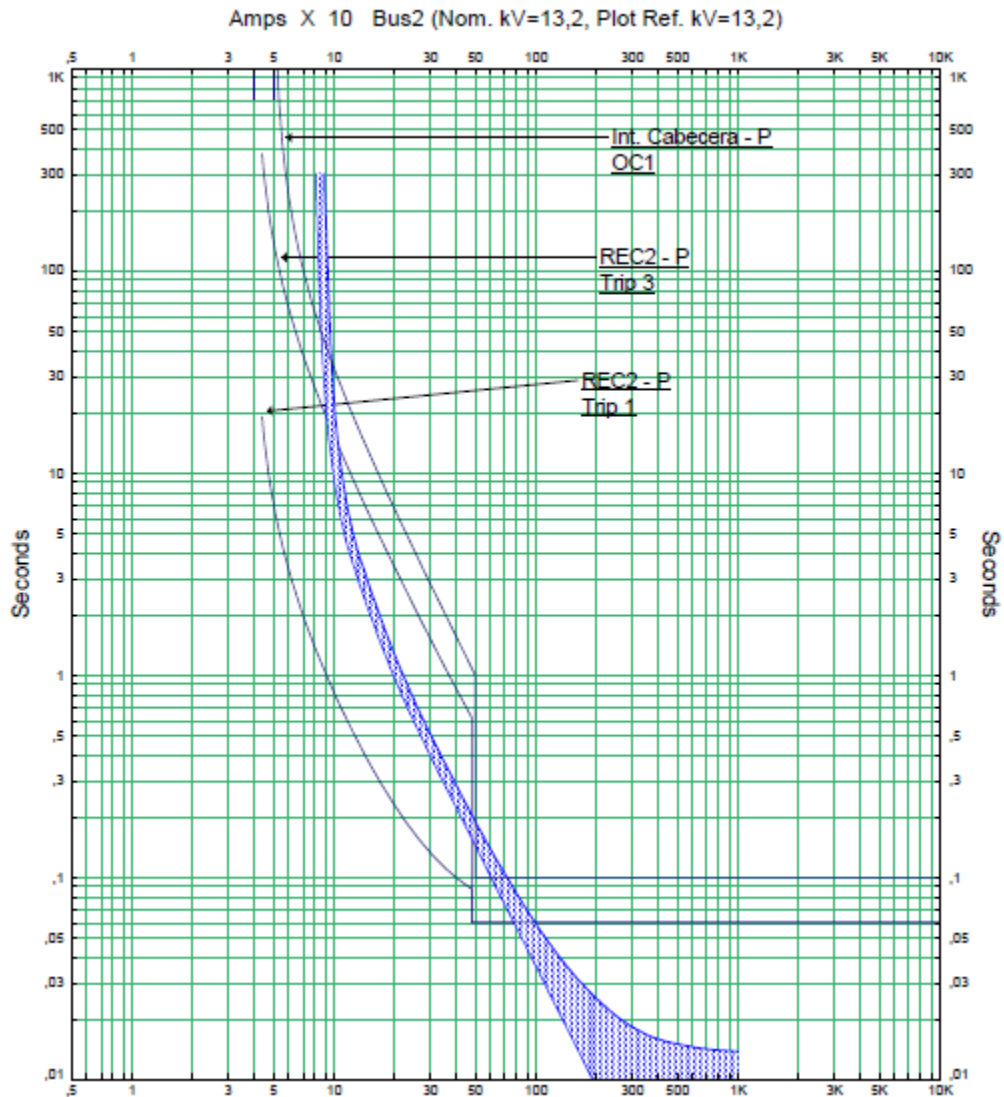


Figura N° 10

Interruptor de cabecera N°1:

- Curva IEC extremely inverse
- $I_n = 45$  [A]
- TMS = 1
- $I_i = 500$  [A]
- $t_i = 100$  [ms]

Reconectador 2:

- Curva IEC extremely inverse
- $I_n = 40$  [A]
- TMS = 1
- $I_i = 480$  [A]
- $t_i = 60$  [ms]

Fusible:

- 40 K

En la Figura N°11 se muestra la coordinación entre el reconectador 1 y un fusible de 40 K.

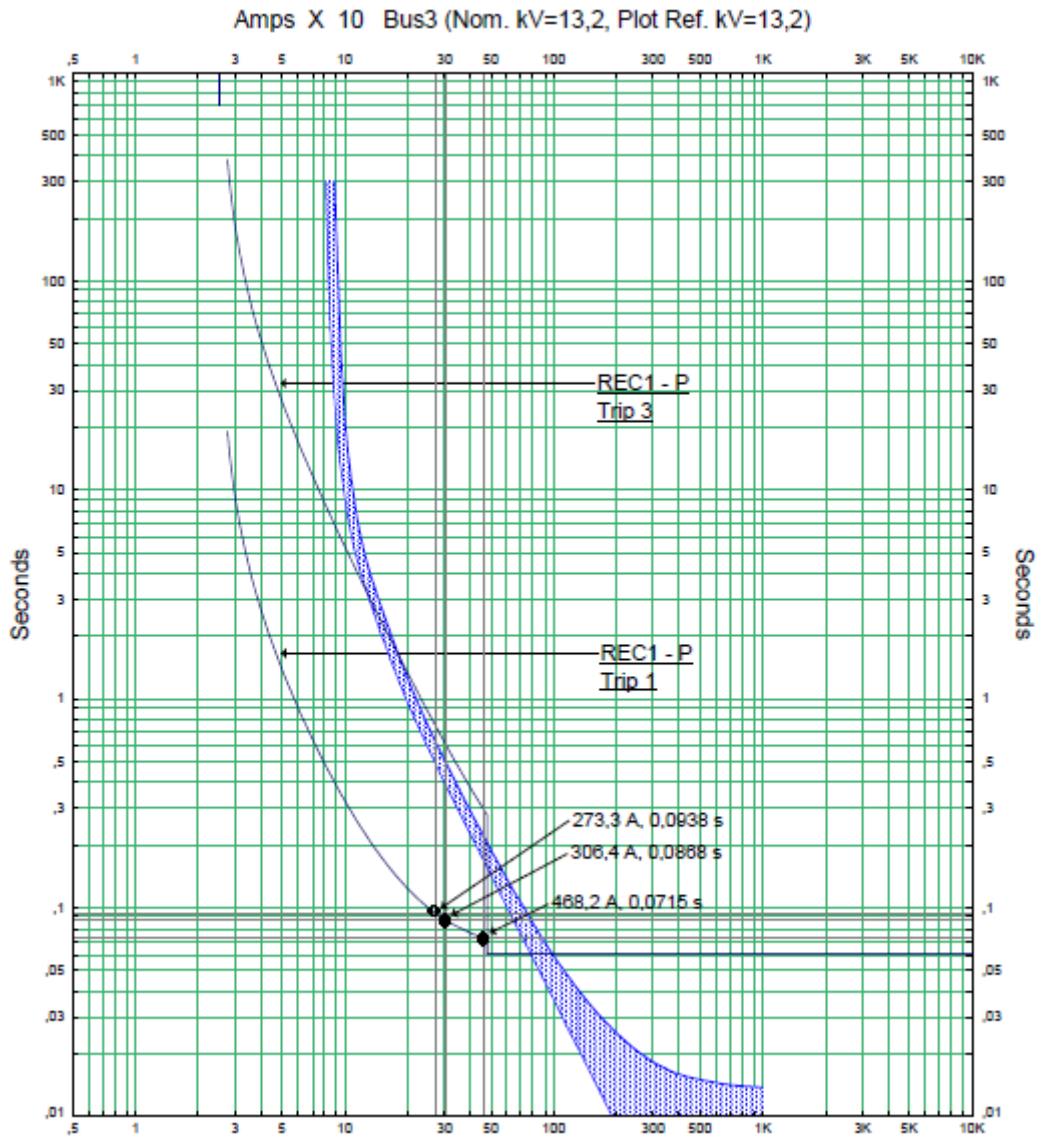


Figura N° 11

Se comprueba la coordinación por lo que muestra la coordinación con el interruptor de cabecera N°2 en la Figura N°12.

Nuevamente se selecciona el corte instantáneo en un valor mayor al cortocircuito máximo de las zonas, se está limitado por el valor de corriente configurado en el interruptor de cabecera N°2.

Se especifican los parámetros de cada protección a continuación de la figura.

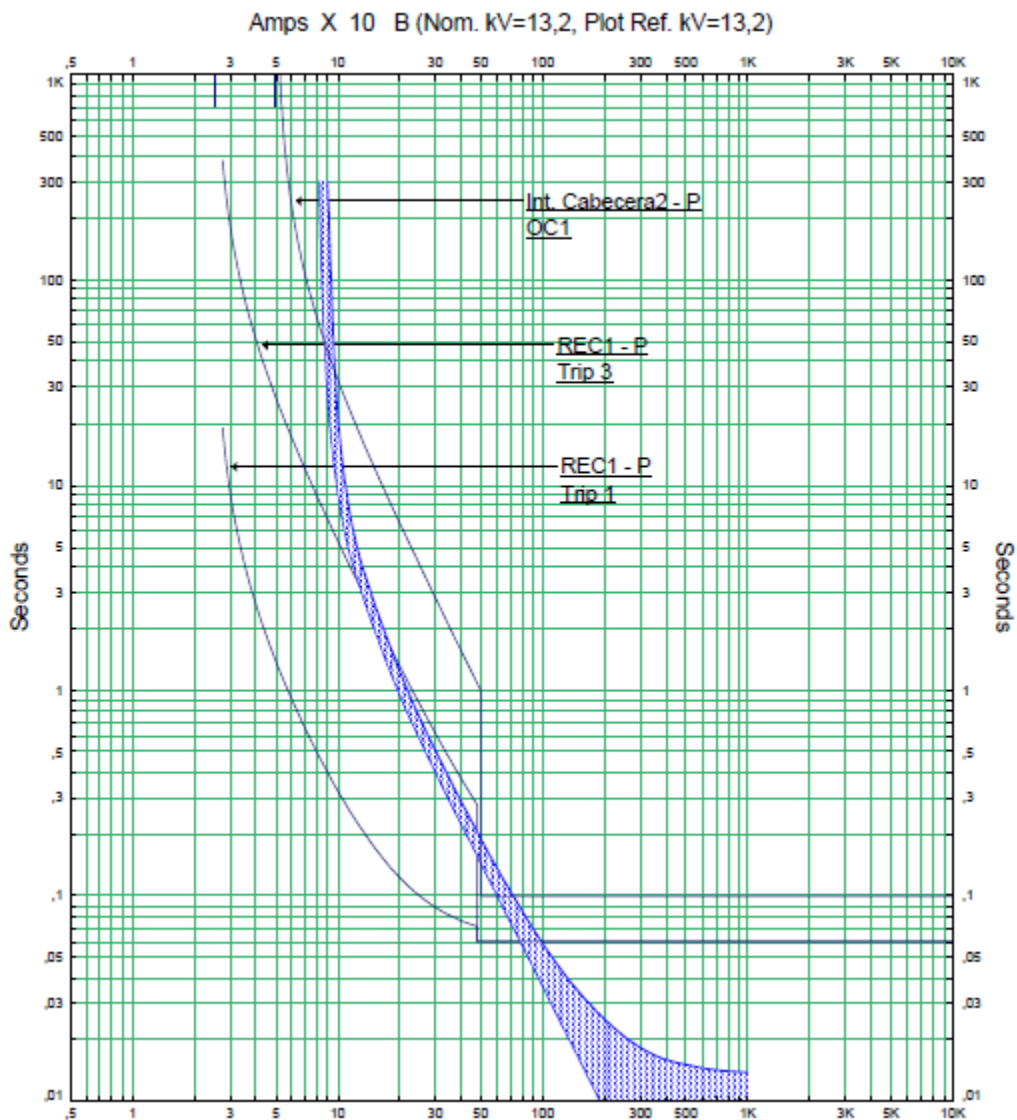


Figura N° 12

Interruptor de cabecera N°2:

- Curva IEC extremely inverse
- $I_n = 45$  [A]
- TMS = 1
- $I_i = 500$  [A]
- $t_i = 100$  [ms]

Reconectador 1:

- Curva IEC extremely inverse
- $I_n = 25$  [A]
- TMS = 1
- $I_i = 480$  [A]
- $t_i = 60$  [ms]

Fusible:

- 40 K

## Descripción de los lineamientos utilizados

En resumen debido a la relación entre las corrientes de cortocircuito y la corriente nominal en el lugar donde se tiene el principio de cada zona se debe colocar fusibles de 40 K, no se asegura el respaldo de las protecciones que protegen los tendidos en ramales secundarios, por lo que se sacrifica a fin de priorizar la continuidad de servicio. No se pone en riesgo la vida útil del cable ya que es de  $35 \text{ mm}^2$  con capacidad de 160 [A] y el fusible comienza a actuar a partir de 60 [A].

Otro factor a tener en cuenta son los futuros cambios en el tendido de línea, al realizarse la instalación de línea compacta dentro de la zona urbana se disminuye la impedancia de la línea, se debe hacer en este caso un nuevo estudio por el aumento de las corrientes de cortocircuito.

Se debe tener en cuenta que para el cálculo de la impedancia de acometida homopolar se aproximó a cero la resistencia de puesta a tierra, por lo que las corrientes de cortocircuito monofásica podrían ser menores a los calculados, luego de la instalación si no se cumple con la coordinación se puede utilizar un fusible de menor calibre (30 K) y en un caso extremo realizar un nuevo estudio y coordinar con seccionadores.

En relación a los dos puntos citados anteriormente y teniendo en cuenta que se debe coordinar para cortocircuitos trifásicos y monofásicos, los seccionadores son una buena opción debido a que son independientes de la corriente de cortocircuito, estos coordinan por cantidad de operaciones del reconectador.

En relación a la limitación que se tuvo en la parametrización de la interrupción instantánea frente a fallas monofásicas se tiene la posibilidad de separar el tipo la falla, es decir saber si la falla fue entre el reconectador y la división de las zonas, esto teniendo en cuenta los niveles de cortocircuito y la cantidad de operaciones o la falta de las mismas para el corte del suministro.

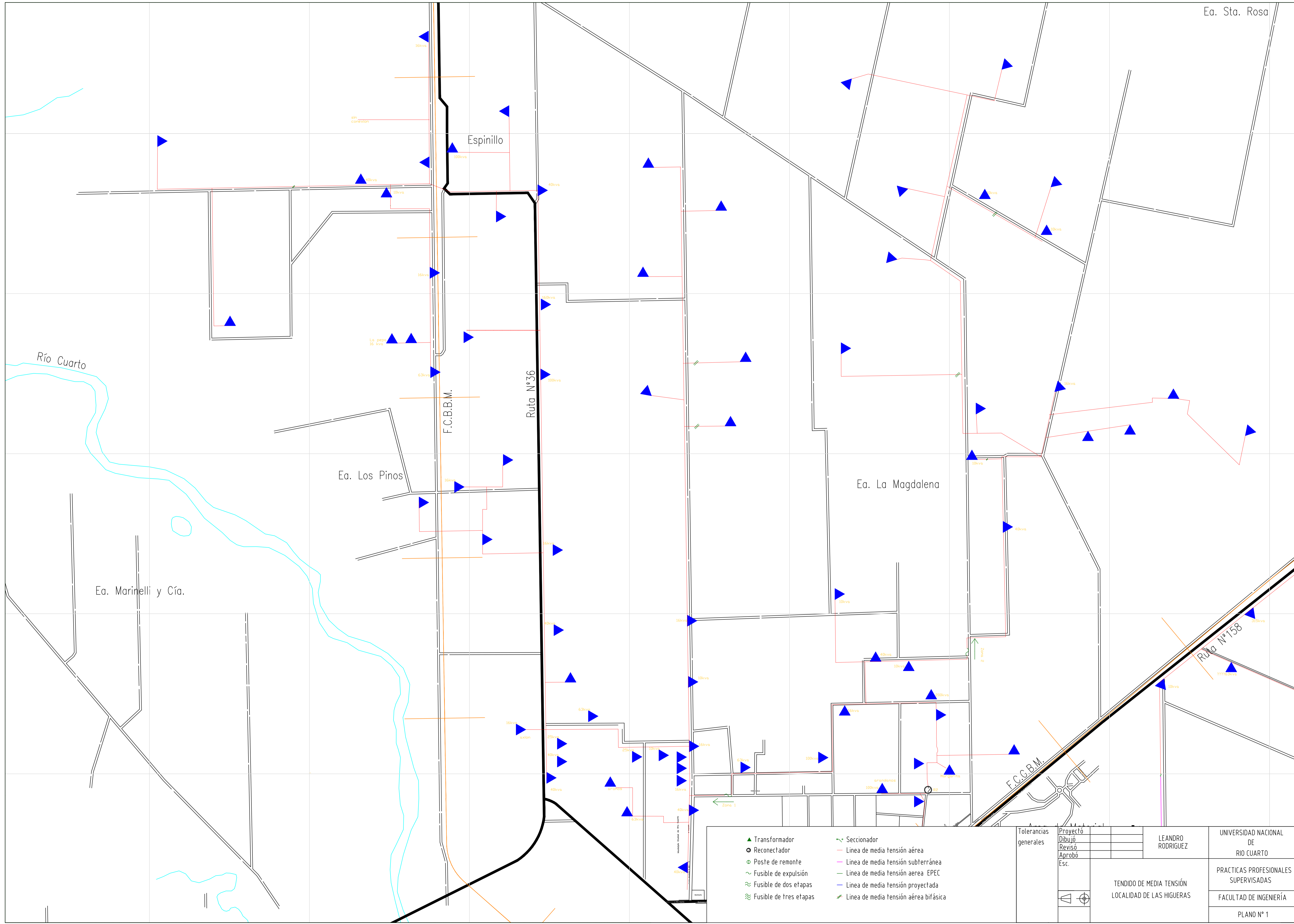
## Conclusión

Se cumplió con uno de los objetivos planteados para las prácticas profesionales ya que no se tuvieron en cuenta algunas actividades, esto igualmente se ve como positivo ya que estas actividades consistieron en el uso de software para la coordinación de las protecciones, familiarización con la programación de un rele, la descarga de las curvas que tenían los reles en la sala de media tensión en la cabecera del tendido y la lectura del manual del reconectador a comprar.

Se encontró muy buena disposición por parte del personal de la cooperativa eléctrica para brindar información o evacuar alguna duda. Además se adquirió conocimientos en relación al mantenimiento y maniobra del tendido, así como las maniobras para la ubicación de fallas por parte del personal.

También se tuvo una buena disposición por parte del tutor por parte de la facultad, marcando lineamientos a tener en cuenta en el análisis de la coordinación y recomendaciones para extraer las curvas del rele de la sala de media tensión.

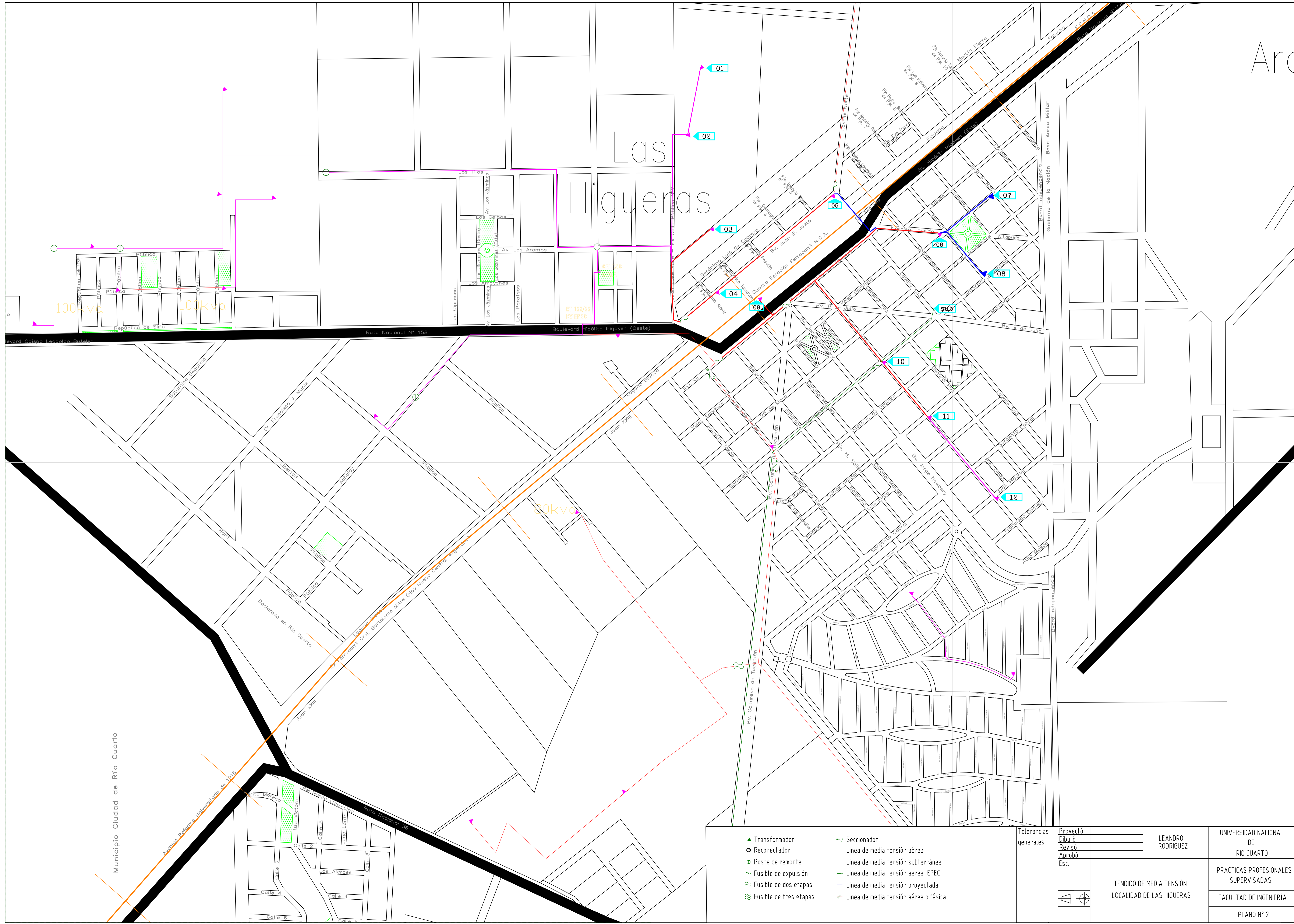
Se mantiene un vínculo con la cooperativa luego de realizar las prácticas profesionales, se ofreció el trabajo de actualizar los planos en baja tensión del pueblo.



- ▲ Transformador
- Reconectador
- ⊗ Poste de remonte
- ~ Fusible de expulsión
- ⋈ Fusible de dos etapas
- ⋈ Fusible de tres etapas
- Seccionador
- Línea de media tensión aérea
- Línea de media tensión subterránea
- Línea de media tensión aérea EPEC
- Línea de media tensión proyectada
- Línea de media tensión aérea bifásica

Tolerancias generales
Proyectó
Dibujó
Revisó
Aprobó
Esc.

LEANDRO RÓDRIGUEZ	UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
TENDIDO DE MEDIA TENSIÓN LOCALIDAD DE LAS HIGUERAS	PRACTICAS PROFESIONALES SUPERVISADAS
	FACULTAD DE INGENIERÍA
	PLANO N° 1



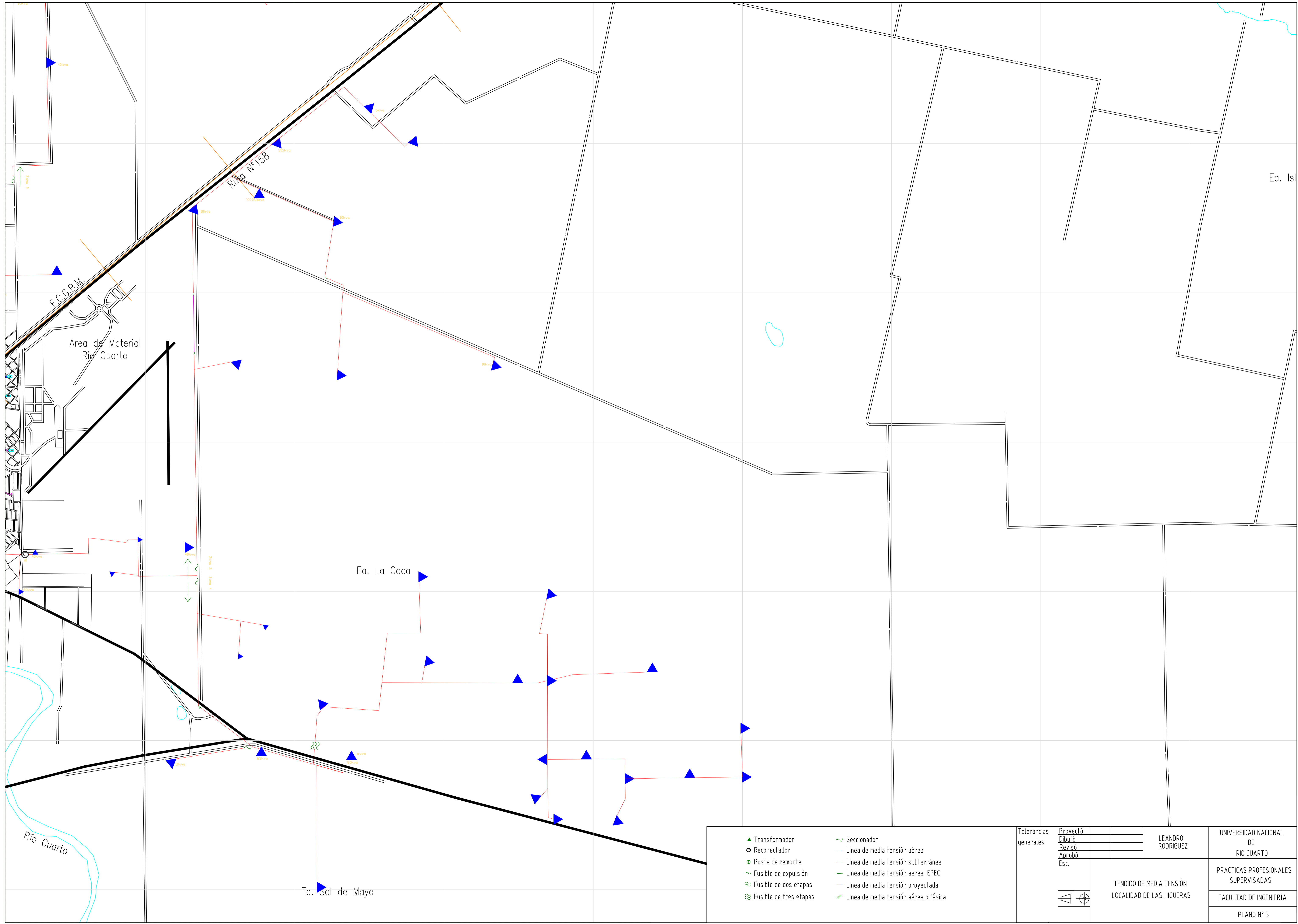
- ▲ Transformador
- Reconector
- Poste de remonte
- ~ Fusible de expulsión
- ⋈ Fusible de dos etapas
- ⋈ Fusible de tres etapas
- ⋈ Seccionador
- Linea de media tensión aérea
- Linea de media tensión subterránea
- Linea de media tensión aérea EPEC
- Linea de media tensión proyectada
- Linea de media tensión aérea bifásica

Tolerancias generales

Proyectó	
Dibujó	
Revisó	
Aprobó	
Esc.	

LEANDRO RÓDRIGUEZ

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO  
 PRACTICAS PROFESIONALES SUPERVISADAS  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 PLANO N° 2



- ▲ Transformador
- Reconectador
- Poste de remonte
- ~ Fusible de expulsión
- ≈ Fusible de dos etapas
- ≈≈ Fusible de tres etapas
- Seccionador
- Línea de media tensión aérea
- Línea de media tensión subterránea
- Línea de media tensión aérea EPEC
- Línea de media tensión proyectada
- Línea de media tensión aérea bifásica

Tolerancias generales

Proyectó	
Dibujó	
Revisó	
Aprobó	
Esc.	

LEANDRO RÓDRIGUEZ	UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
TENDIDO DE MEDIA TENSIÓN LOCALIDAD DE LAS HIGUERAS	PRACTICAS PROFESIONALES SUPERVISADAS
	FACULTAD DE INGENIERÍA
	PLANO N° 3