



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

MARÍA ELISA DE ALMANSA GARRIDO

DESIGN AND TEST OF MEDIUM VOLTAGE NETWORK AUTOMATION STRATEGIES

Autor: María de Almansa Garrido

Director: Pablo Frías Marín

Madrid

Septiembre 2016

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. _____

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: _____

que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- Madrid, a de de

Fdo.....



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

.....

.....

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.:

Fecha://

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.:

Fecha://

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fdo.:

Fecha://



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MARÍA ELISA DE ALMANSA GARRIDO

DESIGN AND TEST OF MEDIUM VOLTAGE NETWORK AUTOMATION STRATEGIES

Autor: María de Almansa Garrido
Director: Pablo Frías Marín

Madrid
Septiembre 2016

DISEÑO Y PRUEBA DE ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN

Autor: Almansa Garrido, María Elisa de.

Director: Frías Marín, Pablo.

Entidad colaboradora: ICAI-Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El sistema eléctrico se encarga de generar y distribuir la energía eléctrica a los usuarios. Las faltas en la red eléctrica conllevan pérdidas para las empresas distribuidoras y para los clientes. Actualmente las empresas distribuidoras reciben sanciones económicas si no cumplen los niveles mínimos de calidad del servicio establecidos por la normativa. Por ello, se buscan alternativas que permitan modernizar y mejorar el uso de la red eléctrica para que sea más eficiente a nivel de la continuidad de suministro y a nivel económico, buscando reducir las pérdidas y equilibrar las cargas de la red.

La reconfiguración es el proceso por el cual se cambia la topología de la red para tener una configuración que permita el servicio continuo a los usuarios y reduzca las sobrecargas y pérdidas que se producen en las líneas. Cambiando la secuencia de apertura de los interruptores en la red, se puede conducir la energía por un camino que dé lugar a mínimas pérdidas. Además, se puede reconfigurar la red para proveer un camino alternativo para la corriente ante una falta, manteniendo el suministro de la energía a los usuarios y mejorando por tanto los índices de calidad del servicio.

En este proyecto se analiza el funcionamiento y la operación de la red eléctrica de distribución y cómo, mediante estrategias de automatización, se puede contribuir a la mejora de la fiabilidad, la reducción de pérdidas, y la reducción de sobrecarga de la misma. Se analiza el sistema eléctrico y las características de las redes de distribución. Se introduce también el funcionamiento actual en el caso de una falta, cómo se aborda la operación y el mantenimiento por parte de las empresas distribuidoras. Por último se propone la automatización como contribución a la modernización de la red de distribución. El estudio de la automatización se lleva a cabo para una red de distribución urbana, con dos alimentadores de media tensión y una configuración radial.

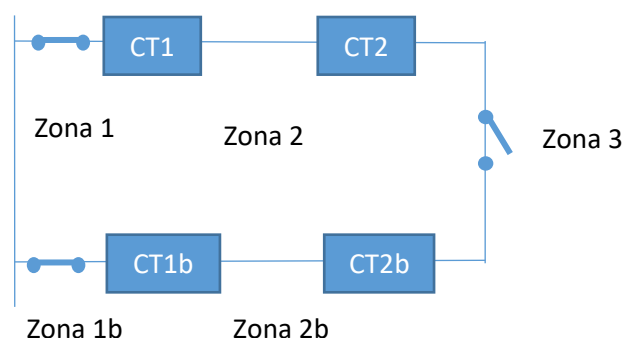


Ilustración 1: Esquema de la red de distribución estudiada

DISEÑO DE SOFTWARE

Para desarrollar los algoritmos de reconfiguración de los interruptores de la red de distribución, se han abordado tres funcionalidades: operación y mantenimiento, reducción de pérdidas y reducción de sobrecarga, y mejora de la continuidad de suministro.

Operación y mantenimiento:

Las redes eléctricas deben suministrar en todo momento energía a los usuarios, si hay que realizar una operación en la misma, la empresa distribuidora debe buscar una alternativa para alimentar a los clientes y evitar una interrupción del servicio. Se trata de una interrupción prevista y por tanto se conoce la zona a dejar fuera de servicio. En este caso se eligen de forma manual los interruptores a reconfigurar con la finalidad de aislar una zona y mantener el suministro en las zonas no afectadas.

Reducción de pérdidas y sobrecarga

Para optimizar el uso de la red se necesita aparamenta de medida que informe en todo momento de los parámetros físicos de la misma. La información de la medida de corriente se recibe de forma automática en el centro de control, y mediante un algoritmo, se calcula la reconfiguración que permita las mínimas pérdidas o la distribución de cargas adecuada.

En el caso de la reducción de pérdidas, el algoritmo de reconfiguración es acorde a la fórmula de la potencia disipada en las líneas:

$$P_{pérd} = 3 * R_{total} * I^2$$

Según la impedancia de cada línea, se puede conducir la corriente por aquel camino que dé lugar a pérdidas mínimas.

Por otra parte, para reducir la sobrecarga, la empresa distribuidora puede establecer un factor de nivel máximo de corriente a partir del cual se considera sobrecarga y por lo tanto se reconfiguran los interruptores:

$$I_{medida} > I_N * K$$

Cuando se cumple esta condición, se reconfigura la red, y por tanto se mantiene un equilibrio en el balance de cargas.

Mejora de la continuidad de servicio

Los índices de calidad de servicio más significativos son el TIEPI (tiempo de interrupción equivalente a la potencia instalada) y el NIEPI (número de interrupciones equivalente a la potencia instalada). Estos parámetros cuantifican el número de interrupciones y la duración de las mismas. La automatización introduce una mejora significativa de estos niveles de calidad. Para llevar a cabo la reconfiguración óptima se instalan en la red sensores de corriente y actuadores que permitan controlar la red en caso de falta. Se localiza la zona afectada de forma inmediata, lo cual introduce una gran mejora en el tiempo de reposición del servicio y por tanto reduce el TIEPI. La disminución del tiempo de reposición conlleva un ahorro para las empresas distribuidoras y evita sanciones por incumplimiento de los índices de calidad.

DISEÑO DE HARDWARE

El análisis se hace para una red de distribución urbana con dos alimentadores y cuatro centros de transformación, dos por cada red de media tensión. Para montar esta red a escala en el laboratorio se utilizan equipos que posibilitan el montaje de la red, la medición y el control del sistema.

Las bombillas representan las cargas en la red. Cada bombilla modela el consumo de un usuario. Se conectan a la salida de cada centro de transformación.

Se utilizan contactores para cambiar la configuración de la red. Las cajas de contactores actúan dando paso a la corriente o interrumpiendo su circulación en función de la orden de entrada de los relés. Estos contactores representan todos los interruptores del circuito, tanto los de cabecera y apoyo, como los interruptores de los centros de transformación.

Los relés utilizan la información del microprocesador para actuar sobre los contactores. Se utiliza un relé para actuar sobre cada interruptor. Los relés de sobrecorriente permiten actuar de forma automática a partir de un nivel de corriente máxima establecida.

El transductor de corriente realiza las medidas de intensidad en la red. Esta información se transmite automáticamente al centro de control, en el ensayo al microprocesador, donde se da la orden de reconfigurar la red según la medida de corriente que llegue.

Por último, el control de todo el sistema se lleva a cabo con el microprocesador Arduino Uno. Según las entradas y salidas conectadas a la placa, al programar los algoritmos, se puede reconfigurar la red actuando sobre los relés, y estos sobre los contactores. La programación se centra en analizar las posibilidades de reconfiguración, y elegir la más conveniente.

RESULTADOS

Para implementar la reconfiguración en el caso de una falta en la red, se diseña a escala en el laboratorio una red de distribución. Se programan en Arduino las posibles configuraciones y se accionan con un selector de red manual. Según dónde se produzca la falta, se puede dejar fuera de servicio una zona sin interrumpir el suministro eléctrico de las otras zonas.

Se estudia también, para una red urbana con dos alimentadores, la reconfiguración que dé lugar a las mínimas pérdidas. Partiendo de la resistencia de cada línea, se analiza qué camino de la corriente da pie a la menor disipación de calor. En la red estudiada se obtienen las siguientes pérdidas para cada configuración de los interruptores:

Configuración	Pérdidas
Configuración 1	$P_{pérd_{conf1}} = 24,30 * i^2$
Configuración 2	$P_{pérd_{conf2}} = 25,92 * i^2$
Configuración 3	$P_{pérd_{conf3}} = 25,56 * i^2$
Configuración 4	$P_{pérd_{conf4}} = 25,38 * i^2$
Configuración 5	$P_{pérd_{conf5}} = 24,84 * i^2$

Tabla 1: Comparación de pérdidas según la configuración de la red

Por lo tanto, en este ejemplo, se obtienen menores pérdidas cuando la corriente circula por la configuración 1:

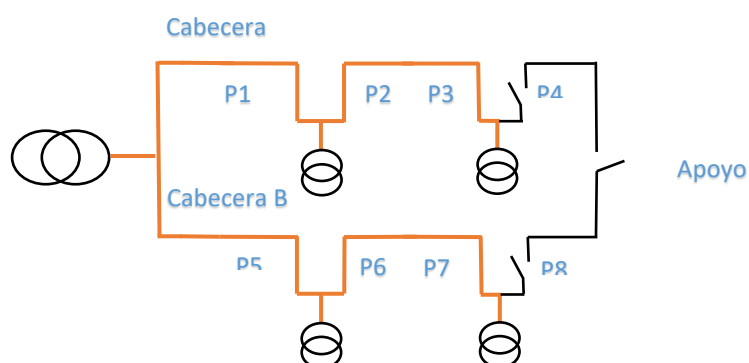


Ilustración 2: Configuración 1 que produce mínimas pérdidas

Por último se observa cómo un mayor grado de automatización de la red produce una disminución del tiempo de reposición y por tanto reduce los costes económicos de las empresas distribuidoras. Para una automatización del 100%, es decir, todas las zonas de la red están controladas de forma remota, el tiempo de reposición de servicio es drásticamente menor que para una automatización del 0%, cerca de la mitad.

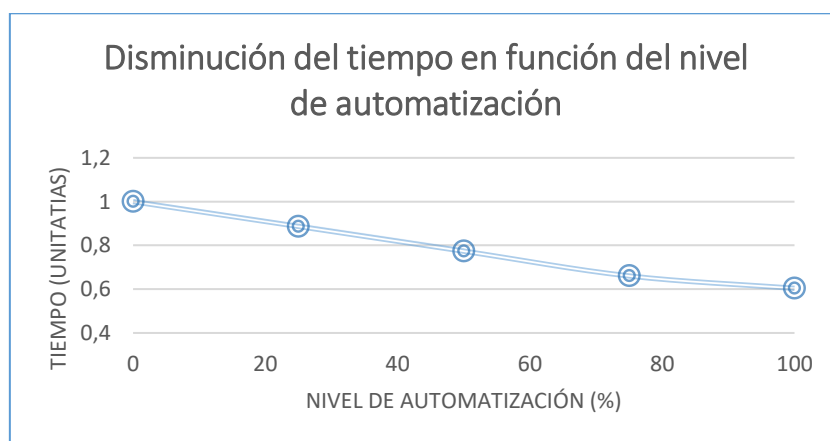


Ilustración 3: Tiempo de reposición del servicio según la automatización de la red

CONCLUSIONES

La reconfiguración de las redes de distribución provistas de un camino alternativo para la corriente, permite evitar las interrupciones eléctricas a los usuarios. Utilizando aparatos de medida y control, se puede automatizar esta reconfiguración de la red y con ello las empresas distribuidoras obtienen una reducción de costes considerable. Además, los índices de calidad del servicio se reducen, contribuyendo a la satisfacción de los usuarios y evitando las sanciones aplicadas por sobrepasar estos parámetros.

La automatización introduce además la posibilidad de gestionar la red de forma óptima. No sólo permite la continuidad del suministro eléctrico, sino que permite redirigir la corriente para reducir las pérdidas en las líneas y equilibrar el balance de cargas.

DESIGN AND TEST OF MEDIUM VOLTAGE NETWORK AUTOMATION STRATEGIES

The electrical network is responsible for generating and distributing the energy to the customers. The faults in the lines are the cause of losses for the distributors and for the final users. Nowadays the distributors receive fines if they don't fulfil the quality standards of the service, established by the regulation. For this reason, alternative ways to improve the use of the distribution network are taken into account. Moreover, distributors look after their economic costs and search the way to reduce losses in the lines and make the network more efficient.

The reconfiguration is the process by which the topology of the network is arranged in order to avoid the interruption of the energy supply, to reduce losses and also to reduce the overload in the lines. Alternating the status of the switches, the energy can follow a path which provides less losses. Also, the reconfiguration can be implemented to provide an alternative path for the current in case of a fault, making possible the supply to all the users and contributing to the quality parameters of the system.

In this paper, the performance and the operation of the distribution networks are analysed and how, by the use of automation strategies, the reliability indices of the system can be improved. It is exposed the current actuating procedure of the distributors in case of a fault in the medium voltage networks. Finally, as a contribution to the upgrade of the distribution network, the automation is introduced. The study of the automation is implemented in an urban network with two medium voltage feeders and a radial topology.

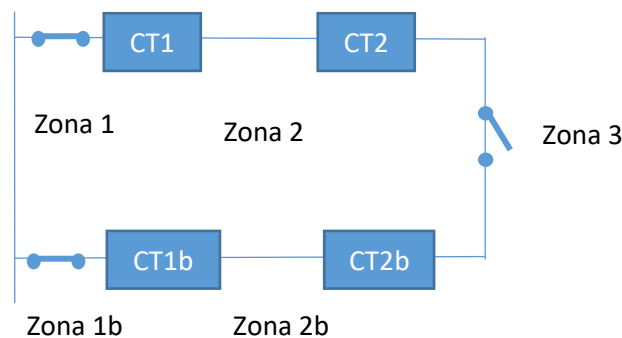


Ilustración 4: Distribution network studied

SOFTWARE DESIGN

To work out the reconfiguration algorithms of the switches, three main functionalities have been approached: operation and maintenance, reduction of losses and overload, and improvement of continuous supply.

Operation and maintenance:

The electric networks must supply energy to the customers at all times, and if a maintenance work is to be done, the distributors must provide a way to avoid the interruption of supply. A maintenance work is an expected interruption therefore the area to isolate is known. In this case, the switches to turn on or off in order to set up the network, are chosen manually with the aim of providing energy to the not affected areas.

Reduction of losses and overload:

To optimize the performance of the network, measuring equipment is needed, to inform at all times about the status of the lines. The information of the measured current is received in the control centre, where an algorithm is implemented and the reconfiguration that provides minimal losses is implemented.

To minimize the electric losses, the reconfiguration is carried out according to the power dissipated in the cables:

$$P_{\text{pérd}} = 3 * R_{\text{total}} * I^2$$

Depending on the resistance of the cables, the current can follow the path that produces less heat dissipation.

To reduce the overloads, the distributor can fix a maximum value for the currents, from which the network will be reconfigured.

$$I_{\text{medida}} > I_N * K$$

When this condition is fulfilled, the network is restructured and to obtain a power balance.

Improvement of the service quality

The main electric system reliability indices are TIEPI (related to the interruption time) and NIEPI (related to the number of interruptions). These values quantify the number and the duration of the interruptions of supply to the customers. The automation comes along with a significant improve of these quality parameters. To carry out the optimum reconfiguration, current sensors and actuators are installed in the network. By the use of the equipment and the implementation of the control algorithms, the fault can be instantly allocated and isolated, which reduces the time of replacement. The reduction of the time of the service replacement leads to economic saves for the distributors and avoids fines related to the non-fulfilment of the quality indices.

HARDWARE DESIGN

The analysis is done for an urban distribution network with two feeders and four transformer substations, two connected to each feeder. To set up this network to scale in the laboratory, different equipment for the measure and control are used.

The light bulbs are used as the loads. Each light bulb represents the load of one customer. These light bulbs are connected to the output of the transformer substations.

Contactors are used to change the configuration of the network. They conduct the current or interfere its path according to the relays' orders. These contactors represent all the switches of the circuit, including the ones from the transformers substations.

The relays use the information provided by the microcontroller to act upon the contactors. Each relay is used for one contactor. Overcurrent relays are used to automatically act when a current higher than the established one is detected.

The current transducer carries out the current measurements in the network. This information is transmitted automatically to the control centre, the microcontroller, where the order to reconfigure according to the input current is given.

Finally, the control of the whole system is performed by the microcontroller, Arduino Uno. According to the inputs and outputs connected to this board, once the algorithms are programmed, the network can be reconfigured acting on the contactors.

RESULTS

To carry out the reconfiguration in case of a fault in the network, a test is designed for the laboratory. The possible configurations are programmed in Arduino and they are chosen with a manual selector. Depending on where the fault takes place, the status of the switches are arranged in order to isolate the damaged area and supply energy to the other areas.

For an urban distribution network with two feeders, it is also analysed the configuration which provides minimal losses. Taking into account the resistance of the cables, different configurations of the switches provide different path for the current which results in different losses. Following losses are obtained in the network studied.

Configuration	Losses
Configuration 1	$P_{losses_{conf1}} = 24,30 * i^2$
Configuration 2	$P_{losses_{conf2}} = 25,92 * i^2$
Configuration 3	$P_{losses_{conf3}} = 25,56 * i^2$
Configuration 4	$P_{losses_{conf4}} = 25,38 * i^2$
Configuration 5	$P_{losses_{conf5}} = 24,84 * i^2$

Tabla 2: Losses depending on the configuration of the network

Therefore, in this example, the least losses are obtained when the current follows the path of configuration 1:

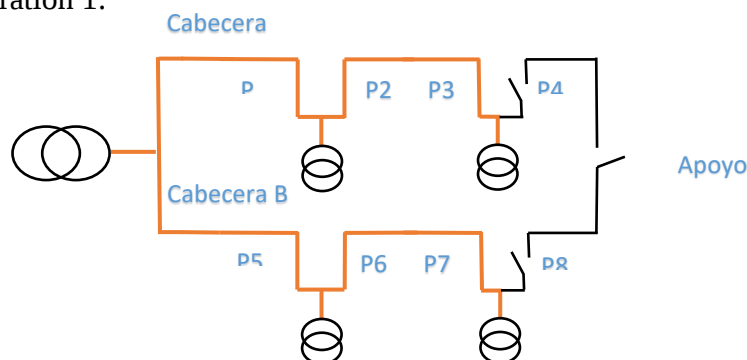


Ilustración 5: Configuración 1 que produce mínimas pérdidas

It is also observed how, increasing the level of automation, the replacement time is reduced. The decrease of the replacement time leads to a considerable economic benefit for the distributors. For a 100% automatized network, when all the areas are controlled, the replacement time is drastically smaller than with the 0% automatized network.

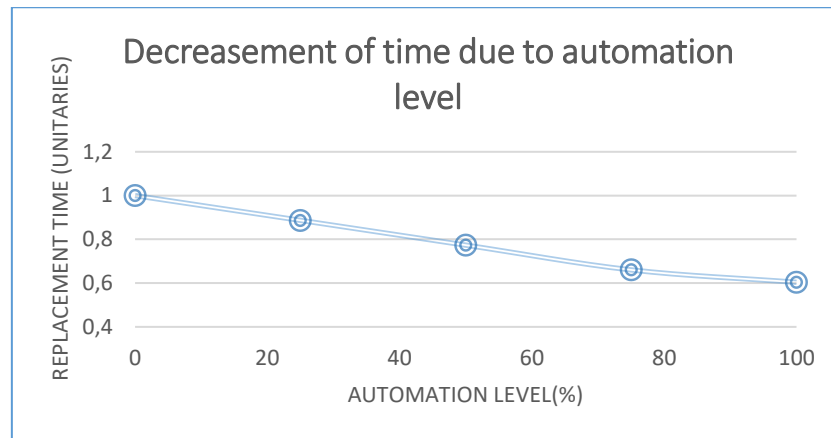


Ilustración 6: Replacement time related to the automation level of the network

CONCLUSIONS

The reconfiguration of the distribution networks provided with an alternative path for the current, prevents the users from long duration interruptions in their energy supply. By the use of monitoring and control equipment, the reconfiguration of the network can be automatized in different levels, which comes along with a decrease of costs for the distributors. Furthermore, the quality indices of supply are reduced leading to the satisfaction of customers and avoiding regulation fines.

The automation comes along with the possibility of an optimal management and performance of the network. Not only to provide a continuous electrical supply, but to lead the current in order to reduce losses and maintain the load balance in the network.

Contenido

1	Introducción.....	7
1.1	Marco teórico	7
1.2	Calidad del servicio eléctrico	8
1.2.1	Índices de fiabilidad	8
1.2.2	Marco legal	10
1.2.3	Mejora de la fiabilidad	11
1.3	Estructura del documento	12
2	Redes eléctricas de distribución	13
2.1	El sistema eléctrico	13
2.2	La red de distribución	15
2.3	Importancia de las redes de distribución	16
2.4	Clasificación de las redes de distribución	16
2.4.1	Red radial.....	17
2.4.2	Red en bucle o en anillo.....	17
2.4.3	Red mallada	17
2.5	Operación y mantenimiento del sistema de distribución	20
2.5.1	Operación de la red radial	20
2.5.2	Operación de la red en anillo.....	21
3	Especificación técnica del caso de estudio	24
3.1	Funcionalidades de la reconfiguración	24
3.1.1	Operación y mantenimiento.....	24
3.1.2	Reducción de pérdidas y sobrecarga	25
3.1.3	Mejora de la continuidad de suministro.....	26
3.2	Ensayo del caso de estudio.....	27
4	Diseño de software	28
4.1	Introducción.....	28
4.2	Reducción de pérdidas	29
4.3	Reducción de sobrecarga	35
4.4	Mejora de la continuidad de suministro	41
5	Diseño de hardware.....	48
5.1	Introducción.....	48

5.2	Alimentación	48
5.3	Conexión	48
5.4	Interruptor de cabecera y apoyo	48
5.5	Centros de transformación	49
5.6	Carga	50
5.7	Medida	51
5.8	Actuación	52
5.9	Control	53
6	Ensayo	55
6.1	Introducción	55
6.2	Ensayo 1: Un feeder con selección manual de la reconfiguración	57
6.2.1	Montaje	57
6.2.2	Programación	62
6.3	Ensayo 2: Dos feeders con selección manual de la reconfiguración	67
6.3.1	Montaje	67
6.3.2	Programación	68
6.4	Ensayo 3: Dos feeders con selección automática de la reconfiguración	72
6.4.1	Montaje	72
6.4.2	Programación	72
7	Evaluación económica	73
7.1	Impacto económico de la automatización	73
7.2	Coste de los materiales del modelo	77
8	Conclusiones	78
9	Referencias	79
10	Anexos	81

Lista de ilustraciones

Ilustración 1-1: Estructura del sistema eléctrico [3].....	7
Ilustración 2-1: El sistema eléctrico [12].....	13
Ilustración 2-2: La red de distribución [13].....	15
Ilustración 2-3: Red radial [15]	17
Ilustración 2-4: Red en anillo [15].....	17
Ilustración 2-5: Topologías de la red de distribución [17]	18
Ilustración 2-6: Ejemplo de red de distribución [11]	19
Ilustración 2-7: Ejemplo de red radial.....	20
Ilustración 2-8: Falta entre el CT1 y CT2 dispara el interruptor automático de cabecera	21
Ilustración 2-9: Ejemplo de red en anillo.....	21
Ilustración 2-10: Falta entre el CT1 y CT2 dispara el interruptor automático de cabecera del feeder 1.....	22
Ilustración 2-11: Reposición del servicio con el cierre del interruptor de apoyo.....	22
Ilustración 3-1: Reconfiguración en el caso de operación o mantenimiento.....	24
Ilustración 3-2: Reconfiguración para la reducción de pérdidas y sobrecarga.....	25
Ilustración 3-3: Esquema de la red de distribución simulada.....	27
Ilustración 4-1: Red de distribución del caso de estudio.....	28
Ilustración 4-2: Medición de corriente en la red de distribución	28
Ilustración 4-3: Árbol de decisión de reconfiguración para la reducción de pérdidas	30
Ilustración 4-4: Configuración 1.....	31
Ilustración 4-5: Configuración 2.....	32
Ilustración 4-6: Configuración 3.....	32
Ilustración 4-7: Configuración 4.....	33
Ilustración 4-8: Configuración 5.....	33
Ilustración 4-9: Configuración óptima para mínimas pérdidas	34
Ilustración 4-10: Árbol de decisión de reconfiguración para la reducción de carga	35
Ilustración 4-11: Configuración inicial	36
Ilustración 4-12: Reconfiguración con sobrecarga en la zona1 o zona2	37
Ilustración 4-13: Reconfiguración con sobrecarga en la zona1b o zona2b	38
Ilustración 4-14: Situación inicial posibilidad (a)	39
Ilustración 4-15: Situación inicial posibilidad (b)	39
Ilustración 4-16: Reconfiguración con sobrecarga en la zona 3	40
Ilustración 4-17: Árbol de decisión de reconfiguración ante una falta	41
Ilustración 4-18: Configuración inicial	41
Ilustración 4-19: Falta en la zona 1.....	42
Ilustración 4-20: Reconfiguración ante una falta en la zona 1	42
Ilustración 4-21: Falta en la zona 2.....	43
Ilustración 4-22: Reconfiguración ante una falta en la zona 2	43
Ilustración 4-23: Falta en la zona 1b.....	44
Ilustración 4-24: Reconfiguración ante una falta en la zona 1b	44
Ilustración 4-25: Falta en la zona 2b.....	45
Ilustración 4-26: Reconfiguración ante una falta en la zona 2b	45

Ilustración 4-27: Falta en la zona 3 opción (a).....	46
Ilustración 4-28: Falta en la zona 3 opción (b).....	46
Ilustración 4-29: Falta en la zona 3 opción (c)	47
Ilustración 4-30: Falta en la zona 3 opción (d).....	47
Ilustración 4-31: Reconfiguración ante una falta en la zona 3	47
Ilustración 5-1: Caja de contactores para cabecera y apoyo.....	49
Ilustración 5-2: Esquema del centro de transformación	49
Ilustración 5-3: Bombilla que simula el consumo de un usuario.....	50
Ilustración 5-4: Medidas de corriente en la red	51
Ilustración 5-5: Transductor de corriente.....	51
Ilustración 5-6: Relación corriente de entrada- tensión de salida.....	51
Ilustración 5-7: Relé de actuación [22]	52
Ilustración 5-8: Tarjeta de relés	52
Ilustración 5-9: Relé de sobrecorriente [23].....	53
Ilustración 5-10: Placa de ArduinoUNO	53
Ilustración 5-11: Conexiones placa Arduino [24].....	54
Ilustración 6-1: Esquema de la red de distribución simulada.....	55
Ilustración 6-2: Esquema de un centro de transformación	55
Ilustración 6-3: Circuito con un feeder	56
Ilustración 6-4: Circuito con dos feeders.....	56
Ilustración 6-5: Conexión de las cajas de contactores.....	57
Ilustración 6-6: Alimentación de todos los elementos desde la fuente de tensión	58
Ilustración 6-7: Conexión de las cargas	58
Ilustración 6-8: Sistema de control formado por los relés, el microcontrolador y el potenciómetro	59
Ilustración 6-9: Conexión del sistema de control al circuito de distribución	59
Ilustración 6-10: Tarjeta de relés	60
Ilustración 6-11: Interruptores del circuito	60
Ilustración 6-12: Potenciómetro.....	61
Ilustración 6-13: Conexión de la placa Arduino Uno	61
Ilustración 6-14: Interruptores del circuito	67
Ilustración 6-15: Tarjeta de 16 relés para el montaje de dos feeders.....	67
Ilustración 6-16: Circuito con las mediciones de corriente	72
Ilustración 7-1: Red de distribución.....	73
Ilustración 7-2: Valores técnicos de la red de distribución	74
Ilustración 7-3: Gráfica del tiempo de reposición del servicio según la automatización	77
Ilustración 7-4: Coste de los materiales.....	77

Lista de tablas

Tabla 1-1: Límites anuales de los índices de calidad zonal [7]	10
Tabla 2-1: Niveles de tensión.....	14
Tabla 2-2: Comparación entre topologías de redes	18
Tabla 4-1: Parámetros de las líneas de media tensión	30
Tabla 4-2: Comparación de pérdidas según la configuración.....	34
Tabla 4-3: Estado de los interruptores en la configuración inicial	36
Tabla 4-4: Estado de los interruptores después de la reconfiguración	37
Tabla 4-5: Estado de los interruptores después de la reconfiguración	38
Tabla 4-6: Estado de los interruptores después de la reconfiguración	40
Tabla 5-1: Características técnicas de la placa Arduino Uno [25].....	54
Tabla 6-1: Conexión de los pines de Arduino con la tarjeta de relés	60
Tabla 6-2: Conexión de pines de Arduino con el potenciómetro	61
Tabla 6-3: Estado de interruptores según la configuración 0.....	63
Tabla 6-4: Estado de interruptores según la configuración 1.....	63
Tabla 6-5: Estado de interruptores según la configuración 2.....	63
Tabla 6-6: Estado de interruptores según la configuración 0.....	70
Tabla 6-7: Estado de interruptores según la configuración 1.....	70
Tabla 6-8: Estado de interruptores según la configuración 2.....	70
Tabla 6-9: Estado de interruptores según la configuración 3.....	70
Tabla 6-10: Estado de interruptores según la configuración 4.....	70
Tabla 7-1: Automatización 0%	75
Tabla 7-2: Automatización 25%	75
Tabla 7-3: Automatización 50%	76
Tabla 7-4: Automatización 75%	76
Tabla 7-5: Automatización 100%	76

Términos

MT	Media tensión
AT	Alta tensión
CT	Centro de transformación
Feeder	Línea de media tensión
k	Kilo
VA	Volt Amperio
V	Voltio
P	Potencia activa
U	Tensión

1 Introducción

1.1 Marco teórico

La electricidad se controla desde su generación y transporte a su distribución a los usuarios. Los centros de generación suelen estar alejados del consumo por lo que la electricidad se transporta durante grandes distancias y debe existir una infraestructura óptima que garantice un suministro de la energía en buenas condiciones a los usuarios [1]. Los consumidores conciben indispensable una calidad del suministro de esta electricidad por lo que las empresas distribuidoras trabajan para optimizar la calidad del servicio que presentan. El marco normativo también forma parte de esta interacción empresa distribuidora y consumidores, introduciendo regulaciones que establecen unos niveles mínimos de calidad para el servicio eléctrico. Estas regulaciones, que imponen una penalización en caso de no alcanzar los niveles de calidad establecidos, llevan a las empresas eléctricas a tener presente este factor de calidad y trabajar para la mejora y optimización de la red de distribución [2].

Los sistemas de distribución convencionales son rígidos y tienen una automatización limitada lo que conlleva a un servicio mejorable y una continua investigación para modernizar esta distribución. La mejora más significativa en la calidad del servicio del sistema de distribución se introduce con la automatización de la red a distintos niveles. La automatización permite la operación de las redes de distribución y las decisiones autónomas sobre la actuación en el sistema mediante dispositivos electrónicos “inteligentes”. Actualmente la automatización está principalmente implementada en las líneas de alta tensión ya que es en estas donde la potencia es mayor, y por tanto el impacto en el sistema es más significativo. No obstante, para contribuir a la mejora de la continuidad de suministro, es necesario centrarse en la distribución que se lleva a cabo en las líneas de media tensión [2]. En la siguiente imagen se pueden distinguir las etapas de generación, transporte, distribución y el consumo final.

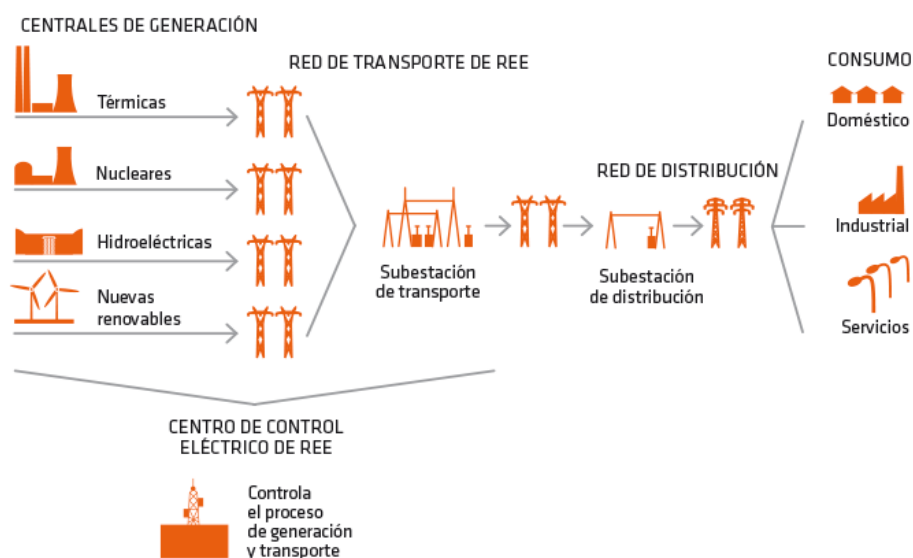


Ilustración 1-1: Estructura del sistema eléctrico [3]

El sistema de distribución lo conforman las subestaciones, los transformadores y los alimentadores de distribución. Estos elementos están interconectados para suministrar la energía eléctrica a los usuarios finales. La fiabilidad de un sistema hace referencia a la capacidad de este para llevar a cabo una tarea específica. En el caso del sistema eléctrico, la confiabilidad tiene como objetivo asegurar la calidad del servicio por parte de las empresas distribuidoras [4], [5].

1.2 Calidad del servicio eléctrico

La calidad del suministro eléctrico puede definirse en función a distintos factores como la rapidez de atención a los clientes o las características físicas de la onda de tensión. No obstante el eje central de la calidad del servicio es la continuidad de suministro cuya interrupción perjudica directamente a los usuarios. A su vez, la continuidad de suministro hace referencia al número de interrupciones de la energía eléctrica y a la duración de las mismas [2].

La tasa de fallo y el tiempo de interrupción son indicadores de estas medidas:

- Tasa de fallo λ : indica las veces que, en promedio, un cierto elemento de protección experimenta una operación debido a cualquier fallo en el servicio (sobrecargas, cortocircuitos, mantenimiento, descargas atmosféricas...).
- Tiempo de interrupción: indica la duración en la que el suministro eléctrico se ve interrumpido. Este tiempo se cuantifica desde la desconexión del circuito hasta la reposición del servicio.

Para cuantificar las interrupciones de suministro eléctrico se utilizan los índices de fiabilidad.

1.2.1 Índices de fiabilidad

Los índices de fiabilidad contabilizan el número de interrupciones del servicio eléctrico y la duración de estas interrupciones. Los índices más representativos son el SAIDI y SAIFI, los cuales tienen en cuenta el número de consumidores afectados por las interrupciones, y el NIEPI y TIEPI, los cuales relacionan las interrupciones con la potencia afectada [4], [6].

1.2.1.1 Índice SAIFI:

System average interruption frequency index. Este índice cuantifica el número de interrupciones por consumidor, es decir, la frecuencia media de interrupciones por cliente.

$$SAIFI = \frac{\text{Número total de interrupciones}}{\text{Número total de usuarios}} = \frac{\sum \lambda_i * N_i}{\sum N_i}$$

Donde:

N_i : número de usuarios en el punto de carga i .

λ_i : tasa de fallos en el punto de carga i .

1.2.1.2 Índice SAIDI:

System average interruption duration index. Este índice cuantifica la duración de cada interrupción por cada consumidor.

$$SAIDI = \frac{\text{Duración de las interrupciones}}{\text{Número total de usuarios}} = \frac{\sum U_i * N_i}{\sum N_i}$$

Donde:

N_i : número de usuarios en el punto de carga i .

U_i : tiempo de interrupción anual en el punto de carga i .

1.2.1.3 Índice NIEPI

Número de interrupciones equivalente a la potencia instalada en media tensión. Este índice incluye sólo las interrupciones de duración mayor a tres minutos. [7]

$$NIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k PI_i}{\sum PI}$$

Donde:

$\sum PI$: Suma de la potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT (en kVA).

PI_i : Potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT, afectada por la interrupción «i» (en kVA).

K : Número total de interrupciones durante el período considerado.

1.2.1.4 Índice TIEPI

Tiempo de interrupción equivalente a la potencia instalada en media tensión. Este índice incluye sólo las interrupciones de duración mayor a tres minutos. Refleja anualmente en horas la duración de todas las interrupciones. [7]

$$TIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k (PI_i \times H_i)}{\sum PI}$$

Donde:

$\sum PI$: Suma de la potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT (en kVA).

PI_i : Potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT, afectada por la interrupción «i» de duración H_i (en kVA).

K : Número total de interrupciones durante el período considerado.

1.2.2 Marco legal

Según la normativa¹, las empresas distribuidoras están obligadas a dar un servicio que tenga pocas interrupciones y de corta duración.

En España, se dividen las zonas en función de la densidad de suministros para establecer el límite de las interrupciones. Los tipos de zonas son [7]:

- Zona urbana: abarca municipios que integran más de 20 000 suministros.
- Zona semiurbana: incluye municipios con entre 2 000 y 20 000 suministros.
- Zona rural concentrada: incluye municipios con entre 200 y 2 000 suministros.
- Zona rural dispersa: incluye municipios con menos de 200 suministros y los suministros fuera de los núcleos de población.

Teniendo en cuenta las interrupciones imprevistas, es decir aquellas no programadas por la empresa distribuidora, se establecen unos límites anuales de los índices de calidad² TIEPI y NIEPI:

	TIEPI (horas)	NIEPI (número)
Zona urbana	1,5	3
Zona semiurbana	3,5	5
Zona rural concentrada	6	8
Zona rural dispersa	9	12

Tabla 1-1: Límites anuales de los índices de calidad zonal [7]

¹ Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

Orden ECO/797/2002, de 22 de marzo, por la que se aprueba el procedimiento de medida y control de la continuidad del suministro eléctrico.

² Referente al Real Decreto 1634/2006, 29 de diciembre, por el que se establece la tarifa eléctrica a partir del 1 de enero de 2007.

1.2.3 Mejora de la fiabilidad

La finalidad de las empresas distribuidoras es mejorar la fiabilidad del sistema y con ello reducir pérdidas y prestar un mejor servicio a los consumidores. Para reducir estos dos factores de fiabilidad, y con ello mejorar la calidad del servicio, se están tomando medidas de automatización de las líneas eléctricas a distintos niveles.

Para la mayor eficiencia de operación de la distribución se plantean diversos algoritmos y métodos de automatización atendiendo a las distintas topologías y configuraciones de la red. La operación está basada en la información adquirida sobre los parámetros eléctricos en tiempo real y el procesamiento de estos datos por sistemas de control.

Las redes eléctricas están configuradas de tal forma que, ante una determinada falta, se localiza y, en el menor tiempo posible, se aísla para no interrumpir el suministro de electricidad a los usuarios. Para aislar la falta se abren distintos puntos, interruptores, en la red. A través del control de estos interruptores se puede operar la red para reestablecer el suministro y maximizar la calidad del servicio. Con la reconfiguración de la red se contribuye a la mejora de los parámetros de calidad.

Por otra parte, la reconfiguración de la red puede tener como objetivo no sólo la fiabilidad del sistema aislando una determinada falta, sino también eliminar sobrecargas o reducir pérdidas en condiciones normales de operación, es decir optimizar la distribución. En Europa, hay un 6% de pérdidas anuales en la transmisión y distribución de la electricidad, lo cual representa un gran impacto económico asociado a la distribución de energía cada año. Para mejorar la eficiencia de la distribución se propone la automatización de la red, contribuyendo a la reducción de costes y a la mejor distribución de la carga en la misma [9].

De esta forma, las funciones que lleva a cabo la automatización de la red incluyen:

- Detección de falta: detectar la localización de la falta y aislarla para reducir el tiempo de restauración.
- Reducción de pérdidas: esta función se centra en optimizar la red y reducir los gastos debidos a las pérdidas energéticas.
- Distribución de carga: esta función consiste en identificar los desequilibrios energéticos y restablecerlos para hacer un uso óptimo de la electricidad.

Los esquemas de automatización incluyen el telecontrol en subestaciones de los interruptores de potencia.

Implementar la automatización en la distribución requiere cierta complejidad debido a la cantidad de equipos necesarios tanto de medida, para identificar los parámetros de forma instantánea, como la telecomunicación y como de actuación, para seccionar y restaurar la electricidad en la red [8]. No obstante, los beneficios de esta automatización incluyen la mejora de la confiabilidad, la contribución a la eficiencia energética y la optimización de los recursos.

Para cumplimentar estos requisitos surge el interés mundial de modernizar la infraestructura eléctrica.

1.3 Estructura del documento

Este proyecto aborda la optimización de las redes de media tensión, no sólo para localizar y aislar una falta, sino también para reducir las pérdidas de la línea y distribuir cargas de forma adecuada. Para lograr este fin, se implementan algoritmos de reconfiguración de la red de media tensión mediante la automatización de la misma.

Los algoritmos de reconfiguración se programan en *Arduino* y posteriormente se implementan en un modelo a escala en el laboratorio como simulación de una red de media tensión real.

Los siguientes apartados describen el tipo de redes de distribución que existen y su actual operación. Posteriormente se definen los algoritmos diseñados y la implementación de los mismos a través de *Arduino* en el modelo a escala, lo cual constituye la parte principal del proyecto. El modelo a escala consiste en dos feeders de media tensión con los respectivos centros de transformación y consumidores. Se implementa el programa de *Arduino* en el modelo y los interruptores se configuran con la finalidad de optimizar el sistema.

En el capítulo siguiente, se analiza el impacto económico que genera esta automatización de la red y los beneficios que aporta la automatización a las empresas distribuidoras.

Finalmente se concluye los resultados obtenidos y los beneficios de automatizar la reconfiguración de la red de distribución de media tensión.

2 Redes eléctricas de distribución

2.1 El sistema eléctrico

El sistema eléctrico está integrado por las etapas de generación, transporte, distribución y consumo de la energía eléctrica.

Las redes de transmisión y distribución permiten el suministro de energía eléctrica desde la producción hasta el consumo. La producción consiste en estaciones de potencia que generan energía eléctrica a partir de diferentes fuentes de energía primaria. La distribución en media tensión consiste en subestaciones desde donde se distribuye la energía a los consumidores. Esto se lleva a cabo a través del sistema de distribución de media tensión, que es el tema objeto de este documento.

La finalidad de las empresas eléctricas es llevar la energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo, de forma segura y con unos niveles de calidad exigidos.

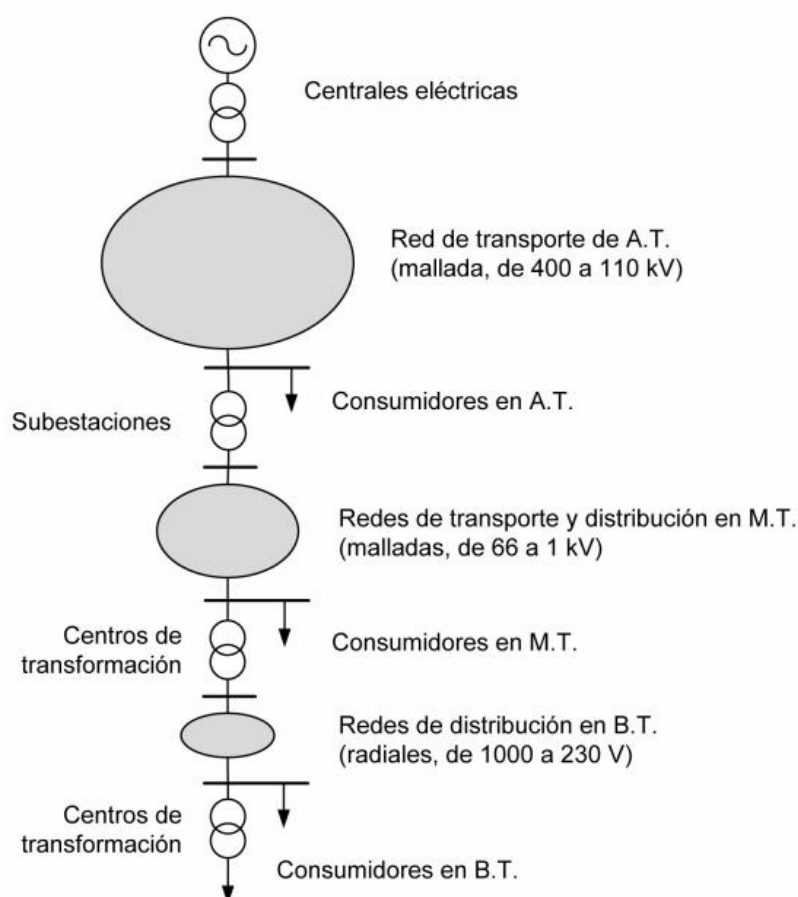


Ilustración 2-1: El sistema eléctrico [12]

Para unir la producción y el consumo se divide la estructura eléctrica en diferentes niveles de tensión, dando lugar a distintos tipos de redes eléctricas: baja tensión, media tensión y alta tensión.

Tipos de redes	Niveles de tensión	Uso
Alta tensión	$U > 40\text{kV}$	Transporte y distribución
Media tensión	$1\text{kV} < U < 40\text{kV}$	Producción y distribución
Baja tensión	$U < 1\text{kV}$	Producción y distribución

Tabla 2-1: Niveles de tensión

La energía eléctrica se genera en las centrales eléctricas donde los alternadores inyectan la electricidad en los transformadores para elevar la tensión y llevar la energía a la red de transporte en alta tensión. La transmisión es en alta tensión para disminuir las pérdidas y la red tiene una estructura mallada. La seguridad en estas líneas es fundamental y los sistemas de protección han de tener un alto rendimiento. En los nudos de la malla de la red de alta tensión están las subestaciones con los transformadores que disminuyen los niveles de tensión, los elementos de mando y de protección para proteger la red y los elementos de medida. Las subestaciones de distribución pueden ser de tipo AIS principalmente en las zonas rurales, o de tipo GIS, principalmente en las zonas urbanas. A partir de las subestaciones está la red de distribución en media tensión. Esta red de distribución alimenta a los transformadores que reducen la tensión para suministrar la energía a los usuarios finales en baja tensión (400 y 230V) [11], [12].

El consumo de electricidad puede realizarse en cualquier punto del sistema eléctrico y a distintos niveles de tensión. Las grandes industrias pueden estar conectadas a la red de alta tensión o media tensión y las pequeñas industrias y consumidores domésticos a la red de baja tensión.

El suministro de la electricidad la realiza el distribuidor. Los objetivos con los cuales opera son: la continuidad y calidad del servicio, la seguridad de las personas y bienes, la flexibilidad y facilidad de operación y la competitividad comercial. En el caso de la distribución en MT, el distribuidor generalmente es totalmente responsable de la línea desde la subestación AT/MT hasta el centro de transformación MT/BT.

La mayor parte de la inversión del sistema de potencia está dedicado a la distribución y es aquí donde se producen las mayores pérdidas de energía debido al gran número de elementos que lo conforman y a los niveles no tan altos de tensión. Por ello, hay que centrarse en el correcto diseño y operación de este sistema de distribución [10].

2.2 La red de distribución

La red de distribución transporta la energía desde la red de transporte hasta los usuarios. La red de distribución en media tensión une el punto de transporte en alta tensión con la red de distribución en baja tensión que parte de los centros de transformación. La red de distribución de media tensión está formada por los siguientes elementos [12]:

- Subestación
Se alimenta desde la red de transporte de alta tensión y consiste en un centro transformador que reduce la tensión de alta a media.
- Centro de reparto
Consiste en un centro alimentado fuertemente por una única línea o más y del que derivan otras líneas con la misma tensión.
- Centro de reflexión
Este centro se alimenta desde el centro de reparto o desde la subestación. Garantiza la alimentación de las líneas mediante un circuito que en condiciones normales no tiene carga, llamado circuito cero.
- Líneas de distribución
Las líneas de distribución parten de una subestación o de un centro de reparto y transportan la energía en media tensión hasta los centros de transformación.
- Centros de transformación
Los centros de transformación se alimentan desde la red de distribución y reducen la tensión para el suministro a los usuarios en baja tensión. Incluyen uno o dos transformadores y los elementos requeridos de protección y maniobra.

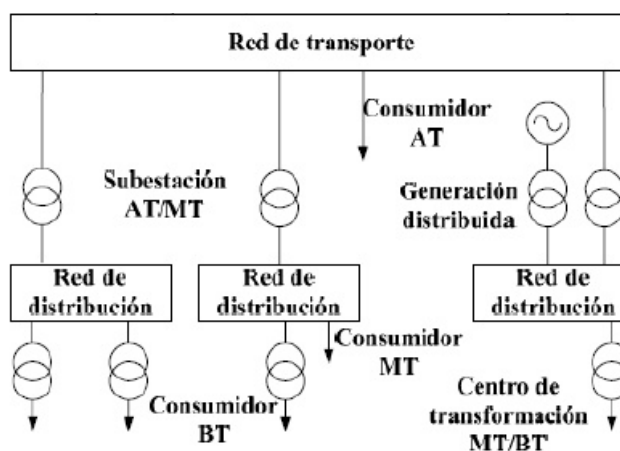


Ilustración 2-2: La red de distribución [13]

2.3 Importancia de las redes de distribución

La función de las redes de distribución consiste en transportar la energía eléctrica desde las subestaciones hasta los transformadores que disminuyen la tensión a baja para la entrega de la energía a los consumidores. La efectividad con la que las redes de distribución cumplen su función se mide con la continuidad del servicio, la regulación de la tensión y los costes. Los costes de la red de distribución representa aproximadamente la mitad de los costes ocasionados en el sistema eléctrico. Un diseño, operación y mantenimiento adecuado del sistema de distribución puede contribuir a una gran reducción de costes y a una mejora considerable del servicio eléctrico. El distribuidor debe reducir el número y la duración de las interrupciones de suministro a sus consumidores, minimizar las consecuencias de estas interrupciones y evitar fluctuaciones de tensión y frecuencia. Con estas medidas contribuye a una correcta calidad de la distribución. De esta forma, hay que encontrar el balance óptimo entre la calidad del servicio ofrecido y los costes invertidos en la operación y mantenimiento de este suministro. Se prevén desarrollos importantes por parte de los distribuidores para la mejora del sistema de media tensión y el desarrollo hacia el control automático de estas redes. Se avanza hacia una operación automática de estas redes. No obstante, el principal obstáculo es la complejidad de las líneas eléctricas existentes ya que no están diseñadas para ser operadas de forma sencilla. Para ello se analizan las redes y se intenta operarlas tal cual están. La finalidad última es satisfacer las necesidades de los usuarios de energía eléctrica con una calidad de servicio óptima [14].

2.4 Clasificación de las redes de distribución

Las redes de distribución pueden ser agrupadas de acuerdo a distintos criterios.

En función de la zona alimentada y la densidad de carga, las redes pueden ser rurales o urbanas. Las redes rurales se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de carga. En estas redes las distancias son muy grandes y suelen tener una configuración radial, posteriormente descrita en el documento. Las redes urbanas alimentan a poblaciones y centros urbanos con grandes consumos.

Dependiendo de su disposición, las redes de distribución pueden ser aéreas o subterráneas. Las redes aéreas están soportadas por estructuras a una cierta altura del suelo definida por la normativa y alimentan principalmente las zonas rurales. Las redes subterráneas son aquellas en las que los conductores están soterrados, principalmente en zonas urbanas debido a la estética o funcionalidad.

Para este proyecto, la agrupación de interés de las redes es la topología o configuración de las mismas. Según el modo de alimentación de las redes, se pueden clasificar con tres topologías: red radial, red en anillo, red mallada [15], [16].

2.4.1 Red radial

Se alimenta la red por uno de los extremos, transmitiendo la energía de forma radial a los receptores. Los centros de transformación se conectan uno a continuación de otro, a la línea de media tensión.

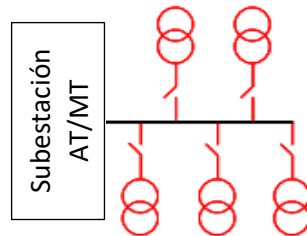


Ilustración 2-3: Red radial [15]

2.4.2 Red en bucle o en anillo

Los centros de alimentación se conectan linealmente a la red de media tensión, la cual se cierra sobre sí misma en forma de anillo. Se alimenta la red por los dos extremos.

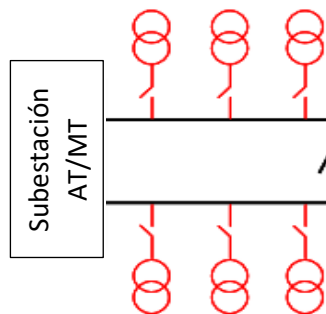


Ilustración 2-4: Red en anillo [15]

2.4.3 Red mallada

Esta red es el resultado de interconectar anillos y redes radiales dando lugar a mallas. Esta topología se utiliza principalmente en las redes de transporte donde los niveles de tensión son más altos. En los nudos de las mallas se encuentran las subestaciones de donde parten las redes de distribución.

En la Tabla 2-2 se comparan estas tres topologías destacando los puntos positivos y negativos de cada una.

	Red radial	Red en anillo	Red mallada
Ventajas	Permite el control centralizado	Seguridad del servicio	Seguridad de servicio
	Simplicidad de la red	Facilidad de mantenimiento	Flexibilidad de alimentación
			Facilidad de manutención
Desventajas	Falta de garantía del servicio	Complejidad de la red	Complejidad de la red
			Rápido aumento de las potencias de cortocircuito

Tabla 2-2: Comparación entre topologías de redes

Las redes de distribución de media tensión principalmente presentan la topología radial o en anillo. Por otra parte, la distribución radial es más típica en zonas rurales y los anillos de media tensión suelen estar en las zonas urbanas.

En la Ilustración 2-5 se pueden distinguir tanto la topología radial a la izquierda, como la radial a la derecha. Esta última, como se describe en la

Tabla 2-2, permite asegurar la calidad del servicio debido a los interruptores que dan pie a un camino alternativo para el suministro de la energía en caso de avería.

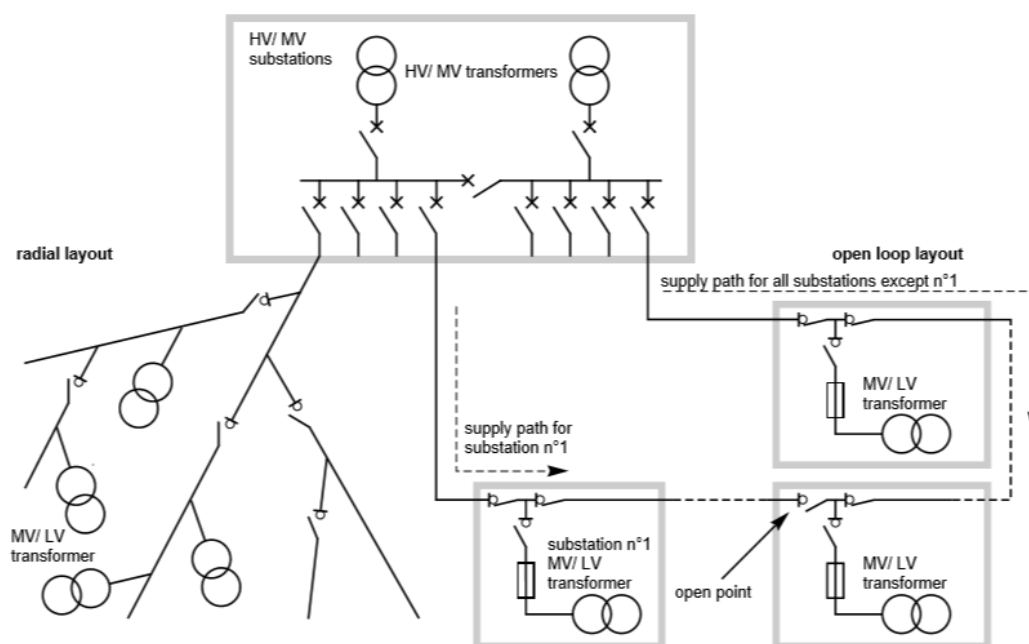


Ilustración 2-5: Topologías de la red de distribución [17]

Estas configuraciones incluyen elementos de protección y maniobra que hacen posible la reconfiguración de la red. Estos elementos operados en la automatización incluyen [18]:

- Interruptores (manuales y automáticos)
Estos elementos permiten conducir o interrumpir el paso de la electricidad. Estos aparatos permiten la protección y la gestión de la energía. La automatización de los interruptores permite adecuar el flujo de la electricidad a través de la red de acuerdo con una configuración deseada. Entre la salida de la subestación de AT/MT suele posicionarse un interruptor de cabecera. Este es un interruptor automático y dispara dejando sin servicio toda la red de media tensión cuando se produce un defecto aguas abajo. Los interruptores de los centros de transformación suelen ser manuales y son operados por las brigadas de mantenimiento para aislar una zona o reponer el servicio. Introduciendo el concepto de automatización aparecen los reconectores cuyo funcionamiento es el equivalente al de un interruptor automático teleoperado.
- Seccionadores
Estos aparatos interrumpen el paso de la corriente de acuerdo con un detector de paso de falta.
- Centros de reflexión o centro de maniobra
Consiste en una instalación que garantiza la alimentación de las líneas que concurren en ella. Puede tratarse de un interruptor de apoyo entre dos líneas permitiendo un camino alternativo para la corriente.
- Cable 'cero'
Este cable permite alimentar cualquier línea desde la subestación en caso de pérdida de la alimentación normal.

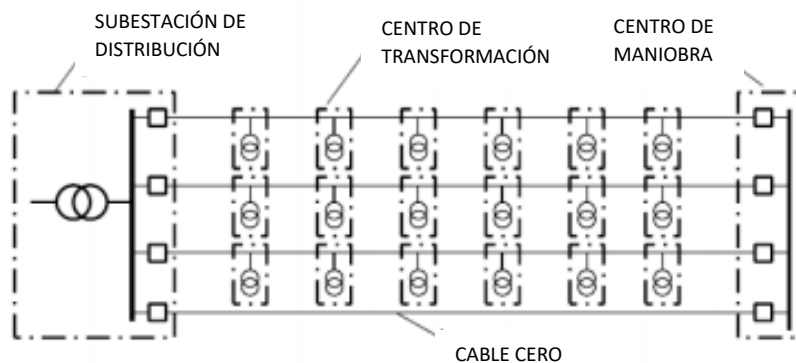


Ilustración 2-6: Ejemplo de red de distribución [11]

2.5 Operación y mantenimiento del sistema de distribución

La operación del sistema de distribución se puede abordar en tres situaciones distintas: en condiciones normales, en la situación de mantenimiento y en la de emergencia. En cada uno de estos tres casos, los interruptores se operan de forma distinta pero la finalidad siempre es impedir la interrupción del suministro o reducir su duración [19].

El suministro de electricidad se puede ver interrumpido principalmente en estos escenarios:

- El mantenimiento de la red obliga a dejar una zona fuera de servicio y por tanto sin suministro. Se trata de una interrupción programada con lo que los clientes han de ser informados con antelación.
- Una avería aislada en cualquier punto de la línea deja la red aguas abajo sin suministro. En este caso es una interrupción imprevista causada por faltas permanentes o transitorias.

En el primer caso, al conocer la zona que hay que aislar, se puede pensar en una forma alternativa para realizar el suministro y evitar una interrupción del mismo. En el segundo caso, para poder plantear alguna reposición del servicio, primeramente hay que localizar la avería.

La operación básica en una red eléctrica consiste en proteger a los usuarios frente a una falta. Cuando se produce una avería en la línea, la operación primera es aislarla y posteriormente reponer el servicio en el menor tiempo posible. Las brigadas de mantenimiento de la empresa distribuidora típicamente se desplazan a la línea para ubicar el punto exacto de la falta. Para ello utilizan la selectividad. Al cerrar un interruptor aguas abajo, si la interrupción persiste, la falta se encuentra aguas arriba. Con este proceso reiterativo localizan la falta hasta poder aislarla y evitar la interrupción duradera de la electricidad [2].

La topología de la red es un factor fundamental a la hora de la operación. En cada caso la complejidad de ubicar la falta y reponer el servicio es distinta.

2.5.1 Operación de la red radial

En la Ilustración 2-7 se presenta un ejemplo de red radial alimentada por una subestación de AT/MT, con cinco centros de transformación conectados a la red de distribución. Adicionalmente hay un interruptor de cabecera automático que está normalmente cerrado.

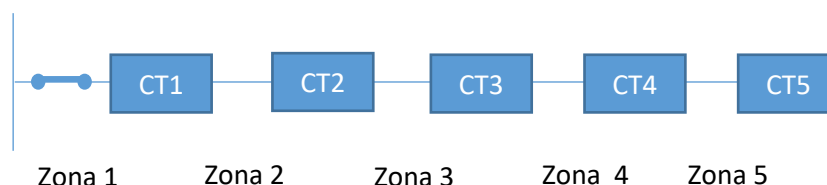


Ilustración 2-7: Ejemplo de red radial

En condiciones normales de operación, el interruptor de cabecera está cerrado y todos los interruptores de entrada y salida a los centros de transformación están cerrados.

En el caso de una falta en la línea, el interruptor de cabecera se dispara de forma automática. Entonces la brigada de mantenimiento se desplaza a la línea con la finalidad de ubicar la falta. En este ejemplo la avería es entre el CT1 y el CT2. La brigada primero abre manualmente el interruptor del centro, del CT3, para comenzar con el proceso de selectividad. En este caso, al abrir el CT3, y volver a cerrar el interruptor de cabecera, este interruptor automático vuelve a saltar. Con este paso se localiza la falta entre la zona 1 y la zona 2. Para seguir acotando, la brigada abre manualmente el interruptor del CT2 y cierra de nuevo la cabecera. En este momento el servicio no se interrumpe, de tal forma se ha localizado la falta en la zona 2, entre el CT1 y el CT2. Al ser una red radial y no haber un camino alternativo, no se puede reponer el servicio. Por lo tanto, se intenta reparar la avería en el menor tiempo posible.

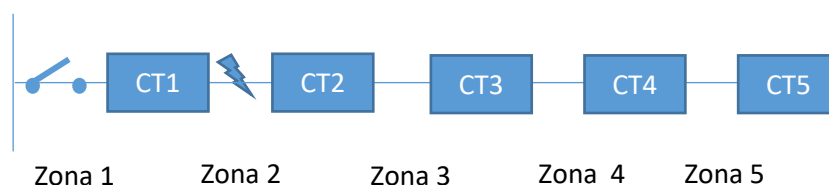


Ilustración 2-8: Falta entre el CT1 y CT2 dispara el interruptor automático de cabecera

2.5.2 Operación de la red en anillo

En la Ilustración 2-9 se presenta un ejemplo de red en anillo con dos feeders, alimentada por una misma subestación de AT/MT, con cinco centros de transformación conectados a cada feeder. Cada centro de transformación tiene un interruptor de entrada y otro de salida. Adicionalmente hay un interruptor de cabecera automático en cada feeder que está normalmente cerrado y un interruptor de apoyo que está normalmente abierto.

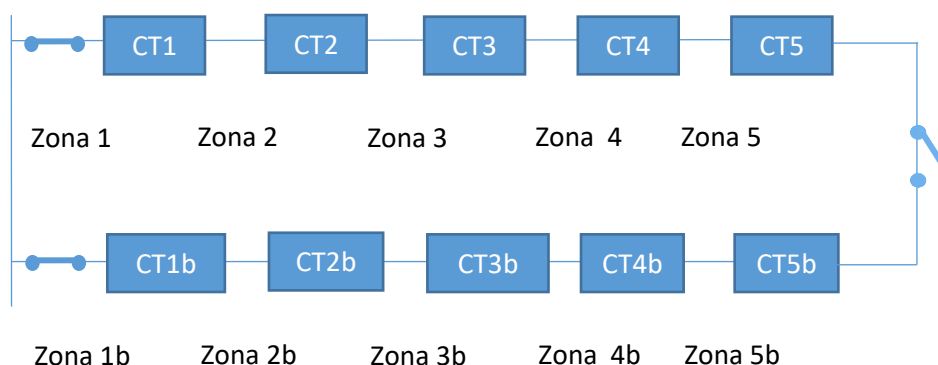


Ilustración 2-9: Ejemplo de red en anillo

En condiciones normales de operación, ambos interruptores de cabecera están cerrados y todos los interruptores de entrada y salida a los centros de transformación están cerrados. El interruptor de apoyo está abierto.

En el caso de una falta en uno de los dos feeders, el interruptor de cabecera correspondiente se dispara de forma automática. La brigada de mantenimiento se desplaza a la línea con la finalidad de ubicar la falta. En este ejemplo la avería se produce entre el CT1 y el CT2. La brigada primero abre manualmente el interruptor situado en el centro de carga, del CT3, para comenzar con el proceso de selectividad. En este caso, al abrir el CT3, y volver a cerrar el interruptor de cabecera, este interruptor automático vuelve a saltar. Con este paso se localiza la falta entre la zona 1 y la zona 2. Para seguir acotando la zona afectada, la brigada abre manualmente el interruptor del CT2 y cierra de nuevo la cabecera. En este momento el servicio no se interrumpe, de tal forma se ha localizado la falta en la zona 2, entre el CT1 y el CT2. [2]

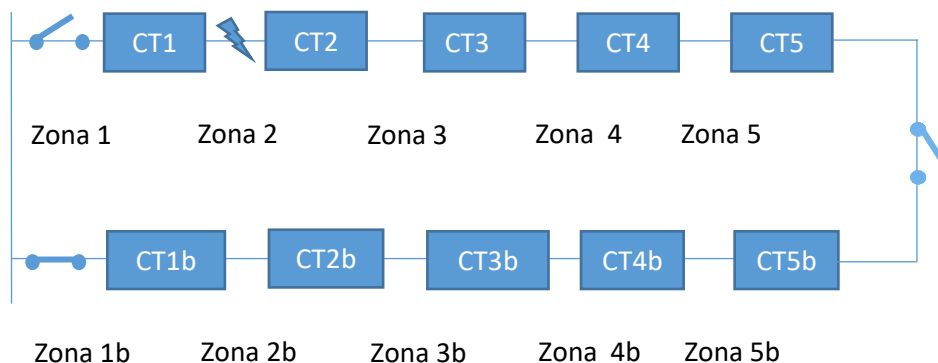


Ilustración 2-10: Falta entre el CT1 y CT2 dispara el interruptor automático de cabecera del feeder 1

En este caso, al ser una red en anillo, hay un camino alternativo por lo que se puede reponer el servicio. El interruptor de apoyo se cierra y de tal forma se alimenta el feeder 1 a través del feeder 2. [2]

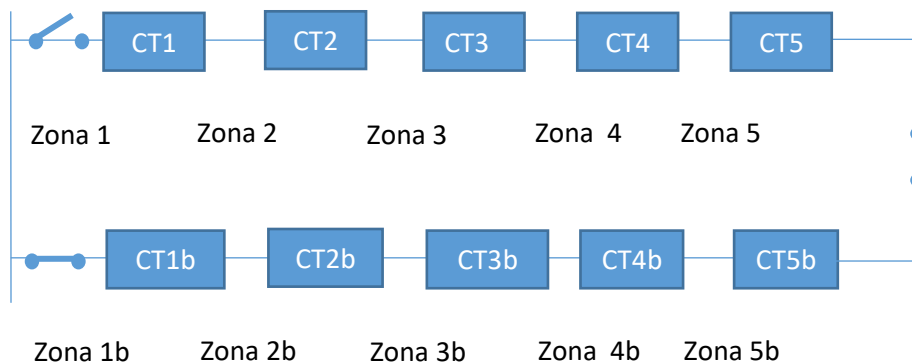


Ilustración 2-11: Reposición del servicio con el cierre del interruptor de apoyo

Comparando las dos topologías típicas de redes de media tensión, se puede entender una posible optimización para la reconfiguración en el caso de las redes en anillo ya que están provistas de un camino alternativo para la corriente. Este documento se centra en la reposición del servicio en las redes en anillo con un centro de reflexión, el cual permite un camino alternativo para el suministro a los usuarios. Mediante la automatización de los interruptores se evita el desplazamiento de las brigadas a la zona averiada ya que se puede localizar la falta y reponer el servicio de forma inmediata. Con todo esto se pretende la mejora de la utilización de la red de distribución y la mejora de la calidad del servicio proporcionado a los consumidores.

3 Especificación técnica del caso de estudio

La reconfiguración de la red eléctrica consiste en la apertura o cierre de los interruptores de la red con el objetivo de maximizar o minimizar una función concreta. La automatización consiste en la aplicación de procedimientos automáticos para realizar el proceso. Partiendo de estas premisas, se estudia la posibilidad de automatizar la reconfiguración de la red de distribución atendiendo a tres funcionalidades distintas: operación y mantenimiento, reducción de pérdidas y sobrecarga y mejora de la calidad del servicio [20].

3.1 Funcionalidades de la reconfiguración

3.1.1 Operación y mantenimiento

En este nivel, no hay ningún fallo inesperado en la red sino que se desea realizar alguna operación prevista en una zona determinada de la misma. Para ello, se deja fuera de servicio esa única zona de la red. Lógicamente se desea continuar con el suministro de electricidad al resto de las zonas no afectadas por esta operación, y por ello hay que aislar la zona fuera de servicio. Para la reconfiguración se seleccionan manualmente los interruptores para suministrar a las zonas no afectadas por un camino alternativo que evite la zona a aislar. A continuación se deja fuera de servicio la zona de operación. De esta forma no se interrumpe el suministro a las zonas no afectas.

En esta funcionalidad no se requiere ninguna medición de las variables físicas de la red ya que se conoce la zona donde se va a interrumpir el suministro.

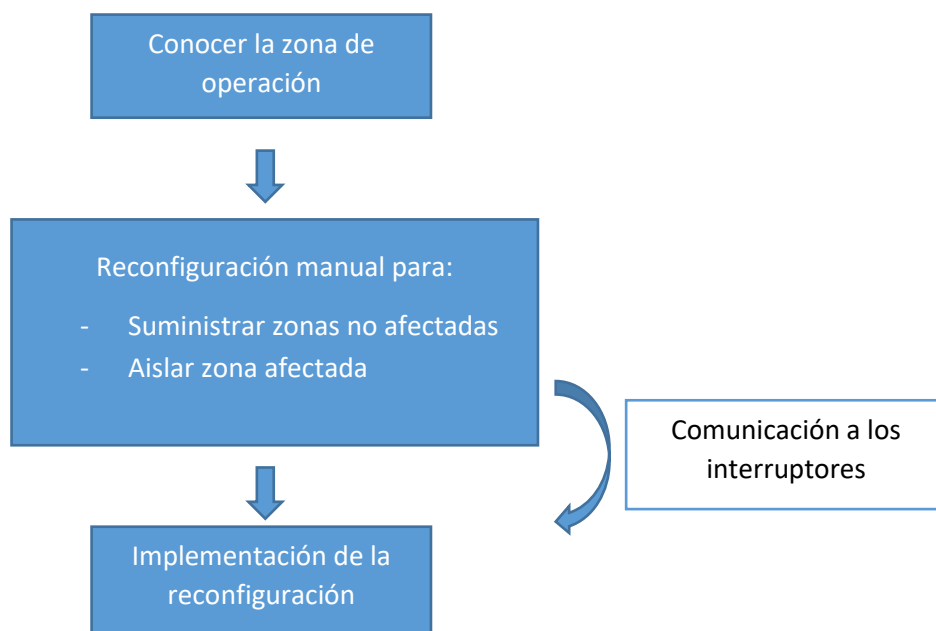


Ilustración 3-1: Reconfiguración en el caso de operación o mantenimiento

3.1.2 Reducción de pérdidas y sobrecarga

En este caso tampoco se detecta ninguna falta inesperada en la red. Se desea redistribuir la carga de una forma determinada para optimizar el uso de la red de distribución.

- Reducción de sobrecarga
Se quiere evitar un desequilibrio de las cargas en la red. Para poder tener una distribución uniforme, se hace un balance de cargas continuo para conocer cuánto consumo hay en cada punto de la red, y cuál es la forma más efectiva de llevar esta demanda a esos puntos.
- Reducción de pérdidas
Para minimizar las pérdidas en la red de distribución se deben aplicar algoritmos que calculan la disipación de energía en función de los parámetros físicos de las líneas.

Para distribuir la corriente con el objetivo de optimizar estas dos funciones de forma automática, se requiere aparamenta de medida en la red de distribución que facilite las medidas instantáneas en cada momento. Una vez recibidas estas medidas, el centro de control al estar automatizado, aplica una reconfiguración determinada en función de la programación implementada.

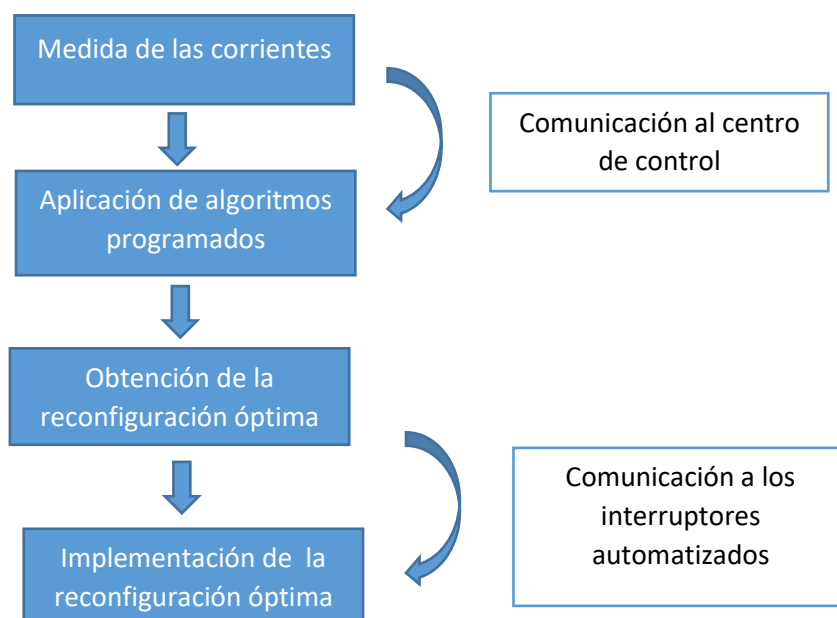


Ilustración 3-2: Reconfiguración para la reducción de pérdidas y sobrecarga

3.1.3 Mejora de la continuidad de suministro

Esta reconfiguración es la más exigente. Para mejorar la continuidad del servicio se requiere disminuir los parámetros TIEPI y NIEPI descritos en el apartado 1.2.1. Para ello, la funcionalidad consiste en identificar la zona donde se produce una falta inesperada y la aísla en el menor tiempo posible aplicando de forma automática la reconfiguración adecuada.

Para la identificación de la falta se establecen tres niveles de complejidad distintos según la automatización realizada.

- Nivel 1

Es el nivel de mínima visibilidad ya que no hay aparatos de medición instalados en la red. Para realizar la automatización se lleva a cabo el procedimiento estándar de operación descrito en el apartado 2.5. Para localizar la falta en este caso se van cerrando los interruptores aguas arriba progresivamente y a la vez se verifica el estado de los interruptores aguas abajo. Este algoritmo repetitivo se implementa y una vez que se localiza la falta, se reconfigura la red para aislarla.

- Nivel 2

En este nivel hay una visibilidad intermedia. Hay detectores de paso de falta instalados en la red, relés de mínima tensión y de máxima corriente. Estos detectores se ponen en la cabecera de tal forma que se localiza el feeder afectado de forma inmediata. A continuación, una vez localizado el feeder, se lleva a cabo el procedimiento del nivel uno para localizar exactamente la falta y reestablecer el suministro.

- Nivel 3

Consiste en el nivel de sofisticación. En este caso se instalan equipos de medida en toda la red, transformadores de intensidad que dan información en todo momento sobre los parámetros. Con este procedimiento se localiza de forma inmediata la zona del defecto y se puede reconfigurar la red para obtener un TIEPI de incluso cero segundos, lo cual es la finalidad que se persigue.

Para llevar a cabo la automatización óptima del sistema se necesitan dispositivos para la detección y control de corrientes de falta. Para gestionar de forma adecuada las faltas y reducir el tiempo de restablecimiento se utilizan dispositivos que proporcionan información instantánea sobre el estado de la red. No obstante el ensayo realizado a escala en el laboratorio no incluye esa medición sino que se implementa el caso del nivel uno de visibilidad mínima. Por otra parte, en este documento se abarcan también las posibilidades de reconfiguración en caso de disponer de esta aparamenta de medición en la red de distribución a escala real. Al medir las corrientes en el circuito, se puede automatizar la red no solo para aislar la falta sino también para distribuir la corriente y disminuir las pérdidas e incluso disminuir la carga para utilizar de forma adecuada la red, como se describe en las funcionalidades anteriores.

Además es importante medir el impacto que tendría la automatización con respecto al coste de esta aparamenta de medición y control adicional. Para ello se analizan distintos niveles de automatización en función de la sensibilidad con respecto a diferentes parámetros.

3.2 Ensayo del caso de estudio

El tiempo de reposición es el periodo entre el momento en el que se reporta la falta hasta que se reestablece el servicio eléctrico. En el caso de las redes urbanas, los tiempos de reposición de un incidente son mayores que en zonas rurales puesto que el tiempo de reparación de incidencias en los cables subterráneos es mayor. Por otra parte, los requerimientos de TIEPI en las zonas urbanas son más restrictivos. Además, las redes urbanas están adecuadas con un camino alternativo para ser alimentadas y por tanto se pueden proponer reconfiguraciones en los caminos de la corriente. Por todo esto la necesidad de automatizar este tipo de redes es mayor y la contribución a la calidad del servicio en las mismas es también más elevada.

El objetivo de este proyecto consiste en buscar posibilidades de automatización para minimizar los índices de calidad descritos, TIEPI y NIEPI, y reducir las pérdidas en la red, en el caso concreto de una red de distribución de media tensión urbana. La red del caso estudio está formada por dos feeders de media tensión con un interruptor de apoyo entre ambas líneas que permite la posibilidad de reposición del servicio.

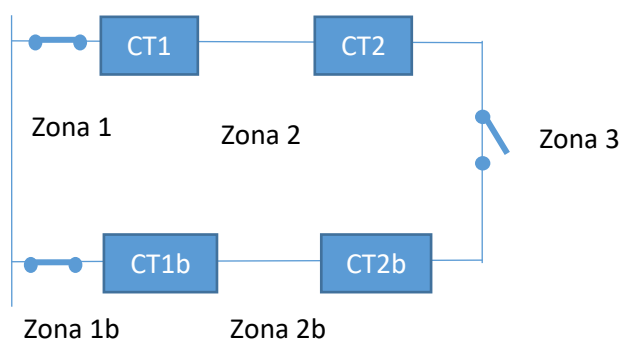


Ilustración 3-3: Esquema de la red de distribución simulada

En la simulación a escala en el laboratorio se utilizan aparatos que permiten el flujo de la corriente y conforman el circuito, y también elementos que permiten la implementación de los algoritmos y el control de los interruptores. Por una parte está la parte física que escenifica el circuito descrito en la Ilustración 3-3. Por otra parte está la parte de control en la que primero se programan los algoritmos de configuración y posteriormente, a través del microprocesador ArduinoUNO, se actúa sobre los relés y los interruptores aplicando la reconfiguración deseada.

En los siguientes capítulos se abarcan los distintos niveles de automatización y las posibles funcionalidades y se explica el ensayo llevado a cabo para la reposición del servicio automática en la red distribución de la Ilustración 3-3.

4 Diseño de software

4.1 Introducción

En este capítulo se representan los algoritmos de reconfiguración de la red de distribución del caso de estudio. Se desarrollan secuencias lógicas de apertura y cierre de los interruptores que permiten: reducir las pérdidas de la red, redistribuir las cargas y mejorar la continuidad de suministro. La finalidad de los algoritmos es implementarlos en un procesador que posteriormente actúe sobre los interruptores y permita la reconfiguración automática óptima de la red.

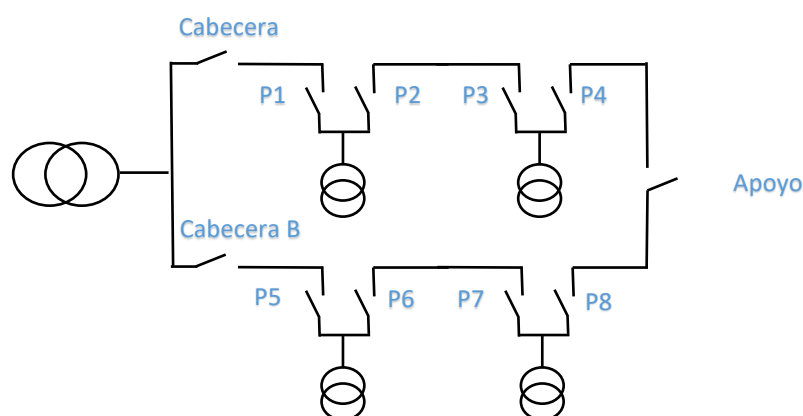


Ilustración 4-1: Red de distribución del caso de estudio

Para elaborar los algoritmos se necesita una variable de control que de información sobre el sistema. Se toma en este caso, por ejemplo, la medición de la corriente en cinco puntos distintos de la red de distribución; una en cada zona.

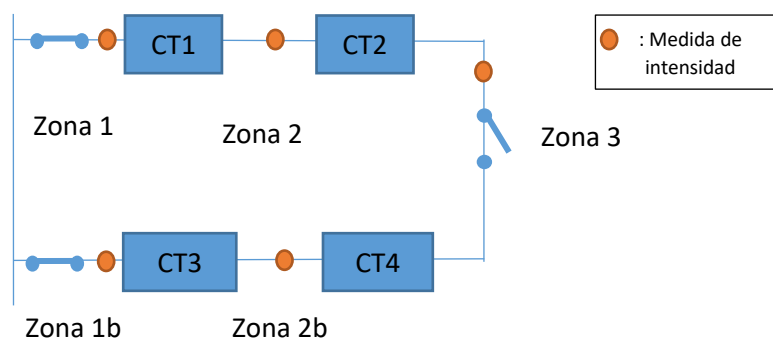


Ilustración 4-2: Medición de corriente en la red de distribución

En el modo normal de funcionamiento actualmente implementado en las redes de distribución, no se obtienen medidas de las corrientes de forma instantánea en un centro automatizado de control. Para implementar esta automatización, la entrada a la lógica que tomará las decisiones de configuración, es la medición de las corrientes. La medición se realiza en este ejemplo cada diez segundos y se manda de forma inmediata a los controladores. Esta es la entrada a partir de la cual se hace la toma de decisiones para reconfigurar la red.

4.2 Reducción de pérdidas

Las pérdidas de energía afectan negativamente tanto a la economía de las empresas distribuidoras como al medio ambiente ya que contribuyen al calentamiento global. Las pérdidas en la red de distribución son el resultado de la diferencia entre la potencia demandada y la potencia entregada y se dividen en las pérdidas técnicas y no técnicas [21].

- Las pérdidas técnicas se refieren a las instalaciones físicas y a la infraestructura del sistema. Las pérdidas se producen en los conductores y en los transformadores del circuito debido a la disipación de calor en las líneas. Estas pérdidas se originan principalmente por el *Efecto Joule*, el *Efecto corona* y las *corrientes parásitas* [21].
 - El *Efecto Joule* provoca la disipación de la energía cuando la corriente atraviesa los materiales conductores.
 - El *Efecto Corona* aparece cuando la intensidad de campo eléctrico es muy alta y se ioniza el aire originando un camino para un arco de corriente.
 - Las *Corrientes parásitas e histéresis* aparecen en los materiales magnéticos y se disipan en forma de calor. Aparecen principalmente en los núcleos de los transformadores y son independientes del nivel de carga.
- Las pérdidas no técnicas se producen por una administración incorrecta del servicio llevado a cabo por la compañía distribuidora. Incluyen también las pérdidas debidas al consumo clandestino [21].

Este capítulo se centra en las pérdidas técnicas, las cuales tienen una parte fija y otra variable. Las pérdidas técnicas fijas se refieren al nivel de tensión y se originan por el efecto corona y las corrientes parásitas. Al ser la red de media tensión, el efecto corona no tiene mucho impacto y se puede despreciar. Al ser la tensión constante, también lo es la disipación por las corrientes parásitas. Por otra parte, las pérdidas técnicas variables se centran en el efecto Joule y se originan por la corriente que atraviesa los conductores.

Estas pérdidas dependen directamente de un factor constante, la impedancia de la línea, y el factor variable, la corriente que lo atraviesa. En este caso la reconfiguración de la red se llevará a cabo de acuerdo con la optimización de la ecuación de las pérdidas técnicas variables generadas por el efecto Joule:

$$P_{pérd} = 3 * R * I^2$$

Donde:

$P_{pérd}$ corresponde a las pérdidas de potencia activa [W]

R corresponde a la resistencia del conductor [Ω]

I corresponde a la corriente que atraviesa el conductor [A]

Las pérdidas no pueden ser nulas puesto que siempre va a haber cierta disipación en los conductores, pero, en función del ‘camino’ que siga la corriente, es decir, del conductor que atravesase, la potencia disipada se puede disminuir.

De esta forma, se sigue un proceso que calcula los posibles caminos de la corriente y las pérdidas asociadas a cada camino. Si las pérdidas son mínimas con la configuración inicial, no se cambia el estado de los interruptores. De lo contrario, si hay otro camino que dé lugar a menores pérdidas, se reconfigura la red para seguirlo.

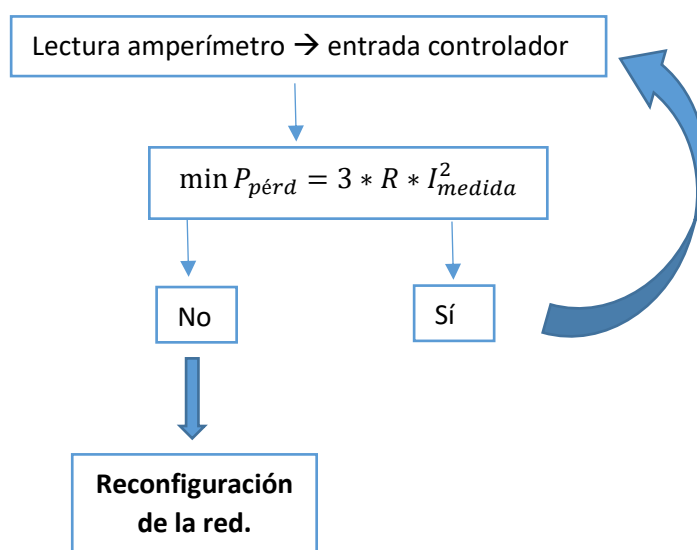


Ilustración 4-3: Árbol de decisión de reconfiguración para la reducción de pérdidas

Teniendo en cuenta la red de distribución descrita se calculan las pérdidas en cada tramo para encontrar la reconfiguración óptima. Se toma como ejemplo líneas aéreas de media tensión con una longitud de cada feeder de 15km, 5km de distancia entre cada alimentación. La red tiene una tensión de 20kV.

	Longitud del conductor [km]	Reactancia inductiva [Ω/km]	Resistencia [Ω/km]
Zona 1	5	0,31	0,372
Zona 2	5	0,34	0,408
Zona 1b	5	0,33	0,396
Zona 2b	5	0,37	0,444
Zona 3	5	0,48	0,480

Tabla 4-1: Parámetros de las líneas de media tensión

Las pérdidas se calculan teniendo en cuenta la resistencia total obtenida de los conductores:

$$R_{total} = \sum_i l_i * R_i = l * \sum_i R_i$$

Donde:

R_{total} es la resistencia de los conductores que atraviesa la corriente con esa configuración [Ω]

R_i es la resistencia de cada tramo [Ω]

l es la longitud de cada tramo, en este caso es la misma y es 5km.

$$P_{pérd} = 3 * R_{total} * I^2$$

A continuación se calculan las pérdidas obtenidas con cada configuración posible y así elegir la que minimice estas pérdidas.

- **Configuración 1: alimentación desde las cabeceras.**

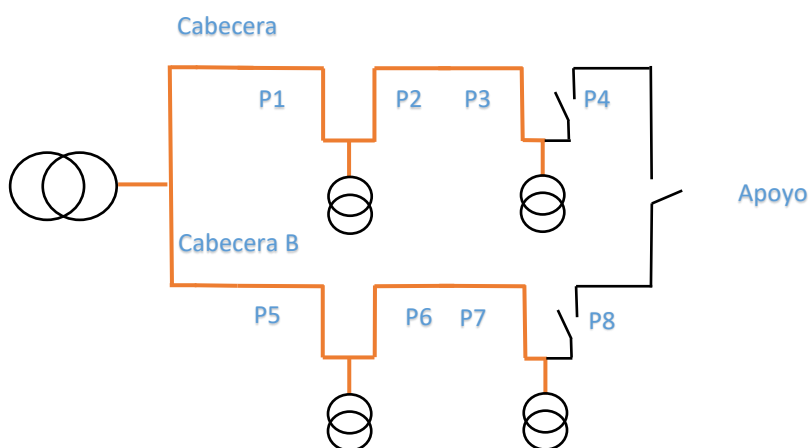


Ilustración 4-4: Configuración 1

Con este circuito se alimenta cada feeder desde la cabecera. El camino que sigue la corriente da lugar a las siguientes pérdidas:

$$R_{total} = 5 * (0,372 + 0,408 + 0,396 + 0,444)$$

$$R_{total} = 8,1\Omega$$

$$P_{pérd_{conf1}} = 24,30 * i^2$$

- **Configuración 2: alimentación desde la cabecera del feeder 2**

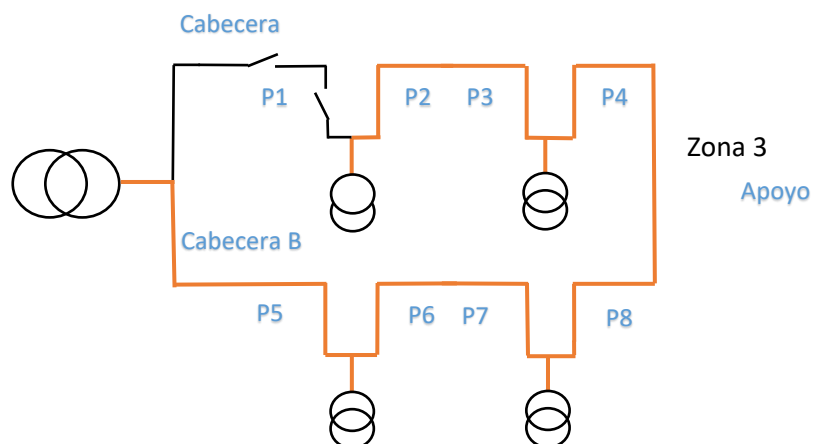


Ilustración 4-5: Configuración 2

Con este circuito se alimenta la red desde el interruptor de Cabecera B. El camino que sigue la corriente da lugar a las siguientes pérdidas:

$$R_{total} = 5 * (0,444 + 0,396 + 0,48 + 0,404)$$

$$R_{total} = 8,64\Omega$$

$$P_{pérd_{conf2}} = 25,92 * i^2$$

- **Configuración 3: alimentación desde la cabecera del feeder 1**

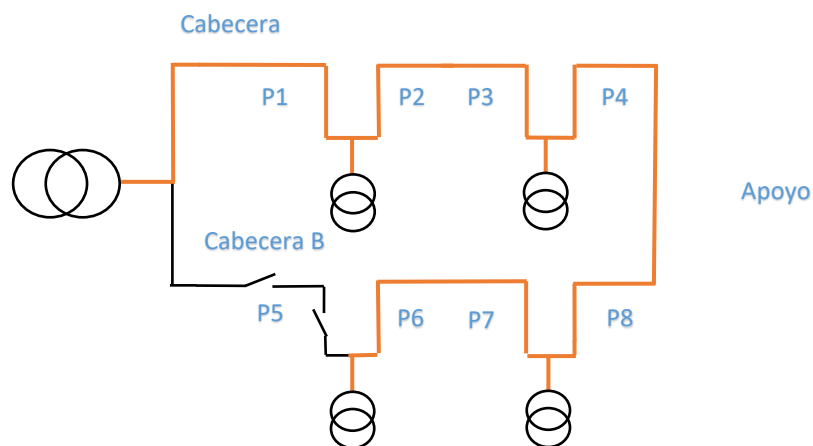


Ilustración 4-6: Configuración 3

Con este circuito se alimenta la red desde el interruptor de Cabecera B. El camino que sigue la corriente da lugar a las siguientes pérdidas:

$$R_{total} = 5 * (0,444 + 0,372 + 0,48 + 0,404)$$

$$R_{total} = 8,52\Omega$$

$$P_{pérd_{conf3}} = 25,56 * i^2$$

- **Configuración 4**

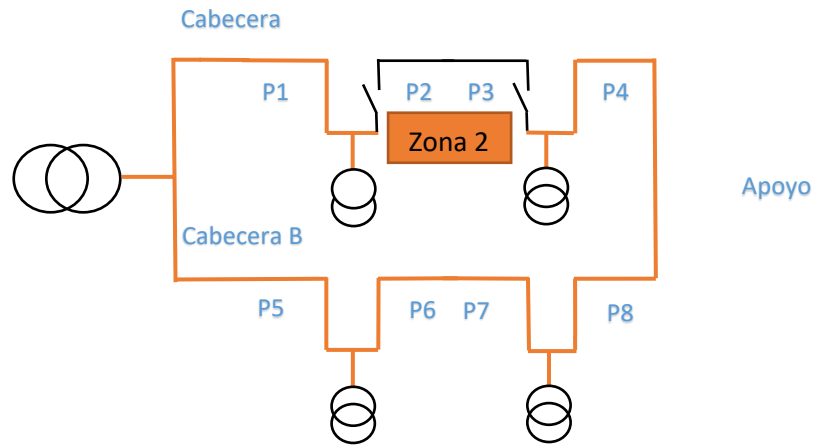


Ilustración 4-7: Configuración 4

Con este circuito la zona 2 se deja fuera de servicio. El camino que sigue la corriente da lugar a las siguientes pérdidas:

$$R_{total} = 5 * (0,396 + 0,444 + 0,48 + 0,372)$$

$$R_{total} = 8,46\Omega$$

$$P_{pérd_{conf4}} = 25,38 * i^2$$

- **Configuración 5**

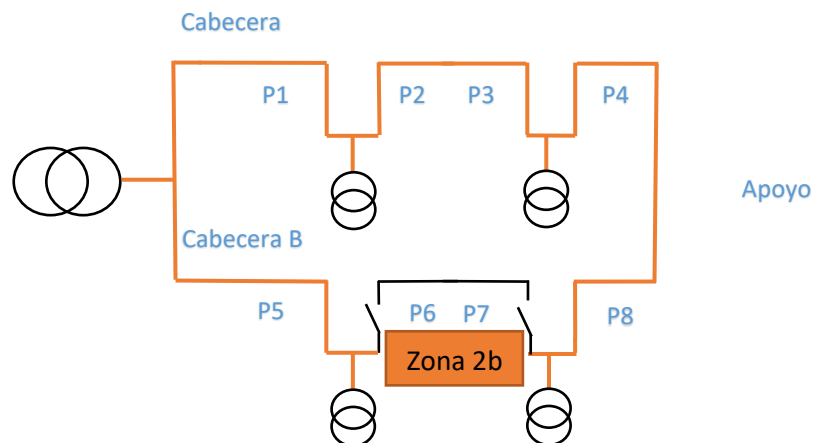


Ilustración 4-8: Configuración 5

Con este circuito la zona 2b se deja fuera de servicio. El camino que sigue la corriente da lugar a las siguientes pérdidas:

$$R_{total} = 5 * (0,372 + 0,408 + 0,48 + 0,396)$$

$$R_{total} = 8,28\Omega$$

$$P_{pérd_{conf5}} = 24,84 * i^2$$

De todas estas configuraciones, se han obtenido distintas pérdidas independientemente de la carga, sólo teniendo en cuenta la resistencia de los conductores.

Configuración	Pérdidas
Configuración 1	$P_{pérd_{conf1}} = 24,30 * i^2$
Configuración 2	$P_{pérd_{conf2}} = 25,92 * i^2$
Configuración 3	$P_{pérd_{conf3}} = 25,56 * i^2$
Configuración 4	$P_{pérd_{conf4}} = 25,38 * i^2$
Configuración 5	$P_{pérd_{conf5}} = 24,84 * i^2$

Tabla 4-2: Comparación de pérdidas según la configuración

El mínimo de estas pérdidas se obtiene con la configuración 1 y por lo tanto esta es la configuración óptima de cara a la reducción de pérdidas:

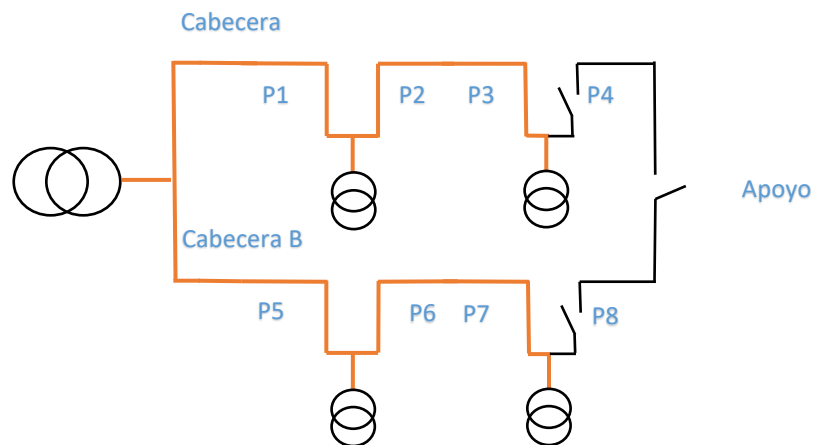


Ilustración 4-9: Configuración óptima para mínimas pérdidas

4.3 Reducción de sobrecarga

La redistribución de la carga es consecuencia de una corriente medida mayor de la esperada en algún punto de la red. Esta corriente medida, a partir de la cual cambiará la configuración de la red, será menor que la nominal ya que no se pretende actuar frente a una falta sino en condiciones normales de funcionamiento.

La condición por la cual se reconfigura el estado de los interruptores es que la corriente medida supere un factor de veces, establecido por la empresa distribuidora, la intensidad nominal.

$$I_{medida} > I_N * K$$

Donde:

I_{medida} es la corriente obtenida de la aparatenta de medida en la red [A].

I_N es la corriente nominal del conductor empleado en la línea [A].

K es un factor constante, de valor menor que uno, establecido por la empresa distribuidora.

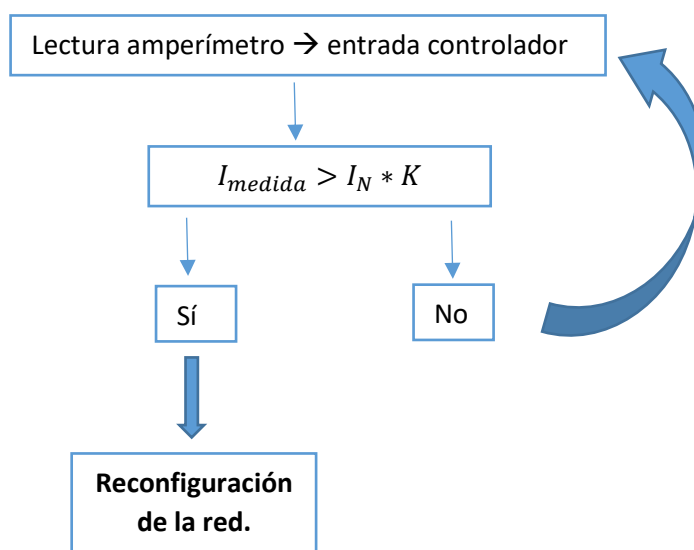


Ilustración 4-10: Árbol de decisión de reconfiguración para la reducción de carga

Hay que tener en cuenta los arranques de equipos que producen picos de corriente que no son duraderos en el tiempo como cargas, sino transitorios. Por lo tanto, una vez detectada una corriente mayor, esta tiene que mantenerse un tiempo mínimo establecido para evitar que la reconfiguración salte con estos picos de corriente.

En el punto de partida, es decir en el funcionamiento en condiciones normales, se establece la alimentación íntegra de cada feeder desde la cabecera. En esta situación de partida, la red tiene la siguiente configuración:

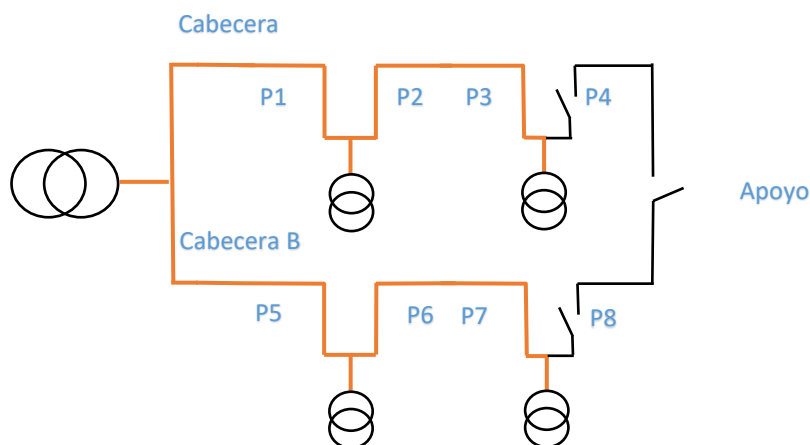


Ilustración 4-11: Configuración inicial

Los interruptores de cabecera están alimentando el circuito principal igual que los interruptores de entrada en los centros de transformación. Los interruptores de apoyo están abiertos sin prestar ningún servicio.

	Denominación en el esquema	Estado del interruptor
Feeder 1	Cabecera	LOW ³
	P1	LOW
	P2	LOW
	P3	LOW
	P4	HIGH
	Apoyo	HIGH
Feeder 2	CabeceraB	LOW
	P5	LOW
	P6	LOW
	P7	LOW
	P8	HIGH

Tabla 4-3: Estado de los interruptores en la configuración inicial

³ La posición de los relés es normalmente cerrado, de tal forma que la denominación LOW deja el interruptor cerrado y la denominación HIGH lo deja en posición abierta.

La condición de sobrepasar la corriente establecida se puede cumplir en distintos puntos de la red de distribución. Contemplando estas opciones se obtienen las siguientes reconfiguraciones.

- **Caso 1: Sobrecarga en la zona 1 o zona 2.**

- $I_{medida_{zona1}} > I_{N_{zona1}} * K$
- $I_{medida_{zona2}} > I_{N_{zona2}} * K$

En este caso hay una sobrecarga en la zona 1 o la zona 2. Para dar soporte al suministro de corriente, se cierra el interruptor de apoyo y el P8 y se abren P2 y P3. De esta forma el CT1 queda enteramente alimentado desde la cabecera y el CT2 desde el apoyo. De tal forma la configuración resulta así:

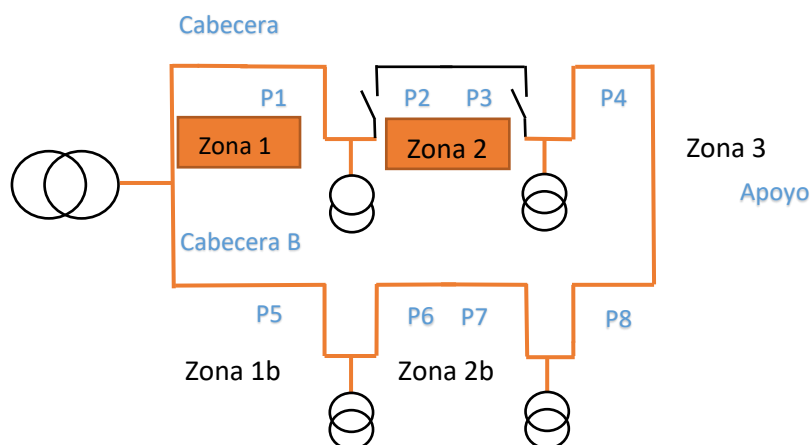


Ilustración 4-12: Reconfiguración con sobrecarga en la zona1 o zona2

Cerrando el interruptor de apoyo se alimenta el feeder primero por dos partes y de esta forma se reduce la sobrecarga que provoca al tener sólo la alimentación desde la cabecera. En este momento el CT1 queda alimentado por la cabecera y la zona 2 queda fuera de servicio, con lo que el CT2 se alimenta desde el feeder segundo.

	Denominación en el esquema	Estado del interruptor
Feeder 1	Cabecera	LOW
	P1	LOW
	P2	HIGH
	P3	HIGH
	P4	HIGH
	Apoyo	LOW
Feeder 2	CabeceraB	LOW
	P5	LOW
	P6	LOW
	P7	LOW
	P8	LOW

Tabla 4-4: Estado de los interruptores después de la reconfiguración

- **Caso 2: Sobrecarga en la zona 1b o zona 2b.**

- $I_{medida_{zona1b}} > I_{N_{zona1b}} * K$
- $I_{medida_{zona2b}} > I_{N_{zona2b}} * K$

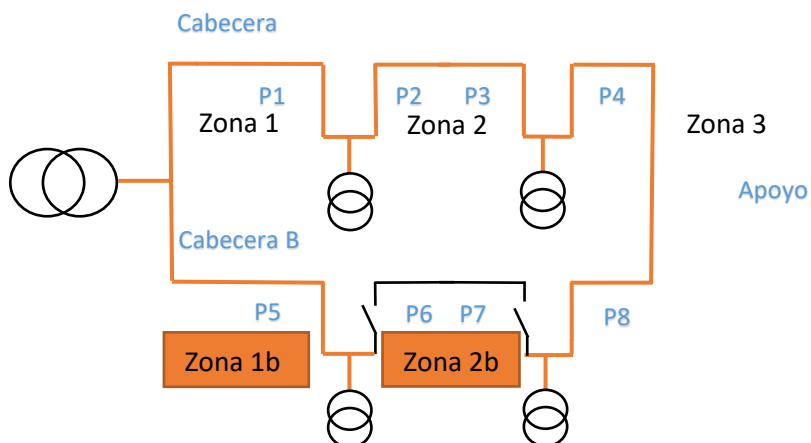


Ilustración 4-13: Reconfiguración con sobrecarga en la zona1b o zona2b

En este caso, para descargar la zona 1b y 2b se distribuye la carga utilizando el apoyo del feeder uno. Al cerrar el interruptor de apoyo y el P4 y P8, el CT 4 se alimenta desde el feeder uno. Por otra parte la cabecera B alimenta sólo el CT3, dejando con menos carga la zona 1b. La zona 2b se queda fuera de servicio con los interruptores P6 y P7 abiertos.

	Denominación en el esquema	Estado del interruptor
Feeder 1	Cabecera	LOW
	P1	LOW
	P2	HIGH
	P3	HIGH
	P4	HIGH
	Apoyo	LOW
Feeder 2	CabeceraB	LOW
	P5	LOW
	P6	LOW
	P7	LOW
	P8	LOW

Tabla 4-5: Estado de los interruptores después de la reconfiguración

- **Caso 3: Sobrecarga en la zona 3**

$$\circ I_{medida_{zona3}} > I_{N_{zona3}} * K$$

Para que se cumpla esta condición tiene que haber corriente por la zona 3, lo cual no sucede partiendo de la configuración inicial. Esta condición se puede dar cuando se esté dando soporte entre los dos feeders y por tanto el interruptor de apoyo esté cerrado. La situación de partida puede ser una de estas dos:

a)

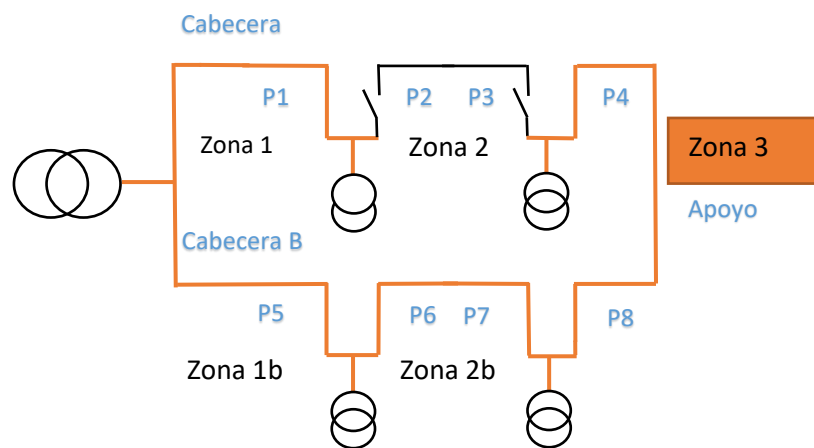


Ilustración 4-14: Situación inicial posibilidad (a)

b)

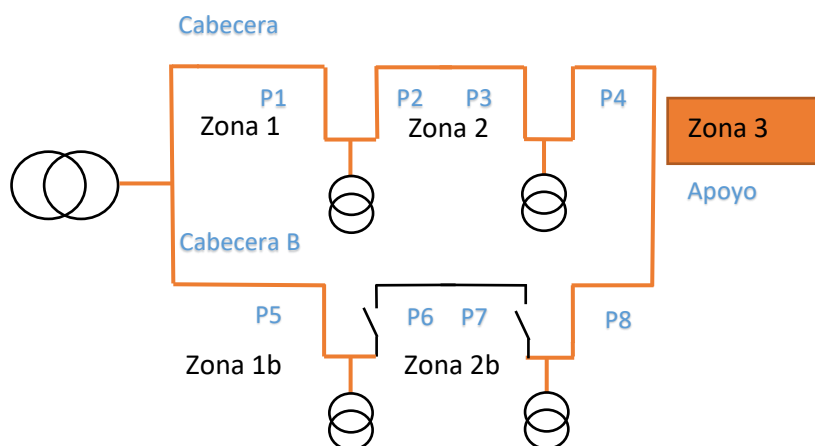


Ilustración 4-15: Situación inicial posibilidad (b)

En ambas situaciones, para quitar la sobrecarga de la zona 3, se puede distribuir la corriente íntegramente desde las cabeceras, dejando fuera de servicio el apoyo.

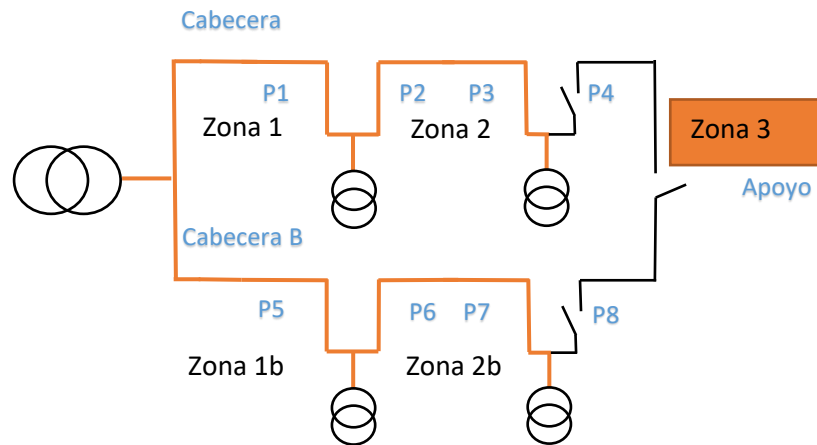


Ilustración 4-16: Reconfiguración con sobrecarga en la zona 3

Los interruptores P4, P8 y el de apoyo están en esta situación abierto, dejando la zona 3 totalmente sin carga.

	Denominación en el esquema	Estado del interruptor
Feeder 1	Cabecera	LOW
	P1	LOW
	P2	LOW
	P3	LOW
	P4	HIGH
	Apoyo	HIGH
Feeder 2	CabeceraB	LOW
	P5	LOW
	P6	LOW
	P7	LOW
	P8	HIGH

Tabla 4-6: Estado de los interruptores después de la reconfiguración

4.4 Mejora de la continuidad de suministro

Como se ha introducido en los capítulos anteriores, la mejora de la continuidad del servicio se obtiene con la reducción de los índices TIEPI y NIEPI, es decir localizando y aislando una falta en el sistema en el menor tiempo posible.

A parte de los amperímetros de medida de la corriente también hay apareamiento de detección y relés de disparo ante una falta instalados en la red. En este caso, la entrada que llega al centro de control es el disparo automático de un relé debido a una corriente mayor de la establecida por motivos de seguridad. A la vez se dispara el interruptor de cabecera automático, dejando sin servicio toda la red. Una vez localizado el relé que ha disparado y por lo tanto la falta, se reconfigura la red para aislarla y facilitar un camino alternativo para el suministro de los otros consumos de forma automática. Por otra parte, la entrada del disparo de un relé implica en todas las situaciones la reconfiguración de la red.

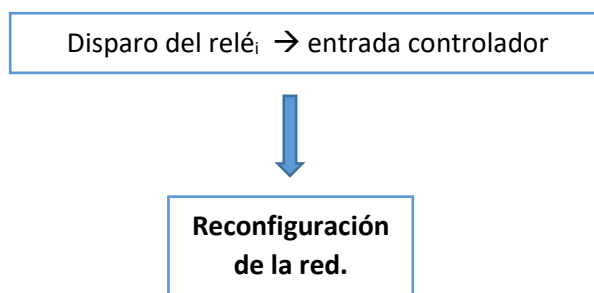


Ilustración 4-17: Árbol de decisión de reconfiguración ante una falta

En condiciones normales de funcionamiento el suministro de la corriente se realiza íntegramente desde las cabeceras y se tiene la siguiente configuración inicial:

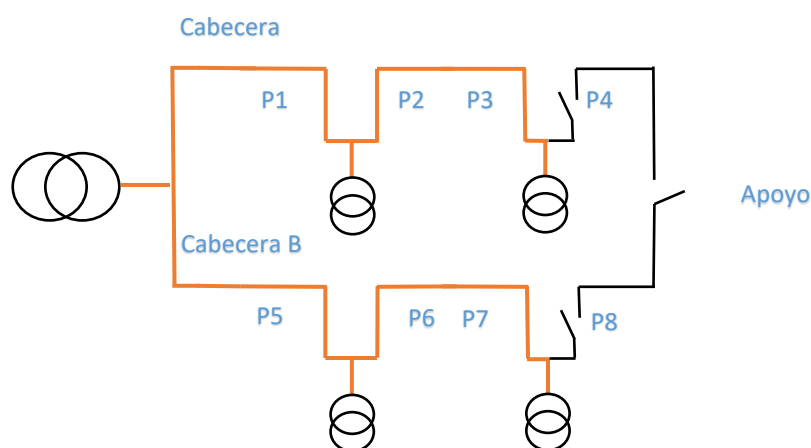


Ilustración 4-18: Configuración inicial

Una falta imprevista puede ocurrir en cualquier punto de la red. A diferencia de la operación normal actualmente implementada, no hay que utilizar el método selectivo para ubicar la falta aguas abajo, se obtiene directamente la localización de la falta, la cual puede ocurrir en cualquier punto de la red.

- **Falta en la zona 1:**

Se abren automáticamente los interruptores P1 y el de cabecera y se manda la información al centro de control.

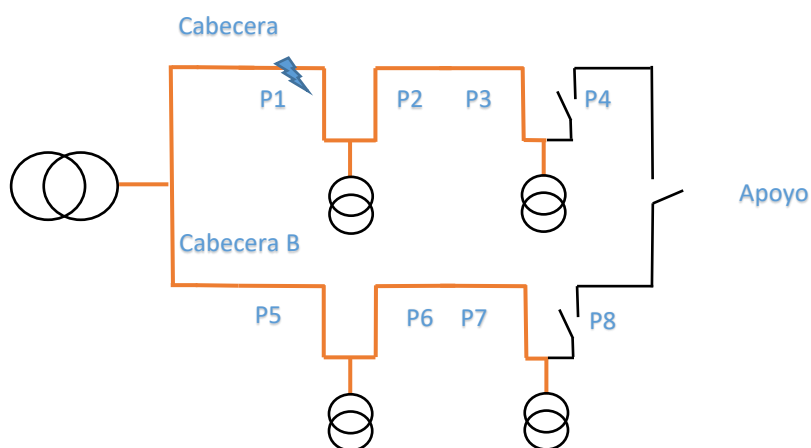


Ilustración 4-19: Falta en la zona 1

Al recibir la información del disparo del relé en la zona 1 se aplica el algoritmo y, se cierran los interruptores P4, apoyo y P8 para realizar el suministrar la corriente del feeder 1 desde el feeder 2 y dejar fuera de servicio la zona 1.

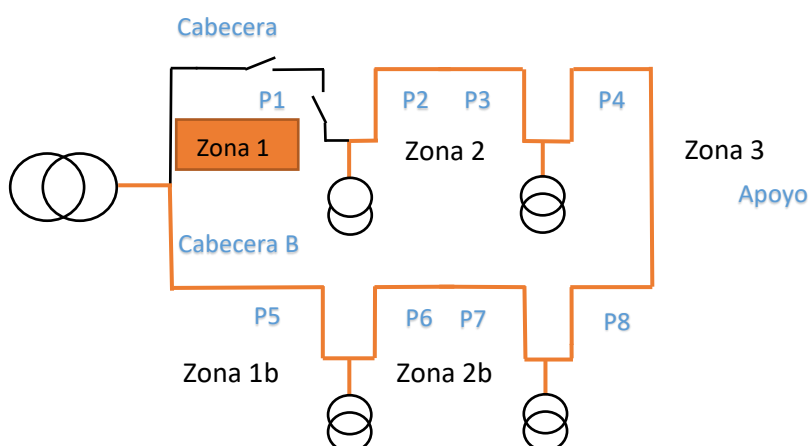


Ilustración 4-20: Reconfiguración ante una falta en la zona 1

- **Falta en la zona 2:**

Se abren automáticamente los interruptores P2 y el de cabecera y se manda la información al centro de control.

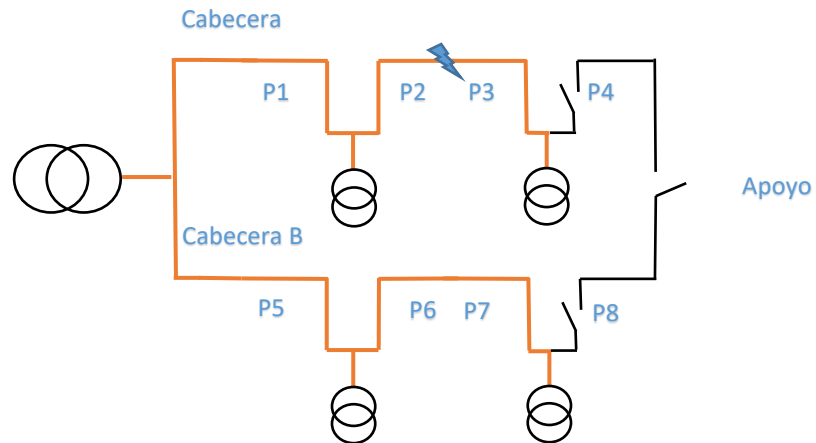


Ilustración 4-21: Falta en la zona 2

Al abrirse el interruptor P2 se queda sin suministro el CT2. La reconfiguración consiste en volver a alimentar esta carga. Se cierran entonces el P4, apoyo y P8 y se abre el P3 ya que se aísla la zona 2, donde ha aparecido el defecto.

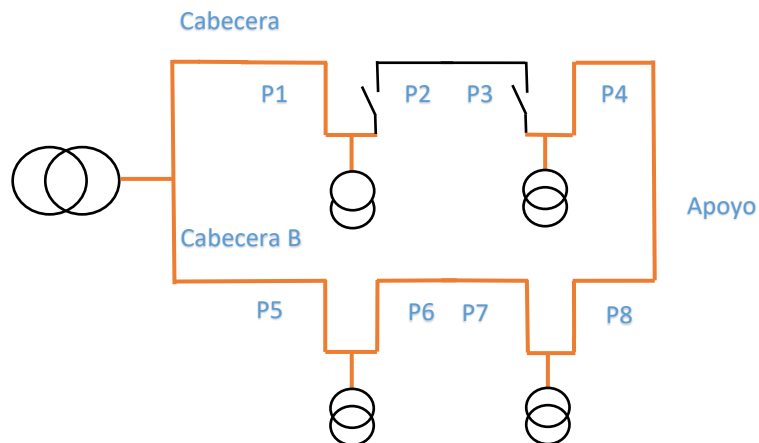


Ilustración 4-22: Reconfiguración ante una falta en la zona 2

- **Falta en la zona 1b**

Se abren automáticamente los interruptores P5 y el de cabecera B y se manda la información al centro de control.

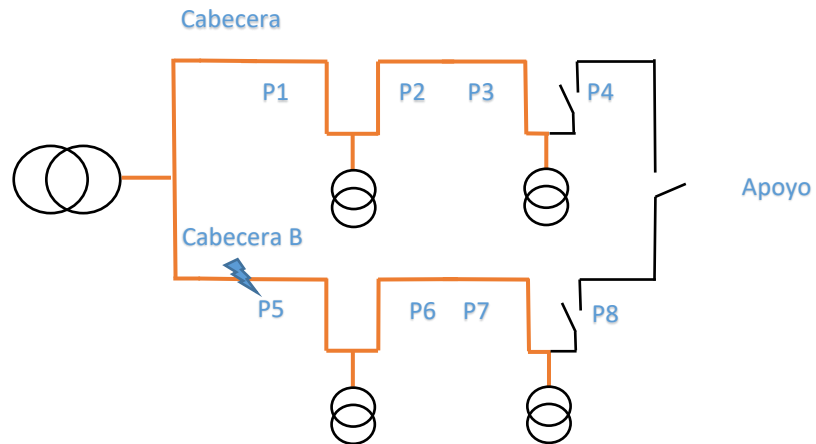


Ilustración 4-23: Falta en la zona 1b

En esta situación el CT3 se queda sin alimentación. Se crea por lo tanto un camino para la reposición del suministro desde el P4, apoyo y P8.

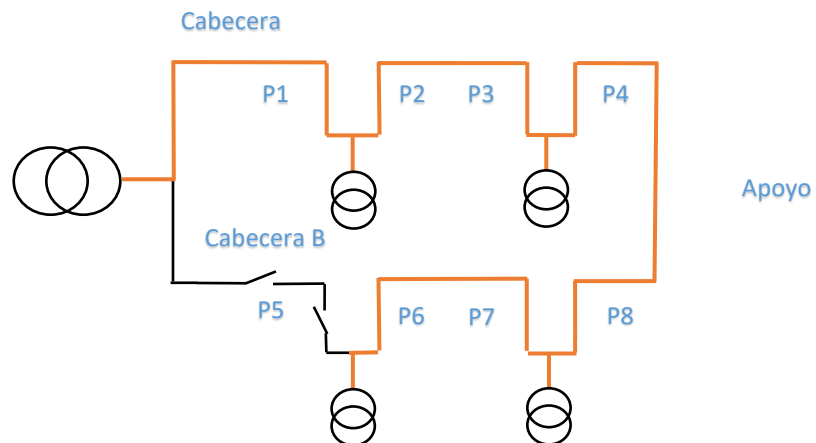


Ilustración 4-24: Reconfiguración ante una falta en la zona 1b

- **Falta en la zona 2b**

Se abren automáticamente los interruptores P7 y el de cabecera B y se manda la información al centro de control.

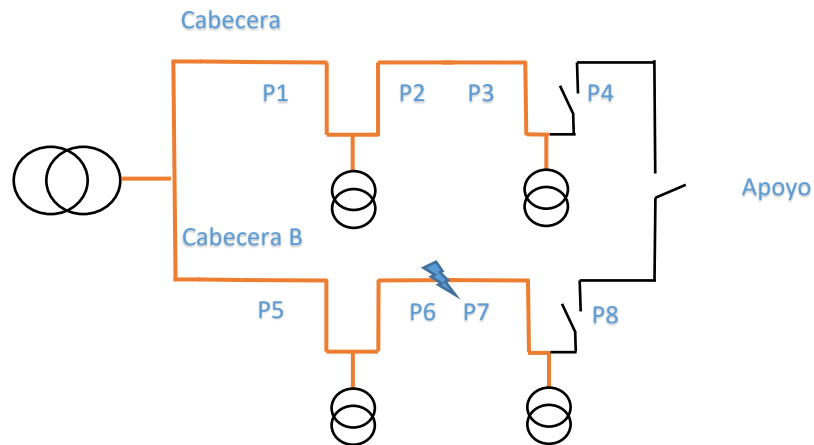


Ilustración 4-25: Falta en la zona 2b

Al abrirse el interruptor P7 se queda sin suministro el CT4. La reconfiguración consiste en volver a alimentar esta carga. Se cierran entonces el P4, apoyo y P8 y se abre el P6 ya para aislar la zona 2b donde ha aparecido el defecto.

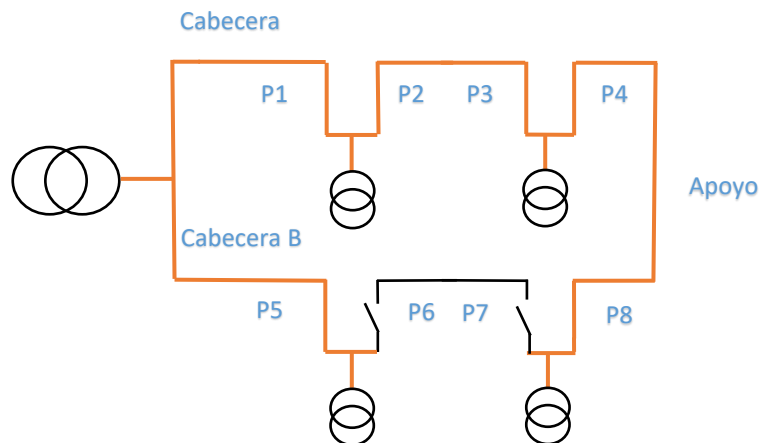


Ilustración 4-26: Reconfiguración ante una falta en la zona 2b

- **Falta en la zona 3**

Para que aparezca un defecto en la zona 3, el circuito de apoyo tiene que estar conectado y por lo tanto la situación de partida están los interruptores P4,P8 y el de apoyo en posición cerrada conduciendo la corriente. Automáticamente, al producirse una falta en la zona 3 se abre el interruptor de apoyo y el interruptor de cabecera. Esta situación se puede dar con las dos siguientes configuraciones:

a)

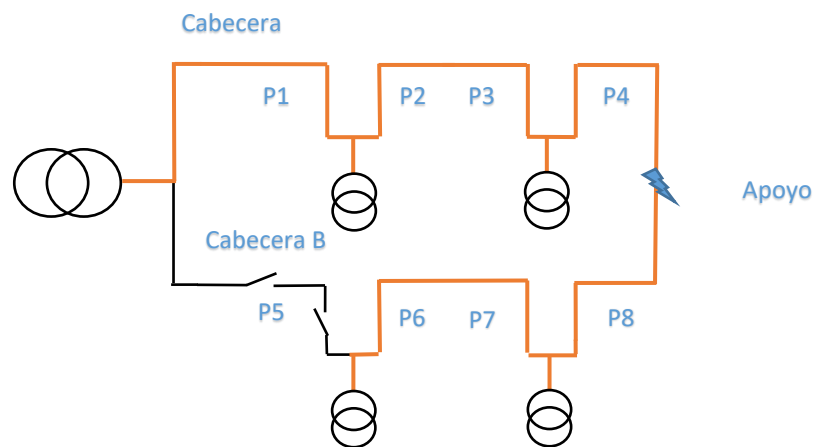


Ilustración 4-27: Falta en la zona 3 opción (a)

b)

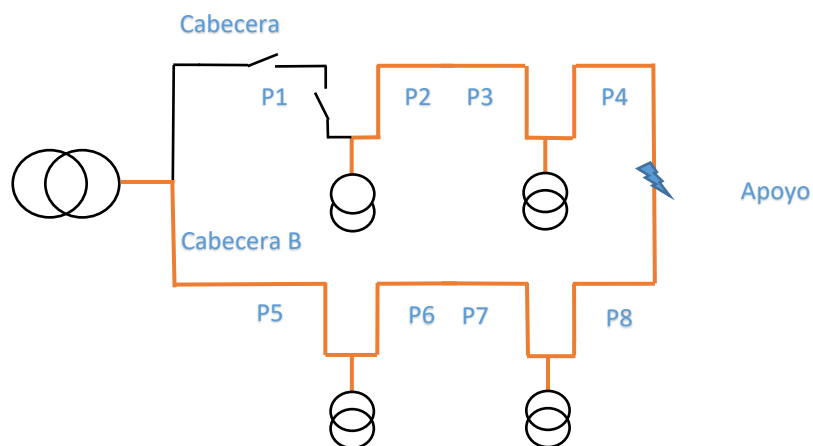


Ilustración 4-28: Falta en la zona 3 opción (b)

c)

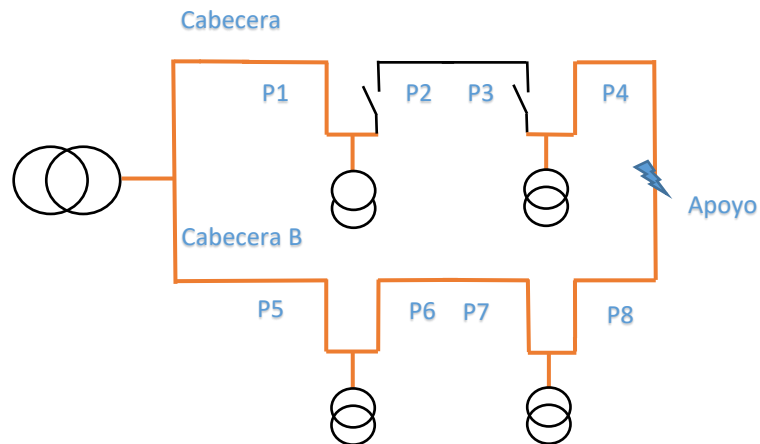


Ilustración 4-29: Falta en la zona 3 opción (c)

d)

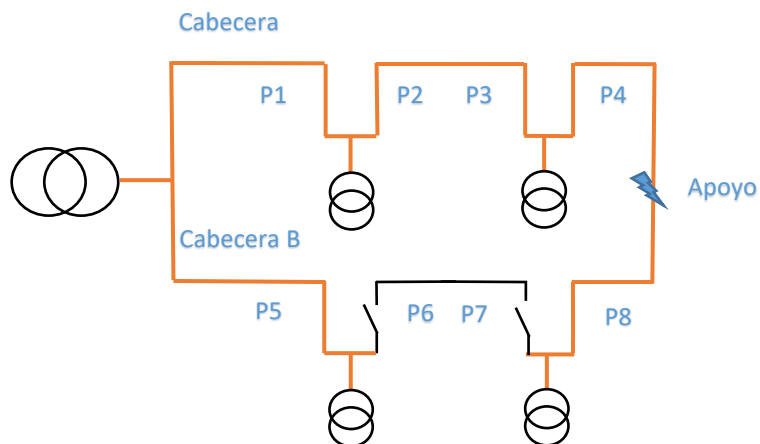


Ilustración 4-30: Falta en la zona 3 opción (d)

En todos los casos la reconfiguración para aislar la zona afectada consiste en volver a la configuración normal de operación con la alimentación completamente realizada desde las cabeceras y los interruptores de apoyo abiertos:

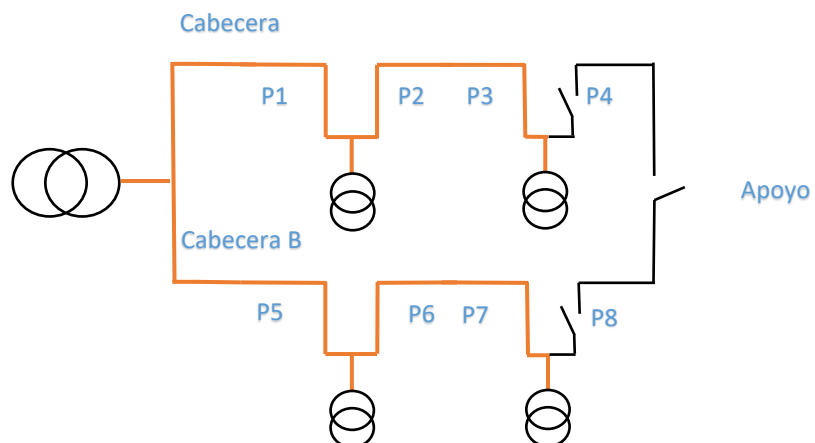


Ilustración 4-31: Reconfiguración ante una falta en la zona 3

5 Diseño de hardware

5.1 Introducción

Este capítulo incluye la descripción de los aparatos necesarios para montar a escala en el laboratorio el control de la red de distribución formada por dos feeders con reconfiguración automática. Para el montaje de los dos feeders se necesitan los conectores y las cargas. La parte del control se lleva a cabo con relés de detección de falta y disparo y un microprocesador. Además se necesitan elementos de medida de corriente que den información al microprocesador. Las medidas de corriente son la entrada en el microprocesador, y la salida de este es la reconfiguración de los interruptores tras haber aplicado el algoritmo deseado.

A continuación se explican los elementos según la función que cumplen en el circuito.

5.2 Alimentación

La alimentación del circuito se realiza desde la fuente de tensión del laboratorio a 220V. Esta alimentación simula la salida de la subestación de AT/MT a los feeders. Por otra parte, las placas de relés y los dispositivos se alimentan desde una fuente de tensión continua a 24V (fase 1,2).

5.3 Conexión

El circuito se conecta con cables amarillos que conducen los 220 V. Estos conductores permiten el flujo de corriente entre la salida trifásica y la red y entre los centros de transformación y cargas. Esta conexión simula la red de media tensión, es decir, el feeder.

Por otra parte, el microprocesador se conecta con la tarjeta de relés para transmitirle la información de actuación y la vez es su fuente de alimentación.

Por último el ordenador alimenta y le transmite la programación de los algoritmos que tiene que implementar al microprocesador.

5.4 Interruptor de cabecera y apoyo

Los interruptores de cabecera y de apoyo se montan coada uno con una caja de contactores.

Esta caja se alimenta con 24V de corriente continua por A1 y A2. A continuación cada una de las bornas izquierda y la correspondiente a la derecha representan un contactor. Se utiliza un un contactor de una caja para el interruptor de cabecera y otro contactor de otra caja para el interruptor de apoyo.

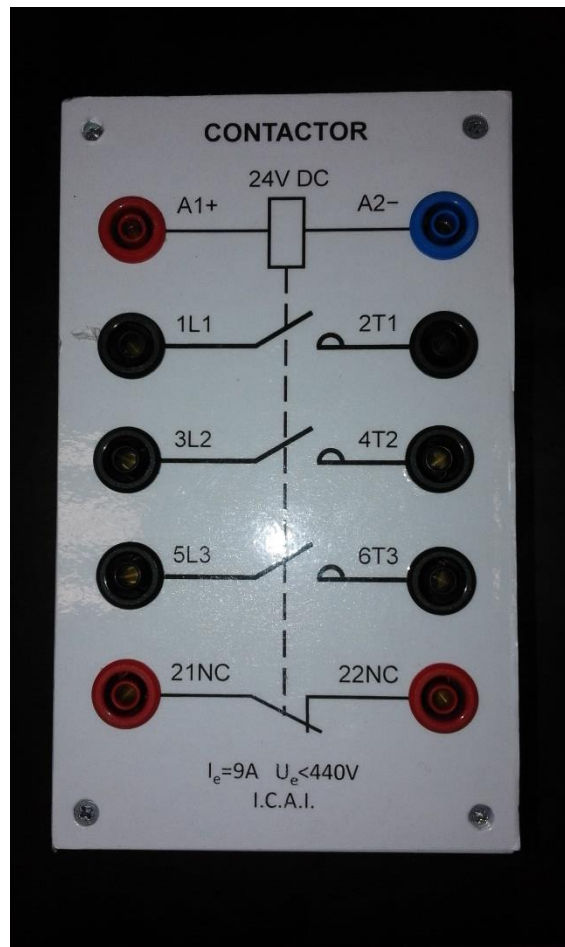


Ilustración 5-1: Caja de contactores para cabecera y apoyo

5.5 Centros de transformación

Se utiliza una caja contactores para cada centro de transformación. Cada caja tiene los respectivos interruptores: el interruptor de entrada y el de salida a la red de media tensión y el interruptor de salida al consumo de baja, normalmente cerrado.

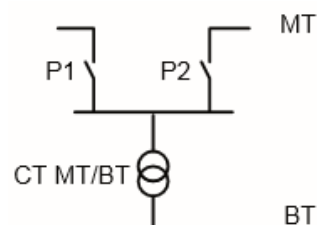


Ilustración 5-2: Esquema del centro de transformación

Cada caja se alimenta con 230V desde la alimentación y además se controla la apertura de los interruptores para aislar el CT o reconducir la energía por un camino alternativo.

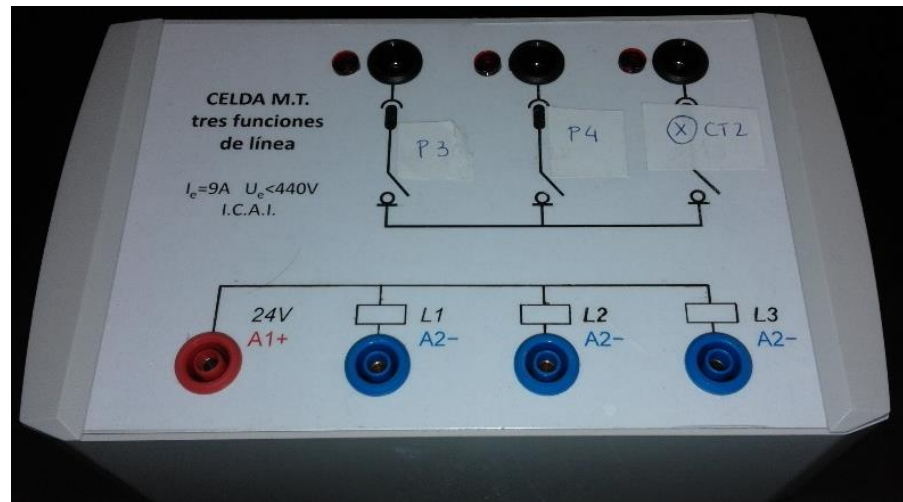


Ilustración 5-1: Caja de contactores

Las dos entradas negras son la conexión al feeder (P3 y P4) y la tercera es la salida a la carga en baja tensión del centro de transformación (CT2).

En las entradas de abajo, se alimenta la caja en la conexión roja y en las conexiones azules se conectan los relés que transmiten la información de abrir o cerrar el contactor.

5.6 Carga

El consumo de los usuarios se modela con una bombilla. Son bombillas de 500W y 220V y cada una representa el consumo de un usuario conectado al centro de transformación. Cada bombilla se conecta desde la salida de la caja de contactores CT.



Ilustración 5-3: Bombilla que simula el consumo de un usuario.

5.7 Medida

Para llevar a cabo la reconfiguración se parte de la medida de la corriente en el circuito en distintos puntos del mismo. Para ello, los sensores de corriente transmiten información instantánea sobre la carga que atraviesa los conductores. Estas medidas las realizan transductores de corriente y se realizan en cinco puntos de la red:

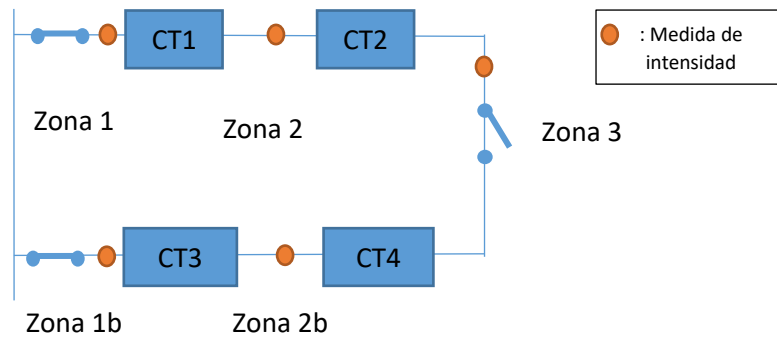


Ilustración 5-4: Medidas de corriente en la red

El transductor de corriente utilizado es un LTS 6-NP con corriente nominal de 6A.



Ilustración 5-5: Transductor de corriente

Respecto a la corriente medida da un valor de tensión correspondiente a la siguiente gráfica:

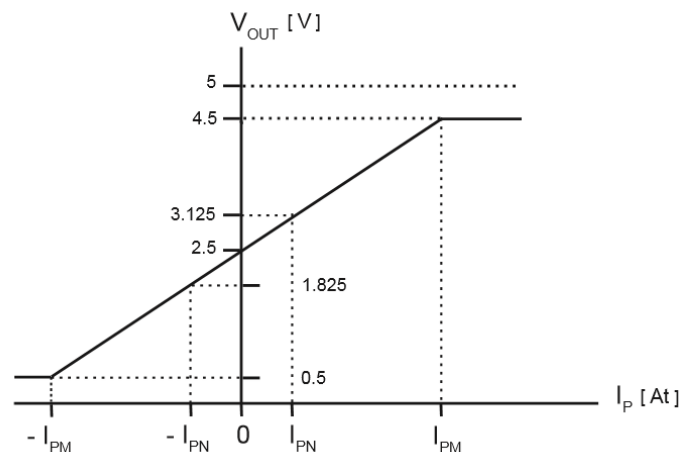


Ilustración 5-6: Relación corriente de entrada- tensión de salida

5.8 Actuación

La actuación sobre los interruptores se implementa con una tarjeta de relés. Cada relé controla un interruptor. Según la información que reciba del procesador, actúa abriendo o cerrando el interruptor correspondiente.

Para esta función se utilizan relés SONGA SRD-05VDC-SL-C.



Ilustración 5-7: Relé de actuación [22]

Se utiliza una placa con ocho relés para cada feeder, de los cuales se utilizan seis para los interruptores necesarios en cada línea.

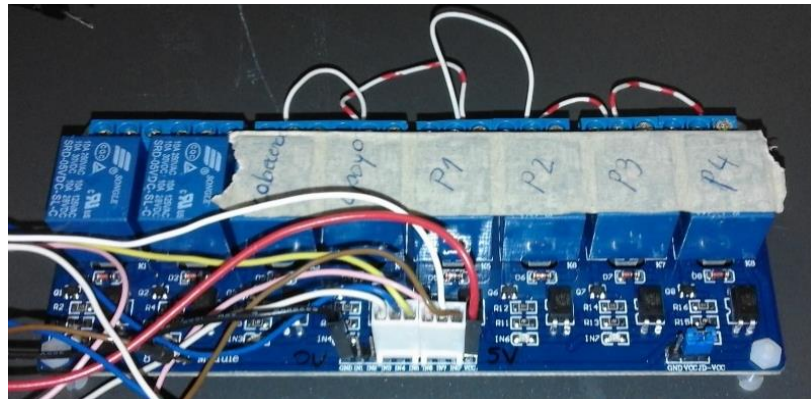


Ilustración 5-8: Tarjeta de relés

También hay relés de sobrecorriente que actúan automáticamente a partir de una corriente fijada. Estos relés se utilizan para aislar automáticamente una falta. Los relés de corriente son Omron K8AK-SA.



Ilustración 5-9: Relé de sobrecorriente [23]

5.9 Control

El control de todo el sistema se lleva a cabo en el microprocesador. Es una placa de *Arduino Uno* en la cual se programan e implementan los algoritmos de reconfiguración de los interruptores. Las entradas al microprocesador son las medidas de las corrientes de los transductores, o medidas de un selector de red manual. Las salidas son órdenes de actuación sobre los relés.

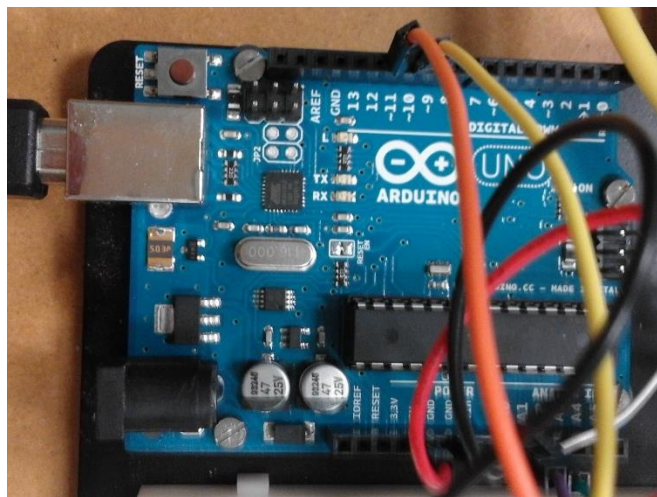


Ilustración 5-10: Placa de ArduinoUNO

La placa de *Arduino Uno* es un microcontrolador ATmega328 con 5V de tensión de operación.

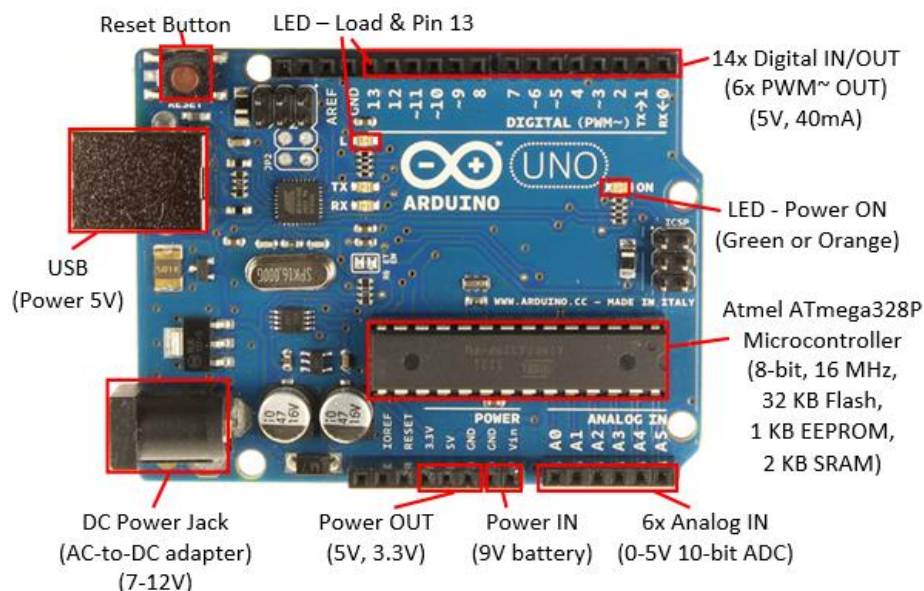


Ilustración 5-11: Conexiones placa Arduino [24]

- La interfaz USB se conecta con el ordenador para cargar la programación y también para alimentar la placa.
- Los 14 pines de la parte superior de la imagen pueden configurarse como entrada o salida. En este caso los pines digitales actúan como salidas para la reconfiguración de los contactores.
- Los 6 pines analógicos actúan como entradas para las medidas de intensidad de los transductores de corriente.

A continuación se describen las características técnicas principales de la placa:

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7-12V
Voltaje límite de entrada	6-20 V
Pines de entrada o salida digital	14
Pines de entrada analógica	6
Corriente continua por pin 90	40mA
Memoria Flash	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Frecuencia reloj	16MHz

Tabla 5-1: Características técnicas de la placa Arduino Uno [25]

En el siguiente capítulo se describe cómo se conectan estos elementos y cómo se controlan para llevar a cabo el ensayo descrito.

6 Ensayo

6.1 Introducción

Se simula en el laboratorio una red de distribución con una misma entrada de media tensión y dos feeders de salida. Cada feeder alimenta a dos centros de transformación. Los centros de transformación están conectados en serie en la red de media tensión. Uniando los dos feeders hay un interruptor de apoyo que juega el papel importante para la reposición del servicio.

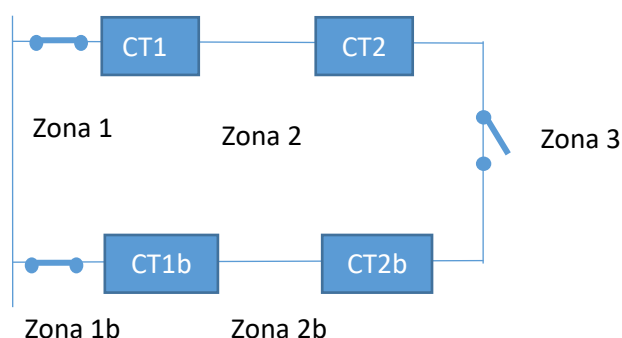


Ilustración 6-1: Esquema de la red de distribución simulada

Cada centro de transformación tiene dos interruptores, uno de entrada y otro de salida a la red de media tensión y la conexión a la carga de baja tensión.

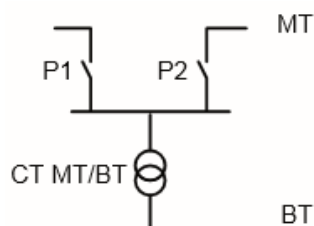


Ilustración 6-2: Esquema de un centro de transformación

Todos los interruptores de los esquemas se controlan en el ensayo. Estos interruptores incluyen: dos interruptores automáticos de cabecera al principio de cada feeder normalmente cerrados, cuatro interruptores de entrada a los centros de transformación normalmente cerrados y cuatro interruptores de salida de los centros de transformación; los del CT1 y CT1b normalmente cerrados, y los del CT2 y CT2b normalmente abiertos. El interruptor de apoyo también tiene posición normalmente abierto.

La simulación se lleva a cabo en el laboratorio de la universidad con lo que hay una restricción de equipos y por lo tanto hay limitaciones para simular la realidad. Los circuitos montados y controlados son en baja tensión.

Con la finalidad de reducir el NIEPI y el TIEPI se prueban configuraciones de los interruptores del circuito para encontrar aquella que optimice estos dos parámetros. Para ello, el ensayo se divide en tres partes:

- 1) Circuito con un feeder y selección manual de la reconfiguración.
- 2) Circuito con dos feeders y selección manual de la reconfiguración.
- 3) Circuito con dos feeders y selección automática de la reconfiguración.

La primera parte del ensayo consiste en el montaje de un sólo feeder que alimenta a dos centros de transformación conectados en serie. Al principio del feeder hay un interruptor de cabecera automático y al final hay un interruptor de apoyo unido a la red, de tal forma que se puede reponer el servicio. En este caso se prueban las distintas configuraciones posibles de los interruptores de forma manual y con un selector de red.

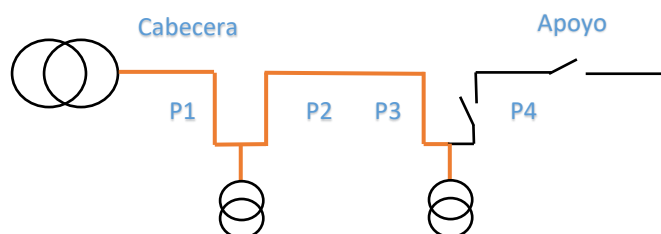


Ilustración 6-3: Circuito con un feeder

En la segunda parte del ensayo se añade otro feeder en paralelo con el primero. Este feeder tiene la misma configuración que el primero con los interruptores de cabecera y apoyo y los dos CT en serie. Ambos feeders actúan como un camino alternativo para la corriente en caso de falta en el otro feeder o en caso de redistribución de la corriente. En este caso aumenta la complejidad de control y de reconfiguración de la red a la vez que se añaden más posibilidades de reposición del servicio. Se prueba la configuración de los interruptores de forma manual con el selector de red. Por último se diseña la reconfiguración automática de este circuito dependiendo de las medidas de corriente en distintos puntos.

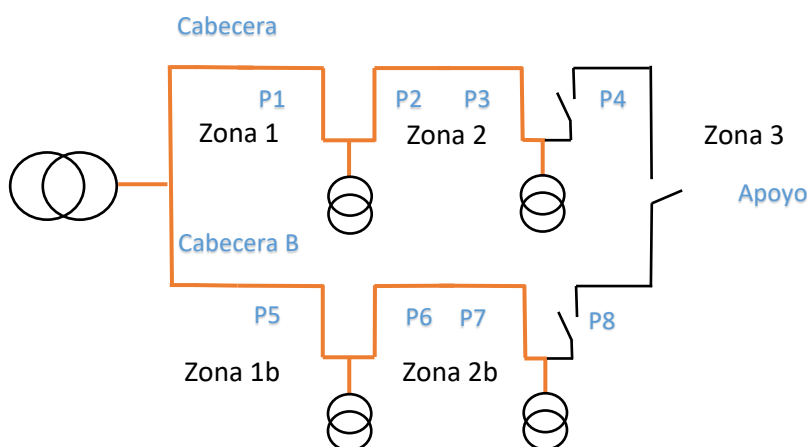


Ilustración 6-4: Circuito con dos feeders

6.2 Ensayo 1: Un feeder con selección manual de la reconfiguración

6.2.1 Montaje

Para este primer ensayo se monta un único feeder y se selecciona de forma manual, primero con una entrada escrita y luego con un potenciómetro, la reconfiguración de los interruptores. Para ello se utilizan los siguientes equipos:

- La alimentación desde la fuente de tensión del laboratorio.
- Cuatro cajas de contactores.
- Dos lámparas como las cargas en los dos centros de transformación.
- Una tarjeta con ocho relés.
- Una placa de Arduino Uno.
- Un potenciómetro.

Hay cuatro cajas de contactores. Una caja corresponde al interruptor de cabecera, al cual se conecta a la fuente de tensión. A continuación la segunda caja que representa el CT1, se conecta con el interruptor de cabecera y en serie con la siguiente caja de contactores que representa el CT2. Por último el interruptor de apoyo está en la cuarta caja de contactores y se conecta en serie con la salida del CT2.

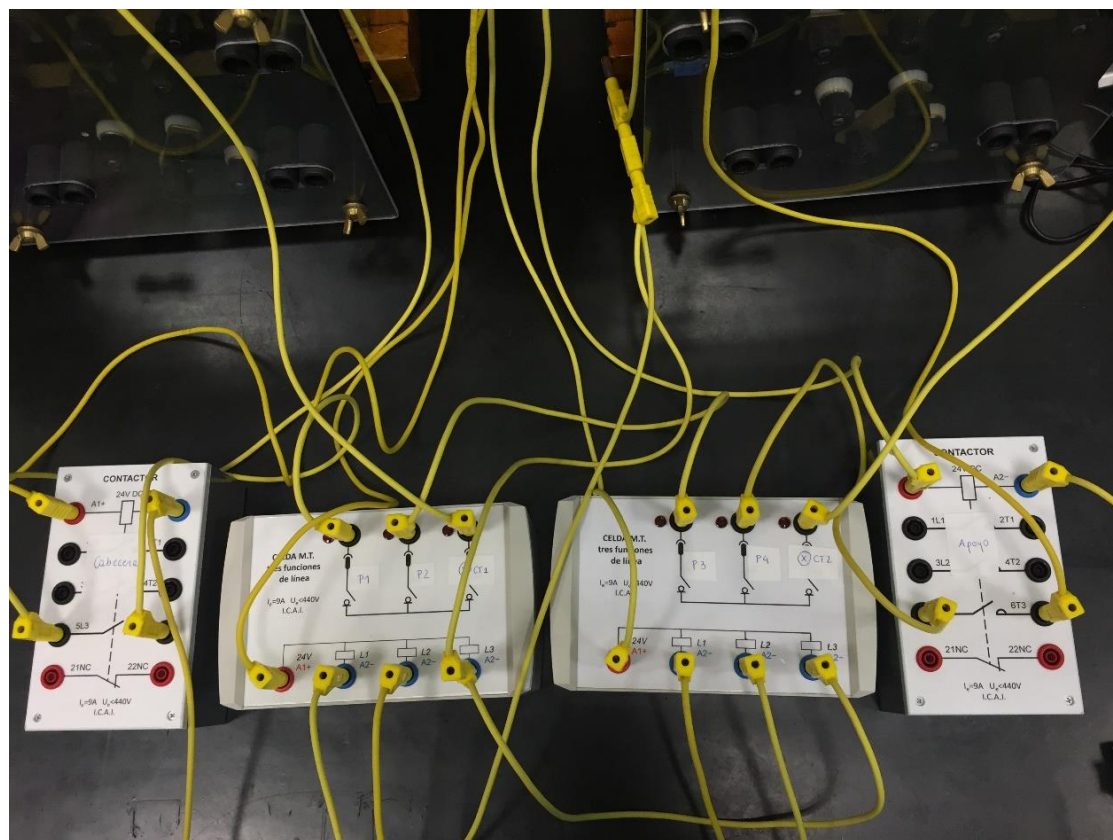


Ilustración 6-5: Conexión de las cajas de contactores

Además, la fuente de tensión alimenta todos los elementos del circuito para su funcionamiento. Las cuatro cajas se conectan a la fase 1 y 2 de 24V.

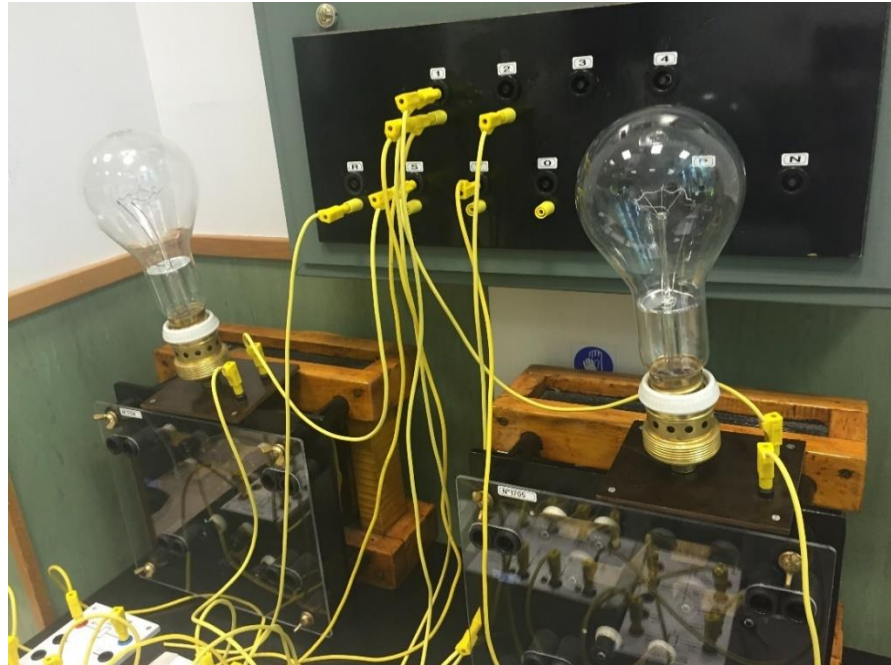


Ilustración 6-6: Alimentación de todos los elementos desde la fuente de tensión

A continuación se alimenta cada bombilla desde la caja de contactores de cada centro de transformación, para completar el circuito de distribución.

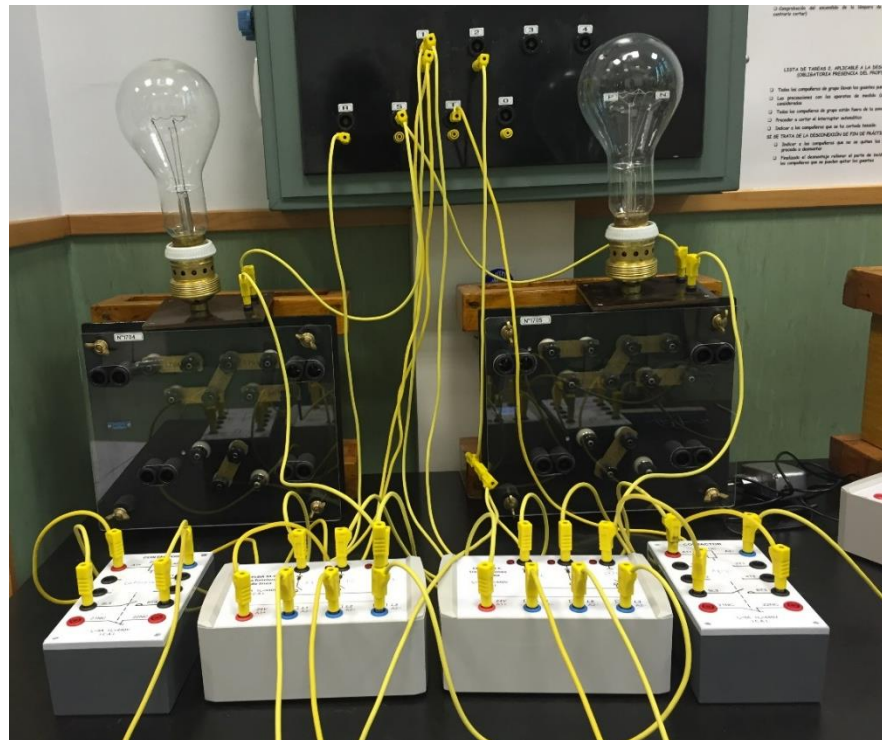


Ilustración 6-7: Conexión de las cargas

Por último se añade al circuito el sistema de control formado por la tarjeta de relés, el potenciómetro y la placa de Arduino Uno.

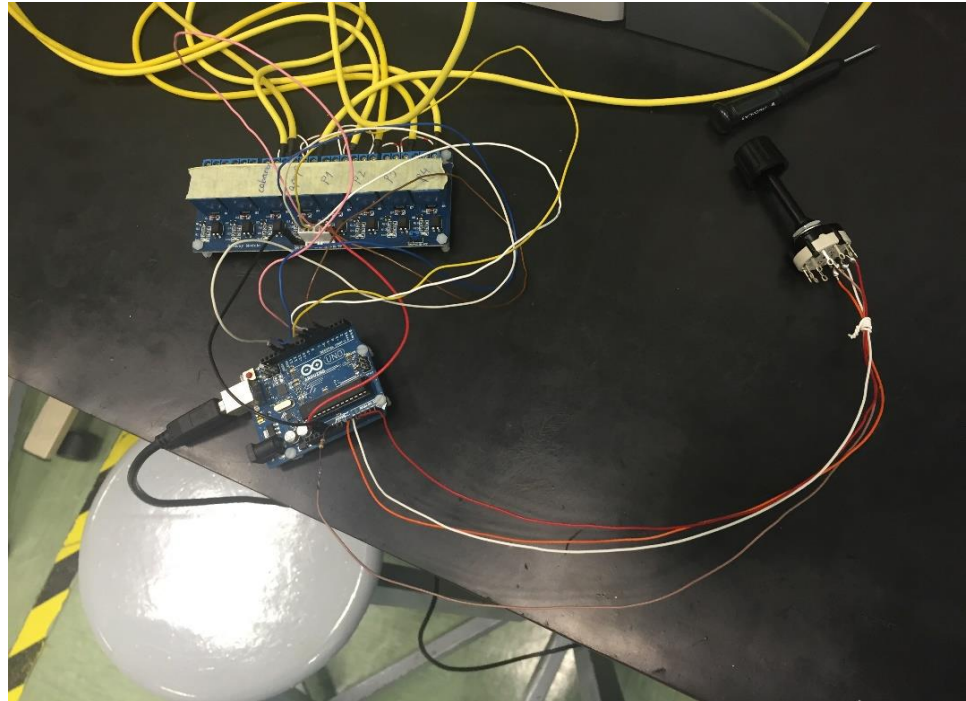


Ilustración 6-8: Sistema de control formado por los relés, el microcontrolador y el potenciómetro

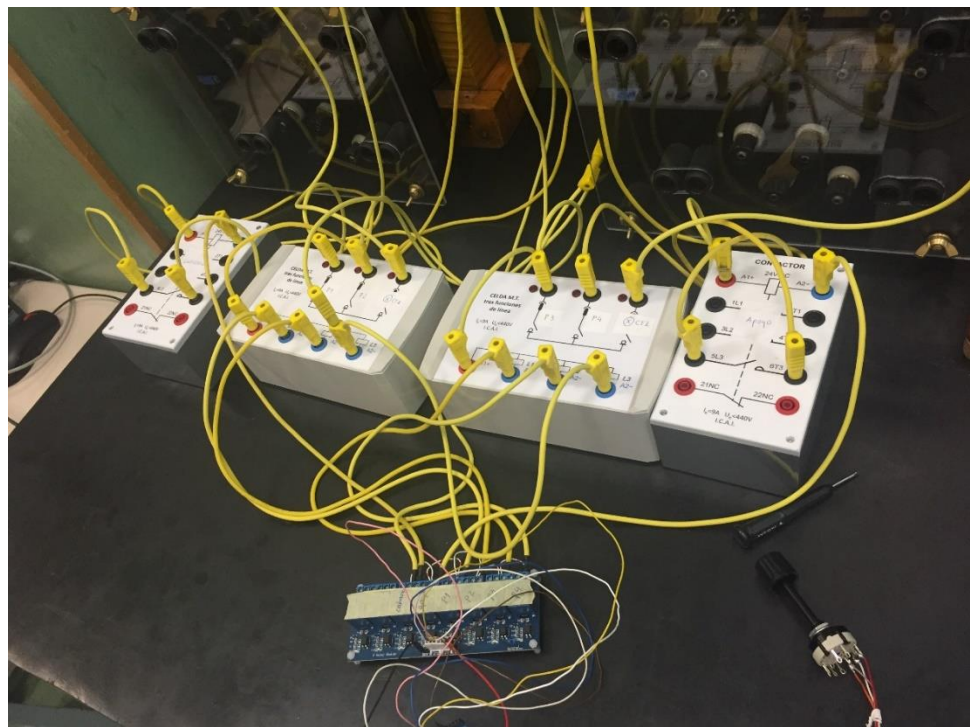


Ilustración 6-9: Conexión del sistema de control al circuito de distribución

En la tarjeta de relés se utilizan seis de ellos para controlar los seis interruptores que hay en el circuito.

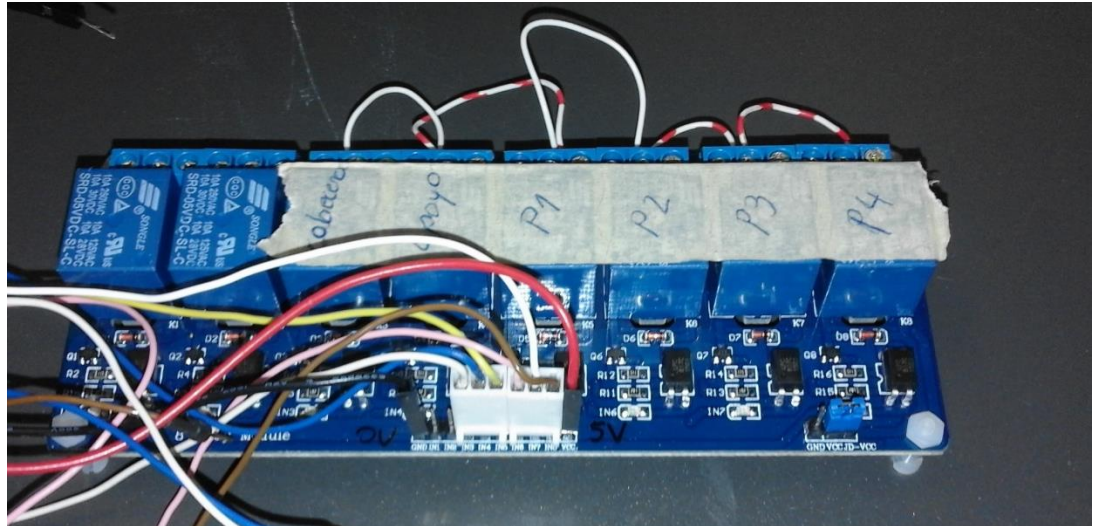


Ilustración 6-10: Tarjeta de relés

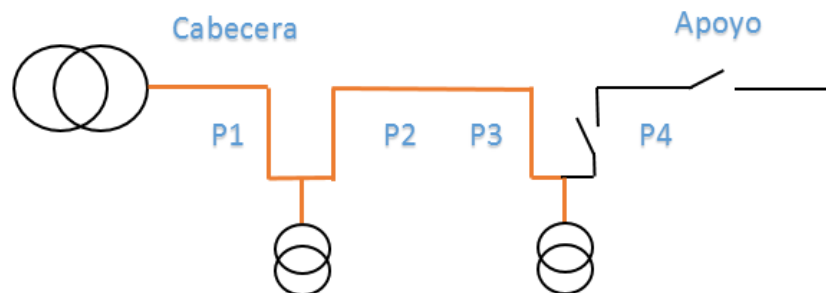


Ilustración 6-11: Interruptores del circuito

Se conectan los relés al microprocesador para ser controlados por el mismo.

Arduino	Tarjeta de relés	Cable	Función
Pin digital 13	Relé 1	Blanco	Cabecera
Pin digital 11	Relé 2	Azul	Apoyo
Pin digital 7	Relé 3	Amarillo	P1: Entrada CT1
Pin digital 6	Relé 4	Rosa	P2: Salida CT1
Pin digital 5	Relé 5	Blanco	P3: Entrada CT2
Pin digital 4	Relé 6	Marrón	P4: Salida CT2

Tabla 6-1: Conexión de los pines de Arduino con la tarjeta de relés

El selector de red también está conectado a la placa Arduino Uno. Se utilizan tres posiciones del potenciómetro para poder seleccionar tres reconfiguraciones distintas de forma manual:

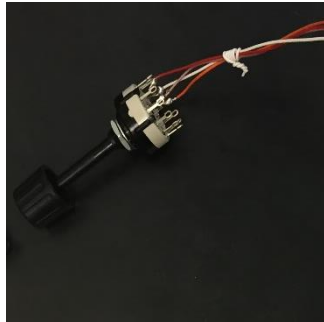


Ilustración 6-12: Potenciómetro

Arduino	Potenciómetro	Cable	Función
Pin analógico 0	Posición 1	Rojo	Configuración 1
Pin analógico 1	Posición 2	Blanco	Configuración 2
Pin analógico 2	Posición 3	Naranja	Configuración 3
Pin 5V	Alimentación	Marrón	Alimentación

Tabla 6-2: Conexión de pines de Arduino con el potenciómetro

Por último se conecta el microprocesador a la placa de relés, al potenciómetro y al ordenador.

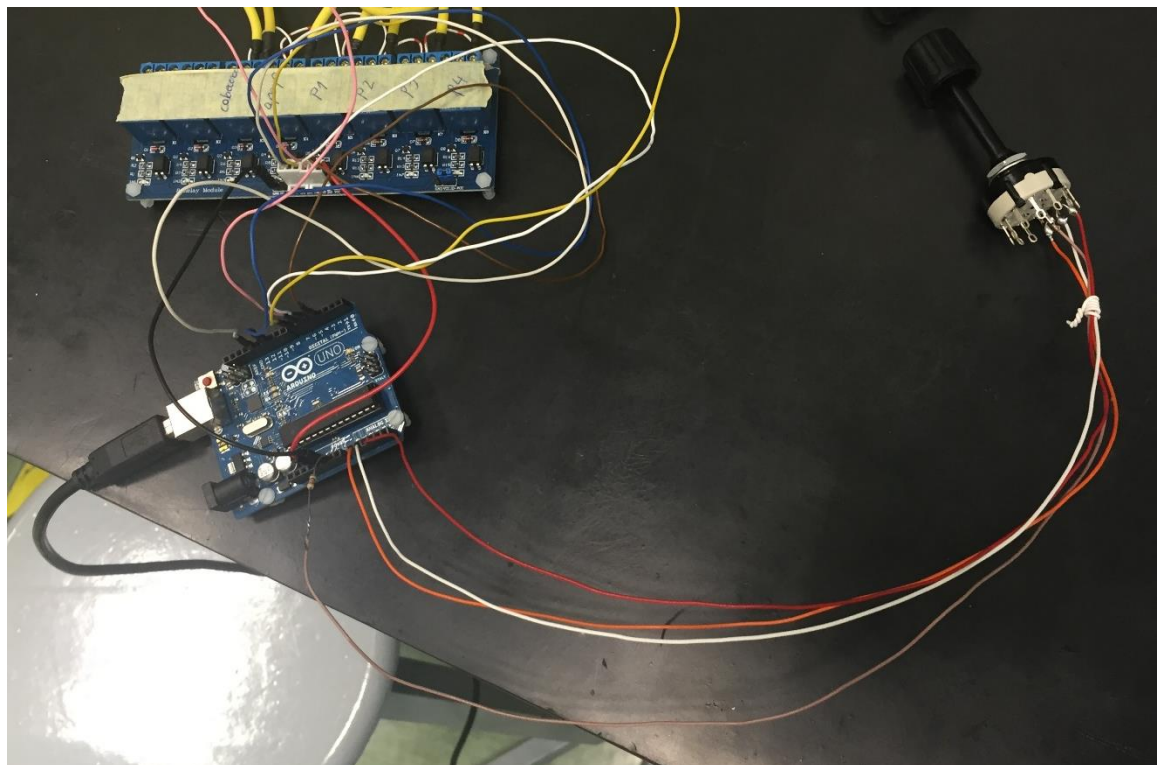


Ilustración 6-13: Conexión de la placa Arduino Uno

6.2.2 Programación

La programación en Arduino controla la apertura y el cierre de los interruptores a través de los relés para realizar diferentes configuraciones en la red. En este caso se programa para tres posibles reconfiguraciones:

- Configuración 0: es el funcionamiento normal 100/0. Se alimenta el feeder completamente desde la cabecera y se deja la zona 3 fuera de servicio. Esta configuración se utiliza en condiciones normales de funcionamiento y cuando se produce una falta en la zona 3.
- Configuración 1: es el funcionamiento inverso 0/100. Se alimenta el feeder desde el interruptor de apoyo y se deja la zona 1 fuera de servicio. Esta configuración se utiliza para aislar una falta en la zona 1 y continuar con el suministro de la corriente.
- Configuración 2: consiste en un funcionamiento distribuido de carga 50/50. Se alimenta la mitad del consumo desde la cabecera y la otra mitad desde el apoyo. En este caso se deja la zona 2 fuera de servicio. Esta configuración aísla una falta en la zona 3 y también se utiliza para disminuir la sobre carga distribuyendo la misma.

El programa de Arduino se escribe en dos partes:

- En el primer programa se definen las entradas de las configuraciones de forma manual: Configuración manual.
- En el segundo programa se integra el selector de red para las entradas de las configuraciones: Integración del selector de red.

Configuración manual

Primeramente se definen las variables que se utilizan en el programa. Estas variables incluyen las entradas y salidas de la placa Arduino, las tres configuraciones de red y el tiempo de cierre que es el tiempo de actuación del relé más el tiempo del contactor.

```
/*Entradas: 1 de cabecera.  
Salidas: 8 de los relés de la placa: 1 cabecera, 2 interruptores bombillas,  
4 interruptores entrada+salida, 1 apoyo*/  
int cabecera=13; //Entrada interruptor cabecera conectado al pin 13  
int apoyo=11; // Salida interruptor apoyo conectado al pin 11  
int P1=7; // salida relé 1, conectado al pin 7: entrada CT1  
int P2=6; // salida relé 2, conectado al pin 6: salida CT1  
int P3=5; // salida relé 3, conectado al pin 5: entrada CT2  
int P4=4; // salida relé 4, conectado al pin 4: salida CT2  
int confRed;  
int confRed0;  
int confRed1;  
int confRed2;  
int t_cierre; // t actuación rele+ t contactor
```

A continuación se asocian los pines de la placa Arduino a las entradas y salidas correspondientes

```
//Serial.begin(9600);
pinMode(cabecera, OUTPUT);
pinMode(apoyo, OUTPUT);
pinMode(P4, OUTPUT);
pinMode(P3, OUTPUT);
pinMode(P2, OUTPUT);
pinMode(P1, OUTPUT);
pinMode(0, INPUT);
pinMode(1, INPUT);
pinMode(2, INPUT);
```

Se establece la situación inicial de los interruptores:

```
digitalWrite(cabecera, HIGH);
digitalWrite(apoyo, HIGH);
digitalWrite(P1, HIGH);
digitalWrite(P2, HIGH);
digitalWrite(P3, HIGH);
digitalWrite(P4, HIGH);
```

Por último, según la configuración de red insertada, se hace la reconfiguración de los interruptores:

Configuración 0:

Interruptor	P1	P2	P3	P4	Cabecera	Apoyo
Estado	LOW	LOW	LOW	HIGH	LOW	HIGH

Tabla 6-3: Estado de interruptores según la configuración 0

Configuración 1:

Interruptor	P1	P2	P3	P4	Cabecera	Apoyo
Estado	HIGH	LOW	LOW	LOW	HIGH	LOW

Tabla 6-4: Estado de interruptores según la configuración 1

Configuración 2:

Interruptor	P1	P2	P3	P4	Cabecera	Apoyo
Estado	LOW	HIGH	HIGH	LOW	LOW	LOW

Tabla 6-5: Estado de interruptores según la configuración 2

Se presenta a continuación la programación en arduino según la configuración de red.

```
confRed=0;

switch(confRed) {

case 0:

delay(2000);
digitalWrite(P1,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(P2,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(P3,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(cabecera,LOW);
delay(3000);
break;

case 1:

delay(2000);
digitalWrite(P2,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(P3,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(P4,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(apoyo,LOW);
delay(3000);
break;

case 2:

delay(2000);
digitalWrite(P1,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(P4,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(apoyo,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(cabecera,LOW);
delay(3000);
break;
}
```

Integración del selector de red

El selector de red se conecta a la entrada digital de la placa de Arduino y las posiciones del mismo hacen la función de las tres configuraciones posibles. Cuando se conmuta la posición del selector de red se reconfiguran los interruptores, manteniendo el suministro en las cargas y dejando fuera de servicio la zona correspondiente.

De nuevo, se definen las variables del programa.

```
/*Entradas: 3 posiciones del selector
Salidas: 8 de los relés de la placa: 1 cabecera, 2 interruptores bombillas,
4 interruptores entrada+salida, 1 apoyo*/
int cabecera=13; //Entrada interruptor cabecera conectado al pin 13
int apoyo=11; // Salida interruptor apoyo conectado al pin 11
int P1=7; // salida relé 1, conectado al pin 7: entrada CT1
int P2=6; // salida relé 2, conectado al pin 6: salida CT1
int P3=5; // salida relé 3, conectado al pin 5: entrada CT2
int P4=4; // salida relé 4, conectado al pin 4: salida CT2
int confRed;
int confRed0;
int confRed1;
int confRed2;
int t_cierre; // t actuación rele+ t contactor
```

Se asignan los pines de la placa Arduino de entrada y salida.

```
Serial.begin(9600);
pinMode(cabecera,OUTPUT);
pinMode(apoyo,OUTPUT);
pinMode(P4,OUTPUT);
pinMode(P3,OUTPUT);
pinMode(P2,OUTPUT);
pinMode(P1,OUTPUT);
pinMode(0,INPUT);
pinMode(1,INPUT);
pinMode(2,INPUT);
```

Se lee la configuración de red con la entrada del selector:

```
void loop(){
confRed0=digitalRead(0);
confRed1=digitalRead(1);
confRed2=digitalRead(2);

if(confRed0==LOW){
  confRed=0;
}
else if(confRed1==HIGH){
  confRed=1;
}
else if(confRed2==HIGH){
  confRed=2;
}
}
```

Se aplica el estado inicial de los interruptores:

```
Serial.print(confRed);  
  
digitalWrite(cabecera,HIGH);  
digitalWrite(apoyo,HIGH);  
digitalWrite(P1,HIGH);  
digitalWrite(P2,HIGH);  
digitalWrite(P3,HIGH);  
digitalWrite(P4,HIGH);
```

Se programa la reconfiguración de los interruptores según la configuración leída del selector de red:

```
switch(confRed) {  
  
  case 0:  
  
    delay(2000);  
    digitalWrite(P1,LOW);  
    delay(2000);  
    digitalWrite(P2,LOW);  
    delay(2000);  
    digitalWrite(P3,LOW);  
    delay(2000);  
    digitalWrite(cabecera,LOW);  
    delay(3000);  
    break;  
  
  case 1:  
  
    delay(2000);  
    digitalWrite(P2,LOW);  
    delay(2000);  
    digitalWrite(P3,LOW);  
    delay(2000);  
    digitalWrite(P4,LOW);  
    delay(2000);  
    digitalWrite(apoyo,LOW);  
    delay(3000);  
    break;  
  
  case 2:  
  
    delay(2000);  
    digitalWrite(P1,LOW);  
    delay(2000);  
    digitalWrite(P4,LOW);  
    delay(2000);  
    digitalWrite(apoyo,LOW);  
    delay(2000);  
    digitalWrite(cabecera,LOW);  
    delay(3000);  
    break;  
}
```

6.3 Ensayo 2: Dos feeders con selección manual de la reconfiguración

6.3.1 Montaje

El montaje se lleva acabo con los mismos elementos que en el ensayo anterior pero añadiendo otro feeder en paralelo con el primero y utilizando otra tarjeta de relés que permita controlar el doble de interruptores. En este caso hay dos cabeceras, un apoyo, cuatro interruptores de entrada y otros cuatro de salida a los CTs y cuatro bombillas.

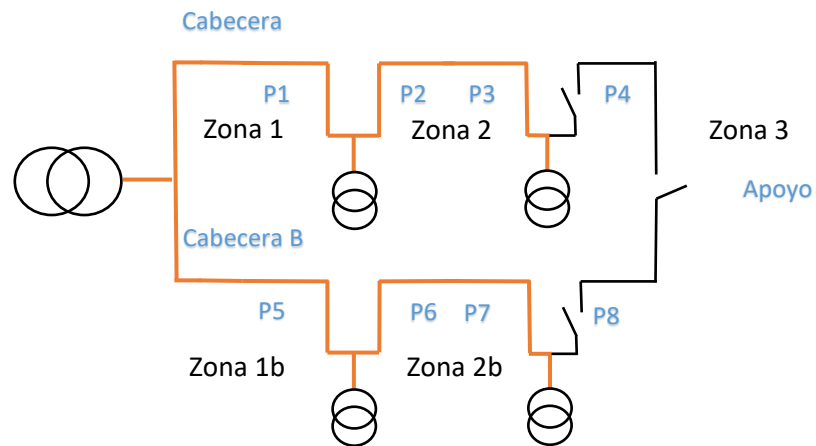


Ilustración 6-14: Interruptores del circuito

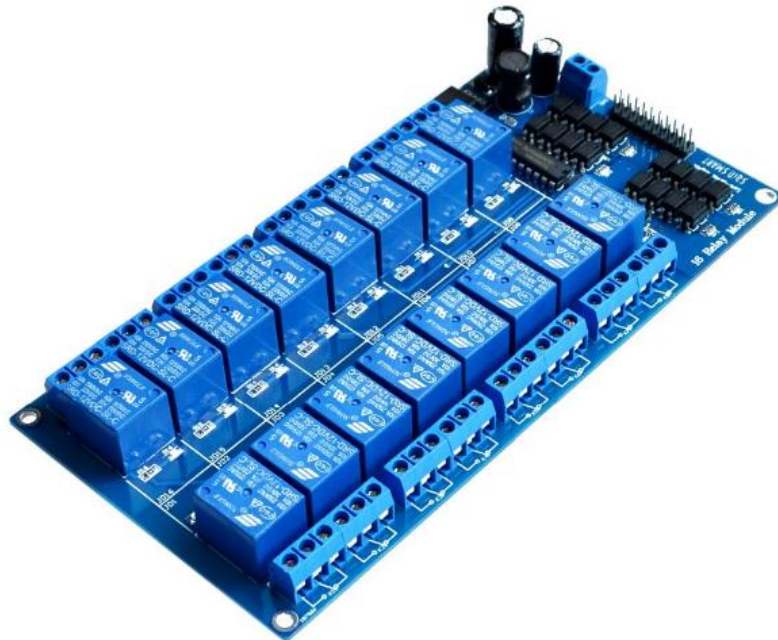


Ilustración 6-15: Tarjeta de 16 relés para el montaje de dos feeders

6.3.2 Programación

La programación en Arduino controla la apertura y el cierre de los interruptores a través de los relés para realizar diferentes configuraciones en la red. En este caso con dos feeders hay cinco configuraciones posibles de los interruptores.

- Configuración 0: es el funcionamiento normal 100/0. Se alimentan los dos feeders completamente desde las cabeceras y se deja la zona 3 fuera de servicio.
- Configuración 1: es el funcionamiento inverso 0/100 del feeder uno. Se alimenta el feeder uno desde el interruptor de apoyo y se deja la zona 1 fuera de servicio.
- Configuración 2: consiste en un funcionamiento distribuido de carga 50/50 del feeder uno. Se alimenta la mitad del consumo desde la cabecera y la otra mitad desde el apoyo. En este caso se deja la zona 2 fuera de servicio. El feeder dos se alimenta desde la cabecera B y alimenta a su vez al feeder uno.
- Configuración 3: es el funcionamiento inverso 0/100 del feeder dos. Se alimenta el feeder dos desde el interruptor de apoyo y se deja la zona 1b fuera de servicio.
- Configuración 4: se distribuye la carga 50/50 del feeder dos. Se alimenta la mitad del consumo desde la cabecera B y la otra mitad desde el apoyo. En este caso se deja la zona 2b fuera de servicio. El feeder uno se alimenta desde la cabecera y alimenta a su vez al feeder dos.

Para adecuar el programa de los dos feeders hay que duplicar el número de salidas de la placa Arduino. En este caso se añaden también tres configuraciones más al selector permitiendo ahora dejar fuera de servicio las nuevas zonas del circuito: Zona 1b, Zona 2b. Primeramente se definen las variables:

```
int cabecera=13; // interruptor cabecera conectado al pin 13
int apoyo=11; // Salida interruptor apoyo conectado al pin 11
int P1=7; // salida relé 1, conectado al pin 7: entrada CT1
int P2=6; // salida relé 2, conectado al pin 6: salida CT1
int P3=5; // salida relé 3, conectado al pin 5: entrada CT2
int P4=4; // salida relé 4, conectado al pin 4: salida CT2
int cabeceraB=22; // interruptor cabecera del feederB, conectado al pin 22
int P5=24; // salida relé 5, conectado al pin 25: entrada CT3
int P6=26; // salida relé 6, conectado al pin 26: salida CT3
int P7=28; // salida relé 7, conectado al pin 28: entrada CT4
int P8=30; // salida relé 8, conectado al pin 30: salida CT4
int confRed;
int confRed0;
int confRed1;
int confRed2;
int confRed3;
int confRed4;
int t_cierre;
int t_espera;
```

A continuación se asignan las entradas y salidas de los pines de Arduino:

```
void setup() {  
  
  //SALIDAS  
  pinMode(cabecera, OUTPUT);  
  pinMode(apoyo, OUTPUT);  
  pinMode(P4, OUTPUT);  
  pinMode(P3, OUTPUT);  
  pinMode(P2, OUTPUT);  
  pinMode(P1, OUTPUT);  
  pinMode(cabeceraB, OUTPUT);  
  pinMode(P5, OUTPUT);  
  pinMode(P6, OUTPUT);  
  pinMode(P7, OUTPUT);  
  pinMode(P8, OUTPUT);  
  //ENTRADAS (posiciones del selector)  
  pinMode(0, INPUT);  
  pinMode(1, INPUT);  
  pinMode(2, INPUT);  
  pinMode(3, INPUT);  
  pinMode(4, INPUT);  
  
}
```

Se leen los valores de los pines para verificar la configuración seleccionada:

```
void loop() {  
  t_cierre=1;  
  t_espera=1000;  
  confRed0=digitalRead(0);  
  confRed1=digitalRead(1);  
  confRed2=digitalRead(2);  
  confRed3=digitalRead(3);  
  confRed4=digitalRead(4);  
  
  if (confRed0==HIGH) {  
    confRed=0;  
  }else if (confRed1==HIGH) {  
    confRed=1;  
  }else if (confRed2==HIGH) {  
    confRed=2;  
  }else if (confRed3==HIGH) {  
    confRed=3;  
  }else if (confRed4==HIGH) {  
    confRed=4;  
  }  
}
```

Hay que dar un estado inicial a los interruptores. Se dejan todos los interruptores abiertos.

```
digitalWrite(cabecera, HIGH);  
digitalWrite(apoyo, HIGH);  
digitalWrite(P1, HIGH);  
digitalWrite(P2, HIGH);  
digitalWrite(P3, HIGH);  
digitalWrite(P4, HIGH);  
digitalWrite(cabeceraB, HIGH);  
digitalWrite(P5, HIGH);  
digitalWrite(P6, HIGH);  
digitalWrite(P7, HIGH);  
digitalWrite(P8, HIGH);
```

Por último, según la configuración de red insertada, se reconfiguran los interruptores.

Configuración 0:

Interruptor	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Estado	LOW	LOW	LOW	HIGH	LOW	LOW	LOW	HIGH
Interruptor	Cabecera		Apoyo	Cabecera B				
Estado	LOW		HIGH	LOW				

Tabla 6-6: Estado de interruptores según la configuración 0

Configuración 1:

Interruptor	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Estado	HIGH	LOW	LOW	LOW	LOW	LOW	LOW	LOW
Interruptor	Cabecera		Apoyo	Cabecera B				
Estado	LOW		LOW	LOW				

Tabla 6-7: Estado de interruptores según la configuración 1

Configuración 2:

Interruptor	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Estado	LOW	LOW	LOW	LOW	HIGH	LOW	LOW	LOW
Interruptor	Cabecera		Apoyo	Cabecera B				
Estado	LOW		LOW	HIGH				

Tabla 6-8: Estado de interruptores según la configuración 2

Configuración 3:

Interruptor	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Estado	LOW	HIGH	HIGH	LOW	LOW	LOW	LOW	LOW
Interruptor	Cabecera		Apoyo	Cabecera B				
Estado	LOW		LOW	LOW				

Tabla 6-9: Estado de interruptores según la configuración 3

Configuración 4:

Interruptor	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Estado	LOW	LOW	LOW	LOW	LOW	HIGH	HIGH	LOW
Interruptor	Cabecera		Apoyo	Cabecera B				
Estado	LOW		LOW	LOW				

Tabla 6-10: Estado de interruptores según la configuración 4

La programación en Arduino para cada una de estas configuraciones es la siguiente:

```
switch(confRed) {  
  
  case 0:  
  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P1,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P2,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P3,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P5,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P6,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P7,LOW);  
  
    delay(t_espera);  
    digitalWrite(cabecera,LOW);  
    digitalWrite(cabeceraB,LOW);  
    delay(3000);  
    break;  
  
  case 1:  
  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P2,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P3,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P4,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P5,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P6,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P7,LOW);  
    digitalWrite(P8,LOW);  
  
    delay(t_espera);  
    digitalWrite(apoyo,LOW);  
    digitalWrite(cabeceraB,LOW);  
    delay(3000);  
    break;
```

```
  case 2:  
  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P1,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P2,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P3,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P4,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P6,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P7,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P8,LOW);  
  
    delay(t_espera);  
    digitalWrite(apoyo,LOW);  
    delay(t_espera);  
    digitalWrite(cabecera,LOW);  
    delay(t_espera);  
    delay(3000);  
    break;  
  
  case 3:  
  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P1,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P4,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P5,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P6,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P7,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P8,LOW);  
  
    delay(t_espera);  
    digitalWrite(apoyo,LOW);  
    delay(t_espera);  
    digitalWrite(cabecera,LOW);
```

```
  case 4:  
  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P1,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P2,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P3,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P4,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P5,LOW);  
    delay(t_cierre);  
    digitalWrite(P8,LOW);  
  
    delay(t_espera);  
    digitalWrite(apoyo,LOW);  
    delay(t_espera);  
    digitalWrite(cabecera,LOW);  
    delay(t_espera);  
    digitalWrite(cabeceraB,LOW);  
    delay(3000);  
    break;  
}  
}
```

6.4 Ensayo 3: Dos feeders con selección automática de la reconfiguración

A diferencia de las configuraciones especificadas con el selector de red, con la medida de la corriente en las distintas zonas del circuito lo que se pretende no es dejar fuera de servicio una zona para mantenimiento o por motivo de una falta. Mediante este sistema se pretende, a partir de una determinada corriente en los distintos puntos, que se reconfigure la red; es decir, se abran y cierren distintos interruptores para redistribuir la carga con la finalidad de reducir pérdidas y de optimizar la red. Este ensayo se desarrolla en la fase de diseño.

6.4.1 Montaje

El montaje es el mismo que en el ensayo anterior, con dos feeders en paralelo pero ahora se introducen los elementos de medida y los relés de sobrecorriente en cinco puntos distintos del circuito.

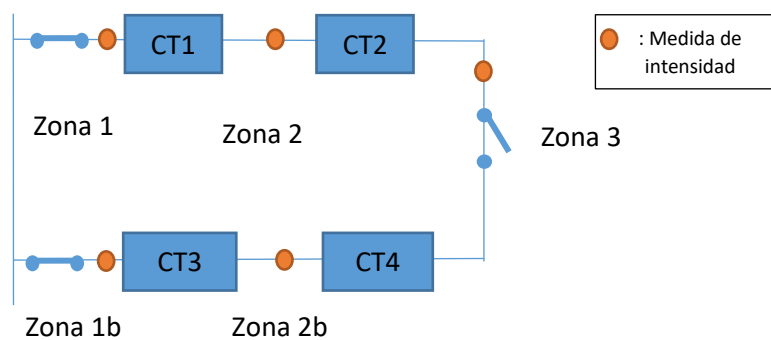


Ilustración 6-16: Circuito con las mediciones de corriente

6.4.2 Programación

En este caso las entradas al microprocesador son las medidas de corriente. Como se ha introducido en el capítulo Diseño de hardware, la salida del transductor de corriente hacia el *Arduino* es un valor de tensión que se corresponde con la corriente a través de la siguiente ecuación:

$$V_{out} = 2,5V \pm 0,625 * \frac{I_p}{I_{PN}}$$

$$V_{out} = 2,5V \pm 0,104 * I_p$$

Donde:

V_{out} es la tensión de salida hacia el *Arduino*.

I_p es la corriente medida.

La corriente para reconfigurar la red será la establecida por la empresa distribuidora para fijar un límite de sobrecarga como se describe en el capítulo de Diseño de software. Se pueden aplicar los algoritmos para reconfigurar según el balance de cargas o según la minimización de pérdidas. Una vez se aplica el límite de corriente deseado, los interruptores se reconfiguran.

7 Evaluación económica

En este capítulo se abordan dos análisis económicos. El primero hace referencia al impacto económico que se obtiene según el nivel de automatización de la red. Para ello se tienen en cuenta la sensibilidad de los parámetros en la automatización. El segundo es un balance económico que hace referencia al coste total de los materiales utilizados para el modelo de la simulación en el laboratorio.

7.1 Impacto económico de la automatización

Se destacan los beneficios y los costes económicos principales derivados de la automatización de las redes de distribución.

Los **beneficios** económicos asociados a la automatización de la red son:

- Evitar desplazamiento innecesario de las brigadas de mantenimiento al reconfigurar de forma automática los interruptores para mantener el servicio en las zonas no afectadas.
- Enviar a las cuadrillas directamente al lugar de la falta reduciendo el tiempo de mantenimiento y reparación y por lo tanto el gasto asociado.
- Reducir de tiempo de reposición de falta y con ello evitar multas y sanciones relacionadas con los índices de calidad fuera de límite.

Los **costes** económicos asociados a la automatización de la red son:

- Equipos de medición y control (sensores, detectores de falta, relés, etc).
- Equipos de comunicación entre el terreno y el centro de control.
- Diseño de la implementación y control del sistema aplicado a cada red de distribución específica.

Los beneficios obtenidos con la automatización de la red, están asociados principalmente a la mejora del TIEPI, es decir la reducción del tiempo de interrupción del suministro eléctrico. A continuación se analiza la variación del TIEPI en función del nivel de automatización y de esta forma se relaciona la mejora económica con la automatización.

Se tiene en cuenta una red de distribución urbana en anillo, con dos alimentadores de media tensión. La potencia instalada está distribuida de forma uniforme en cada alimentador y la tasa de fallo es la misma. Además la longitud de cada tramo es la misma, 5km entre cada zona, 25km en total.

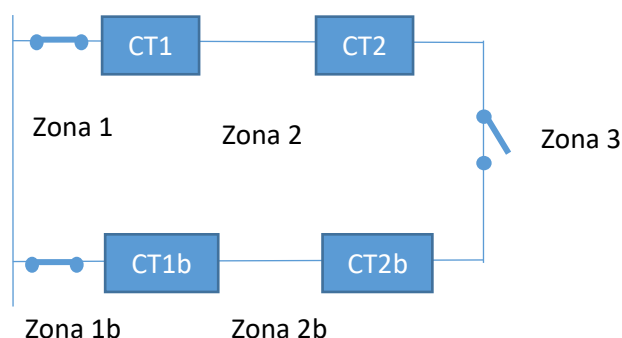


Ilustración 7-1: Red de distribución

Longitud total [km]	Potencia instalada [kVA]	Tiempo de reposición [minutos]	Tasa de fallo por año
25	4000	30	0.133

Ilustración 7-2: Valores técnicos de la red de distribución

Se calcula el TIEPI como:

$$TIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k (PI_i \times H_i)}{\sum PI}$$

El TIEPI hace referencia al tiempo sin suministro de energía, es decir, está directamente relacionado con el tiempo de reposición de servicio. El tiempo de reposición total incluye a su vez tres tiempos:

- Tiempo de desplazamiento: corresponde a lo que tarda la cuadrilla en llegar a la zona afectada. En este cálculo se establece una media de cinco minutos por kilómetro, puesto que la red de distribución se considera en zona urbana. Este tiempo incluye el desplazamiento de la cuadrilla a la zona de la avería para repararla y también el desplazamiento para reconfigurar manualmente los otros interruptores, en caso de no estar automatizados.
- Tiempo de detección: hace referencia al tiempo que se tarda en encontrar la localización exacta de la falta mediante el procedimiento de selectividad manual; abriendo y cerrado interruptores aguas abajo, y comprobando si disparan o no los interruptores aguas arriba. Si la zona de la falta está automatizada, la detención es inmediata y este tiempo es nulo.
- Tiempo de reparación: este tiempo no está afectado por el grado de automatización del sistema y por lo tanto es constante en la comparación. Se utiliza en este ejemplo 30 minutos de reparación.

Teniendo en cuenta las cinco zonas en las que está dividida la red de distribución, el grado de automatización en cada caso puede ser:

- 25%: control en la zona 1.
- 50%: control en la zona 1 y 2.
- 75%: control en la zona 1, 2, 1b.
- 100%: control en la zona 1, 2, 1b y 2b.

No se tiene en cuenta el control en la zona 3 en este análisis puesto que en condiciones normales de funcionamiento esta zona está fuera de servicio, y sólo conduce corriente cuando el interruptor de apoyo está cerrado debido a una reconfiguración de la red.

$$T_{total} = t_{desplazamiento} + t_{detección} + t_{reparación}$$

El tiempo total disminuye principalmente con el tiempo de detección de la falta y desplazamiento, que a su vez se reduce drásticamente con la automatización.

Suponiendo que la cuadrilla está localizada en el centro de control situado entre la zona 1 y la zona 2, se obtienen los siguientes tiempos según el nivel de automatización de la red.

Automatización 0%

Sin automatizar ningún punto de la red, frente a una falta, la cuadrilla sólo tiene la información del disparo del interruptor automático de cabecera. A continuación se tiene que desplazar hacia el alimentador cuya cabecera ha disparado para localizar el lugar de la falta y repararla.

Si hay un fallo en la zona 1 o en la zona 2, dispara el interruptor de cabecera del feeder 1. La cuadrilla se desplaza primero a la zona 2 que está aguas abajo, y de esta forma localiza la falta (5 minutos). A continuación, se desplaza para configurar manualmente los distintos interruptores que permitan dejar fuera de servicio la zona afectada y continuar alimentado a los otros usuarios. Si la falta ha sido en la zona 2, abre el interruptor P2 y P3 y cierra el interruptor P8, P4 y apoyo (25 minutos). Si la falta ha sido en la zona 1, primero se abre el P1 y se cierra el P4, apoyo y P8 (20 minutos). Por último se repara la falta (30 minutos).

De la misma forma, si se produce la falta en la zona 1b o 2b, dispara el interruptor de cabecera del feeder 2. En esta situación, la cuadrilla se desplaza primeramente a la zona 2b (15 minutos) y lleva a cabo el mismo procedimiento de selectividad para ver si la avería ha sido aguas arriba o aguas abajo. Si el fallo se ha producido en la zona 2b, se abre el interruptor P6 y P7, y se cierra P8, apoyo y P4 (20 minutos). Si la avería está en la zona 1b, se abre el interruptor 5 y se cierra el P8, P4 y apoyo (20 minutos). Por último se repara la avería (30 minutos).

Zona de fallo	T _{desplazamiento}	T _{detección}	T _{reparación}	T _{total}
Zona 1	25	10	30	65
Zona 2	30	5	30	65
Zona 1b	35	10	30	75
Zona 2b	15	15	30	60
				265

Tabla 7-1: Automatización 0%

Automatización 25%

Se controla sólo la zona 1. De esta forma, si se produce la falta en esta zona, se detecta y reconfigura de forma automática y el tiempo incluye únicamente el desplazamiento para la reparación y el mantenimiento en sí. Si se produce la falta en otra zona, el tiempo total incluye el desplazamiento, la detección y la reparación.

Zona de fallo	T _{desplazamiento}	T _{detección}	T _{reparación}	T _{total}
Zona 1	5	0	30	35
Zona 2	30	5	30	65
Zona 1b	35	10	30	75
Zona 2b	15	15	30	60
				235

Tabla 7-2: Automatización 25%

Automatización 50%

Con esta automatización se controlan tanto la zona 1 como la zona 2. De esta forma se reducen los dos tiempos de detección y desplazamiento en caso de falta en una de estas dos zonas.

Zona de fallo	T _{desplazamiento}	T _{detección}	T _{reparación}	T _{total}
Zona 1	5	0	30	35
Zona 2	5	0	30	35
Zona 1b	35	10	30	75
Zona 2b	15	15	30	60
				205

Tabla 7-3: Automatización 50%

Automatización 75%

A parte de la zona 1 y 2, se incluye también el control de la zona 1b. En este caso el tiempo de reposición del servicio es mínimo, excepto si se produce la falta en la zona 2b puesto que es la única que no está automatizada.

Zona de fallo	T _{desplazamiento}	T _{detección}	T _{reparación}	T _{total}
Zona 1	5	0	30	35
Zona 2	5	0	30	35
Zona 1b	15	0	30	45
Zona 2b	15	15	30	60
				175

Tabla 7-4: Automatización 75%

Automatización 100%

Con la automatización de todas las zonas se reduce al máximo el tiempo total. Al tener aparatos de medida de corriente en todas las zonas, se localiza automáticamente la falta. Además, al realizar la reconfiguración automática de los interruptores, se evita el desplazamiento de la cuadrilla para reponer el servicio y aislar la falta, y con ello se disminuye el tiempo asociado.

Zona de fallo	T _{desplazamiento}	T _{detección}	T _{reparación}	T _{total}
Zona 1	5	0	30	35
Zona 2	5	0	30	35
Zona 1b	15	0	30	45
Zona 2b	15	0	30	45
				160

Tabla 7-5: Automatización 100%

Se observa cómo disminuye el valor del tiempo total para la reposición de servicio conforme se aumenta el nivel de automatización de la red. En la gráfica siguiente se establece como base el tiempo de automatización 0%, que por tanto representa el valor 1 en unitarias. Se representa el tiempo de reposición con respecto al porcentaje de automatización de la red de distribución:

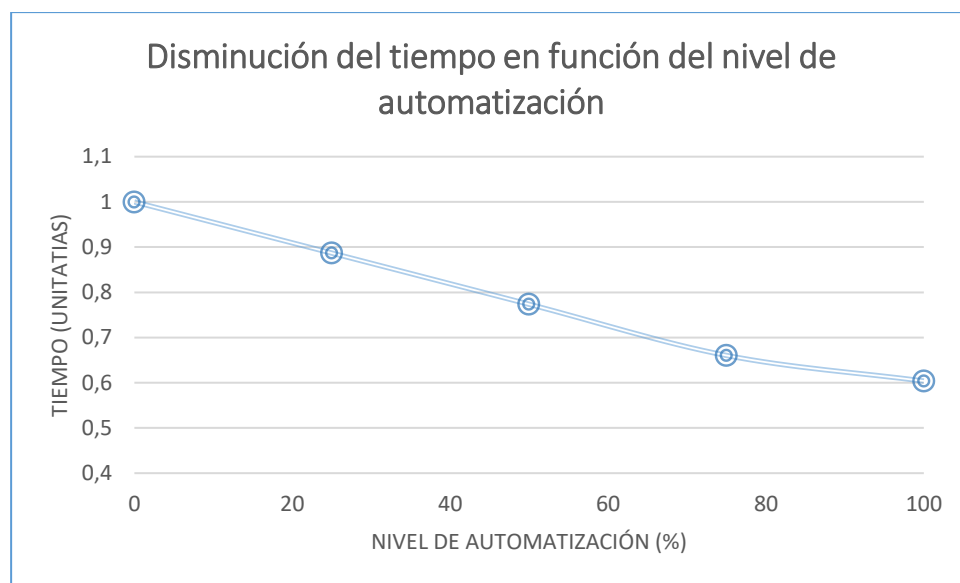


Ilustración 7-3: Gráfica del tiempo de reposición del servicio según la automatización

La disminución del tiempo de reposición implica de forma directa una disminución del tiempo de interrupción del servicio a los usuarios, el TIEPI, y por lo tanto introduce una mejora en la calidad del sistema y reduce los costes relacionados.

7.2 Coste de los materiales del modelo

Teniendo en cuenta los aparatos necesarios para montar el modelo a escala en el laboratorio, se analiza el impacto económico. Se indica el precio de los aparatos a utilizar a parte de los que ya hay en el laboratorio. Por lo tanto no se incluye en la siguiente tabla el coste de: las cajas de contactores, las bombillas y el potenciómetro puesto que ya están disponibles en el laboratorio.

Elemento	Unidades	Precio Unitario(€)	Precio Total (€)
Placa Arduino Uno	x1	20 [25]	20
Tarjeta de 8 relés	x2	6,79 [26]	13,58
Transductor de corriente	x5	11,95 [27]	59,75
Relé de sobrecorriente	x5	81,79 [28]	408,95
			502,28

Ilustración 7-4: Coste de los materiales

Estos costes hacen referencia a la automatización del nivel 100%, es decir, todas las zonas tienen control y mediciones que permiten reconfigurar los interruptores de forma remota e inmediata.

8 Conclusiones

Implementar elementos para la automatización de la reconfiguración en la red de distribución conlleva una mejora significativa del sistema.

Las finalidades que se persiguen con esta reconfiguración automática son:

- **Aumentar la fiabilidad:** mantener continuo el suministro de energía eléctrica para ofrecer una buena calidad del servicio y evitar las sanciones que imponen el marco legal. Mediante la reconfiguración automática, las faltas en la red de distribución se detectan y aíslan de forma inmediata minimizando los parámetros de calidad TIEPI y NIEPI. Además, el sistema localiza la falta para minimizar el tiempo de reposición del servicio en el lugar de la falta y el mantenimiento se realiza lo más rápido posible. Todo ello conlleva una reducción de costes para las empresas distribuidoras.
- **Optimizar la gestión de la red:** mejorar la eficiencia de las redes eléctricas reduciendo las pérdidas y reconduciendo la corriente para un balance correcto de las cargas. Mediante elementos de medida y control instalados en las líneas de media tensión se puede monitorizar los parámetros y establecer un suministro de corriente que suponga mínimas pérdidas. Además, las empresas distribuidoras pueden establecer un límite de corriente para evitar sobrecargas en la red y mantener el equilibrio.

9 Referencias

- [1] J. Fernández, 2011. *“El futuro de la distribución eléctrica”*.
- [2] A. Rodríguez Calvo, P. Frías Marín, J. Reneses Guillén, C. Mateo Domingo, L. del Río Etayo, S. Bañales. *“Mejora de la calidad del suministro eléctrico mediante centros de transformación inteligentes”*.
- [3] Página web: Red eléctrica de España: <http://www.ree.es/es/nuestra-gestion/la-empresa>
- [4] D. Campa Cervero, 2012. *“Valoración de la fiabilidad en una red eléctrica de distribución”*.
- [5] A. Gonzalez Arias, 2007. *“Mejoramiento de la confiabilidad en sistemas de distribución mediante reconfiguración de circuitos primarios”*.
- [6] J. López Milla, 2006. *“La calidad del suministro eléctrico y la regulación de los ingresos en las actividades de red”*.
- [7] T. Moya López, 2008. *“La calidad de suministro eléctrico en España, influencia en la actividad de distribución”*.
- [8] L. Gallegos Grajales, C. Picasso Blanquel y J. Gómez López, 2011. *“Tendencias en automatización de la distribución”*.
- [9] M. Clemence, R. Coccioni, A. Glatigny, 2013. *“How Utility Electrical Distribution Networks can Save Energy in the Smart Grid Era”*.
- [10] S. Ramirez Castaño, 2004 . *“Redes de Distribución de Energía”*.
- [11] J. Díaz Pampín, 2015. *“El sistema eléctrico y las centrales de generación”*.
- [12] R. Guirado Torres, R. Asensi Orosa, F. Jurado Melguizo y J. Carpio Ibáñez, . *“Tecnología eléctrica”*.
- [13] Página web: <http://de.slideshare.net/pjcastro/sep-5238524>
- [14] Página web:
https://www.ecured.cu/index.php/Caracter%C3%ADsticas_Generales_de_las_Red_de_Distribuci%C3%B3n
- [15] R. Segundo Collante, 2010. *“Análisis de mejora de la confiabilidad de los sistemas de distribución eléctrica de alta densidad de carga”*.
- [16] Página web:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/10963/fichero/Archivos%252F01+Red+de+Distribucion+de+Energia+Electrica.pdf>
- [17] C. Puret, 1992. *“MV public distribution networks throughout the world”*.
- [18] A. Solís Parra, . *“El Sistema eléctrico”*.
- [19] A. Espinosa Reza, S. González Castro y B. Sierra Rodriguez, 2016. *(Automatización de la distribución: presente y futuro”*.

- [20] R. X. Loor Toro, 2014. *“Reconfiguración de redes de distribución de energía eléctrica basada en optimización de mapeo media-varianza”*.
- [21] S. Ugarte Moreira, 2012. *“Estimación de pérdidas técnicas en baja tensión”*.
- [22] Página web: <https://www.helladigital.gr/electronics/relays/songle-relay-5v-t73-srd-5vdc-sl-c-5pin-10a-for-arduino/?sl=en>
- [23] Página web: <https://industrial.omron.es/es/products/k8ak-as>
- [24] Página web: <http://panamahitek.com/especificaciones-tecnicas-del-arduino/>
- [25] Página web: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [26] Página web: https://www.amazon.es/canales-acoplador-adecuado-Arduino-Frambuesa/dp/B01C2IN2U2/ref=pd_sim_147_3?ie=UTF8&psc=1&refRID=7QV52Y2QX96HN5YVRJNV
- [27] Página web:
http://www.ebay.de/itm/like/331893896624?lpid=106&chn=ps&ul_noapp=true
- [28] Página web: <http://www.ebay.es/itm/Omron-K8AK-AS2-Phase-monitoring-relay-voltage-/331939327405?hash=item4d49202dad:g:6DUAAOSwzJ5XdUIY>

10 Anexos

1. Programación Arduino: selección manual, un feeder.
2. Programación Arduino: selección con selector, un feeder.
3. Programación Arduino: selección con selector, dos feeders.
4. Datasheet Arduino Uno.
5. Datasheet Relé de sobrecorriente.
6. Data sheet Relé Souble.
7. Datasheet Transductor de corriente.

/*Entradas: 1 de cabecera.

Salidas: 8 de los relés de la placa: 1 cabecera, 2 interruptores bombillas, 4 interruptores entrada+salida, 1 apoyo*/

int cabecera=13; //Entrada interruptor cabecera conectado al pin 13

int apoyo=11; // Salida interruptor apoyo conectado al pin 11

int P1=7; // salida relé 1, conectado al pin 7: entrada CT1

int P2=6; // salida relé 2, conectado al pin 6: salida CT1

int P3=5; // salida relé 3, conectado al pin 5: entrada CT2

int P4=4; // salida relé 4, conectado al pin 4: salida CT2

int confRed;

int confRed0;

int confRed1;

int confRed2;

int t_cierre; // t actuación rele+ t contactor

void setup(){

//Serial.begin(9600);

pinMode(cabecera,OUTPUT);

pinMode(apoyo,OUTPUT);

pinMode(P4,OUTPUT);

pinMode(P3,OUTPUT);

pinMode(P2,OUTPUT);

pinMode(P1,OUTPUT);

pinMode(0,INPUT);

pinMode(1,INPUT);

pinMode(2,INPUT);

}

/*Configuración de la red:

confRed= 0 ☐ estado normal de funcionamiento: 100/0

confRed=1 ☐ estado inverso de funcionamiento: 0/100

confRed=2☐ estado de funcionamiento 50/50: distribución de la carga

```
*/
```

```
// El relay shield es HIGH normalmente abierto --> procedimiento inverso
```

```
void loop(){
```

```
    digitalWrite(cabecera,HIGH);
```

```
    digitalWrite(apoyo,HIGH);
```

```
    digitalWrite(P1,HIGH);
```

```
    digitalWrite(P2,HIGH);
```

```
    digitalWrite(P3,HIGH);
```

```
    digitalWrite(P4,HIGH);
```

```
    confRed=0;
```

```
    switch(confRed){
```

```
        case 0:
```

```
            delay(2000);
```

```
            digitalWrite(P1,LOW);
```

```
            delay(2000);
```

```
            digitalWrite(P2,LOW);
```

```
            delay(2000);
```

```
            digitalWrite(P3,LOW);
```

```
            delay(2000);
```

```
            digitalWrite(cabecera,LOW);
```

```
            delay(3000);
```

```
            break;
```

```
        case 1:
```

```
delay(2000);  
digitalWrite(P2,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(P3,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(P4,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(apoyo,LOW);  
delay(3000);  
break;
```

case 2:

```
delay(2000);  
digitalWrite(P1,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(P4,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(apoyo,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(cabecera,LOW);  
delay(3000);  
break;  
}  
}
```

/*Entradas: 1 de cabecera.

Salidas: 8 de los relés de la placa: 1 cabecera, 2 interruptores bombillas, 4 interruptores entrada+salida, 1 apoyo*/

int cabecera=13; //Entrada interruptor cabecera conectado al pin 13

int apoyo=11; // Salida interruptor apoyo conectado al pin 11

int P1=7; // salida relé 1, conectado al pin 7: entrada CT1

int P2=6; // salida relé 2, conectado al pin 6: salida CT1

int P3=5; // salida relé 3, conectado al pin 5: entrada CT2

int P4=4; // salida relé 4, conectado al pin 4: salida CT2

int confRed;

int confRed0;

int confRed1;

int confRed2;

int t_cierre; // t actuación rele+ t contactor

void setup(){

Serial.begin(9600);

pinMode(cabecera,OUTPUT);

pinMode(apoyo,OUTPUT);

pinMode(P4,OUTPUT);

pinMode(P3,OUTPUT);

pinMode(P2,OUTPUT);

pinMode(P1,OUTPUT);

pinMode(0,INPUT);

pinMode(1,INPUT);

pinMode(2,INPUT);

}

/*Configuración de la red:

confRed= 0 ☐ estado normal de funcionamiento: 100/0

confRed=1 ☐ estado inverso de funcionamiento: 0/100

confRed=2☐ estado de funcionamiento 50/50: distribución de la carga

```
*/
```

```
// El relay shield es HIGH normalmente abierto --> procedimiento inverso
```

```
void loop(){  
  confRed0=digitalRead(0);  
  confRed1=digitalRead(1);  
  confRed2=digitalRead(2);
```

```
  if(confRed0==LOW){  
    confRed=0;
```

```
  }else if(confRed1==HIGH){  
    confRed=1;
```

```
  }else if(confRed2==HIGH){  
    confRed=2;
```

```
  }
```

```
  Serial.print(confRed);
```

```
  digitalWrite(cabecera,HIGH);
```

```
  digitalWrite(apoyo,HIGH);
```

```
  digitalWrite(P1,HIGH);
```

```
  digitalWrite(P2,HIGH);
```

```
  digitalWrite(P3,HIGH);
```

```
  digitalWrite(P4,HIGH);
```

```
  switch(confRed){
```

```
  case 0:
```

```
delay(2000);  
digitalWrite(P1,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(P2,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(P3,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(cabecera,LOW);  
delay(3000);  
break;
```

case 1:

```
delay(2000);  
digitalWrite(P2,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(P3,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(P4,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(apoyo,LOW);  
delay(3000);  
break;
```

case 2:

```
delay(2000);  
digitalWrite(P1,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(P4,LOW);
```

```
delay(2000);  
digitalWrite(apoyo,LOW);  
delay(2000);  
digitalWrite(cabecera,LOW);  
delay(3000);  
break;  
}  
}
```

```
/*
```

```
Entradas: 1 de SELECTOR de 3 posiciones .
```

```
Salidas: 16 de los relés de la placa: 2 cabecera, 4 interruptores bombillas,
```

```
8 interruptores entrada+salida, 2 apoyo
```

```
*/
```

```
int cabecera=13; // interruptor cabecera conectado al pin 13
```

```
int apoyo=11; // Salida interruptor apoyo conectado al pin 11
```

```
int P1=7; // salida relé 1, conectado al pin 7: entrada CT1
```

```
int P2=6; // salida relé 2, conectado al pin 6: salida CT1
```

```
int P3=5; // salida relé 3, conectado al pin 5: entrada CT2
```

```
int P4=4; // salida relé 4, conectado al pin 4: salida CT2
```

```
int cabeceraB=22; // interruptor cabecera del feederB, conectado al pin 22
```

```
int P5=24; // salida relé 5, conectado al pin 25: entrada CT3
```

```
int P6=26; // salida relé 6, conectado al pin 26: salida CT3
```

```
int P7=28; // salida relé 7, conectado al pin 28: entrada CT4
```

```
int P8=30; // salida relé 8, conectado al pin 30: salida CT4
```

```
int confRed;
```

```
int confRed0;
```

```
int confRed1;
```

```
int confRed2;
```

```
int confRed3;
```

```
int confRed4;
```

```
int t_cierre;
```

```
int t_espera;
```

```
void setup(){
```

```
//SALIDAS
```

```
pinMode(cabecera,OUTPUT);
```

```
pinMode(apoyo,OUTPUT);
```

```

pinMode(P4,OUTPUT);
pinMode(P3,OUTPUT);
pinMode(P2,OUTPUT);
pinMode(P1,OUTPUT);
pinMode(cabeceraB,OUTPUT);
pinMode(P5,OUTPUT);
pinMode(P6,OUTPUT);
pinMode(P7,OUTPUT);
pinMode(P8,OUTPUT);

//ENTRADAS (posiciones del selector)
pinMode(0,INPUT);
pinMode(1,INPUT);
pinMode(2,INPUT);
pinMode(3,INPUT);
pinMode(4,INPUT);

}

/*
Configuración de la red:
confRed= 0  se aisla zona 3
confRed=1  se aisla zona 1
confRed=2  se aisla zona 1b
confRed=3--> se aisla zona 2
confRed=4 --> se aisla zona 2_b
*/

void loop(){
t_cierre=1;
t_espera=1000;
confRed0=digitalRead(0);
confRed1=digitalRead(1);

```

```
confRed2=digitalRead(2);  
confRed3=digitalRead(3);  
confRed4=digitalRead(4);
```

```
if(confRed0==HIGH){  
    confRed=0;  
}else if(confRed1==HIGH){  
    confRed=1;  
}else if(confRed2==HIGH){  
    confRed=2;  
}else if(confRed3==HIGH){  
    confRed=3;  
}else if(confRed4==HIGH){  
    confRed=4;  
}
```

```
//Serial.print(confRed);
```

```
digitalWrite(cabecera,HIGH);  
digitalWrite(apoyo,HIGH);  
digitalWrite(P1,HIGH);  
digitalWrite(P2,HIGH);  
digitalWrite(P3,HIGH);  
digitalWrite(P4,HIGH);  
digitalWrite(cabeceraB,HIGH);  
digitalWrite(P5,HIGH);  
digitalWrite(P6,HIGH);  
digitalWrite(P7,HIGH);  
digitalWrite(P8,HIGH);
```

```
switch(confRed){

case 0:

delay(t_cierre);
digitalWrite(P1,LOW);
delay(t_cierre);
digitalWrite(P2,LOW);
delay(t_cierre);
digitalWrite(P3,LOW);
delay(t_cierre);
digitalWrite(P5,LOW);
delay(t_cierre);
digitalWrite(P6,LOW);
delay(t_cierre);
digitalWrite(P7,LOW);

delay(t_espera);
digitalWrite(cabecera,LOW);
digitalWrite(cabeceraB,LOW);
delay(3000);
break;

case 1:

delay(t_cierre);
digitalWrite(P2,LOW);
delay(t_cierre);
digitalWrite(P3,LOW);
delay(t_cierre);
digitalWrite(P4,LOW);
```

```
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P5,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P6,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P7,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P8,LOW);
```

```
delay(t_espera);  
digitalWrite(apoyo,LOW);  
digitalWrite(cabeceraB,LOW);  
delay(3000);  
break;
```

case 2:

```
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P1,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P2,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P3,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P4,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P6,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P7,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P8,LOW);
```

```
delay(t_espera);  
digitalWrite(apoyo,LOW);  
delay(t_espera);  
digitalWrite(cabecera,LOW);  
delay(t_espera);  
delay(3000);  
break;
```

case 3:

```
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P1,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P4,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P5,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P6,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P7,LOW);  
delay(t_cierre);  
digitalWrite(P8,LOW);
```

```
delay(t_espera);  
digitalWrite(apoyo,LOW);  
delay(t_espera);  
digitalWrite(cabecera,LOW);  
delay(t_espera);  
digitalWrite(cabeceraB,LOW);
```

```
delay(3000);
```

```
break;
```

```
case 4:
```

```
delay(t_cierre);
```

```
digitalWrite(P1,LOW);
```

```
delay(t_cierre);
```

```
digitalWrite(P2,LOW);
```

```
delay(t_cierre);
```

```
digitalWrite(P3,LOW);
```

```
delay(t_cierre);
```

```
digitalWrite(P4,LOW);
```

```
delay(t_cierre);
```

```
digitalWrite(P5,LOW);
```

```
delay(t_cierre);
```

```
digitalWrite(P8,LOW);
```

```
delay(t_espera);
```

```
digitalWrite(apoyo,LOW);
```

```
delay(t_espera);
```

```
digitalWrite(cabecera,LOW);
```

```
delay(t_espera);
```

```
digitalWrite(cabeceraB,LOW);
```

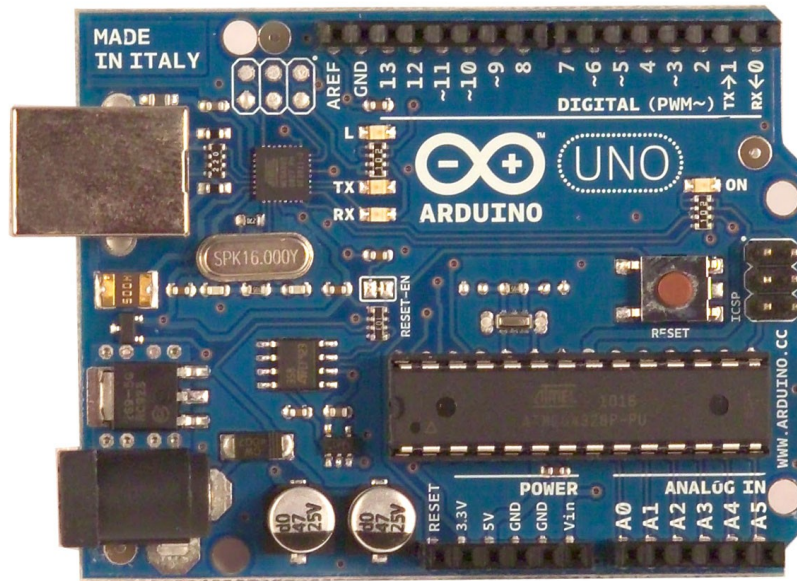
```
delay(3000);
```

```
break;
```

```
}
```

```
}
```

Arduino UNO



Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Index

Technical
Specifications

Page 2

How to use Arduino
Programming Enviroment, Basic Tutorials

Page 6

Terms &
Conditions

Page 7

Enviromental Policies
half sqm of green via Impatto Zero®

Page 7



radiospares

RADIONICS



Technical Specification

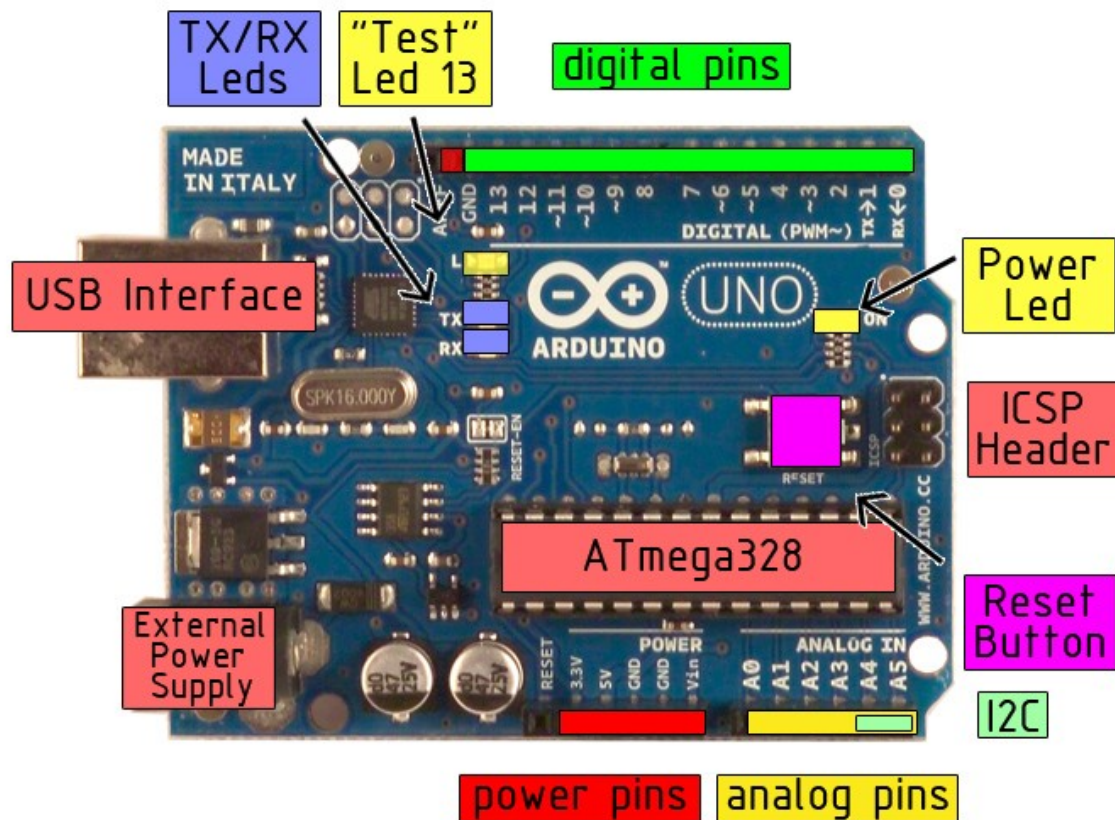


EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



radiospares

RADIONICS



Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0,5 KB is used for the bootloader); It has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.



radiospares

RADIONICS



The Uno has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and Atmega328 ports](#).

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, an *.inf file is required..

The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader).



Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

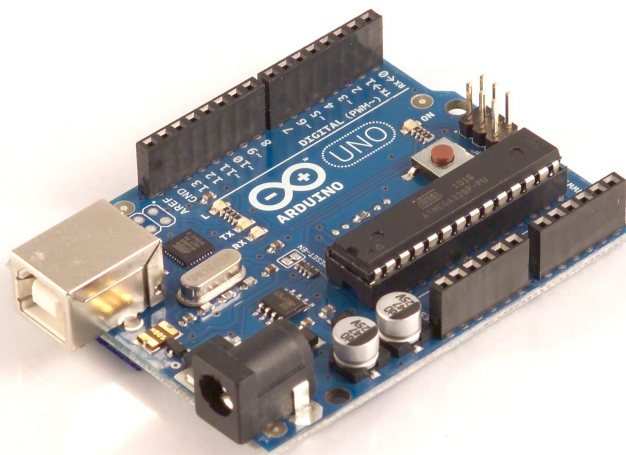
The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.



radiospares

RADIONICS



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platoform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your skecth you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.



Done compiling.

Press Compile button
(to check for errors)



Upload



TX RX Flashing



Blinking Led!

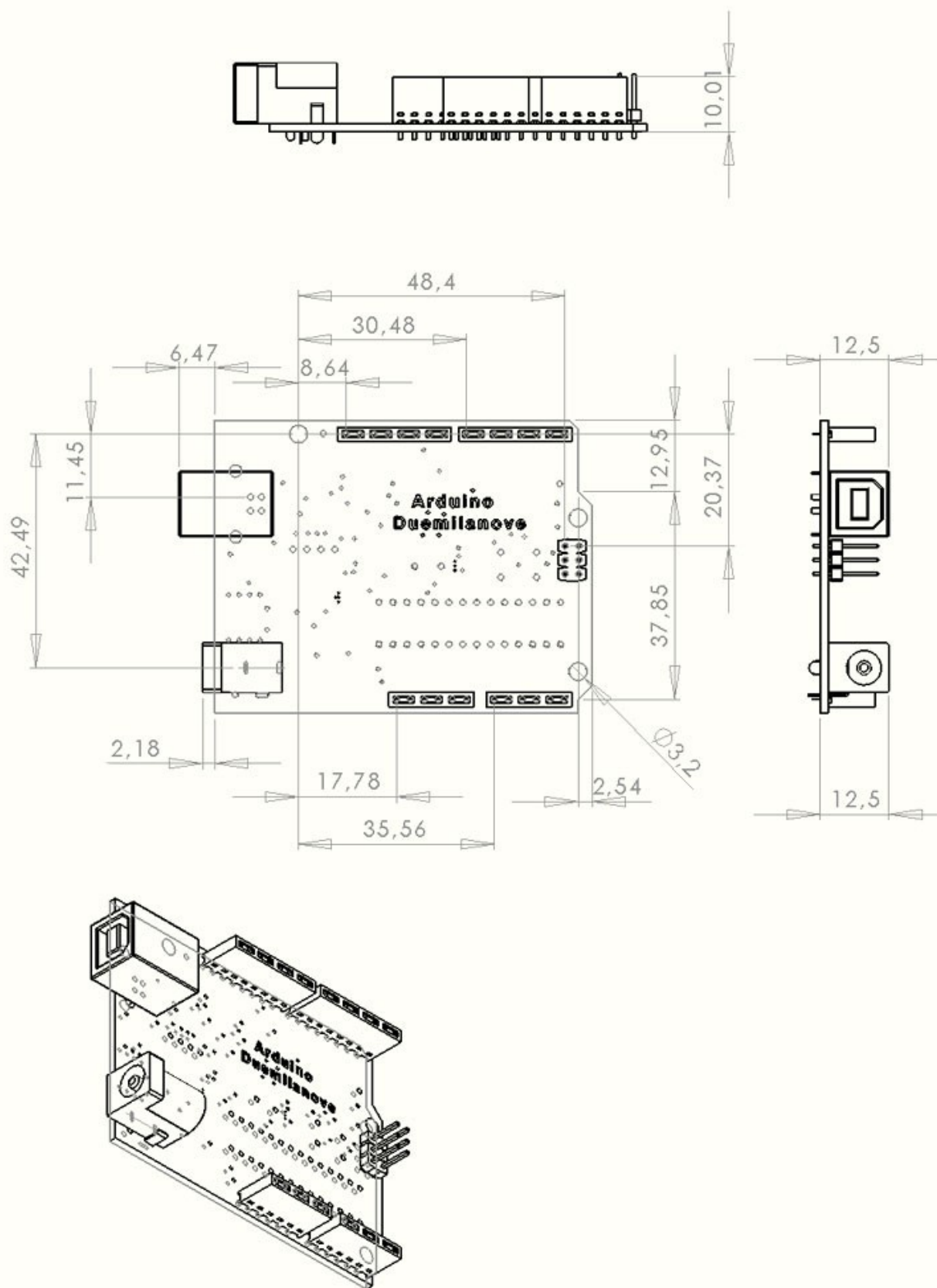


radiospares

RADIONICS



Dimensioned Drawing



Terms & Conditions



1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



Environmental Policies



The producer of Arduino™ has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.



radiospares

RADIONICS



Single-phase Current Relay

K8AK-AS

Ideal for Current Monitoring for Industrial Facilities and Equipment.

- Monitor for overcurrents or undercurrents.
- Use commercially available CTs (CT current on secondary side: 0 to 1 A or 0 to 5 A).
- Manual resetting and automatically resetting supported by one Relay.
- Startup lock and operating time can be set separately.
- One SPDT output relay, 5 A at 250 VAC (resistive load).
- Output relay can be switched between normally open and normally closed.
- Output status can be monitored using LED indicator.
- Inputs are isolated from the power supply.



Refer to *Safety Precautions* on page 9.
Refer to page 8 for commonly asked questions.



For the most recent information on models that have been certified for safety standards, refer to your OMRON website.

Ordering Information

List of Models

Setting range	Power supply voltage	Model
2 to 20 mA AC/DC, 10 to 100 mA AC/DC, 50 to 500 mA AC/DC	24 VAC/DC	K8AK-AS1 24 VAC/DC
	100 to 240 VAC	K8AK-AS1 100-240 VAC
0.1 to 1 A AC/DC, 0.5 to 5 A AC/DC, 0.8 to 8 A AC/DC	24 VAC/DC	K8AK-AS2 24 VAC/DC
	100 to 240 VAC	K8AK-AS2 100-240 VAC
10 to 100 A AC*, 20 to 200 A AC*	24 VAC/DC	K8AK-AS3 24 VAC/DC
	100 to 240 VAC	K8AK-AS3 100-240 VAC

*1 The K8AK-AS3 is designed to be used in combination with an OMRON K8AC-CT200L Current Transformer (CT). (Direct input is not possible.)

Accessory (Order Separately)

●OMRON CT

Appearance	Input range	Applicable Relay	Model
	10 to 100 A AC, 20 to 200 A AC	K8AK-AS3	K8AC-CT200L

●Commercially Available CTs*

Appearance	CT current on secondary side	Applicable Relay
	0 to 1 A AC, 0 to 5 A AC	K8AK-AS2

* If you use a commercially available CT, do not exceed the overload capacity of the K8AK-AS2.

K8AK-AS

Ratings and Specifications

Input Range

Model	Range ^{*1}	Connection terminal	Setting range	Input impedance	Input type	Overload capacity
K8AK-AS1	0 to 20 mA AC/DC	I1-COM	2 to 20 mA AC/DC, 10 to 100 mA AC/DC, 50 to 500 mA AC/DC	Approx. 5 Ω	Direct input	Continuous input at 120% of maximum input 1 s at 150%
	0 to 100 mA AC/DC	I2-COM		Approx. 1 Ω	Direct input	
	0 to 500 mA AC/DC	I3-COM		Approx. 0.2 Ω	Direct input	
K8AK-AS2	0 to 1 A AC/DC	I1-COM	0.1 to 1 A AC/DC, 0.5 to 5 A AC/DC, 0.8 to 8 A AC/DC	Approx. 0.12 Ω	Direct input or commercially available CT	
	0 to 5 A AC/DC	I2-COM		Approx. 0.02 Ω		
	0 to 8 A AC/DC	I3-COM		Approx. 0.02 Ω		
K8AK-AS3	0 to 100 A AC	I2-COM	10 to 100 A AC ^{*2} , 20 to 200 A AC ^{*2}	---	OMRON CT	Continuous input at 120% with an OMRON CT (K8AC-CT200L). 30 s at 200% 1 s at 600% * CT capacity on primary side.
	0 to 200 A AC	I3-COM		---	OMRON CT	

*1 The range is selected using connected terminals.

*2 The K8AK-AS3 is designed to be used in combination with an OMRON K8AC-CT200L Current Transformer (CT). (Direct input is not possible.)

Ratings

Power supply voltage	Isolated power supply	24 VAC/DC 100 to 240 VAC
Power consumption		24 VAC/DC: 2.0 VA/1.1 W max. 100 to 240 VAC: 4.6 VA max.
Operating value setting range (SV)		10% to 100% of the maximum value of the setting range K8AK-AS1: 2 to 20 mA AC/DC 10 to 100 mA AC/DC 50 to 500 mA AC/DC K8AK-AS2: 0.1 to 1 A AC/DC (Compatible with commercially available CTs.) 0.5 to 5 A AC/DC (Compatible with commercially available CTs.) 0.8 to 8 A AC/DC K8AK-AS3: When used with the OMRON CT (K8AC-CT200L). 10 to 100 A AC 20 to 200 A AC
Operating value		100% operation at set value
Reset value setting range (HYS.)		5% to 50% of operating value
Reset method		Manual reset/automatic reset (switchable) Note: Manual reset: Turn OFF power supply for 1 s or longer.
Operating time setting range (T)		0.1 to 30 s
Startup lock time setting range (LOCK) Note: Enabled only for overcurrent operation.		0 to 30 s (The startup lock timer starts when the input has reached approximately 30% or more of the set value.) Note: Enabled only for overcurrent operation.
Indicators		Power (PWR): Green, Relay output (RY): Yellow, Alarm outputs (ALM): Red
Input impedance		Refer to <i>Input Range</i> on this page.
Output relays		One SPDT relay (NO/NC switched using DIP switch.)
Output relay ratings		Rated load Resistive load 5 A at 250 VAC 5 A at 30 VDC Maximum switching capacity: 1,250 VA, 150 W Minimum load: 5 VDC, 10 mA (reference values) Mechanical life: 10 million operations min. Electrical life: 5 A at 250 VAC or 30 VDC: 50,000 operations 3 A at 250 VAC/30 VDC: 100,000 operations
Ambient operating temperature		-20 to 60°C (with no condensation or icing)
Storage temperature		-25 to 65°C (with no condensation or icing)
Ambient operating humidity		25% to 85% (with no condensation)
Storage humidity		25% to 85% (with no condensation)
Altitude		2,000 m max.
Terminal screw tightening torque		0.49 to 0.59 N·m
Terminal wiring method		Recommended wire Solid wire: 2.5 mm ² Twisted wires: AWG16, AWG18 Note: 1. Ferrules with insulating sleeves must be used with twisted wires. 2. Two wires can be twisted together. Recommended ferrules Al 1,5-8BK (for AWG16) manufactured by Phoenix Contact Al 1-8RD (for AWG18) manufactured by Phoenix Contact Al 0,75-8GY (for AWG18) manufactured by Phoenix Contact
Case color		N1.5

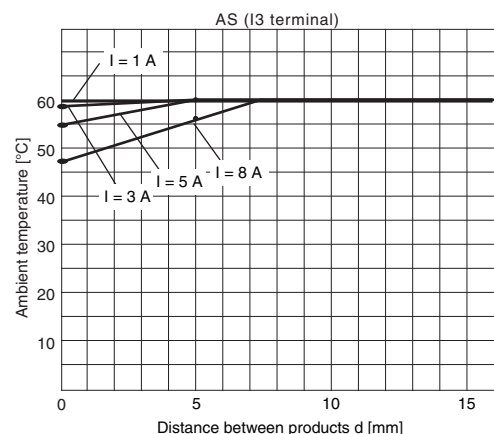
Case material	PC and ABS, UL 94 V-0
Weight	Approx. 150 g
Mounting	Mounts to DIN Track
Dimensions	22.5 × 90 × 100 mm (W×H×D)

Specifications

Allowable operating voltage range		85% to 110% of power supply voltage
Allowable operating frequency range		50/60 Hz ±5 Hz
Input frequency range		K8AK-AS1 and K8AK-AS2: DC input or AC input (45 to 65 Hz) K8AK-AS3: AC input (45 to 65 Hz)
Overload capacity		K8AK-AS1 and K8AK-AS2: Continuous input at 120% of maximum input, 1 s at 150% K8AK-AS3: Continuous input at 120%, 30 s at 200%, and 1 s at 600% with an OMRON CT (K8AC-CT200L) Note: Overload capacity of primary side of CT.
Repeat error	Operating value	±0.5% full scale (at 25°C and 65% humidity, rated power supply voltage, DC or 50/60 Hz sine wave input)
	Operating time	±50 ms (at 25°C and 65% humidity, rated power supply voltage)
Applicable standards	Conforming standards	EN 60947-5-1 Installation environment (pollution level 2, installation category III)
	EMC	EN 60947-5-1
	Safety standards	UL 508 (Recognition), Korean Radio Waves Act (Act 10564), CSA: C22.2 No.14, CCC: GB14048.5
Insulation resistance		20 MΩ min. Between external terminals and case Between power supply terminals and input terminals Between power supply terminals and output terminals Between input terminals and output terminals
Dielectric strength		2,000 VAC for one minute Between external terminals and case Between power supply terminals and input terminals Between power supply terminals and output terminals Between input terminals and output terminals
Noise immunity		1,500 V power supply terminal common/normal mode Square-wave noise of ±1 μs/100 ns pulse width with 1-ns rise time
Vibration resistance		Frequency 10 to 55 Hz, 0.35-mm single amplitude, acceleration 50 m/s ² 10 sweeps of 5 min each in X, Y, and Z directions
Shock resistance		100 m/s ² , 3 times each in 6 directions along 3 axes
Degree of protection		Terminals: IP20

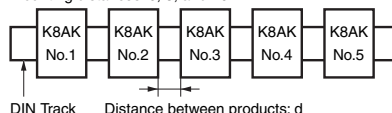
●Relationship of Mounting Distance between K8AK-AS Relays and Input Current (Reference Values)

The following diagram shows the relationship between the mounting distances and the input current. If the relay is used with an input current that exceeds these values, the temperature of the K8AK may rise and shorten the life of the internal components.

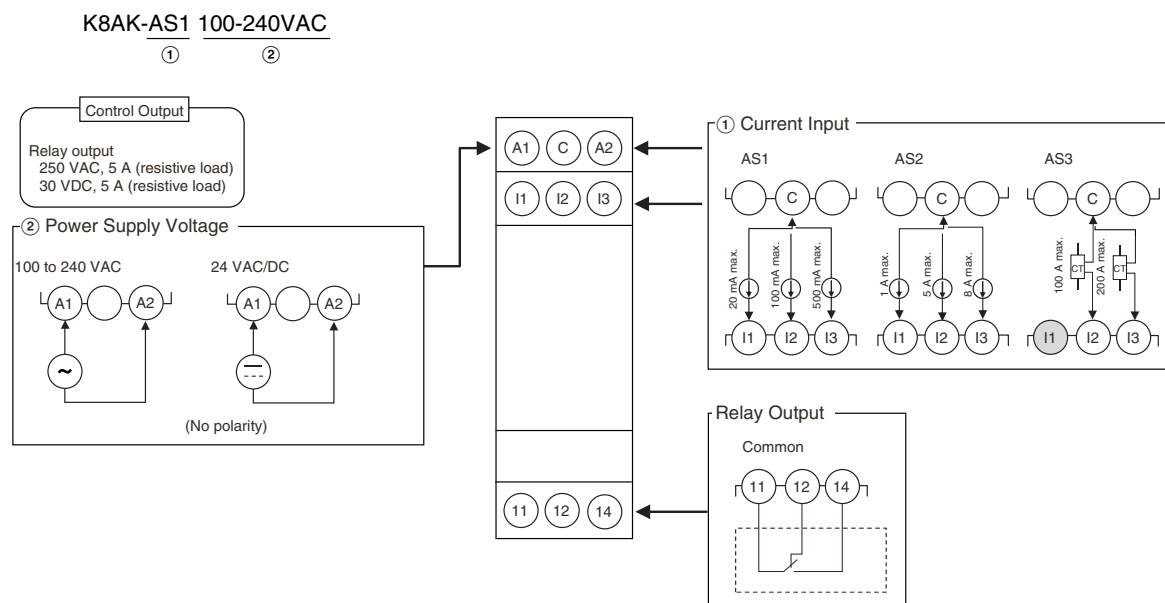


Test method

Sample: K8AK-AS
Applied voltage: 240 VAC
Mounting distances: 0, 5, and 10 mm min.



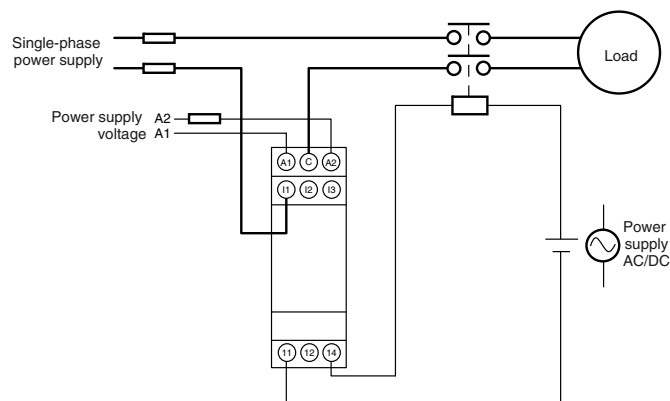
Terminal Diagram



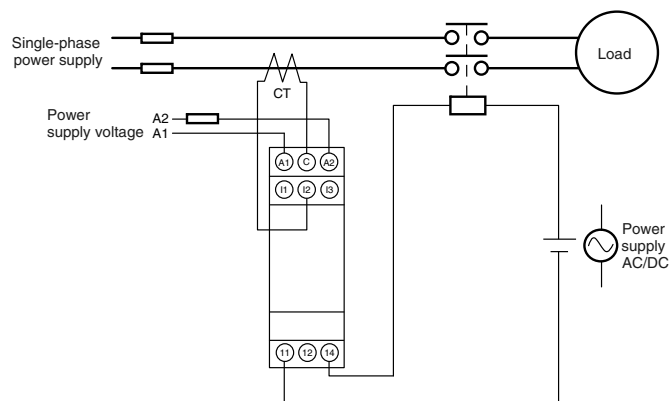
- Note:**
1. Do not connect anything to terminals that are shaded in gray.
 2. There is no polarity for the DC power supply input.
 3. For the current input, you can input only from the C terminal and one other terminal.
 4. Refer to *Setting Ranges and Wiring Connections* on the I1, I2, and I3 current input terminals.
 5. Use the recommended ferrules if you use twisted wires.
 6. The K8AK-AS3 is designed to be used in combination with the OMRON K8AC-CT200L Current Transformer (CT).

Wiring Example

Directly Inputting a Current



Using a CT

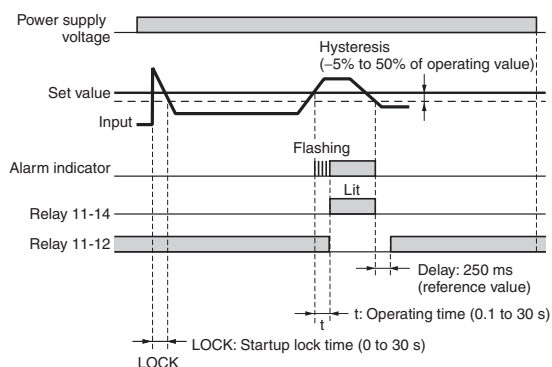


Timing Charts

●Overcurrent Operation Diagram

(Output Relay Drive Method: Normally Open)

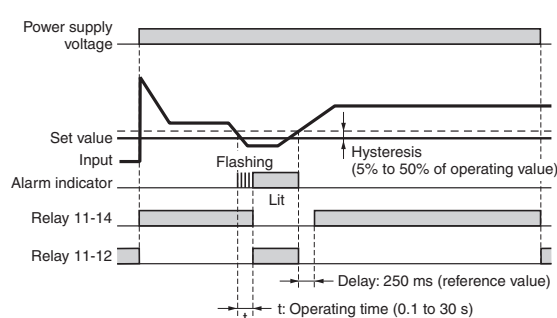
DIP switch setting: SW3 OFF, SW4 OFF



●Undercurrent Operation Diagram

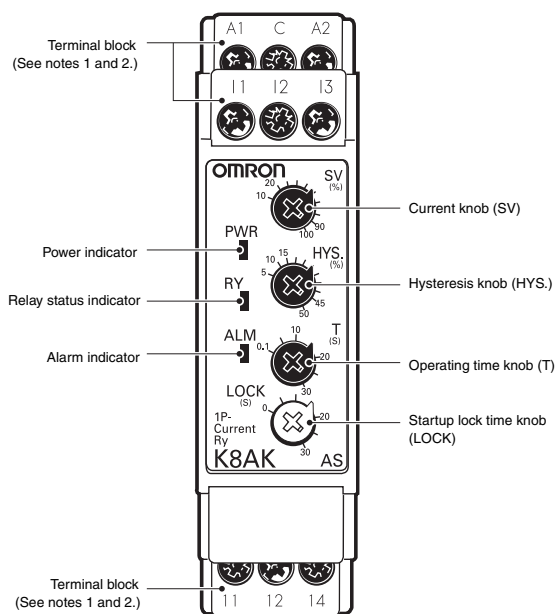
(Output Relay Drive Method: Normally Closed)

DIP switch setting: SW3 ON, SW4 ON



Nomenclature

Front



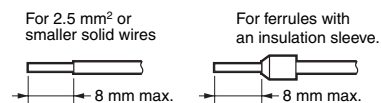
●Indicators

Item	Meaning
Power indicator (PWR: Green)	Lit when power is being supplied.
Relay status indicator (RY: Yellow)	Lit when relay is operating.
Alarm indicator (ALM: Red)	Lit when there is an overcurrent or undercurrent. The indicator flashes to indicate the error status after the input has exceeded the set value while the operating time is being clocked.

●Setting Knobs

Item	Usage
Current knob (SV)	Used to set the current to 10% to 100% of maximum setting range.
Hysteresis knob (HYS.)	Used to set the rest value to 5% to 50% of the operating value.
Operating time knob (T)	Used to set the operating time to 0.1 to 30 s.
Startup lock time knob (LOCK)	Used to set the startup lock time to 0 to 30 s.

Note: 1. Use either a solid wire of 2.5 mm² maximum or a ferrule with insulating sleeve for the terminal connection. The length of the exposed current-carrying part inserted into the terminal must be 8 mm or less to maintain dielectric strength after connection.



Recommended ferrules
Phoenix Contact

- Al 1,5-8BK (for AWG16)
- Al 1-8RD (for AWG18)
- Al 0,75-8GY (for AWG18)

2. Tightening torque: 0.49 to 0.59 N·m

K8AK-AS

Operation Methods

Setting Ranges and Wiring Connections

Model	Setting range	Input type	Wiring connections
K8AK-AS1	2 to 20 mA AC/DC	Direct input	I1-COM
	10 to 100 mA AC/DC	Direct input	I2-COM
	50 to 500 mA AC/DC	Direct input	I3-COM
K8AK-AS2	0.1 to 1 A AC/DC	Direct input or commercially available CT	I1-COM
	0.5 to 5 A AC/DC		I2-COM
	0.8 to 8 A AC/DC		I3-COM
K8AK-AS3	10 to 100 A AC*	OMRON CT	I2-COM
	20 to 200 A AC*	OMRON CT	I3-COM

Note: The DC input terminals have no polarity.
* The K8AK-AS3 is designed to be used in combination with the OMRON K8AC-CT200L Current Transformer (CT). (Direct input is not possible.)

Connections

●Input

Connect the input between the I1-COM, I2-COM, or I3-COM terminals, according to the input current. Malfunctions may occur if the input is connected to unused terminals and the Unit will not operate correctly.

Terminal I1 is not used by the K8AK-AS3.

If using the OMRON K8AC-CT200L CT, connect to terminals k and l on the K8AC-CT200L. (Terminals kt and lt are not used.)

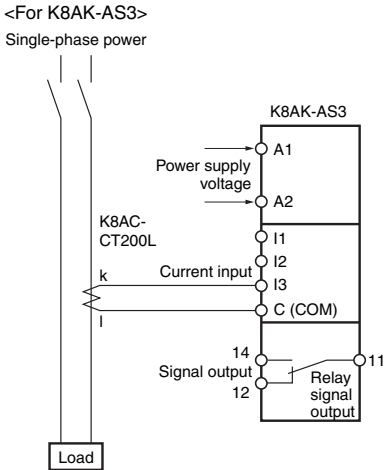
●Power Supply

Connect the power supply to terminals A1 and A2.

●Outputs

Terminals 11, 12, and 14 are the output terminals (SPDT) for overvoltage.

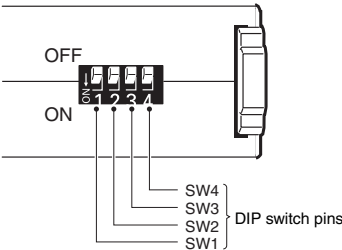
Note: Use the recommended ferrules if using twisted wires.



DIP Switch Settings

The resetting method, relay drive method, and operating mode are set using the DIP switch located on the bottom of the Unit.

K8AK-AS□ does not use SW1.



●DIP Switch Functions

Pin	OFF ● ↑ ON ○ ↓	1	2	3	4
Resetting method	Manual reset	OFF	●	---	---
	Automatic reset	ON	○	---	---
Relay drive method	Normally open	Not used.	---	●	---
	Normally closed		---	○	---
Operating mode	Overcurrent		---	---	●
	Undercurrent		---	---	○

Note: All pins are set to OFF by default.

Setting Method

●Setting Current

The current knob (SV) is used to set the current.

The current can be set to 10% to 100% of the maximum setting range.

Turn the knob while there is an input to the input terminals until the alarm indicator flashes (when the set value and the input have reached the same level.)

Use this as a guide to set the current.

The maximum setting range will differ depending on the model and the input terminal.

Example: K8AK-AS3 Using Input Terminals I3-COM

The maximum setting range will be 200 A AC and the setting range will be 20 to 200 A.

●Hysteresis

Hysteresis is set using the hysteresis knob (HYS.)

The setting range is 5 to 50% of the operating value.

Turn the knob while there is an input to the input terminals until the alarm indicator flashes (when the set value and the input have reached the same level.)

Use this as a guide to set the hysteresis.

Example: Maximum of 200 A AC, Current Set Value (SV) of 50%, and Overcurrent Operation Operation will be at 100 A and resetting at 90 A when the hysteresis (HYS.) is set to 10%.

●Operating Time

The operating time is set using the operating time knob (T).

The operating time can be set to between 0.1 and 30 s.

Turn the knob while there is an input to the input terminals until the alarm indicator flashes (when the set value and the input have reached the same level.)

Use this as a guide to set the operating time.

If the input current exceeds (drops lower than) the set value, the alarm indicator will start flashing for the set period and then stay lit.

●Startup Lock Time

The startup lock time is set using the startup lock time knob (LOCK).

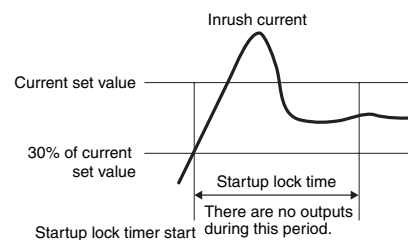
The startup lock time can be set to between 0 and 30 s.

Turn the knob while there is an input to the input terminals until the alarm indicator flashes (when the set value and the input have reached the same level.)

Use this as a guide to set the startup lock time.

The startup lock time will start when the input current reaches 30% or more of the set value.

Use startup lock time to prevent unwanted operation, e.g., as a result of inrush current.



Dimensions

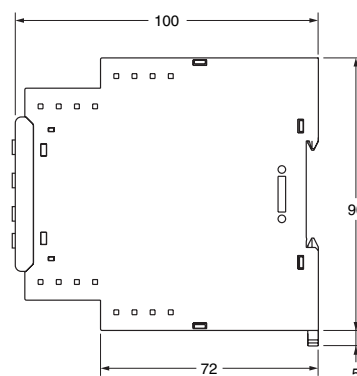
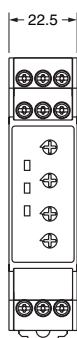
(Unit: mm)

Single-phase Current Relays

K8AK-AS1

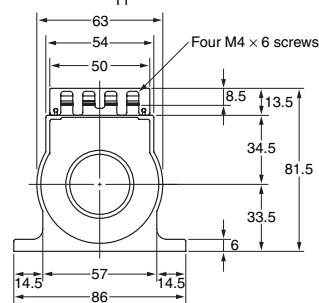
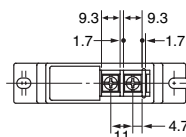
K8AK-AS2

K8AK-AS3

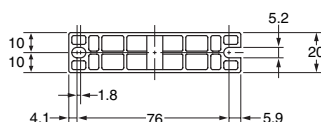
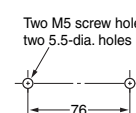


OMRON CT

K8AC-CT200L



Mounting Hole Dimensions



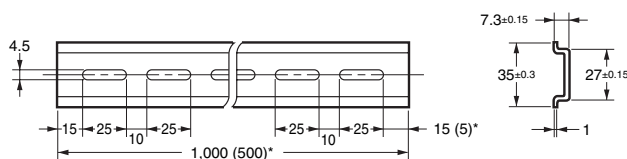
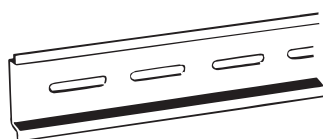
Note: The OMRON Current Transformer (CT) is designed to be used with the K8AK-AS3. Use terminals k and l for connections. (Terminals kt and lt are not used.)

Optional Parts for DIN Track Mounting

●DIN Tracks

PFP-100N

PFP-50N



*Dimensions in parentheses are for the PFP-50N.

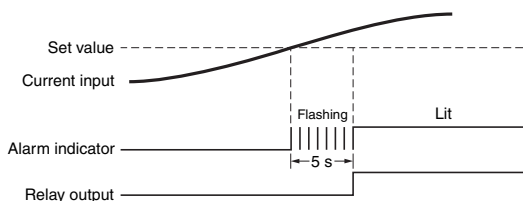
Questions and Answers

Q Checking Operation

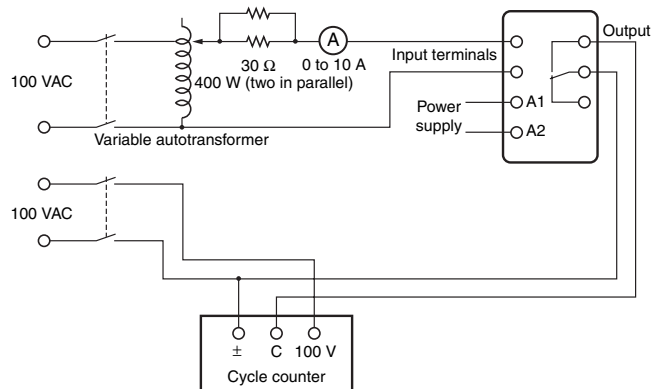
A Overcurrents
Gradually increase the input from 80% of the set value. The input will equal the operating value when the input exceeds the set value and the alarm indicator starts flashing. Operation can be checked by the relay outputs that will start after the operating time has passed.

Undercurrent
Gradually decrease the input from 120% of the setting and check the operation using the same method as for overcurrent.

Example: Overcurrent Operating Mode, Normally Open Relay Drive, and an Operating Time of 5 s



Connection Diagram



Q How to Measure the Operating Time

A Overcurrent
Change the input suddenly from 0% to 120% of the set value and measure the time until the Unit operates.

Undercurrent
Change the input suddenly from 120% to 0% of the set value and measure the time until the Unit operates.

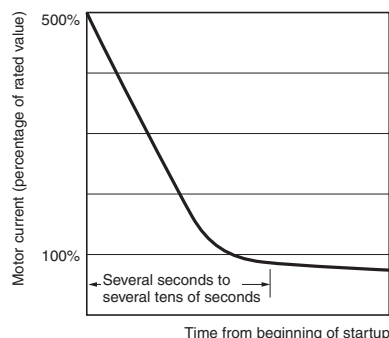
Q Monitoring Switch-mode Power Supplies

A Switch-mode Power Supplies cannot be monitored. In circuits with a capacitor input, including switch-mode power supplies, the input capacitor recharge current flows in pulse form as the load current. The K8AK-AS□ has a built-in filter as a countermeasure against high frequencies and cannot be used to remove pulse current.

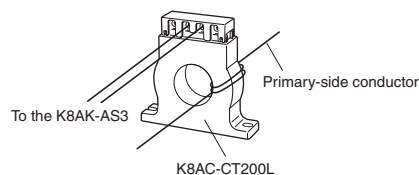
Q Can a motor with a rated current of 5 A be monitored using the K8AK?

Are there any application precautions?

A The K8AK-AS1 and K8AK-AS2 cannot be used with motor loads. Use the K8AK-AS3 in combination with the K8AC-CT200L Current Transformer (CT). With motor loads, the startup current and stall current will cause a current of many times the rated current to flow. Refer to the following figure for information on the motor startup current.



For a motor with a rating of 5 A, the startup current will be approximately 30 A. The startup current will exceed the overload capacity (rating: 150% for 1 s) of the K8AK-AS1 and K8AK-AS2 and result in failure of the Relay. To monitor the motor load, use the K8AK-AS3. (Overload capacity: 120% of rating for continuous load, 200% of rating for 30 s, and 600% of rating for 1 s). The K8AK-AS3 has a large input range. Pass the conductors multiple times through the special CT.



Concept behind Passing Conductor through the CT When Using the K8AK-AS3

Example: Monitoring Overload of a Motor with a Rated Current of 5 A

K8AK set value:
Overcurrent detection, operating value setting: 25%, operating time: 0.1 s
Startup lock timer: 0.1 to 30 s (Set the timer according to the duration of the startup current.)

The setting range for the K8AK-AS3 is 10% to 100% of the rated current (i.e., 10 to 100 A). Pass the conductors through the CT five times so that at least 10 A of current flows. The input current to the K8AK will be 25 A (i.e., 5 A x 5 loops).

If a startup current of six times the rated current is generated, it will be 150 A (i.e., 25 A x 6). The overload capacity for the K8AK-AS3 is 200% of the rating for 30 s. The Relay will not fail even if the startup current continues for 30 s, and it is possible to perform overload detection.

Safety Precautions

Be sure to read the precautions for all models in the website at the following URL: <http://www.ia.omron.com/>.

Warning Indications

 CAUTION	Indicates a potentially hazardous situation which, if not avoided, may result in minor or moderate injury or in property damage.
Precautions for Safe Use	Supplementary comments on what to do or avoid doing, to use the product safely.
Precautions for Correct Use	Supplementary comments on what to do or avoid doing, to prevent failure to operate, malfunction, or undesirable effects on product performance.

Meaning of Product Safety Symbols

	Used to warn of the risk of electric shock under specific conditions.
	Used for general prohibitions for which there is no specific symbol.
	Used to indicate prohibition when there is a risk of minor injury from electrical shock or other source if the product is disassembled.
	Used for general mandatory action precautions for which there is no specified symbol.

CAUTION

Electrical shock may cause minor injury.
Do not touch terminals while electricity is being supplied.



There is a risk of minor electrical shock, fire, or device failure.
Do not allow any pieces of metal, conductors, or cutting chips that occur during the installation process to enter the product.



Explosions may cause minor injuries. Do not use the product in locations with inflammable or explosive gases.

There is a risk of minor electrical shock, fire, or device failure.
Do not disassemble, modify, repair, or touch the inside of the product.



Loose screws may cause fires. Tighten terminal screws to the specified torque of 0.49 to 0.59 N·m.



Use of excessive torque may damage the terminal screws.
Tighten terminal screws to the specified torque of 0.49 to 0.59 N·m.



Use of the product beyond its life may result in contact welding or burning. Make sure to consider the actual operating conditions and use the product within its rated load and electrical life count. The life of the output relay varies significantly with the switching capacity and switching conditions.



Precautions for Safe Use

- Do not use or store the product in the following locations.
 - Locations subject to water or oil
 - Outdoor locations or under direct sunlight
 - Locations subject to dust or corrosive gases (particularly sulfurizing gases, ammonia, etc.)
 - Locations subject to rapid temperature changes
 - Locations prone to icing and dew condensation
 - Locations subject to excessive vibration or shock
 - Locations subject to wind and rain
 - Locations subject to static electricity and noise
 - Habitats of insects or small animals
- Use and store the product in a location where the ambient temperature and humidity are within the specified ranges. If applicable, provide forced cooling.
- Mount the product in the correct direction.
- Check terminal polarity when wiring and wire all connections correctly. The power supply terminals do not have polarity.
- Do not wire the input and output terminals incorrectly.
- Make sure the power supply voltage and loads are within the specifications and ratings for the product.
- Make sure the crimp terminals for wiring are of the specified size.
- Do not connect anything to terminals that are not being used.
- Use a power supply that will reach the rated voltage within 1 second after the power is turned ON.
- Keep wiring separate from high voltages and power lines that draw large currents.
Do not place product wiring in parallel with or in the same path as high-voltage or high-current lines.
- Do not install the product near equipment that generates high frequencies or surges.
- The product may cause incoming radio wave interference. Do not use the product near radio wave receivers.
- Install an external switch or circuit breaker and label it clearly so that the operator can quickly turn OFF the power supply.
- Make sure the indicators operate correctly. Depending on the application environment, the indicators may deteriorate prematurely and become difficult to see.
- Do not use the product if it is accidentally dropped. The internal components may be damaged.
- Be sure you understand the contents of this catalog and handle the product according to the instructions provided.
- Do not install the product in any way that would place a load on it.
- When discarding the product, properly dispose of it as industrial waste.
- When using the product, remember that the power supply terminals carry a high voltage.
- The product must be handled only by trained electrician.
- Prior to operation, check the wiring before you supply power to the product.
- Do not install the product immediately next to heat sources.
- Perform periodic maintenance.

Precautions for Correct Use

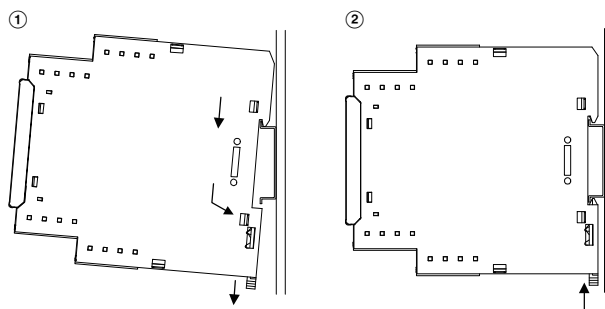
Observe the following operating methods to prevent failure and malfunction.

- Use the power supply voltage, input power, and other power supplies and converters with suitable capacities and rated outputs.
- Use a precision screwdriver or similar tool to adjust the setting knobs.
- The distortion in the input waveform must be 30% max. If the input waveform is distorted beyond this level, it may cause unnecessary operation.
- Error will be large if the product is used for thyristor or inverter control.
- To reduce the error in the setting knob, always turn the setting knob from the minimum setting toward the maximum setting.
- When cleaning the product, do not use thinners or solvents. Use commercial alcohol.

Correct Mounting Direction, Mounting, and Removing

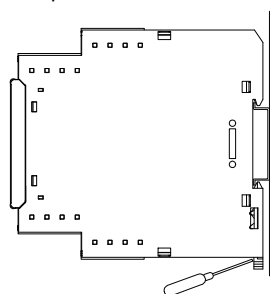
• Mounting to DIN Track

- Attach the product to the DIN Track with the tab at the top and the hooks at the bottom.
- Push the product onto the Track until the hooks lock into place.



• Removing from the DIN Track

Pull down on the bottom hook with a flat-blade screwdriver and lift up on the product.



Applicable DIN Tracks:
PFP-100N (100 cm)
PFP-50N (50 cm)

Adjusting the Setting Knobs

- Use a screwdriver to adjust the setting knobs. The knobs have a stopper that prevents them from turning beyond the full right or left position. Do not force a knob beyond these points.



Terms and Conditions Agreement

Read and understand this catalog.

Please read and understand this catalog before purchasing the products. Please consult your OMRON representative if you have any questions or comments.

Warranties.

- (a) Exclusive Warranty. Omron's exclusive warranty is that the Products will be free from defects in materials and workmanship for a period of twelve months from the date of sale by Omron (or such other period expressed in writing by Omron). Omron disclaims all other warranties, express or implied.
- (b) Limitations. OMRON MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESS OR IMPLIED, ABOUT NON-INFRINGEMENT, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OF THE PRODUCTS. BUYER ACKNOWLEDGES THAT IT ALONE HAS DETERMINED THAT THE PRODUCTS WILL SUITABLY MEET THE REQUIREMENTS OF THEIR INTENDED USE.

Omron further disclaims all warranties and responsibility of any type for claims or expenses based on infringement by the Products or otherwise of any intellectual property right. (c) Buyer Remedy. Omron's sole obligation hereunder shall be, at Omron's election, to (i) replace (in the form originally shipped with Buyer responsible for labor charges for removal or replacement thereof) the non-complying Product, (ii) repair the non-complying Product, or (iii) repay or credit Buyer an amount equal to the purchase price of the non-complying Product; provided that in no event shall Omron be responsible for warranty, repair, indemnity or any other claims or expenses regarding the Products unless Omron's analysis confirms that the Products were properly handled, stored, installed and maintained and not subject to contamination, abuse, misuse or inappropriate modification. Return of any Products by Buyer must be approved in writing by Omron before shipment. Omron Companies shall not be liable for the suitability or unsuitability or the results from the use of Products in combination with any electrical or electronic components, circuits, system assemblies or any other materials or substances or environments. Any advice, recommendations or information given orally or in writing, are not to be construed as an amendment or addition to the above warranty.

See <http://www.omron.com/global/> or contact your Omron representative for published information.

Limitation on Liability; Etc.

OMRON COMPANIES SHALL NOT BE LIABLE FOR SPECIAL, INDIRECT, INCIDENTAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, LOSS OF PROFITS OR PRODUCTION OR COMMERCIAL LOSS IN ANY WAY CONNECTED WITH THE PRODUCTS, WHETHER SUCH CLAIM IS BASED IN CONTRACT, WARRANTY, NEGLIGENCE OR STRICT LIABILITY.

Further, in no event shall liability of Omron Companies exceed the individual price of the Product on which liability is asserted.

Suitability of Use.

Omron Companies shall not be responsible for conformity with any standards, codes or regulations which apply to the combination of the Product in the Buyer's application or use of the Product. At Buyer's request, Omron will provide applicable third party certification documents identifying ratings and limitations of use which apply to the Product. This information by itself is not sufficient for a complete determination of the suitability of the Product in combination with the end product, machine, system, or other application or use. Buyer shall be solely responsible for determining appropriateness of the particular Product with respect to Buyer's application, product or system. Buyer shall take application responsibility in all cases.

NEVER USE THE PRODUCT FOR AN APPLICATION INVOLVING SERIOUS RISK TO LIFE OR PROPERTY OR IN LARGE QUANTITIES WITHOUT ENSURING THAT THE SYSTEM AS A WHOLE HAS BEEN DESIGNED TO ADDRESS THE RISKS, AND THAT THE OMRON PRODUCT(S) IS PROPERLY RATED AND INSTALLED FOR THE INTENDED USE WITHIN THE OVERALL EQUIPMENT OR SYSTEM.

Programmable Products.

Omron Companies shall not be responsible for the user's programming of a programmable Product, or any consequence thereof.

Performance Data.

Data presented in Omron Company websites, catalogs and other materials is provided as a guide for the user in determining suitability and does not constitute a warranty. It may represent the result of Omron's test conditions, and the user must correlate it to actual application requirements. Actual performance is subject to the Omron's Warranty and Limitations of Liability.

Change in Specifications.

Product specifications and accessories may be changed at any time based on improvements and other reasons. It is our practice to change part numbers when published ratings or features are changed, or when significant construction changes are made. However, some specifications of the Product may be changed without any notice. When in doubt, special part numbers may be assigned to fix or establish key specifications for your application. Please consult with your Omron's representative at any time to confirm actual specifications of purchased Product.

Errors and Omissions.

Information presented by Omron Companies has been checked and is believed to be accurate; however, no responsibility is assumed for clerical, typographical or proofreading errors or omissions.

OMRON Corporation Industrial Automation Company

Tokyo, JAPAN

Contact: www.ia.omron.com

Regional Headquarters

OMRON EUROPE B.V.

Wegalaan 67-69-2132 JD Hoofddorp
The Netherlands
Tel: (31)2356-81-300/Fax: (31)2356-81-388

OMRON ELECTRONICS LLC

One Commerce Drive Schaumburg,
IL 60173-5302 U.S.A.
Tel: (1) 847-843-7900/Fax: (1) 847-843-7787

OMRON ASIA PACIFIC PTE. LTD.

No. 438A Alexandra Road # 05-05/08 (Lobby 2),
Alexandra Technopark,
Singapore 119967
Tel: (65) 6835-3011/Fax: (65) 6835-2711

OMRON (CHINA) CO., LTD.

Room 2211, Bank of China Tower,
200 Yin Cheng Zhong Road,
PuDong New Area, Shanghai, 200120, China
Tel: (86) 21-5037-2222/Fax: (86) 21-5037-2200

Authorized Distributor:

© OMRON Corporation 2014 All Rights Reserved.
In the interest of product improvement,
specifications are subject to change without notice.

CSM_3_3_1015
Cat. No. N179-E1-01

0314 (0314)

SONGLE RELAY

	RELAY ISO9002	SRD
---	---------------	------------



1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.
(Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

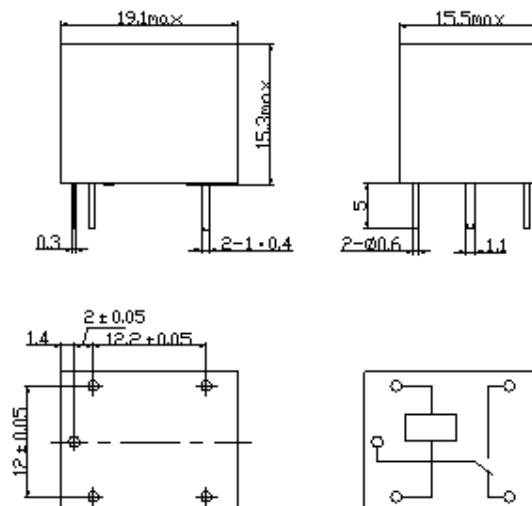
3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03、05、06、09、12、24、48VDC	S:Sealed type	L:0.36W	A:1 form A
		F:Flux free type	D:0.45W	B:1 form B
				C:1 form C

4. RATING

CCC	FILE NUMBER:CH0052885-2000	7A/240VDC
CCC	FILE NUMBER:CH0036746-99	10A/250VDC
UL /CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R9933789	10A/240VAC 28VDC

5. DIMENSION(unit:mm) DRILLING(unit:mm) WIRING DIAGRAM



6. COIL DATA CHART (AT20°C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance (Ω) $\pm 10\%$	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
	48	48	7.5	6400				
SRD (Standard)	03	03	150	20	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280				
	48	48	10	4500	abt. 0.51W			

7. CONTACT RATING

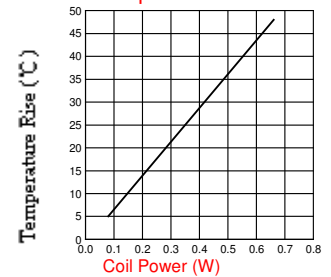
Item	Type	SRD	
		FORM C	FORM A
Contact Capacity Resistive Load ($\cos\Phi=1$)		7A 28VDC 10A 125VAC 7A 240VAC	10A 28VDC 10A 240VAC
Inductive Load ($\cos\Phi=0.4$ L/R=7msec)		3A 120VAC 3A 28VDC	5A 120VAC 5A 28VDC
Max. Allowable Voltage		250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Force		800VAC/240W	1200VA/300W
Contact Material		AgCdO	AgCdO

8. PERFORMANCE (at initial value)

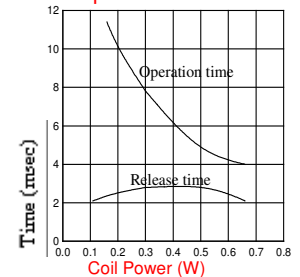
Item	Type	SRD
Contact Resistance		100m Ω Max.
Operation Time		10msec Max.
Release Time		5msec Max.
Dielectric Strength		
Between coil & contact		1500VAC 50/60HZ (1 minute)
Between contacts		1000VAC 50/60HZ (1 minute)
Insulation Resistance		100 M Ω Min. (500VDC)
Max. ON/OFF Switching		
Mechanically		300 operation/min
Electrically		30 operation/min
Ambient Temperature		-25°C to +70°C
Operating Humidity		45 to 85% RH
Vibration		
Endurance		10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Error Operation		10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Shock		
Endurance		100G Min.
Error Operation		10G Min.
Life Expectancy		
Mechanically		10 ⁷ operations. Min. (no load)
Electrically		10 ⁵ operations. Min. (at rated coil voltage)
Weight		abt. 10grs.

9. REFERENCE DATA

Coil Temperature Rise

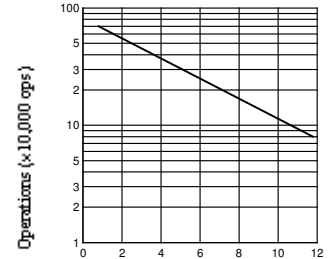


Operation Time

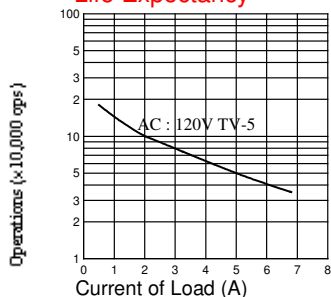


Life Expectancy

AC120V/DC24V $\cos\Phi=1$



Life Expectancy



Current Transducer LTS 6-NP

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed, mixed with galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).



16065

Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current rms	6	At
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 19.2	At
I_P	Overload capability	250	At
V_{OUT}	Output voltage (Analog) @ I_P	$2.5 \pm (0.625 \cdot I_P / I_{PN}) V$	
	$I_P = 0$	$2.5^{1)}$	V
G	Sensitivity	104.16	mV/A
N_S	Number of secondary turns (± 0.1 %)	2000	
R_L	Load resistance	≥ 2	k Ω
R_{IM}	Internal measuring resistance (± 0.5 %)	208.33	Ω
TCR_{IM}	Temperature coefficient of R_{IM}	< 50	ppm/K
V_C	Supply voltage (± 5 %)	5	V
I_C	Current consumption @ $V_C = 5$ V	Typ $28 + I_S^{2)} + (V_{OUT} / R_L)$	mA

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ C$	± 0.2	%
	Accuracy with R_{IM} @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ C$	± 0.7	%
ε_L	Linearity error	< 0.1	%
TCV_{OUT}	Temperature coefficient of V_{OUT} @ $I_P = 0$	Typ 80	Max 200 ppm/K
	- $10^\circ C \dots + 85^\circ C$		250 ppm/K
	- $40^\circ C \dots - 10^\circ C$		50 ³⁾ ppm/K
TCG	Temperature coefficient of G		
V_{OM}	Magnetic offset voltage @ $I_P = 0$, after an overload of $3 \times I_{PN}$	± 0.5	mV
	$5 \times I_{PN}$	± 2.0	mV
	$10 \times I_{PN}$	± 2.0	mV
t_{ra}	Reaction time @ 10 % of I_{PN}	< 100	ns
t_r	Response time to 90 % of I_{PN} step	< 400	ns
di/dt	di/dt accurately followed	> 15	A/ μs
BW	Frequency bandwidth (0 .. 0.5 dB)	DC .. 100	kHz
	(- 0.5 .. 1 dB)	DC .. 200	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 40 .. + 85	$^\circ C$
T_S	Ambient storage temperature	- 40 .. + 100	$^\circ C$
m	Mass	10	g
	Standards	EN 50178: 1997	
		IEC 60950-1: 2001	

Notes: ¹⁾ Absolute value @ $T_A = 25^\circ C$, $2.475 < V_{OUT} < 2.525$

²⁾ $I_S = I_P / N_S$

³⁾ Only due to TCR_{IM}

$$I_{PN} = 6 \text{ At}$$

Features

- Closed loop (compensated) multi-range current transducer using the Hall effect
- Unipolar voltage supply
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0
- Compact design for PCB mounting
- Incorporated measuring resistance
- Extended measuring range.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Very low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.

Current Transducer LTS 6-NP

Isolation characteristics

V_d	Rms voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 min	3	kV
$\hat{V}_w$	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	> 8	kV
		Min	
V_e	Rms voltage for partial discharge extinction @ 10pC	> 1.5	kV
dCp	Creepage distance ¹⁾	15.5	mm
dCI	Clearance distance ²⁾	6.35	mm
CTI	Comparative Tracking Index (group IIIa)	175	

Notes: ¹⁾ On housing

²⁾ On PCB with soldering pattern UTEC93-703.

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
dCp, dCI, $\hat{V}_w$	Rated insulation voltage	Nominal voltage
Single insulation	600 V	600 V
Reinforced insulation	300 V	300 V

Safety



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply).

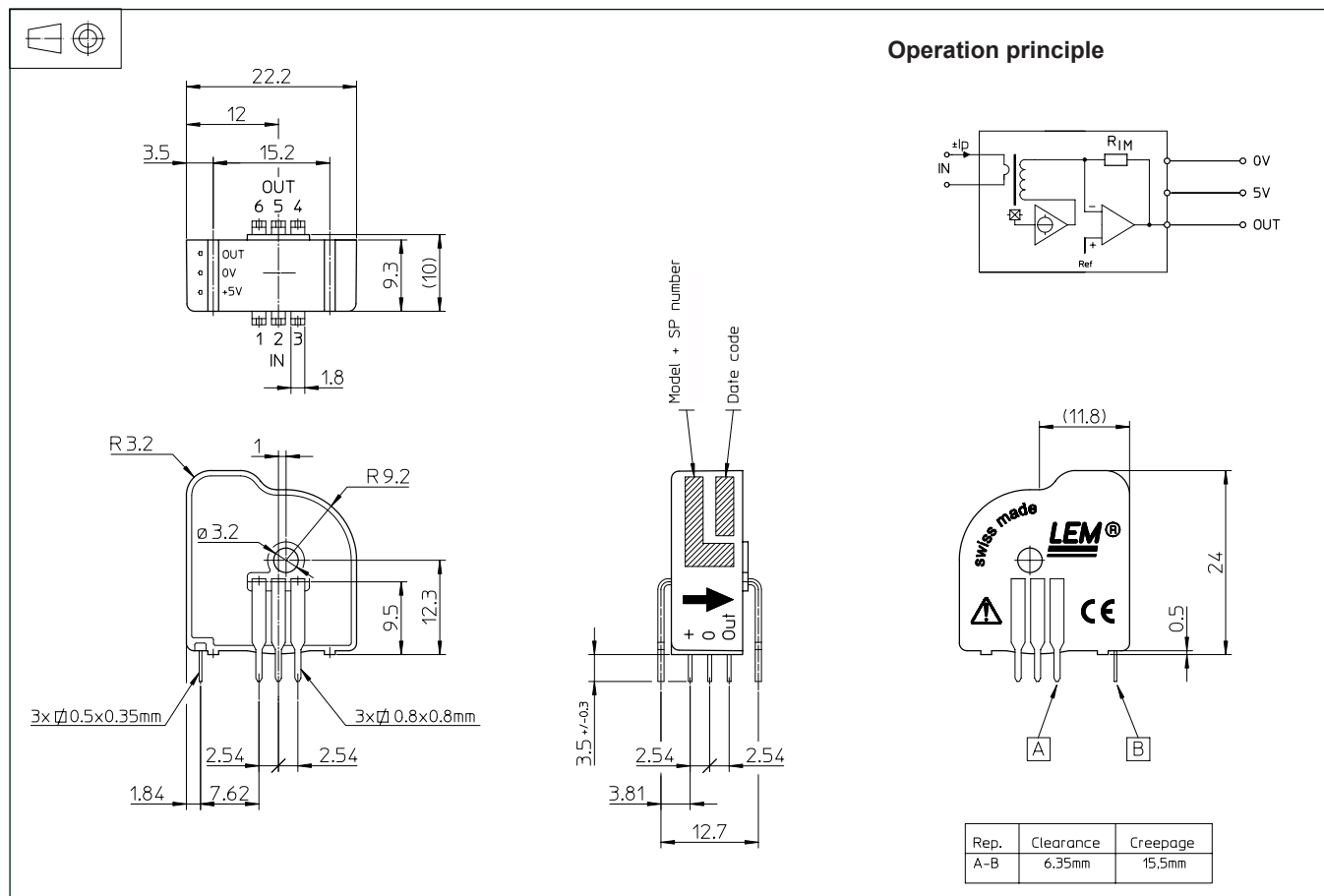
Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.

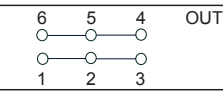
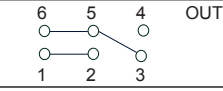
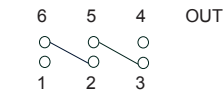
This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.

A protective housing or additional shield could be used.

Main supply must be able to be disconnected.

Dimensions LTS 6-NP (in mm.)



Number of primary turns	Primary nominal current rms I_{PN} [A]	Nominal output voltage V_{OUT} [V]	Primary resistance R_p [mΩ]	Primary insertion inductance L_p [μH]	Recommended connections
1	± 6	2.5 ± 0.625	0.18	0.013	
2	± 3	2.5 ± 0.625	0.81	0.05	
3	± 2	2.5 ± 0.625	1.62	0.12	

Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Fastening & connection of primary 6 pins 0.8 x 0.8 mm
Recommended PCB hole 1.3 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins 0.5 x 0.35 mm
Recommended PCB hole 0.8 mm
- Additional primary through-hole Ø 3.2 mm

Remarks

- V_{OUT} swings above 2.5 V when I_p flows from terminals 1, 2, 3 to terminals 6, 5, 4 (with the arrow).
- Temperature of the primary jumper should not exceed 100°C.

Output Voltage - Primary Current

