

CAMPO EXPERIMENTAL -PARA LA ENSEÑANZA- DE PROTECCIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN (CEPSED) EN MEDIA TENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

Juan Carlos Gómez, IPSEP, UNRC, jcgomez@ing.unrc.edu.ar

Daniel H. Tourn, IPSEP, UNRC, jcgomez@ing.unrc.edu.ar

Gabriel Campetelli, IPSEP, UNRC, jcgomez@ing.unrc.edu.ar

Hernán Rovere, IPSEP, UNRC, jcgomez@ing.unrc.edu.ar

Resumen—El Instituto de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia de la UNRC construyó un campo experimental en 13,2 kV para ser usado en la enseñanza de protecciones en sistemas de distribución. Se obtuvo financiamiento de la Secretaría de Políticas Universitarias, y acompañamiento de la Federación Argentina de Cooperativas Eléctricas (FACE) a través de ACERO LTDA. Colaboraron también fabricantes locales y nacionales. El campo experimental se completará con una ampliación en 33 kV. La instalación ha despertado interés entre las cooperativas eléctricas y empresas distribuidoras, como también entre los fabricantes de productos relacionados, ofreciendo un campo de pruebas para nuevas tecnologías bajo condiciones controladas. La instalación se alimenta en 13,2 kV, dispone de tres subestaciones de rebaje. La línea es aérea, con un tramo protegido y otro con retorno por tierra. Posee generación distribuida eólica de 1,5 kW y fotovoltaica de 2,75 kW. Las mediciones se realizan a través de medidores inteligentes. Permite realizar ensayos eléctricos tales como medición sobre fallas de cualquier tipo, controlando las variables involucradas. Es muy amplia su posibilidad de uso para tareas de capacitación respecto a trabajos con tensión, trabajo en altura, entrenamiento a gruistas, etc. Se concluye en la importancia de contar con este tipo de instalaciones para mejorar la formación y capacitación de estudiantes, técnicos, ingenieros y operarios de cooperativas y empresas eléctricas.

Palabras clave— *campo experimental de entrenamiento, capacitación, distribución en media y baja tensión.*

1. Introducción

La explotación de los sistemas eléctricos de distribución, requiere cada día mayor confiabilidad (reduciendo el número y la duración de las interrupciones), por lo que se necesita cada vez mayor garantía respecto a la correcta selección, instalación y ajuste de los distintos componentes del sistema de protecciones, por lo que la capacitación del

personal técnico y profesional a cargo de estas tareas pasa a ser crucial. Por otra parte, cada vez están más difundidas las tareas denominadas “trabajos con tensión”, lo que requiere de un intenso entrenamiento del personal por el riesgo involucrado en tales tareas [1, 2].

En la actualidad existen varias versiones de emuladores para el entrenamiento del personal de los sistemas de distribución, que posee una serie de ventajas y desventajas, siendo la desventaja más importante la lejanía de las condiciones reales de trabajo, manifestado por el personal que se ha capacitado con tales emuladores [3, 4, 5].

La rapidez con la que se presentan los avances tecnológicos obliga a una permanente formación de los técnicos y profesionales en estas nuevas tecnologías, siendo fundamental conocer la interacción de estas tecnologías con las ya instaladas, por lo cual es fundamental disponer de un campo experimental con capacidad y flexibilidad para operar estas nuevas tecnologías conjuntamente con las tradicionales [6, 7].

Por lo expresado en los párrafos anteriores, durante el año 2010 surgió entre los profesionales del Instituto de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia (IPSEP) de la Universidad Nacional de Río Cuarto, la idea de construir un campo experimental en 13,2 kV y 33 kV para ser usado en la enseñanza de protecciones en tales sistemas de distribución, bajo condiciones reales de trabajo. Este campo tiene como función principal la capacitación y entrenamiento de los estudiantes de Ingeniería Electricista. Contribuyendo con la necesidad de realizar prácticas en condiciones reales sobre los elementos y equipos de estas instalaciones [8, 9].

En la etapa inicial del proyecto, se planteó la duda respecto a la construcción del sistema de media tensión en estructura a altura normal, (o se alturas de 8 a 14 m) o en forma de estructura “enana”, de amplia difusión en la actualidad (con alturas de trabajo del orden de 1,5 m). El uso de la estructura enana empleada en la primer etapa de la capacitación, requiere también de la estructura normal como segunda etapa, para completar así el proceso de capacitación. Por las limitaciones presupuestarias y de espacio físico, se decidió usar directamente la estructura normal. De esta manera, las tareas se hacen empleando la totalidad de los equipos de protección personal correspondientes a cada trabajo, brindando así también capacitación en el uso de tales equipos [10, 11]. Es de destacar la existencia de un campo de demostración con estructura “enana”, para uso comercial, perteneciente a una fabricante de productos eléctricos de la Ciudad de Córdoba.

También se analizó la posibilidad de operar al sistema de media tensión en baja tensión (220/380 V), lo que se descartó ya que se pierde el objetivo de capacitación en condiciones reales. No obstante, existe la posibilidad de alimentar al sistema con baja tensión si fuera necesario.

La intensa actividad actual respecto a las fuentes distribuidas, condujo a tomar la decisión de instalar generadores eólicos y solares, conjuntamente con dispositivos almacenadores de energía en el campo experimental a fin de estudiar la influencia de estas fuentes de aporte particular de corrientes de falla sobre el esquema de protecciones de baja y media tensión [12].

Por limitaciones presupuestarias, se redujo la construcción a la primera etapa, correspondiente solamente al tendido en 13,2 kV (con sus correspondientes subestaciones transformadoras y circuitos de baja tensión por ellas alimentados), dejando prevista la extensión en 33 kV para un futuro cercano. Se estima completar esta segunda etapa durante el año 2018 y principios del 2019.

2. Avance del Proyecto

Con los principios ya citados en mente, se tramitó y logró la autorización por parte de las autoridades de la Universidad para usar el terreno que rodea al IPSEP. Debido a los costos involucrados, se solicitó y obtuvo financiamiento del Ministerio de Educación de la Nación, Secretaría de Políticas Universitarias, incluido en el Programa de Cooperativismo 2015. Para llevar adelante este programa, se contó con el acompañamiento de la Federación Argentina de Cooperativas Eléctricas (FACE) a través de la Asociación Cooperativas Eléctricas y Servicios Públicos Regional Oeste (ACERO LTDA), que colaboró suministrando elementos y componentes de la línea de Media Tensión.

Los postes y crucetas, donados por ACERO LTDA. Llegaron al IPSEP el 23/3/2017, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1, descarga de los postes y crucetas.

Participación privada

Simultáneamente con las tareas de construcción de las fundaciones (ver Figura 2) y montaje de los postes y crucetas, se tramitó la donación o la compra a bajo costo de los distintos equipos del sistema a fabricantes y empresas locales.

El montaje de los postes fue contratado a bajo precio, a una empresa de construcciones eléctricas perteneciente a un Ingeniero egresado de nuestra Facultad de Ingeniería, como se muestra en la Figura 3.

Se debe agradecer especialmente a la Cooperativa Eléctrica de Berrotarán, que colaboró sin costo alguno, enviando personal de líneas con grúa e hidroelevador, quienes

Campo Experimental - para la enseñanza - de Protecciones en los Sistemas Eléctricos de Distribución (CEPSED) en Media Tensión de la Universidad Nacional de Río Cuarto

conjuntamente con personal del IPSEP, procedieron al tendido de la “antena” trifásica de 13.200 V.



Figura 2, llenado de las fundaciones con hormigón.

El cableado final del sistema de media tensión se llevó a cabo con la colaboración de la Cooperativa Eléctrica de General Deheza Ltda. y de la Cooperativa de Electricidad, Obras y Servicios Públicos de Las Higueras Ltda., quienes, sin costo alguno para la UNRC, enviaron personal de líneas y sendos hidroelevadores para tal tarea, mostrando la Figura 4 la situación del campo experimental en ese momento.



Figura 3, Izado de los postes y colocación en la fundación.



Figura 4, Estado del campo experimental una vez tendidas las líneas desnudas.

Se logra una respuesta extraordinaria de parte de fabricantes y representantes locales y nacionales, cuyas contribuciones se detallan a continuación:

- Electroingeniería ICSSA que suministró el reconectador automático Marca Noja, Modelo OSM 15,
- BARATEC Solar que donó el inversor fotovoltaico Marca SolarMax, Modelo 3000S y estructura soporte de los paneles (cantidad 12 / 250 Wp cada uno),
- Tubos Trans Electric SA, donó dos transformadores monofásicos de 75 kVA y 100 kVA,
- Mayo Transformadores, donó dos transformadores monofásicos de 5 kVA y 10 kVA,
- Tadeo Czerweny, que donó tres transformadores monofásicos de 16 kVA,
- Giacobone que donó el generador eólico completo (inversor Marca ABB, Modelo UNO-2.0-I-OUTD-US-W, torre y generador de fabricación propia) y
- DISCAR que suministró los medidores inteligentes Modelos DIGA y DMGA.
- Cooperativa Eléctrica y de Servicios Públicos de Ucha Ltda., donó parte de los herrajes para las líneas aéreas.
- ARCOOP, donó las ménsulas, plataformas y una cruceta de hormigón armado.
- Fusibles Alta, que donó seis seccionadores fusibles de 13,2 kV tipo XS.
- Fammie-Fami, que donó seis seccionadores S&C de 13,2 kV.
- Sicame Argentina, donó seccionadores y elementos varios de protección personal
- MetalCe que donó 12 seccionadores APR de baja tensión con sus correspondientes soportes.

Recibidos los paneles solares, soportes e inversor, se procedió a su montaje. Luego de una semana de pruebas y ajustes, la instalación generadora de 3 kWp comenzó a funcionar definitivamente el día 19/9/2017 encontrándose funcionando a pleno desde ese momento, suministrando energía a la red de baja tensión del IPSEP. La instalación se encuentra

preparada para inyectar tal energía al sistema de media tensión a través del transformador monofásico de 13,2 kV/220 V y 10 kVA, estando permanentemente conectada a la red interna a fin de sacar el máximo provecho, aún, cuando no se esté operando con el sistema de media tensión, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5, Paneles fotovoltaicos de 3 kWp.

Se dispone de los equipos y elementos necesarios para la generación eólica de 1,5 kW ya mencionada. No se ha podido llevar a cabo la instalación hasta el momento, ya que, en razón de poder aprovechar mejor los vientos, se colocará la torre sobre el galpón del laboratorio de potencia. El laboratorio mencionado se encuentra en el cono de aproximación del Aeropuerto de Río Cuarto, ante lo cual se está realizando el correspondiente trámite de aprobación ante la *Administración Nacional de Aviación Civil* (ANAC). Tan pronto se logre la autorización para el generador eólico, se procederá a su instalación.

Luego de finalizada la construcción y habiendo superado las pruebas preliminares, se puso en servicio el sistema de media tensión y las tres subestaciones de rebaje con sus correspondientes circuitos de baja tensión, el día 8 de junio de 2018.

3. Estado Actual

3.1 Características constructivas

La instalación cuenta con alimentación desde la subestación del Laboratorio de Potencia del IPSEP, que posee dos transformadores trifásicos de 1 MVA de 13,2 kV a 220/380 V con alimentación en 13,2 kV. La alimentación al CEPSED puede hacerse directamente desde la alimentación de 13,2 kV de la Universidad o a través del rebaje a 220/380 V y posterior elevación a 13,2 kV, efectuado con los dos transformadores de 1 MVA. Tal esquema de conexión permite trabajar con la tierra de referencia del alimentador a la UNRC (referencia de la Empresa Provincial de Energía de Córdoba, EPEC) o referenciado a una tierra propia creada con tal propósito, en base a la aislación brindada por los dos transformadores. Las maniobras para estas conexiones se efectúan sobre tres seccionadores manuales ubicados dentro de la mencionada subestación. La Figura 6 muestra la subestación, donde se pueden apreciar los transformadores de potencia, seccionadores y los transformadores de medición.



Figura 6, Vista de la subestación de 2 MVA.

La línea aérea de aleación de aluminio de 35 mm² se compone de 6 tramos con siete postes de hormigón armado, actuando todos los postes como retención, contando con las correspondientes puestas a tierra y los necesarios descargadores de sobretensión.

Inmediatamente a continuación de la conexión a 13,2 kV, se pasa por un sistema de medición de tensión y corriente, con sendos transformadores tipo intemperie, elevándose a la línea aérea mediante tres cables monofásicos colocados dentro de una bandeja vertical. La conexión a la línea aérea trifásica se hace a través de tres fusibles de expulsión.

Después de los citados fusibles y muy próximo a ellos se encuentra un reconector trifásico automático, con control microprocesado y con cámaras de vacío. La Figura 7 muestra el punto de arranque de la línea aérea y el reconector.



Figura 7, Punto de arranque de la línea aérea.

Le sigue un tramo trifásico aéreo desnudo, hasta un punto de derivación con fusibles de expulsión, punto donde en el futuro inmediato arrancará la segunda etapa del campo experimental (con elevación a 33 kV). A continuación, luego de un giro de 90° hacia la derecha se suceden dos tramos trifásicos aéreos desnudos, con fusibles intercalados en el poste localizado entre los tramos. En este poste intermedio es donde se colocarán los seccionadores montables en seccionador XS, para estudios de coordinación fusible-reconectador-fusible-seccionador-fusible.

A continuación de los dos tramos, se llega a un poste donde la línea dobla hacia la derecha, encontrándose montados sobre tal poste tres transformadores monofásicos de 16 kVA, 13,2 kV/220V. Se instalaron dos juegos trifásicos de fusibles de expulsión, uno para los transformadores y el restante juego para la continuación de la línea. Tales transformadores poseen triple propósito, a) permitir la simulación de fallas en el lado de baja tensión, b) brindar un punto de inyección de energía a la red a partir de las fuentes renovables solar o eólica, y c) mediante la conexión en estrella del primario, generar un neutro para su conexión directa o no a tierra. El esquema posee tomas trifásicos y monofásicos de baja tensión, alimentados a través de fusibles APR, interruptor automático y disyuntor diferencial, accesibles para conexión de cargas normales o de falla. La Figura 8 muestra la descrita subestación con tres transformadores monofásicos.



Figura 8, Subestación de carga y creación de neutro.

El sistema continúa en forma aérea desnuda hasta el siguiente poste, donde se produce una bifurcación, continuando una rama con la dirección de la línea y la otra parte doblando a la derecha, cada una de ellas con sus correspondientes juegos trifásicos de fusibles de expulsión.

La línea aérea que continúa con la dirección es desnuda y llega a un nuevo poste donde se ha instalado un juego de fusibles de expulsión, que alimenta a un transformador

monofásico de 7.621/220 V, que constituye una subestación de “retorno por tierra”. Por razones de garantía de seguridad contra riesgo eléctrico, la baja tensión es llevada vía fusibles APR y cable subterráneo a un pequeño poste de hormigón armado ubicado a 12 m de la subestación, donde se instaló el tablero de baja tensión con las tomas y dispositivos de protección similar al ya descrito, con los propósitos a) y b) citados en el párrafo anterior.

La derivación a 90° se construyó con cable protegido en 13,2 kV, finalizando en un poste de hormigón armado donde a través de fusibles XS se instaló un transformador de 13,2 kV/220 V, con su tablero de baja tensión y sus correspondientes tomas y protecciones, con los propósitos a) y b) ya mencionados, que se muestra en la Figura 9.



Figura 9, Subestación monofásica alimentada por cable protegido.

Por lo explicado, el campo experimental se ha diseñado a fin de permitir la inyección de energía eléctrica desde la fuente fotovoltaica de 2,75 kWp, de la eólica de 1,5 kWa y desde el o los almacenadores vía inversores, a manera de generación distribuida. Los parámetros de la inyección de energía se miden, registran y controlan mediante tres medidores inteligentes.

Los tres tableros de baja tensión son similares, a pesar de que las alimentaciones son monofásicas o trifásicas, en razón de permitir expansiones futuras con cambios menores de la instalación, como se muestra en la Figura 10.



Figura 10, Tablero de baja tensión.

3.2 Utilización

Con el campo experimental ya en plena operación, se comenzó la preparación de las tareas de armado de trabajos prácticos de laboratorio para los alumnos de grado de Ingeniería Electricista y de cursos de capacitación para el personal técnico de empresas distribuidoras y cooperativas.

A. Trabajos prácticos para alumnos de grado

Se están armando los siguientes trabajos prácticos, a fin de ya poder incorporarlo a las correspondientes asignaturas en el segundo cuatrimestre del año 2018:

- Procedimiento de seguridad para trabajo en líneas de baja y media tensión (220-380 V y 13,2 kV).
- Medición de puestas a tierra de sistemas de media y baja tensión, con agregados para su mejora. Medición de la variación en el tiempo.
- Localización de fallas en líneas aéreas de media tensión (método distanciométrico).
- Uso de sistemas de distribución en media tensión con retorno por tierra. Construcción de las puestas a tierra. Precauciones a ser tenidas en cuenta.
- Estudios de cortocircuito incorporando distintos niveles de tensión, con distinto número de fases involucradas y para distintos valores de resistencia de falla.
- Coordinación de protecciones involucrando interruptores, reconectores, seccionalizadores y fusibles.
- Coordinación de protecciones en sistemas con distintos tipos de puesta a tierra (flotantes, puesta a tierra inductiva y resistiva).
- Comunicación entre dispositivos avanzados de protección y medición. Uso de fuentes inteligentes, medidores inteligentes, reconectores, indicadores de falla, seccionalizadores, fusibles electrónicos, etc.
- Estudios del comportamiento de las fallas de alta impedancia.
- Estudios y análisis mecánico de la línea.

Campo Experimental - para la enseñanza - de Protecciones en los Sistemas Eléctricos de Distribución (CEPSED) en Media Tensión de la Universidad Nacional de Río Cuarto

- Generación distribuida con inyección de energía a la red por media y baja tensión. Calidad de la potencia inyectada.
- Generación fotovoltaica.
- Generación eólica.
- Almacenamiento de energía. Agua energía potencial. Agua en calor.
- Trabajos en altura.
- Maniobras en MT, uso del equipo: pértigas, guantes, hidroelevador, máscara, etc.
- Análisis y medición de los componentes de línea de media tensión compacta o protegida.

B. Cursos de capacitación para personal técnico

- Electricidad básica.
- Introducción a los sistemas de distribución de energía eléctrica.
- Medición de parámetros eléctricos.
- Prácticas de trabajo seguro (riesgo eléctrico).
- Seguridad en trabajos en altura.
- Distribución en líneas aéreas.
- Herramientas especiales para linieros
- Puestas a tierra temporarias para trabajos en líneas.
- Segunda etapa de la ejercitación en líneas petizas.
- Tablas de tesado.
- Uso de ataduras, aparejos o grúas.
- Subestaciones de distribución.
- Primeros auxilios.

C. Otras aplicaciones

Desde la iniciación del largo proceso que tuvo lugar del nacimiento de este proyecto hasta el momento en que se declara su entrada en servicio, se han recibido muchos comentarios de parte de las empresas eléctricas y de los fabricantes y/o importadores de dispositivos eléctricos respecto a su utilización con otros propósitos, tales como:

- Usarse como campo de pruebas de nuevas tecnologías bajo condiciones controladas y/o particulares de trabajo.
- Investigación de fenómenos causantes de discrepancias o diferencias entre distribuidoras y consumidores.
- Funcionar para poner de manifiesto ventajas y desventajas de nuevos dispositivos en demostraciones de fabricantes y/o distribuidores a usuarios de tales equipos.
- Satisfacer necesidades de formación no atendidas que podrían ser cubiertas con esta instalación con pequeñas o sin modificaciones.

4. Conclusiones

Se concluye en la importancia de contar con este tipo de instalaciones para mejorar la formación y capacitación de estudiantes, técnicos, ingenieros y operarios de cooperativas y empresas eléctricas.

5. Referencias

1. Cardoso, A., Live line works training center (2014), *11th IEEE International Conference on Live Maintenance (ICOLIM)*, p. 1-4.
2. Troche, R., (2017), Live working training program in UTE-distribution, *12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM)*, p. 1-6.
3. Wang, Q., Tang, Z., Knezevic, I., Yu, J., Karady, G., (2016), Power system protection education and digital relay training based on a physical platform, *North American Power Symposium (NAPS)*, p. 1-5.
4. Bobadilla, I., Pérez, M., Ayal, A., (2011), Sistema para la capacitación y entrenamiento para el mantenimiento de líneas de la red de distribución, ALEn3D, boletín 03, Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Comisión Federal de Electricidad de México, p. 117 - 125.
5. Alves, M., Filho, M., Vaz, F., (2008), Maintenance and assembly training in a hydroelectric unit of energy using virtual reality desktop, *IEEE Latin America Transactions*, vol. 6, no. 5, p. 484 - 491.
6. Lovrenčić, V., Miletić, Z., (2014), Periodical training of linemen is a guarantee for competent and safe live working, *11th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM)*, p. 1-8.
7. Shoemaker, T., Mack, J., (2009), *The lineman's and cableman's field manual*, McGraw Hill, p. 150-153.
8. Institute of Electric and Electronics Engineers (IEEE), (2003), *Guide for maintenance methods on energized power lines*. New York.
9. Park, C., Jang, G., Chai, Y., (2006), Development of a virtual reality training system, *International journal of human-computer interaction*, vol. 20, no. 3, p. 285 - 303.
10. Neitzel, D.; (2015), Electrical safety for crane operators and riggers, *2015 IEEE IAS Electrical Safety Workshop Conference*, p. 1-6.
11. Bureau of Labor Statistics, Census of fatal occupational injuries charts (1990 - 2011), Washington, 2012.
12. Dos campos de redes eléctricas fueron inaugurados por el Sena, Vanguardia.com, abril 2013, Colombia.