

# COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE TRANSFORMADORES DE UNA PLANTA CEMENTERA

*Coordination of Electrical Protections of Transformers of a Cement Plant*

**Orlando José Paez Rodríguez**

Mtro. en Energía y Ambiente

Correspondencia al autor: orla87@gmail.com

Recibido: 17 de marzo 2018 | Revisado: 19 de marzo 2018 | Aprobado: 21 de marzo 2018

Asesorado por: Mtro. En Economía Aplicada y Administración de Negocios

**Juan Sebastián De León Regil Wald** sdeleonregil@yahoo.es

## Resumen

Las protecciones eléctricas resguardan a los equipos y procesos de fallas de energía internas como externas. Una industria cementera donde ocurren cambios repentinos de energía por arranque de equipos de gran dimensión debe tener una coordinación apropiada que pueda distinguir entre arranques de equipos y una falla real del sistema eléctrico. A través del análisis de mediciones eléctricas en los puntos de interés, se evalúan los valores máximos que alcanzan los equipos durante su arranque y los valores promedio de operación continua. Utilizando el software para coordinación eléctrica ETAP, se grafican las curvas de disparo configuradas actualmente en los equipos para analizarlas contra los valores de operación de la planta. Se modifican los parámetros de configuración de los dispositivos de protección para optimizar el monitoreo de las curvas de disparo. Se presentan las mejoras de esta nueva disposición al optimizar el tiempo de reacción de los dispositivos ante fallas reales.

## Palabras clave

Carga conmutada, curvas de disparo, transformadores, software para coordinación eléctrica.

## Abstract

*Electrical protections safeguard equipment and processes from internal and external power failures. A cement plant where sudden changes of energy occur due to the startup of large equipment must have an appropriate coordination that can distinguish between startup of equipment and a real failure of the electrical system. Through the analysis of electrical measurements at the points of interest, the maximum values reached by the equipment during its start and the average values of continuous operation are evaluate. Using the software for electrical coordination ETAP, the tripping curves currently configured in the equipment are plotted against the operating values of the plant. The configuration parameters of the protection devices are modified to optimize the monitoring of the tripping curves. The improvements of this new arrangement are presented by optimizing the reaction time of the devices against real faults.*

## Keywords

*Electrical protections, tripping curves, transformers, electric coordination software.*

## Introducción

De acuerdo con Aguirre (2008), un transformador se define como un dispositivo electromagnético que permite transformar la magnitud del voltaje, a través de inducción magnética. Se analiza el comportamiento de operación de una planta industrial de elaboración de cemento, a través de la recopilación de historiales de mediciones eléctricas, para interpretar cómo influyen los equipos de grandes dimensiones en la coordinación de protecciones. Se presentan los conceptos de un sistema eléctrico y los resultados de la recolección de datos históricos de los dispositivos de protección.

Utilizando métodos estadísticos para compilar y procesar los valores obtenidos, se muestran de forma coherente para interpretar el comportamiento del sistema eléctrico y sus equipos. Se examina la información con el software de computación especializado en protecciones eléctricas ETAP, para el análisis gráfico de la información, donde se presenta de forma más puntual. Se indica un incremento en la eficiencia energética al mejorar la coordinación de curvas de disparo actual. Con esto se disminuyen los tiempos de arranque del proceso y la necesidad de trabajar en períodos donde el costo de energía es superior para cumplir plazos de entrega según Lejarraga (2008).

## Desarrollo del estudio

El sistema consiste en tres transformadores de similar capacidad que dan energía a la planta de producción de cemento. La carga de cada transformador es similar y puede ser conmutada de uno hacia otro. Por dicha razón las protecciones eléctricas deben asimilar la carga nominal como también cargas especiales que puedan ser agregadas en un tiempo determinado. Cada transformador tiene un equipo de protección que monitorea sobre corrientes en el lado primario y secundario de los devanados, de marca General Electric Multilin 745, que abren un interruptor de alta tensión que desconecta el transformador de la red. Los interruptores del lado de baja tensión poseen un equipo de protección de marca General Electric Multilin 750, que monitorea

la corriente circulante a la carga. Los tres transformadores son trifásicos de 22.4 MVA inmersos en aceite y refrigeración con aire forzado, manejan un voltaje de transformación de  $669 \pm 2.5 \% / 4.16y \pm 0.625 \% \text{ kV}$ , según la capacidad de los transformadores se ubican en categoría III. La corriente máxima nominal que se recomienda para el manejo de los transformadores es de 3,200 amperios para conservar la integridad. Por tanto, este valor es el máximo a tomar como operacional y un máximo de 3,700 amperios por un tiempo de 2 segundos, según lo recomendado por las ecuaciones de la curva ANSI. (Mendoza Ventura, 2009).

Los valores eléctricos de corriente de los transformadores se resumen en la Tabla I, los cuales se recopilan durante un mes. recomendado por las ecuaciones de la curva ANSI. (Mendoza Ventura, 2009, p 45)

Tabla I. *Valores eléctricos de operación de transformadores.*

Operación	Variable	Transformador		
		1	2	3
Nominal de dos cargas conmutadas	Corriente Promedio (A)	2940	3020	3012
Falla	Corriente máxima (A)	3325	3580	3489
Arranque de equipos	Corriente máxima (A)	589	560	535

Según García (2000), se puede decir que se encuentra en estado estable si las variables eléctricas del sistema permanecen constantes con el tiempo y en un rango de valores aceptable. Mediante la utilización del software para coordinación de protecciones eléctricas ETAP, se analizan los parámetros de configuración actual. El monitoreo del lado de alta tensión de los transformadores se encuentra con diferentes parámetros entre ellos. Se tiene un disparo por sobre corriente en un rango entre 250 y 300 amperios. Los tiempos de reacción del disparo tienen una demora de entre 56 a 196 segundos.

## Resultados obtenidos

Los parámetros de los dispositivos de protección se modifican de tal forma que puedan compartir similares valores de disparo, tomando en cuenta sus transformadores de medición de distintas capacidades. Se añade a las configuraciones de sobre corriente “P” disparos instantáneos de corrientes de grandes magnitudes y cortos tiempos, protegiendo a los equipos de calentamientos y deterioro de aislamientos. Se visualiza la tendencia en las curvas de disparo en la figura 1, que asegura la protección de los embobinados primarios y secundarios de los transformadores.

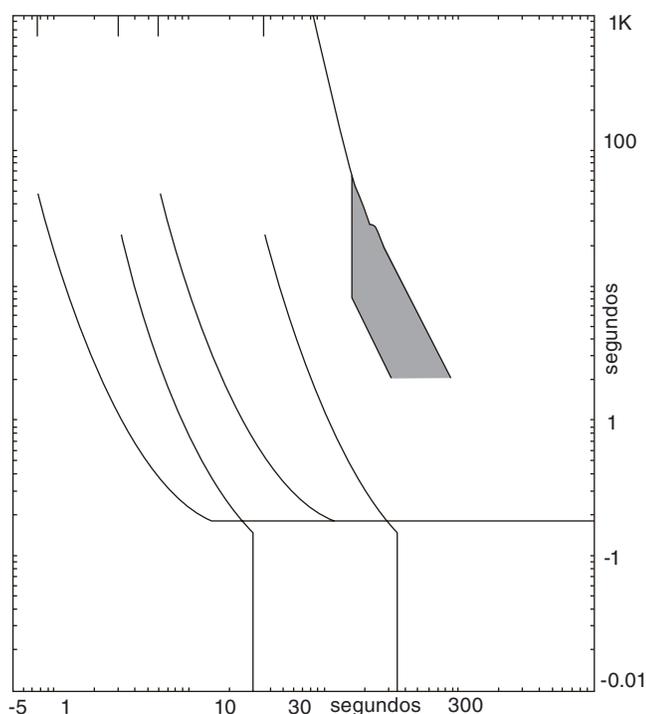


Figura 1. Curva de protección final.

Se asegura la operación nominal de la carga con valores de disparo que permiten el arranque de motores de gran magnitud sin superar los valores de disparo. Al comparar las curvas de disparo con la curva destructiva de los transformadores, se observa que existe un rango óptimo que asegura el funcionamiento sin ningún riesgo de fallas eléctricas o mecánicas.

## Discusión de resultados

Realizando una coordinación de protecciones eléctricas se elabora un conjunto de curvas de disparo. Anteriormente no estaban estandarizadas entre sí y no había certeza en el accionamiento correcto de todas las protecciones ante una falla real en el sistema eléctrico.

Usando como referencia los valores nominales de operación y arranques de equipos se estandariza un punto máximo para las condiciones de los transformadores que permite asegurar su integridad. Esta coordinación es aceptable para las condiciones actuales en la planta de cemento, de existir una modificación en la operación de equipos o maniobrabilidad de los transformadores, se requiere hacer un nuevo monitoreo de valores eléctricos por un tiempo prudente para realizar nuevamente una coordinación de las protecciones.

Con una reducción de paros de producción por accionamiento incorrecto de las protecciones, se eliminan aproximadamente 2 horas de operación sin producción de cemento, debido al reinicio del proceso y calentamiento de equipos. Esto representa en promedio un ahorro energético de 10,000 kWh improductivos, que según estudios ambientales, reducen toneladas métricas de CO<sub>2</sub> al ambiente.

## Conclusiones

1. Entre los principales factores técnicos identificados para la modificación de parámetros de las protecciones eléctricas, se encuentran los transformadores de medición de corriente y voltaje, valores máximos de corriente de operación de los transformadores de potencia, medida de monitoreo, tipo de curva y tiempo de respuesta.
2. Comparando los equipos de protección se determina que se emplean dos tipos, uno dedicado al monitoreo de alta y baja tensión del transformador y otro a la carga en baja tensión. Los transformadores de potencia tienen similares capacidades, por lo tanto, se toma un valor promedio de corriente máxima operativa y de

máxima instantánea.

3. Se modifican los parámetros de los equipos para establecer una curva de disparo extremadamente inversa con tiempos de retardo entre 1.5 y 3 segundos con referencia a los valores máximos de operación.

### Recomendaciones

1. Actualizar periódicamente el software para incluir nuevas librerías de equipos recientes, mejoras en las exactitudes de las curvas de protección y calibraciones de los equipos.
2. Revisar de forma periódica las protecciones eléctricas de las instalaciones.
3. Aplicar las bases de este trabajo en industrias que sean afectadas por problemas en protecciones eléctricas por desbalance de cargas, equipos de grandes dimensiones o falta de actualización de parámetros en sus equipos de protección.
4. El estudio tiene relevancia para tener protecciones adecuadas que prevengan el paro incorrecto de equipos en la industria y aumento de costo de productos elaborados.

### Referencias bibliográficas

- Aguirre Cárdenas, C. W. (2008). Estudios eléctricos de sistemas de potencia para la carrera de ingeniería eléctrica utilizando el software Power Factory 13.1 de DlgSilent. Quito, Perú: Escuela Politécnica Nacional. p. 1, 71, 72, 290, 303
- García González, H. (2000). Protección contra sobretensiones de una subestación eléctrica en 400KV localizada en la planta de HYLISA. Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. p. 7, 16, 20
- Lejarraga, A. B. (2008). Minimización de los efectos de las perturbaciones eléctricas en los procesos industriales. Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas, Master en el sector

eléctrico. p. 37, 45, 79, 83, 85, 90

- Mendoza Ventura, J. A. (2009). Coordinación de protecciones de sobre corriente de la subestación eléctrica de la planta industrial Kimberly Clark. Morelia, Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería. p.45

### Información del autor

Ingeniero Mecánico Eléctrico, Orlando José Paez Rodríguez, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013.

Maestro en Artes en Energía y Ambiente egresado de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Afiliación laboral: ECONOVA, Cementos Progreso, Guatemala, S.A.