

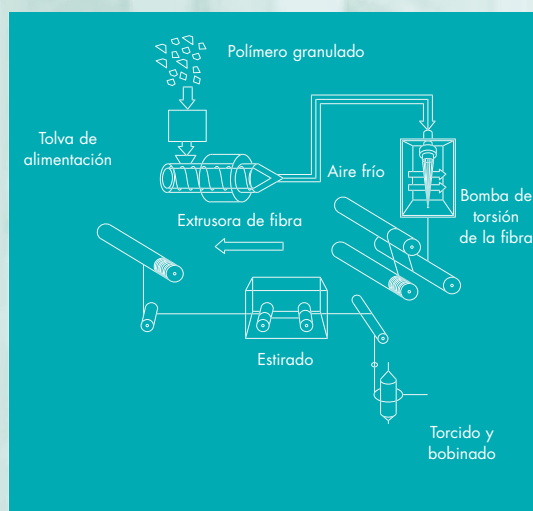
Guía de Calidad de la Energía Eléctrica



Perturbaciones de Tensión

5.5.1

Bajadas de Tensión en los Procesos Continuos. Estudio de un Caso



Perturbaciones de Tensión

Bajadas de Tensión en los Procesos Continuos

Estudio de un Caso

Dipl-Ing Marcel Didden
Katholieke Universiteit Leuven
Junio 2003



Esta Guía ha sido publicada como parte de la Iniciativa Leonardo para la Calidad de la Energía Eléctrica (LPQI), un programa europeo de formación y educación respaldado por la Comisión Europea (dentro del Programa Leonardo da Vinci) y la International Copper Association. Para más información sobre LPQI visite www.lpqi.org.



Centro Español de Información del Cobre (CEDIC)

CEDIC es una asociación privada sin fines de lucro que integra la práctica totalidad de las empresas fundidoras-refinadoras y semitransformadoras de cobre y de sus aleaciones en España. Su objetivo es promover el uso correcto y eficaz del cobre y sus aleaciones en los distintos subsectores de aplicación, mediante la compilación, producción y difusión de información.



European Copper Institute (ECI)

El European Copper Institute (ECI) es un proyecto conjunto formado por ICA (International Copper Association) y los miembros del IWCC (International Wrought Copper Council). Por medio de sus socios, ECI actúa en nombre de los principales productores mundiales de cobre y fabricantes europeos promoviendo la utilización del cobre en Europa. Fundado en Enero de 1996, ECI está respaldado por una red de diez Centros de Promoción del Cobre en Alemania, Benelux, Escandinavia, España, Francia, Grecia, Hungría, Italia, Polonia y Reino Unido. ECI continúa los esfuerzos inicialmente emprendidos por la Copper Products Development Association, fundada en 1959, e INCRA (International Copper Research Association) fundada en 1961.

Limitación de Responsabilidad

El contenido de este proyecto no refleja necesariamente la posición de la Comunidad Europea, y tampoco implica ninguna responsabilidad por parte de la Comunidad Europea.

El European Copper Institute, KU Leuven, la Copper Development Association UK y el Centro Español de Información del Cobre (CEDIC) rechazan cualquier responsabilidad por cualquier daño directo, indirecto, consecuencial o incidental que pueda resultar del uso de la información, o de la incapacidad de usar la información o los datos contenidos en esta publicación.

Copyright©European Copper Institute, KU Leuven y Copper Development Association UK.

Su reproducción está autorizada siempre que el material sea íntegro y se reconozca la fuente.

La LPQI es promovida en España por los miembros nacionales asociados al programa:



ETSII-UPM

FLUKE®

Fluke Ibérica, S.L.

M G E
UPS SYSTEMS

MGE UPS SYSTEMS
ESPAÑA, S.A.

PIRELLI

Pirelli Cables y Sistemas, s.a.

Pirelli Cables y Sistemas

r&p

Roberts & Partners

Bajadas de Tensión en los Procesos Continuos – Estudio de un Caso

Introducción

En esta sección se describe el estudio de un caso de bajadas de tensión que se ha presentado en Bélgica. Uno de los procesos industriales bien conocido, por su sensibilidad, es la extrusión de plásticos en la industria textil. En este proceso se funde el granulado de plástico, transformándose en filamentos, que finalmente se arrollan en carretes. Las fibras pueden utilizarse, por ejemplo, para fabricar alfombras. Bélgica es el primer exportador de alfombras del mundo y el segundo mayor productor, después de los EE.UU.

Con objeto de tener una idea clara de la importancia del problema de las bajadas de tensión en las empresas de extrusión belgas, se realizó un estudio entre nueve usuarios de este proceso. En este estudio se encontró que el número medio anual de cortes de la producción causadas por las bajadas de tensión era de cuatro. Se efectuó una auditoría exhaustiva en una de estas compañías. En el análisis del problema se describen los siguientes tres temas:

- ♦ el proceso de producción
- ♦ las pérdidas financieras debidas a una parada forzosa de la producción y la configuración de la red eléctrica.
- ♦ posibles soluciones para mitigar los daños, consideradas desde puntos de vista tanto técnicos como económicos.

Análisis de problema

La compañía examinó tres procesos sensibles a los bajadas de tensión: Trefilado continuo en masa (BCF), Trefilado continuo (CF) y Termofijación. En este documento se contempla el comportamiento del proceso BCF (Bulk Continuous Filament).

El proceso de producción

La Figura 1 muestra las principales etapas de una línea de extrusión BCF, que produce fibra textil a partir de granulado de polímero. Pueden distinguirse los pasos siguientes:

- ♦ La *extrusora* funde el granulado para formar una masa homogénea deformable
- ♦ La sustancia homogénea es impulsada hacia una hilera que contiene pequeños orificios (denominada *bomba de torsión*), de manera que se obtiene una fibra (*tornillo de fusión*)
- ♦ Por último, la fibra se *estira*, *retuerce* y se arrolla en bobinas.

Para ejecutar cada uno de los procesos anteriores, es necesario usar diferentes impulsores.

Tan solo observando las especificaciones de los impulsores y comunicándonos con los fabricantes, ya podemos sacar alguna conclusión interesante. Todos los impulsores que se utilizan en la empresa textil elegida proceden de diferentes fabricantes y tienen sus propias características de inmunidad frente a las bajadas de tensión. En general, este nivel de inmunidad

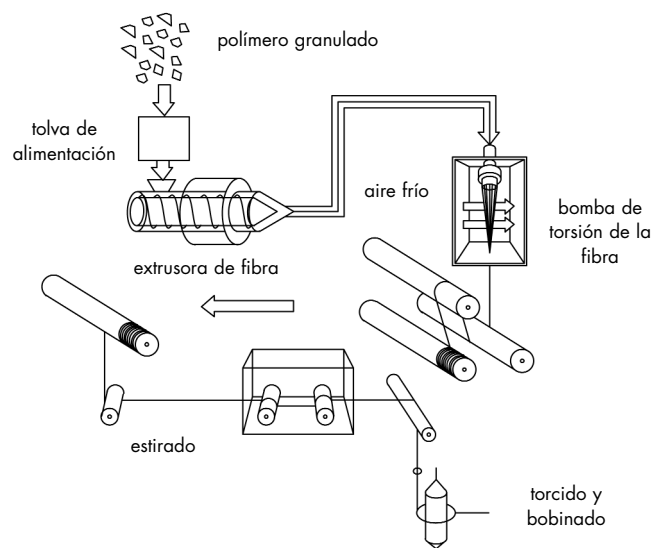


Figura 1 - Proceso de extrusión de fibras textiles

Bajadas de Tensión en los Procesos Continuos

no supera de forma importante el nivel de compatibilidad del 90% (tensión residual) establecido en la normativa EN 50160 (UNE-EN 50160).

Si uno de los componentes se desconecta a causa de una bajada de tensión, todo el proceso se detiene. Esto implica que el eslabón más débil determina el comportamiento de toda la cadena de producción con relación a las bajadas de tensión, y que todos los componentes deben investigarse por separado.

Los fabricantes de máquinas de extrusión textil ofrecen también líneas de productos con una inmunidad específica contra las bajadas de tensión. No hemos analizado esta opción en detalle, ya que este estudio concreto se realizó en una línea de producción ya existente.

El primer componente, la extrusora, se impulsa mediante un motor de c.c. El motor está equipado con un control de velocidad variable analógico. Con objeto de proteger los dispositivos electrónicos de potencia en el impulsor, la protección contra tensiones bajas se ajusta a un nivel muy sensible. Bloqueará todo el proceso siempre que registre una bajada de tensión del 20% o más en una o más fases.

Las bombas de rotación están dotadas de un impulsor de velocidad variable. La protección contra caídas de tensión de estos impulsores bloqueará el proceso si la tensión del bus de c.c. desciende un 15%. La referencia [4] muestra que estos dispositivos son siempre sensible a bajadas de tensión trifásicas y, a veces, a bajadas de una o dos fases.

El estirado, la deformación y el bobinado se realiza por medio de impulsores de velocidad variable, que se alimentan desde un bus de c.c. común. Estos impulsores están equipados con protección cinética: los motores actúan como un generador durante la bajada de tensión y suministran energía al bus de c.c.

La conclusión es que tanto el impulsor de la extrusora como el impulsor de la bomba de torsión deben tenerse en cuenta a la hora de analizar los métodos de mitigación.

Otros dos posibles puntos de preocupación son el control del aire del proceso y el control de los procesos electrónicos. Nuestra investigación mostrará que no es necesario estudiar esto con más detalle.

Daños económicos

Inmediatamente después de que una bajada de tensión detiene el proceso, los operarios comienzan a restablecer las líneas de producción sucesivamente. Dependiendo del número de líneas de producción (normalmente de 10 a 20), todo el proceso se reanuda al cabo de entre dos y cuatro horas. Esto significa que la pérdida de producción media es de entre una y dos horas. No existe disminución en el uso de materias primas durante estas cuatro horas, ya que la extrusora en sí se arrancará justo después del pico. Si la extrusora no arrancara de inmediato y se permitiese que el material fundido permaneciera en la misma, ardería al recalentarse y las partículas quemadas saldrán de la

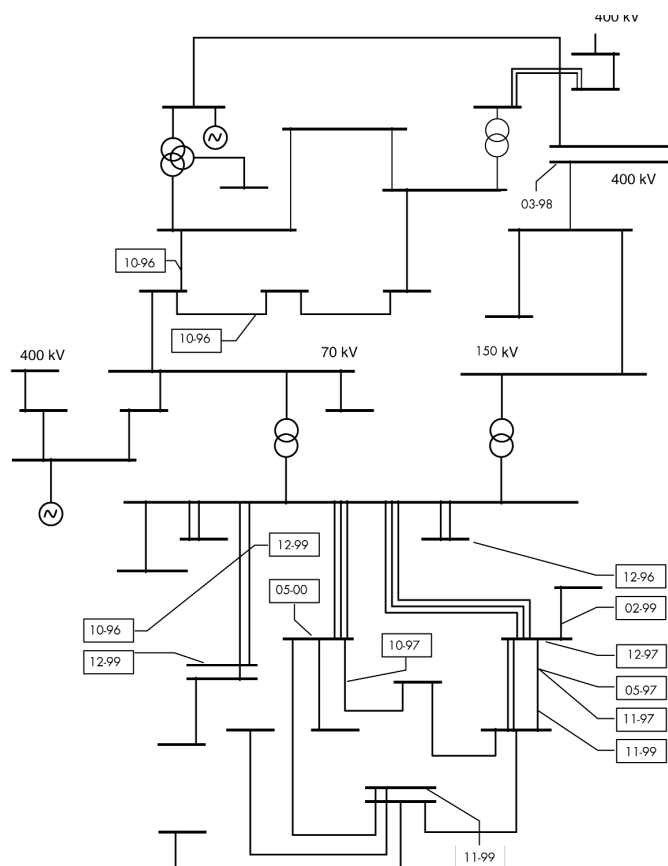


Figura 2 - Diagrama unifilar de la red eléctrica
(Los recuadros muestran el origen y fecha de los fallos)

extrusionadora gradualmente, durante un periodo de varios días, con el resultado de un producto de baja calidad. El coste de esta combustión sería, por tanto, mucho mayor que si se elimina el exceso de polipropileno tras la extrusión. Asimismo, el propio personal limpia él mismo los dispositivos, con lo que el coste de mano de obra ni disminuye ni aumenta.

Un factor importante que influye en las pérdidas económicas sería el caso de que la producción de la fábrica fuese continua o no. En una producción continua, como la que utiliza esta empresa, la pérdida de producción durante el tiempo de parada no puede recuperarse trabajando horas extra, con lo que la pérdida de producción se traduce directamente en pérdida de beneficios —es decir, la pérdida es igual al valor del producto no producido como resultado del tiempo de parada. En un proceso no continuo, la producción perdida puede recuperarse trabajando más horas, aunque pueden muy bien producirse costes laborales adicionales.

Red de electricidad y origen de los daños

La Figura 2 muestra la red eléctrica en las proximidades de la empresa de extrusión investigada.

La red se basa en las tres conexiones a la red general de 400 kV (indicada por líneas de rayas). Las etiquetas muestran la ubicación y las fechas (mes/año) de los fallos que han producido una interrupción del proceso durante el periodo analizado de 3,5 años. Puede observarse que los fallos en la red de distribución de 15 kV son los que han provocado la mayoría de las paradas del proceso. Un registrador de bajadas de tensión instalado en la entrada eléctrica de la empresa de extrusión muestra que la mayor parte de las perturbaciones son averías trifásicas. Comparando las interrupciones del proceso con los datos del registro, se ve que los equipos no son vulnerables a fallos trifásicos que provoquen descensos con una tensión residual superior al 84%. Si observamos las especificaciones de producto de los componentes, sacamos la conclusión de que los impulsores de velocidad variable son sin duda las partes débiles del proceso. Una de las posibles explicaciones para la elevada aparición de averías trifásicas es el trabajo de excavación para construir en un terreno contiguo.

Área de vulnerabilidad

El concepto de “área de vulnerabilidad” (p.ej. [5]) se usa para visualizar la tensión residual en la compañía de extrusión, a causa de un cortocircuito trifásico en algún punto de la red. La Figura 3 muestra esta área de vulnerabilidad para cortocircuitos trifásicos

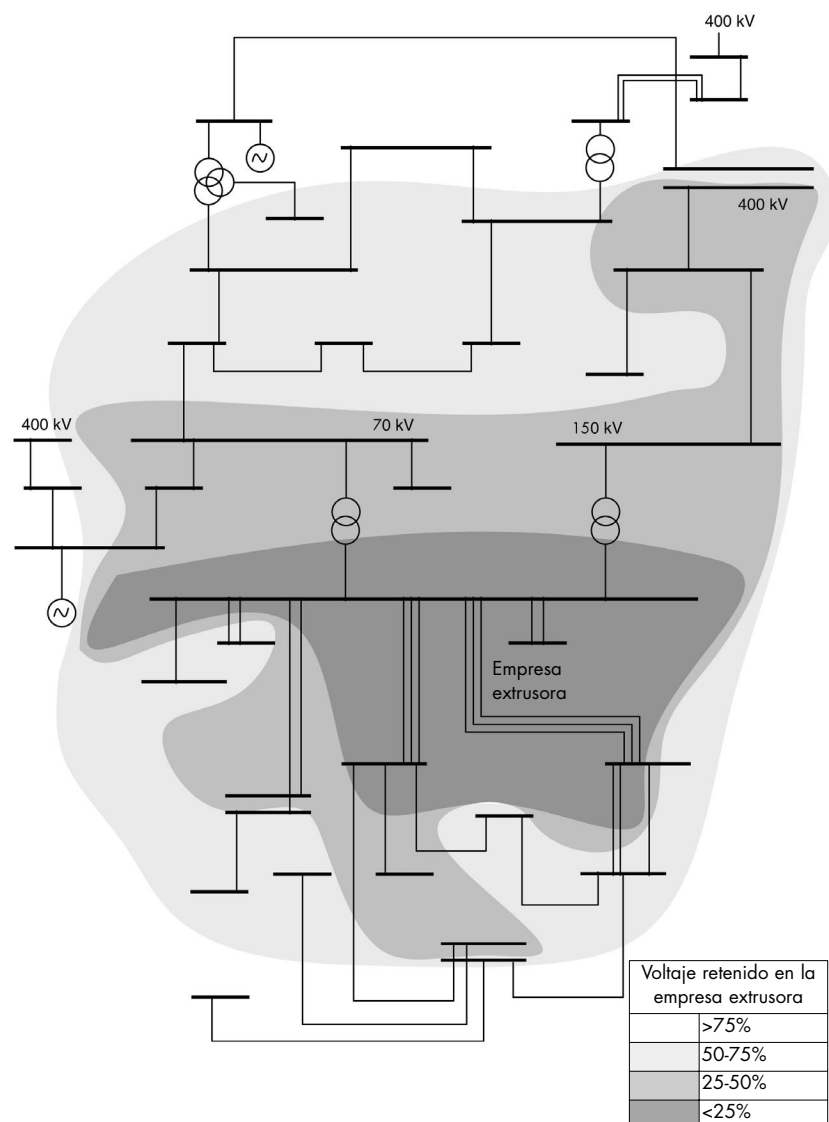


Figura 3 - Área de vulnerabilidad

simétricos. Debido a que son estos fallos los que causan la mayoría de las interrupciones del proceso, no tenemos que usar una clasificación sofisticada de los picos de tensión, según se describe en [1]. Por ejemplo: un cable o una barra de bus en esta red, situada en el área gris del 50-75%, indica que un cortocircuito trifásico en este cable o en esta barra de bus provocará un pico de tensión en la compañía de extrusión, con una tensión residual del 50-75%.

Como los impulsores de las extrusoras y los impulsores de las bombas de torsión son vulnerables a los cortocircuitos, con una tensión residual inferior al 75%, podemos concluir que una gran parte de la red de distribución está situada en el área de vulnerabilidad de la compañía de extrusión. Esto debe tenerse en cuenta a la hora de investigar métodos de mitigación.

Métodos de mitigación

Cuando analizamos los métodos de mitigación, hacemos referencia al diagrama de bloques presentado en [5] (Figura 4).

Las cuatro posibilidades en esta figura se analizan en las siguientes secciones.

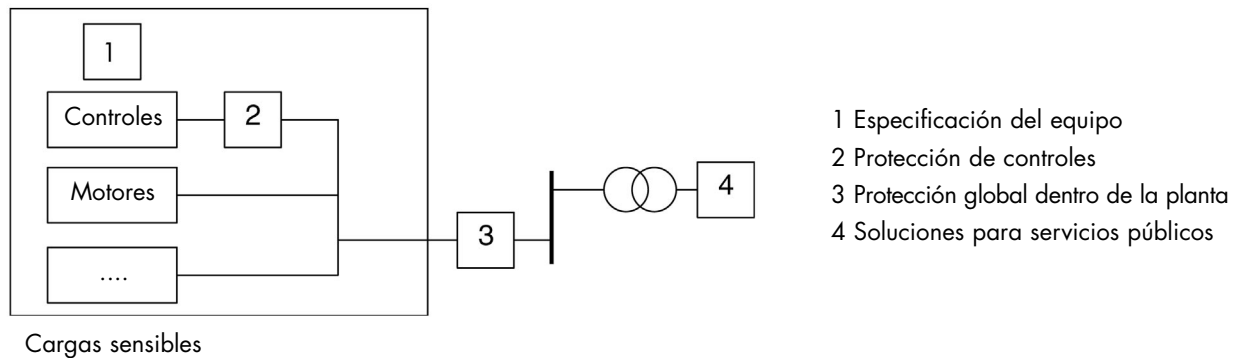


Figura 4 - Soluciones para reducir las pérdidas económicas causadas por bajadas de tensión

Especificaciones de los equipos/protección de los controles

Antes de modificar los equipos, es importante hacer un inventario de todas las partes del proceso que son vulnerables a las bajadas de tensión. El hecho de que un equipo se desconecte primero, no indica que todos los otros dispositivos sean inmunes a los picos, y existe un riesgo elevado de que algún otro equipo pueda desconectarse una vez que se haya protegido la pieza más delicada. Del párrafo anterior deducimos que ciertamente tenemos que analizar los impulsores tanto de las extrusoras como de las bombas de torsión. Tenemos que ser conscientes de que si protegemos solamente estos impulsores, no garantizamos una reducción significativa en el número de interrupciones debidas a bajadas de tensión, ya que otras partes de la instalación pueden convertirse en el enlace más débil.

Tras ponernos en contacto con el fabricante del impulsor de la bomba de rotación, hemos sabido que no es posible alterar este impulsor, ya que se trata de un diseño analógico y un cambio de características tales como ajustes en la protección requiere cambios en el hardware. Debido al hecho de que el bus c.c. de los impulsores de velocidad variable no es accesible desde el exterior, no es posible utilizar este bus, por ejemplo con un convertidor de impulsión [6] o un paso de guía activo [7]. Además de esto, hemos recibido información de manos del fabricante de la totalidad de la línea de extrusión, de que el impulsor no puede sustituirse por otro debido a conflictos de software. Por ello concluye que seguir investigando en este campo no tiene ninguna finalidad.

Protección dentro de la planta

Se han investigado varios posibles métodos para proteger el sistema, por entero o parcialmente. Todo el sistema tiene una potencia aparente de 1.625 kVA. Como 955 kVA son solamente para fines de calentamiento, también hemos investigado la protección del proceso que impulsa el sistema. Si sólo se protege parte del sistema, debe instalarse un conmutador estático adicional, y así se obtiene la topología de la Figura 5.

Primero hemos investigado el uso de un Suministro Continuo de Energía (UPS) en forma de un volante con un motor diesel.

En segundo lugar hemos investigado otros sistemas que sólo protegen contra picos de tensión, pero no contra perturbaciones. Ejemplos de estos sistemas son:

- ◆ *Restaurador de Tensión Dinámico (DVR)*: un DVR sólo añade la tensión que falta a la tensión de la red (p.ej. [8]).
- ◆ *DySC*: un DySC es un dispositivo electrónico de potencia que contiene un corrector de bajadas de tensión en serie y un convertidor en derivación, que proporcionan inmunidad contra las bajadas de tensión con una tensión residual mínima del 50% y 2 s, que cubre el 92% de las bajadas de tensión de los que se ha informado en un amplio estudio patrocinado por EPRI [3].
- ◆ *Volante*: un volante sin un generador diesel adosado protege los equipos contra todas las bajadas de tensión, mientras la inercia del volante pueda soportar la carga. La mayoría de los volantes pueden alimentar la carga nominal durante 3-15 s, lo que es suficiente para proteger contra todos las bajadas de tensión de corta duración, pero no contra cortes de suministro.

Los precios de adquisición de los equipos de mitigación citados no son muy diferentes. Sin embargo, es necesario tener en cuenta los costes de mantenimiento anuales y las pérdidas por paradas y, en ese caso, el DySC tiene el coste más bajo. Teniendo en cuenta que todas las bajadas de tensión registradas tenían una tensión residual que superaba el 50%, podemos concluir que todos los sistemas antes mencionados habrían protegido el proceso contra estas incidencias.

También hemos investigado el uso de dispositivos UPS separados para todos los impulsores. Ha demostrado ser mucho más caro que las otras opciones, a causa de la gran cantidad de dispositivos electrónicos de potencia requeridos.

Solución para servicios públicos: cambios en la red eléctrica

Las perturbaciones en el proceso también pueden evitarse mediante la modificación de la red pública de la zona. Hemos examinado dos posibilidades:

- ◆ adición de un generador de 10 MW
- ◆ restructuración de la configuración de la red.

La adición de un generador mantiene la tensión remanente con:

$$\Delta U = \frac{S_g}{S_k} \cdot \cos(\alpha - \theta) \cdot 100 \quad [9]$$

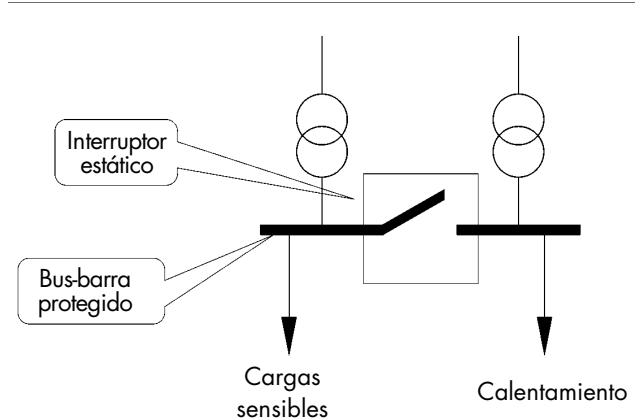


Figura 5 - Protección parcial del proceso

Bajadas de Tensión en los Procesos Continuos

en donde:

ΔU es el aumento de tensión en % de la tensión nominal de la línea

S_g es la potencia nominal del generador

S_k es la potencia de cortocircuito

α es el ángulo de fase de la impedancia de cortocircuito

$\varnothing$ es el ángulo de fase de la corriente del generador.

Una segunda opción es cambiar la conexión de red. En esta opción, la empresa estaría conectada a otro alimentador, separado de la vecindad.

Ambas posibilidades se visualizan en la Figura 6.

Comparando la Figura 3 con la Figura 6a, puede concluirse claramente que la adición de un generador de 10 MW no ayuda mucho. Sin embargo, la reestructuración de la red (Figura 6b) altera el área de vulnerabilidad, garantizando que allí no se producirán más daños, a causa de las bajadas de tensión en el sistema de distribución a 15 kV. Una ventaja adicional es el hecho de que esta reestructuración no sólo protegerá el proceso BCE, sino también los otros dos procesos ya citados anteriormente (CF y Termofijación).

Si la compañía suministradora tuviera que hacer adaptaciones de la red por otros motivos, sólo el coste adicional de separar las dos barras de bus sería facturado a la empresa extrusora.

Análisis económico

Una vez comparadas las distintas opciones, deberán tenerse en cuenta dos elementos de coste:

- ♦ el coste de las pérdidas atribuibles a las bajadas de tensión, recordando que incluso tras tomar medidas de protección, seguirán permaneciendo algunos riesgos, si bien más reducidos
- ♦ el coste de las medidas de protección.

El hecho de si una solución se considera, o no, que tiene una buena relación coste-eficacia depende también del criterio económico utilizado para evaluar la solución. Esto se ampliará en la Sección 2 de esta Guía. Para este estudio se ha utilizado el Valor Actual Neto, con una Tasa de Retorno prevista del 15% y una vida útil de los equipos de 10 años.

Cuando se calcula el coste total de las opciones descritas, se obtienen los resultados listados en la Tabla 1, en la que el coste de las pérdidas antes de la mitigación se normaliza a 100.

Los restantes costes de PQ de la variante 'A' pueden explicarse mediante los tres fallos en la red de transmisión (Figura 2). Los costes restantes de PQ de las variantes 'B' a 'E' son los costes de procesos CF y termofijación que no están protegidos.

La Figura 7 muestra que sólo la opción en la que la red se reestructura es económicamente atractiva con el criterio económico utilizado.

Aunque algunas compañías consideran que un horizonte de proyecto de 10 años para una inversión de este tipo es muy largo, esta empresa decidió realizar la inversión. Argumentaron que algunos costes indirectos u ocultos, que son muy difíciles de estimar, no se tienen en cuenta en este cálculo. Estos costes incluyen, por ejemplo, el descontento de los trabajadores por las interrupciones causadas por las bajadas de tensión y un envejecimiento más rápido de las máquinas.

Bajadas de Tensión en los Procesos Continuos

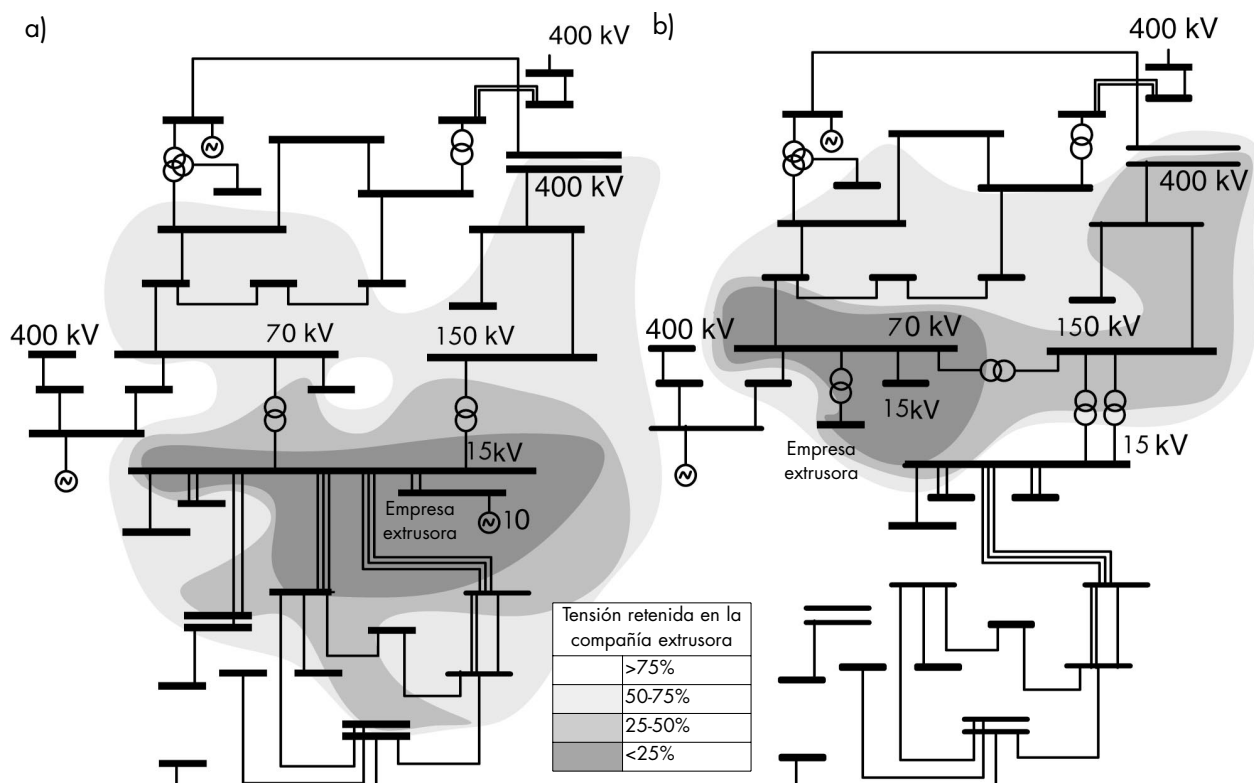


Figura 6 - Área de vulnerabilidad

- a) Añadiendo un generador de 10 MW
b) Cambiando la estructura de la red

	Solución	Coste de la interrupción (%)	Coste de la mitigación ¹	Coste total
Ahora	Situación actual	100	0	100
A	Reestructuración	26	62	88
B	UPS en BCF completo (1.625 kVA)	60	303	363
C	PS en partes de BCF (670 kVA)	60	152	212
D	DySC en BCF completo (1.625 kVA)	60	109	169
E	DySC en partes de BCF (670 kVA)	60	87	147

Tabla 1 - Comparación de las diferentes opciones de mitigación (el coste antes de la mitigación es el 100%)

Para ilustrar que el resultado del estudio de un caso de bajadas de tensión depende mucho de la ubicación, la Figura 8 muestra el estudio de otro caso en una planta de extrusión de plásticos, realizado por Electrotek Concepts [2]. En este caso, en el que las interrupciones anuales del proceso se acercaron a 15, no fue posible reestructurar la red. Aquí, la solución más barata resultó ser proteger los controles de las máquinas y las bobinadoras.

¹ Estos costes incluyen los costes de mantenimiento y parada, considerando un 5% anual del precio de compra en el caso de UPS y del 1% para DySC

Bajadas de Tensión en los Procesos Continuos

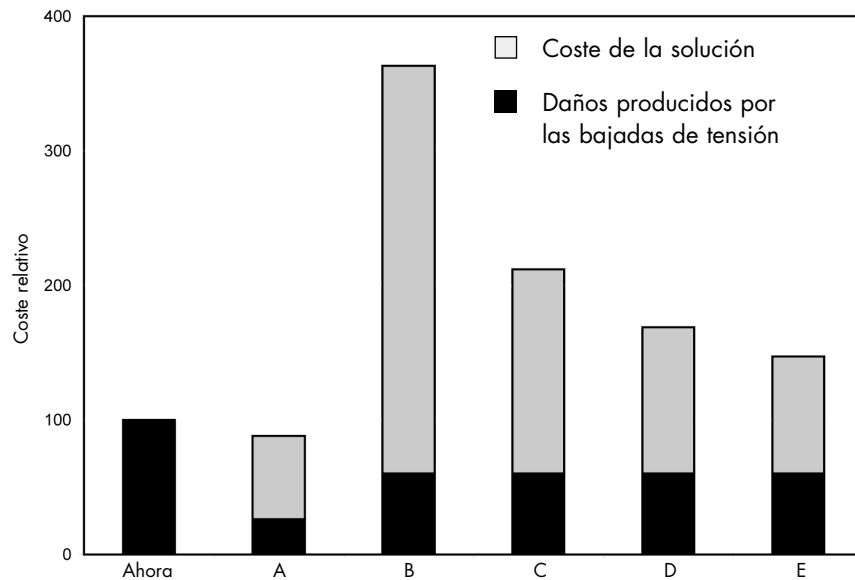


Figura 7 - Coste total para distintas opciones de un proceso de extrusión textil en Bélgica
Costes expresados en % del caso en base "ahora". Para definiciones de la A a la E, ver tabla 1.

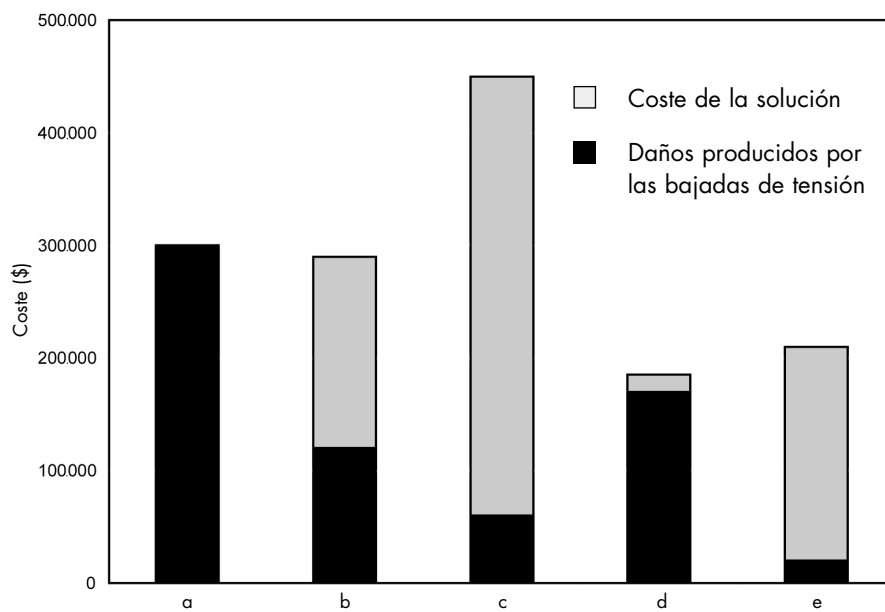


Figura 8 - Costes totales para distintas opciones en el caso estudiado por Electrotek

- | | |
|---|--|
| a) Caso base - sin cambios | b) Conmutador estático primario |
| c) Almacenamiento de energía para entrada de servicios (2 MVA) | d) Protección de controles de máquinas y bobinadoras |
| e) Interruptores estáticos combinados con protección de controles | |

Conclusión

Basándose en el estudio del caso de una planta textil belga, esta sección proporciona directrices sobre cómo realizar un estudio de un caso de bajadas de tensión. Debe recogerse información sobre el proceso de producción, su inmunidad frente a las bajadas de tensión, las pérdidas económicas debidas a una interrupción del proceso y datos sobre el número anual de sucesos. Si se reúne esta información, puede analizarse la posibilidad de reducir los costes de las perturbaciones. Estas posibilidades se clasifican en tres grupos:

- ♦ dentro del propio proceso
- ♦ entre el proceso y la red
- ♦ dentro de la red.

La inmunización entre el proceso y la red puede aplicarse en cualquier situación, cuando las posibilidades de inmunidad dentro del proceso o dentro de la red se hayan estudiado por separado en cada caso.

En nuestro estudio quedó demostrado que las opciones de inmunidad dentro del proceso no eran posibles. Las opciones de inmunidad entre el proceso y la red parecían ser excesivamente caras y una reestructuración de la red era la única opción viable económicamente. El estudio de un caso diferente de un proceso de extrusión de plásticos, realizado por Electrotek Concepts, mostró que la protección de los controles y de las bobinadoras era la solución con una mejor relación coste-eficacia.

A partir de los estudios de casos anteriores, y de las subsiguientes entrevistas con los fabricantes de máquinas de extrusión, hemos podido obtener algunas conclusiones adicionales interesantes:

- ♦ Los productos de serie de los fabricantes de máquinas de extrusión casi no presentan inmunidad contra las bajadas de tensión más allá de lo exigido legalmente por la normativa obligatoria.
- ♦ A veces es posible modernizar las líneas de extrusión textil tras su instalación. Para ello, recomendamos a los usuarios de máquinas de extrusión textil que se pongan en contacto con su suministrador de energía eléctrica o con el operador de la red, para informarse sobre el número y características de las bajadas de tensión que se han producido en los últimos años. En base a esta información, podrán instalar máquinas con inmunidad adecuada a las bajadas de tensión previstas, en lugar de comprar unas que tengan poca o ninguna tolerancia a las bajadas de tensión.

Referencias

- [1] D Dorr, M Hughes et al, 1997; *Interpreting recent power quality surveys to define the electrical environment*; IEEE transactions on industry applications vol. 33, no. 6 pp. 1480-1487.
- [2] M McGranaghan, C Melhorn, 1998; *Economics of different plant ride-through improvement solutions for power system problems*; The Machinery Reliability Conference, Charlotte, USA.
(<http://www.pqstore.com/supp/pdf/RideThroughImprovementSolutions.pdf>).
- [3] W Brumsickle, R Schneider et al. 2001; *Dynamic Sag Correctors: cost-effective industrial power line conditioning*; IEEE Transactions on Industry Applications, vol.37, no. 1, Jan/Feb 2001, pp.212-217.
- [4] R Epperly, F Hoadley, R Piefer, 1997; *Considerations when applying ASDs in continuous processes*, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.33, no. 2, March 1997, pp.389-396.
- [5] R Dugan, M McGranaghan, H Beaty, 1996; *Electrical Power Systems Quality*; McGraw-Hill, Knoxville, USA.
- [6] L Morgan, J Dougherty 2001; *Embedded energy solutions in CNC-Machines*, PQA 2001, Pittsburgh.
- [7] A Van Zyl, R Spee, A Faveluke, S Bhowmik, 1998; *Voltage sag ride-through for adjustable speed drives with active rectifiers*, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, no. 6, Nov/Dec.

- [8] M Bollen, 1999; *Understanding power quality problems, voltage sags and interruptions*; IEEE press series on power engineering, Piscataway, USA (ISBN 0-7803-4713-7).
- [9] VDEW, 1994; *Technische Richtlinie, 'Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Mittelspannungsnetz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens'*.

Socios Fundadores y de Referencia

European Copper Institute
(ECI)

Web: www.eurocopper.org

Akademia Gorniczo-Hutnicza
(AGH)

Web: www.agh.edu.pl

Centre d'Innovació Tecnològica en
Convertidors Estàtics i Accionaments
(CITCEA)

Web: www-citcea.upc.es

Comitato Elettrotecnico Italiano
(CEI)

Web: www.ceiuni.it

Copper Benelux

Web: www.copperbenelux.org

Copper Development Association
(CDA UK)

Web: www.cda.org.uk

Deutsches Kupferinstitut
(DKI)

Web: www.kupferinstitut.de

Engineering Consulting & Design
(ECD)

Web: www.ecd.it

Hochschule für Technik und Wirtschaft
(HTW)

Web: www.htw-saarland.de

Istituto Italiano del Rame
(IIR)

Web: www.iir.it

International Union of Electrotechnology
(UIE)

Web: www.uie.org

ISR - Universidade de Coimbra

Web: www.uc.pt

Katholieke Universiteit Leuven
(KU Leuven)

Web: www.kuleuven.ac.be

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros
Industriales (ETSII)

Web: www.etsii.upm.es

Polish Copper Promotion Centre
(PCPC)

Web: www.miedz.org.pl

Provinciale Industriële Hogeschool
(PIH)

Web: www.pih.be

Università di Bergamo

Web: www.unibg.it

University of Bath

Web: www.bath.ac.uk

University of Manchester Institute of Science
and Technology (UMIST)

Web: www.umist.ac.uk

Wroclaw University of Technology

Web: www.pwr.wroc.pl

Consejo Editorial

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Gregory Delaere	Lemcko	gregory.delaere@howest.be
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dipl-Ing Marcel Didden	KU Leuven	marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be
Dr Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczo-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Reiner Kreutzer	HTW	rkreutzer@htw-saarland.de
Prof Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Dr Jovica Milanovic	UMIST	jovica.milanovic@umist.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Andreas Sumper	CITCEA	sumper@citcea.upc.es
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl



Dipl-Ing Marcel Didden

KATHOLIEKE UNIVERSITEIT
LEUVEN

University of Leuven, Energy Institute
Celestijnenlaan 300a
3001 Heverlee
Belgium

Tel: 00 32 16 32 25 08
Fax: 00 32 16 32 29 85
Email: marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be
Web: www.kuleuven.ac.be

CIEDIC
CENTRO ESPAÑOL DE INFORMACIÓN DEL COBRE

Princesa, 79
28008 Madrid
Tel: 91 544 84 51
Fax: 91 544 88 84

European
COPPER
Institute

European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org