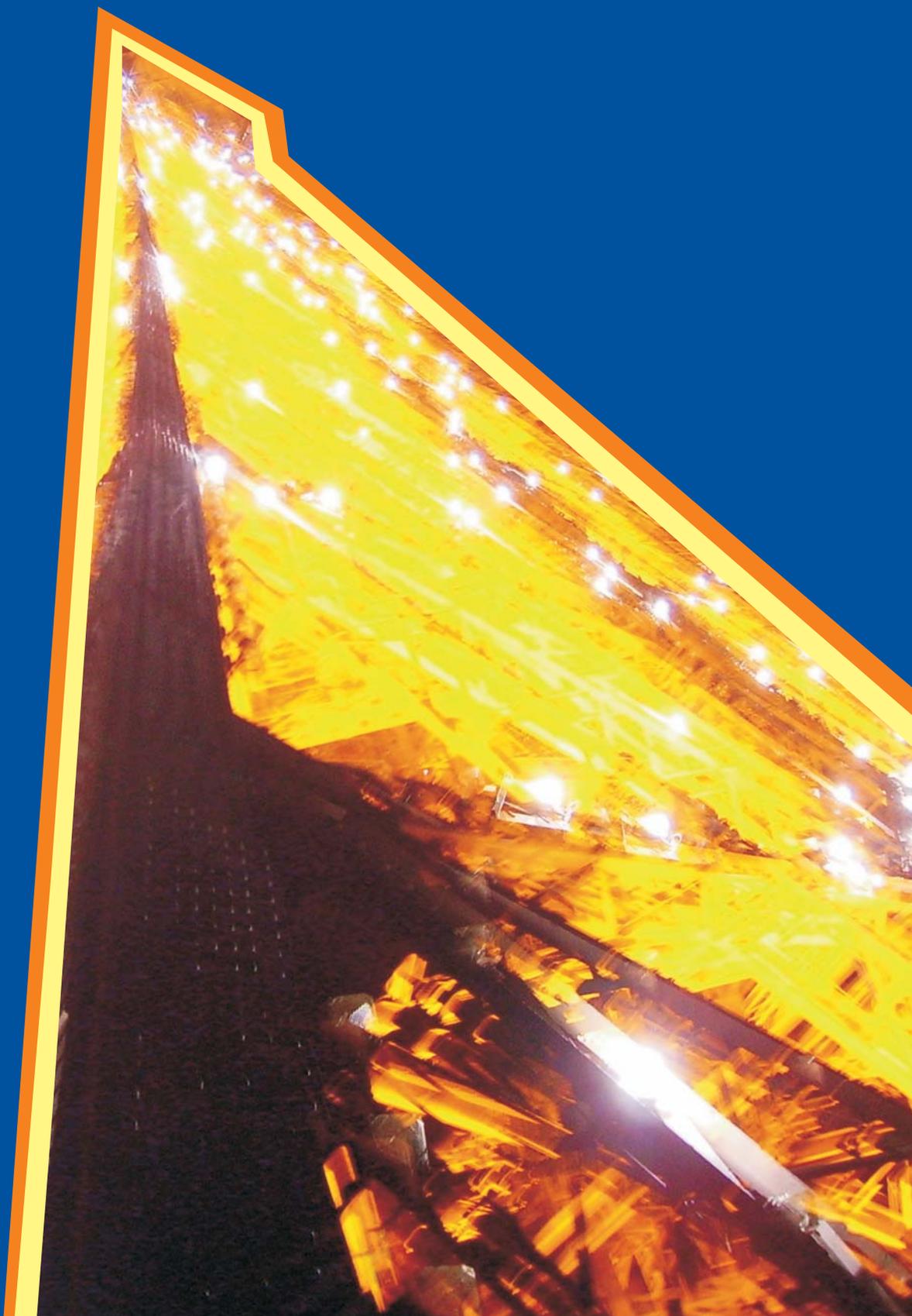


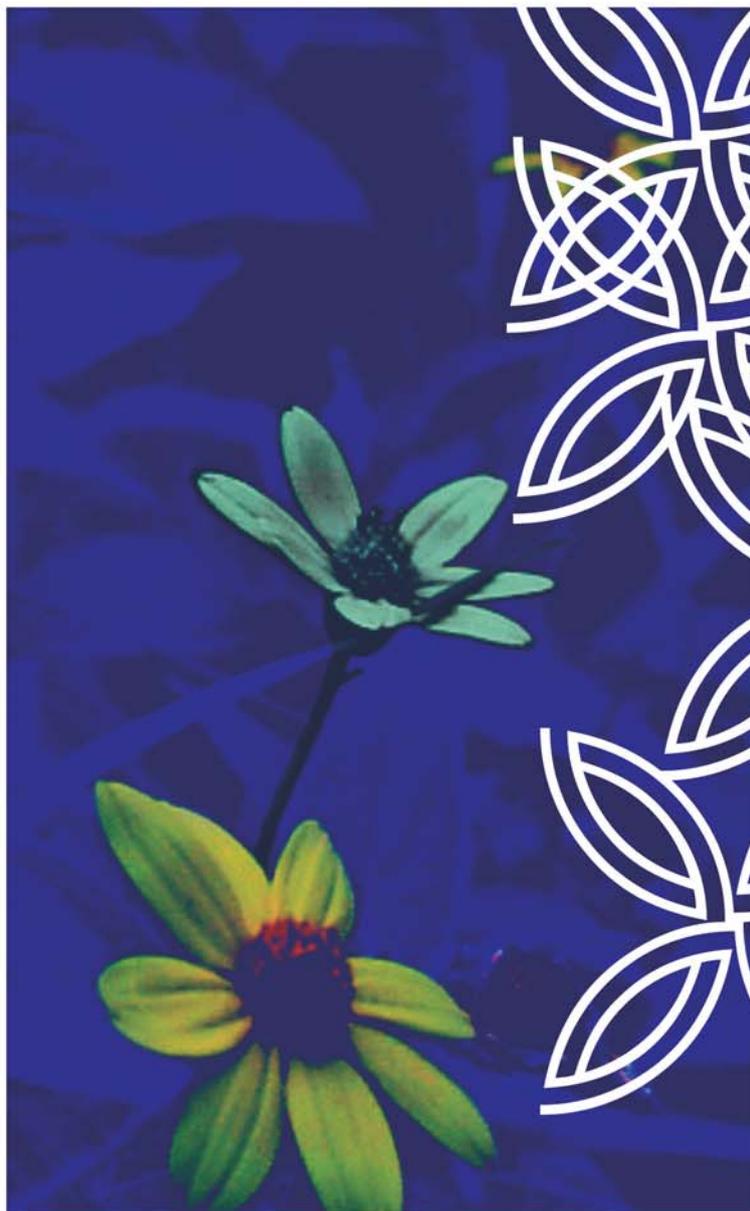
tono

Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A.





El sitio donde información, conocimiento y estilo se comparten



**Centro de
Información
Científico-Técnica
de ETECSA**

Vicepresidencia de Desarrollo y Tecnología

Teléfono: 266-8442 e-mail: carlota.fernandez@etecsa.cu
<http://www.cict.etecsa.cu/nuevaweb/default.asp>



Directora y Editora: Vilma Vidal García

Redacción Corrección: Ana Estela Montes Quintana

Diseño y Fotografía: Rogelio García Rodríguez

ISSN: 1813-5056

Impresión: Exclusivas Latinoamericanas ELA, SL.

S u m a r i o

Consultores Técnicos:

Ing. Maimir Mesa Ramos
Dr. Ing. Juan Boza Valerino
Dr. Orestes Hernández Areu
MsC. Carlota Fernández Falcón
Lic. Mayra Nodarse Nodarse
Lic. María Elena González Pérez de Morales

Centro de Información CONTÁCTENOS EN:

Centro de Información Científico-Técnica de ETECSA
Centro de Negocios Miramar, calle 3^{ra}, e/ 76 y 78,
Edificio Beijing, Piso 4, oficina 404.
Playa, Ciudad de La Habana, Cuba. C.P.: 11300
Teléfonos: (537) 266 8451, 266 8452.
Correos electrónicos: vilma.vidal@etecsa.cu,
anae.montes@etecsa.cu, tono@etecsa.cu

Portada

Foto de portada: Nelson Fernández Esperón



56 Control de sistemas de energía en centros de telecomunicaciones con autómatas programables
Rolando Chávez García y Rafael Millán Yero

62 Introducción sobre la Compatibilidad Electromagnética (CEM)
Ramón L. Vázquez Fonte y Onaldo Ramírez Matos

67 Fuente de alimentación con *flyback* empleando el circuito integrado *topswitch*
Julio E. Fajardo Oliva y Jesús Fornell Cires

73 Armónicas y Resonancia Paralelo
Jorge de los Reyes y Armando Llamas

78 El Rectificador como corrector del Factor de Potencia
Erasmus L. González Méndez y Evelio Amor Galano

85 Energía renovable y no renovable
Emilio Cabrera Fernández y Nicasio Echarte del Sol

90 Desafíos del sector de la energía como impulsor del desarrollo humano
Enrique Velo García

99 Humor a Tono: Denys San Jorge Rodríguez

100 Abreviaturas en este número

Las opiniones de los autores expresadas en los artículos reflejan sus puntos de vista, pero no necesariamente coinciden con los criterios del Grupo Editorial.

Control de sistemas de energía en centros de telecomunicaciones con autómatas programables
Autores: Rolando Chávez García y Rafael Millán Yero

Con este trabajo se pretende proponer la utilización adecuada del autómata C200HX, sustituyendo en la medida de las posibilidades el controlador UPI-LCD de los grupos electrógenos y el Mini-autómata Zelio-logic de los sistemas de climatización, pues presentan un elevado número de averías, su reparación es prácticamente imposible en talleres no especializados y tienen un costo elevadísimo en el mercado internacional. Además, se tendrá en cuenta la inclusión de las funciones que realiza actualmente así como la adición del control de otros eventos con la finalidad de ahorrar energía eléctrica en las instalaciones de telecomunicaciones.

Palabras clave: Controladores Lógicos Programables / C200HX / Sistema de Energía de Telecomunicaciones

Introducción sobre la Compatibilidad Electromagnética (CEM)

Autores: Ramón L. Vázquez Fonte y Onaldo Ramírez Matos

En nuestra sociedad, como en la industria, existen una gran serie de equipos electrónicos y eléctricos que conviven en un mismo ambiente electromagnético, y se necesita que su operación sea satisfactoria. En ese trabajo, se realiza una breve introducción de la Compatibilidad Electromagnética que, a pesar de no ser un tema novedoso, en estos momentos tiene una gran actualidad debido al incremento de las cargas contaminantes.

Palabras clave: Compatibilidad Electromagnética / Interferencia Electromagnética / Inmunidad Electromagnética / Perturbación / Receptor

Fuente de alimentación con flyback empleando el circuito integrado topswitch

Autores: Julio E. Fajardo Oliva y Jesús Fornell Cires

El sector de las telecomunicaciones actual ha marcado el uso de diferentes fuentes de alimentación cada vez más pequeñas y, a la vez, más

eficientes, por ejemplo, en las computadoras, teléfonos inalámbricos, cargadores de baterías para móviles, convertidores de uso solar, etc. El empleo de la topología flyback a partir de los circuitos integrados topswitch se ha destacado en estas aplicaciones. En este artículo se ofrece una aproximación a la topología flyback y la tecnología topswitch teniendo en cuenta características técnicas, su funcionamiento y sus beneficios.

Palabras clave: Fuentes de Alimentación / Flyback / Topswitch

Armónicas y Resonancia Paralelo

Autores: Jorge de los Reyes y Armando Llamas

El fenómeno de resonancia es cada vez más común en instalaciones eléctricas comerciales e industriales, debido a que una buena parte de la carga que se alimenta es no lineal. En este artículo se ofrece un breve análisis del fenómeno de Resonancia Paralelo que es el que más frecuentemente se presenta al tratar de corregir el Factor de Potencia en presencia de armónicas. Se muestran dos ejemplos de casos reales en dos instalaciones distintas y, además, se presentan los resultados de un circuito monofásico construido para que entrara en resonancia en la armónica 11. El diseño de la implementación se hizo con Pspice y los resultados fueron validados en el circuito construido con un osciloscopio digital.

Palabras clave: Resonancia Paralelo / Armónica / Factor de Potencia / Cargas no Sinusoidales / Capacitores

El rectificador como corrector del Factor de Potencia

Autores: Erasmo L. González Méndez y Evelio Amor Galano

En la actualidad, los sistemas de alimentación DC han alcanzado una gran importancia en los entornos industriales y empresariales, específicamente, en el sector de las comunicaciones ha permitido garantizar el servicio de telecomunicaciones que se brinda a los clientes. En ese sentido, en este artículo se ofrece un análisis de los distintos tipos de fuentes conmutadas que

se emplean hoy, se aborda el concepto de Resistor Libre de Pérdidas o Loss Free Resistor (LFR) y su importancia en la corrección del Factor de Potencia.

Palabra clave: Factor de Potencia / Resistor Libre de Pérdidas

Energía renovable y no renovable

Autores: Emilio Cabrera Fernández y Nicasio Echarte del Sol

El presente trabajo aborda, específicamente, las definiciones de energía renovable y no renovable. También se exponen los métodos fundamentales para su aprovechamiento y la tecnología aplicada teniendo en cuenta su impacto ambiental. Se ofrecen las características y las vías de obtención de energías a través del ambiente natural con referencia a los diferentes formas de utilización de estas fuentes energéticas, de dónde proviene la energía y qué consecuencias tiene su proceso, con el propósito de resaltar su importancia.

Palabras clave: Energía Renovable / Energía no Renovable

Desafíos del sector de la energía como impulsor del desarrollo humano

Autor: Enrique Velo García

Las implicaciones desarrollo-sistema energético están ampliamente reconocidas. Este artículo ofrece una visión global de la energía y su relación con el desarrollo humano, explicando la relación entre los Objetivos de Desarrollo del Milenio y la energía. La cuestión clave es en qué medida la falta de acceso a fuentes de energía fiable y económica afecta a las oportunidades de las personas para desarrollar una vida digna, saludable y creativa.

Palabras clave: Energía / Desarrollo Humano

Power System Control at Telecommunications Exchanges with Programmable Logic Controller

Authors: [Rolando Chávez García](#) and [Rafael Millán Yero](#)

This paper suggests an adequate use of C200HX logic controller to substitute, as far as possible, the UPI-LCD controller of generators and the Zelio-logic controller of air conditioning systems, due to their high failure rates, specialized repayment needs and tall costs at international markets. C200HX logic controller's existing functions and added control on other events for saving energy in telecommunication facilities are also introduced.

Key Words: Programmable Logic Controller / C200HX / Telecommunications Energy System

Introduction to Electromagnetic Compatibility (CEM)

Authors: [Ramón L. Vázquez Fonte](#) and [Onaldo Ramírez Matos](#)

In society as well as in industries, a great number of electronic and electrical equipment share the same electromagnetic environment; so, it is essential their proper operation. This paper briefly introduces electromagnetic compatibility. Though it is not a new subject, it is highly topical due to the increase of pollution charges.

Key Words: Electromagnetic Compatibility / Electromagnetic Interference / Electromagnetic Immunity / Disruption / Receiver

Flyback Power Supply in Topswitch Integrated Circuits

Authors: [Julio E. Fajardo Oliva](#) and [Jesús Fornell Cires](#)

Today's telecommunications sector has imposed the use of different smaller and most

effective power supply in computers, wireless telephones, mobile battery chargers, solar converters, etc. The use of flyback topology in topswitch integrated circuits has been remarkable in these applications. This article proposes an approach to flyback topology and topswitch technology taking into account their technical features, operation and benefits.

Key Words: Power Supply / Flyback / Topswitch

Harmonics and Parallel Resonance

Authors: [Jorge de los Reyes](#) and [Armando Llamas](#)

Resonance is a common phenomenon in industrial and commercial electrical facilities due to the use of nonlinear charges. This article gives a brief analysis on parallel resonance as the most frequently phenomenon when trying to correct the power factor under harmonic presence. Two actual cases in different facilities and the results derived from a single-phase circuit built to enter into resonance with harmonics II are shown. The implementation design was based on Pspice and results were validated in the circuit built with a digital oscilloscope.

Key Words: Parallel Resonance / Harmonic / Power Factor / Nonsinusoidal Charges / Capacitors

Rectifier as a Power Factor Corrector

Authors: [Erasmó L. González Méndez](#) and [Evelio Amor Galano](#)

Today, DC supply systems have reached a great importance within industrial and entrepreneurial environment, particularly in the communications sector where they help to guarantee telecommunications service delivery. In this respect, the paper presents an analysis of the different types of switched

sources used nowadays. Loss Free Resistor (LFR) concept and its significance in the correction of power factor are explained.

Key Word: Power Factor / Loss Free Resistor

Renewable and Nonrenewable Energy

Authors: [Emilio Cabrera Fernández](#) and [Nicasio Echarte del Sol](#)

This paper introduces renewable and non-renewable energy concepts together with the main methods used for their exploitation and the technology applied by taking into consideration environmental impact. Features and ways of obtaining energy based on natural environment, different forms of employing these energy sources, their origin and processing consequences are explained to highlight their significance.

Key Word: Renewable and Nonrenewable Energy

Energy Sector Challenges as a Human Development Driving Force

Author: [Enrique Velo García](#)

Development-energy system implications are widely known. This article gives a global view on energy and its relation with human development by explaining the link between the Millennium Development Objectives and energy. A key issue is how lack of access to reliable and economical energy sources affects people opportunities to develop a decent, healthy and creative life.

Key Words: Energy / Human Development

Traducción: [MSc. Diria Machín Reyes](#)

Por Vilma Vidal García
Directora y Editora
vilma.vidal@etecsa.cu

A lo largo de la historia de la ciencia y de la tecnología, la llegada de la electricidad, tanto como fenómeno físico así como en artefactos inventados para su uso práctico, dejaba a la humanidad presa de una conmoción por la luz que significaba vida, transformación de la realidad, prosperidad, modernidad, felicidad, éxito.

La electricidad evolucionó desde la simple percepción del fenómeno hasta su tratamiento científico. Sus primeras aportaciones se entendieron como aproximaciones sucesivas al fenómeno eléctrico. El telégrafo eléctrico se considera la primera aplicación en el campo de las telecomunicaciones. A finales del siglo XIX, la electricidad se convierte en una de las fuerzas motrices de la segunda revolución industrial, a partir de sus numerosas aplicaciones económicas, debido a que los sucesivos cambios de paradigmas permitieron estudiar la función de la electricidad con una nueva dimensión.

La electrificación no sólo se considera como un proceso técnico, sino como un verdadero cambio social de alcances extraordinarios y complejos —alumbrado, procesos industriales y de comunicaciones—. Para la sociedad de la información de la llamada tercera revolución industrial —transistor, televisión, computación, robótica, internet—, la energía eléctrica es esencial. La Edad de la Electricidad, denominada así por unos de los grandes teóricos contemporáneos, ha tenido un gran impacto cultural que radica en la altísima **velocidad** de propagación de la radiación electromagnética, percibida de forma casi instantánea. Las posibilidades que brinda este hecho son las que, incluso, pueden decirse que rozan con lo inimaginable para el hombre, por ejemplo, la simultaneidad y la división de cada proceso en una secuencia. Dentro del cambio cultural impuesto, esto se traduce por una atención al “campo total”, un “sentido de la estructura total”, una “idea integral de la estructura y la configuraciones”; concepciones que han incidido en los ámbitos científicos, tecnológicos, educativos, artísticos, etc.

Justamente, ante la complejidad y celeridad del mundo contemporáneo, se afirma que el uso de la energía se ha convertido en un sector estratégico, tanto en términos económicos como sociales, porque es uno de los factores determinantes de crecimiento. En ese sentido, la revista técnica *Tono* dedica un número doble al tema energético desde distintos puntos de vistas asociados a aplicaciones específicas dentro del sector de las comunicaciones, aproximaciones teóricas y tecnológicas más generales, etc.

Se seleccionaron un grupo de artículos, casi todos realizados por especialistas de la Empresa que trabajan vinculados al área energética y que cursaron la Maestría en Ingeniería Eléctrica, auspiciada por la Facultad Eléctrica de la CUJAE - Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.

A nivel mundial existe una clara voluntad por mejorar la generación, distribución y consumo de electricidad para favorecer el progreso tecnológico e influir en el bienestar de las naciones tanto en los países con economías más avanzadas como los calificados en vías de desarrollo.

De ahí que se observan líneas fundamentales de investigación y desarrollo en el sector eléctrico orientadas, por un lado, a la búsqueda de una mayor eficiencia en las actividades de las empresas; y por otro, la intención de lograr la rentabilidad en nuevas actividades, por ejemplo, una de las más importantes es la explotación de energías renovables porque están enfocadas a acrecentar el bienestar económico y social a través de una reducción del impacto ambiental en las actividades humanas.

Los lectores de nuestra revista podrán encontrar en este número temas relevantes como el uso de la energía en la sociedad digital a partir de la influencia de las telecomunicaciones y las tecnologías de la información sobre el consumo energético, el aumento del consumo de energía asociado al incremento de la infraestructura necesaria para las comunicaciones, la importancia de las energías renovables, el trabajo orientado a mejorar la eficiencia energética de las redes y equipos de comunicaciones, y el dominante rol de Internet como la nueva sociedad red.

Los contenidos y la generación de armónicos se abordarán desde varias aristas: una relacionada con el interés por el aumento del contenido armónico en los sistemas eléctricos de la Empresa, como resultado de la expansión de la electrónica de potencia y teniendo en cuenta las normas establecidas por la empresa rectora de energía a nivel nacional; y otra, a partir de los procesos dependientes de este mismo fenómeno de

la electrónica de potencia, debido a su fuerte presencia tanto en la vida doméstica como laboral, por ejemplo, el uso de las computadoras, televisores, equipos de música y video, UPS, rectificadores conmutados, etc.

Otros asuntos son más específicos como la propuesta de la utilización de autómatas programables a partir de la valoración de sus nuevas funciones y controles con el propósito de ahorrar energía eléctrica en las instalaciones de telecomunicaciones; y una aproximación a la topología *flyback* y la tecnología *topswitch* con sus características técnicas, funcionamiento y beneficios, sobre todo, al asumir cómo el sector de las comunicaciones utiliza diferentes fuentes de alimentación cada vez más pequeñas y eficientes—computadoras, teléfonos móviles, cargadores de baterías, convertidores de uso solar, etc.—.

La influencia del consumo energético en los sectores de la industria y el comercio se muestra a partir del análisis del fenómeno de Resonancia Paralelo al intentar corregir el Factor de Potencia en presencia de armónicos a través de ejemplos y resultados concretos. Y, también, la importancia, en estos entornos, de los sistemas de alimentación DC, particularmente, en las telecomunicaciones para garantizar sus servicios según un estudio de diferentes fuentes conmutadas empleadas.

Con un enfoque más teórico, se abordan temas como el empleo de los Sistemas Fotovoltaicos para dar solución a problemas relacionados con la expansión y modernización de redes de comunicaciones; una pormenorización de los elementos de los sistemas de protección contra descargas atmosféricas y sus efectos nocivos; una introducción al fenómeno de Compatibilidad Electromagnética ante el incremento de la convivencia del hombre y los equipos electrónicos y eléctricos en un mismo ambiente electromagnético; además de definiciones y características de energía renovable y no renovable, los nuevos métodos de aprovechamiento y las vías de obtención ante el agotamiento de las fuentes energéticas tradicionales y la propuesta de soluciones alternativas.

En el tránsito de la humanidad a través de la etapa industrial, la tecnológica y la más actual era de la información y el conocimiento, se ha ido perfilando una compulsión por la normalización de los procesos en aras de ofrecer productos y servicios de calidad. También se ha estudiado la calidad de la energía. Se proponen dos aproximaciones: una asociada al aumento del consumo eléctrico y el uso masivo de la energía, tanto en el ámbito profesional, doméstico como de entretenimiento, por lo que presenta un conjunto de normas para las empresas del sector energético en función de un objetivo estratégico de eficiencia y eficacia empresarial; y el otro, vinculado a la Generación Distribuida, específicamente, los Grupos Electrógenos, a través de un estudio orientado a brindar soluciones ante diferentes tipos de perturbaciones de la red eléctrica para garantizar la calidad del proceso de generación de energía eléctrica.

Finalmente, con una dimensión más humana que tecnológica, se publica un artículo que muestra una visión global de la energía y su correspondencia con el desarrollo humano mediante la relación entre los Objetivos de Desarrollo del Milenio y el uso de la energía. Este texto apareció en la revista *Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano*, publicación del proyecto español Ingeniería sin Fronteras, orientada a ofrecer un espacio de intercambio de conocimientos y experiencias de desarrollo humano y sostenible que integran un factor tecnológico, y dedicó un número especial a la energía. Esta publicación periódica está incluida en el mayor Directorio de Revistas de Acceso Abierto —del inglés, *Directory Open Access Journals* (DOAJ)—, que aboga por un espacio abierto al conocimiento compartido.

A partir de este número, nuestra publicación pretende incluir colaboraciones provenientes del Movimiento de Acceso Abierto a la literatura científico-técnica en Internet y tributar, modestamente, a las nuevas formas de socialización del conocimiento científico a partir del uso de las nuevas tecnologías.

La presente edición de la revista *Tono* invita a sus lectores a compartir artículos que abordan, desde diferentes aristas, la gestión de la innovación en el sector de la energía eléctrica, su producción a partir de un amplio rango de opciones técnicas, sus aplicaciones, las exigencias para gestionar un conocimiento no sólo de la ingeniería eléctrica en sí misma sino otros de índole tecnológica, económico-financiera, jurídica, regulatoria, ambiental y socio-cultural. Y, por supuesto, aproximarnos también a sentir esa conmoción milenaria por el llamado de la luz —en este caso, luz que irradia conocimiento—.

Control de sistemas de energía en centros de telecomunicaciones con autómatas programables

Por Ing. Rolando Chávez García, Especialista C Telemática, Dirección Territorial Pinar del Río, e Ing. Rafael Millán Yero, Especialista C Telemática, Dirección Territorial Granma, ETECSA
rolando.chavez@etecsa.cu, rafael.millan@etecsa.cu

Introducción

Hasta hace poco tiempo, el control de procesos industriales se hacía de forma cableada por medio de contactores y relés. Esto implicaba altos niveles de especialización del personal que operaba las instalaciones y mayor desembolso económico.

En la actualidad, no puede entenderse un proceso complejo de alto nivel de automatización industrial desarrollado por técnicas cableadas. El ordenador y los autómatas programables han intervenido para que este tipo de instalación se sustituya por otras de forma programada [1].

Controlador Lógico Programable

El Controlador Lógico Programable (CLP) —del inglés, *Programmable Logic Controller* (PLC)— es un dispositivo electrónico muy usado en la automatización industrial. Es una caja negra programable que presenta entradas, asociadas a los captadores y salidas, asociadas a los actuadores. Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación. Esta secuencia de acciones se ejercerá sobre las salidas del autómata a partir del estado de sus señales de entrada. Un autómata programable industrial, representa a la unidad de control dentro de un sistema de control. Estos dispositivos están diseñados para trabajar en tiempo real y en procesos industriales secuenciales [2], [3]. En la figura 1 se muestra un diagrama en bloques de un PLC.

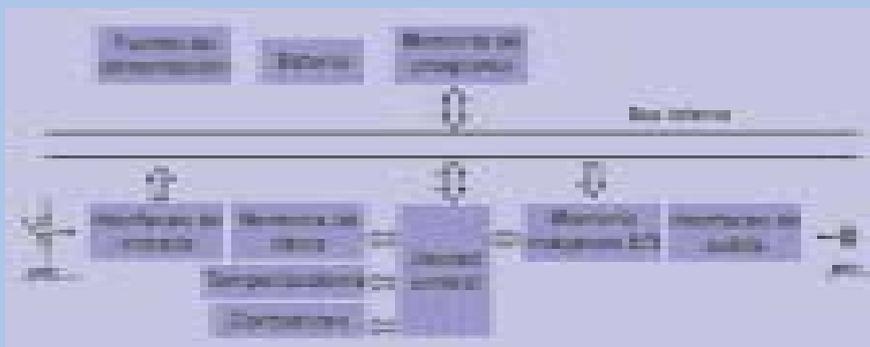


Figura 1 Diagrama en bloques del autómata programable [2]

Campos de aplicación

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía este campo para satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades.

Sus reducidas dimensiones, la extrema facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, su modificación o alteración, hace que su eficacia se aprecie, fundamentalmente, en procesos en que se producen necesidades como:

- ♦ Espacio reducido.
- ♦ Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- ♦ Procesos secuenciales.
- ♦ Maquinaria de procesos variables.
- ♦ Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- ♦ Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso [4].

Funciones básicas de un PLC

- ♦ Detección: lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación u operación.
- ♦ Mando: elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.
- ♦ Diálogo hombre maquina: mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- ♦ Programación: para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómata. El diálogo de programación debe permitir modificar el programa, incluso, con el autómata controlando la máquina [5].

Nuevas funciones

- ♦ Redes de comunicación: permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales facilitan la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.

- ◆ **Sistemas de supervisión:** también los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

- ◆ **Control de procesos continuos:** además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.

- ◆ **Entradas-Salidas distribuidas:** los módulos de entrada salida no tienen por qué estar en el armario del autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.

- ◆ **Buses de campo:** mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

Lenguajes de programación de un PLC

Existen varios lenguajes de programación, tradicionalmente los más utilizados son el diagrama de escalera LADDER —preferido por los electricistas—, lista de instrucciones y programación por estados. Aunque se han incorporado lenguajes más intuitivos que permiten implementar algoritmos complejos mediante simples diagramas de flujos, más fáciles de interpretar y mantener, que emplean compuestos lógicos y bloques con distintas funciones conectados entre sí [6], [7].

En la siguiente figura se indica el papel que tienen como medio de entendimiento entre el usuario y el sistema de automatización.

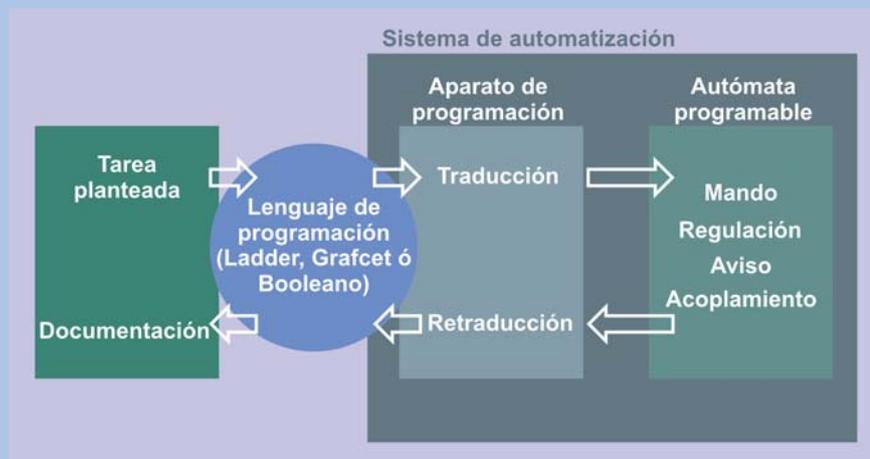


Figura 2 El lenguaje de programación como medio de entendimiento entre el usuario y el sistema de automatización [6]

PLC en los centros de telecomunicaciones de ETECSA

En casi todos los centros de telecomunicaciones de ETECSA se encuentran instalados controladores lógicos programables C200HX de la marca Omron con el único objetivo de supervisar alarmas remotas de los diferentes equipos de transmisión, conmutación, planta externa y sistemas de energía.

Estos controladores están prácticamente subutilizados en casi su totalidad. Si se tiene en cuenta que muchos de ellos se encuentran sin funcionar y los que lo hacen, solamente tienen instaladas dos unidades de entrada digitales del tipo ID212 (16 puntos) y ID216 (32 puntos) a las que se conectan los

sensores de las alarmas que se desean remotizar. También cuentan con una unidad de suministro de energía PD024 y un *back plane* de 10 ranuras (BI101)

Tomando en consideración que estos controladores disponen de una CPU 64 y un máximo de 1184 puntos de entrada / salida (E/S) que le proporcionan considerables posibilidades en lo que a prestaciones se refiere, se puede suponer que es factible utilizarlos en varios procesos que se desarrollan en los centros de telecomunicaciones, entre los que se destacan:

- ◆ Controlar la lógica de funcionamiento temporizado y rotativo de los equipos de climatización.

- ◆ Supervisar y controlar el funcionamiento de los grupos electrógenos de emergencia.

- ◆ Controlar las fallas en los equipos de presurización de cables.

- ◆ Monitoreo constante de locales administrativos con sensores de presencia para hacer un uso eficiente de la iluminación y equipos de climatización.

- ◆ Supervisar la apertura de puertas de acceso a locales tecnológicos climatizados, con acción directa sobre el funcionamiento de los equipos de acondicionamiento de aire.

- ◆ Continuar supervisando las alarmas originadas por averías u otros eventos de interés de los equipos que actualmente se están gestionando a través del PLC.

El objetivo de este trabajo es elaborar un programa para el autómata C200HX Omron con el propósito de lograr que los diferentes procesos desarrollados, en el equipamiento de energética, sean más funcionales y operativos; además de propiciar el ahorro de energía eléctrica y lograr modernizar algunos paneles de control y supervisión ubicados en técnicas obsoletas mediante el uso de este PLC. Con ello se lograría:

- ◆ Unificar o concentrar en un controlador único la supervisión remota de las alarmas de todo el equipamiento de telecomunicaciones y de energética, además de lograrse todos los procesos descritos anteriormente.

- ♦ Reducir considerablemente los gastos por concepto de mantenimiento correctivo, debido a la no adquisición en el extranjero de los controladores frágiles, propios de algunos equipos de energética.
- ♦ Reducir los tiempos de averías debido a que se logra una independencia total de la asistencia técnica de los suministradores, para configurar estos dispositivos propios antes fallas en el software y averías en el hardware.
- ♦ Propiciar la posibilidad de ahorro de energía eléctrica mediante el control automático en el uso de los sistemas de iluminación y otros procesos que se desarrollan en locales tecnológicos y de oficinas.
- ♦ Permitir modernizar los paneles de control y supervisión en sistemas y técnicas obsoletas.

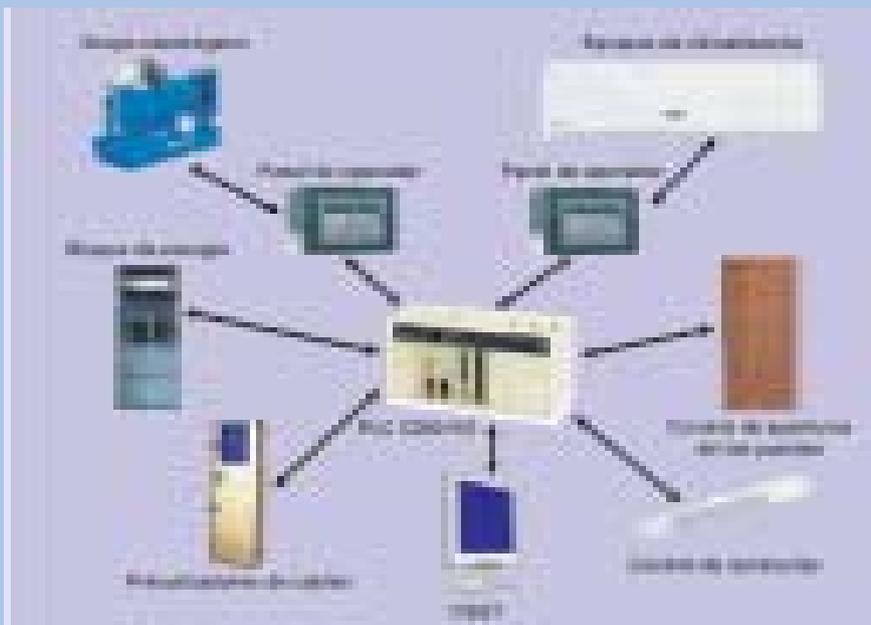


Figura 3 Propósitos del empleo de controladores. Fuente: elaboración propia

Descripción de los procesos

Grupos Electrógenos: se sustituirá el sistema de supervisión y control Up1-G o Up1-LCD de los equipos de la marca GREYMO, donde el controlador C200HX realizará toda la lógica de operación —control y supervisión—. Aquí también se incluyen todas aquellas plantas emergentes de otras marcas y de líneas de fabricación obsoletas.

Este controlador debe garantizar la protección de los grupos y el envío de alarmas remotas al ordenador personal del Centro de Supervisión y Gestión Territorial (CSGT).

Algunas de las funciones que debe ejecutar sobre estos equipos son:

- ♦ Bloqueo del arranque a voluntad del operario.
- ♦ Proporcionar señalización remota del equipo en funcionamiento.
- ♦ Proporcionar señalización de parada de emergencia.
- ♦ Conectar el precalentamiento del motor cuando se opera a bajas temperaturas.
- ♦ Permitir al operario la selección de régimen —manual – automático—.
- ♦ Conectar sirena de alarma ante averías.
- ♦ Conectar y desconectar los contactores magnéticos de la red y el grupo.
- ♦ Señalizar falla de arranque.
- ♦ Permitir la elección del número de intentos de arranque.
- ♦ Permitir la elección del tiempo entre intentos de arranque.
- ♦ Permitir la prueba del grupo con y sin carga.

- ♦ Alimentar con CA el horámetro que mide el tiempo de funcionamiento.

Sistemas de climatización: el PLC Omron sustituirá el Mini-autómata Zelio-logic ubicado en el panel de supervisión y control de estos equipos. Al igual que en el punto anterior, este dispositivo garantizará todas las secuencias de funcionamiento de los acondicionadores de aire en sistemas de reserva 1+1, 2+1, 3+1, etc., y enviará señales remotas al CSGT cuando ocurran interrupciones. Algunas de las funciones que debe garantizar el controlador C200HX son:

- ♦ Recoger información de la temperatura del local entre límites prefijados para controlar el arranque y parada de los acondicionadores de reserva.
- ♦ Cuando existen equipos de reserva, garantizar la rotación del funcionamiento de todos, de manera que no exista sobreexplotación de unos y subutilización de otros.
- ♦ Garantizar un tiempo mínimo ajustable de 3 minutos antes de la reconexión de un acondicionador al restablecerse el fluido eléctrico después de una interrupción —protección del motocompresor—.

♦ Desconectar los acondicionadores de aire de locales no tecnológicos —se consideran todos los locales administrativos, fundamentalmente áreas de oficinas— en el horario establecido, según el plan de medidas para ahorro de energía eléctrica.

♦ Desconectar los acondicionadores en funcionamiento ante la ausencia del personal por más de 5 minutos en locales no tecnológicos mediante sensores de presencia.

♦ Garantizar el envío de alarmas remotas de alta temperatura del local o avería de alguno de los acondicionadores.



Figura 4 Lógica Up1-LCD [8]



Figura 5 Mini PLC Zelio-logic. Fuente: Documentación de Telemecanique

En la figura 4 y 5 aparecen los controladores propios de los grupos electrógenos y sistema de climatización los cuales se pretenden sustituir.

Sistemas de iluminación: para estos sistemas se logrará las siguientes funciones mediante el controlador:

- ♦ Mediante sensores de presencia se controlará la correcta utilización de la iluminación en los locales no tecnológicos que son ocupados fundamentalmente durante la jornada laboral, de forma tal que cuando se abandonen por más de 5 min se apague automáticamente el conjunto de lámparas instaladas.

- ♦ Que en el horario de (11:00-13:00 h) se apaguen las luminarias en los locales no tecnológicos y de las (18:00-22:00 h) se apaguen automáticamente en los locales tecnológicos —lugar donde está instalado el equipamiento tecnológico de telecomunicaciones—, todas aquellas luminarias seleccionadas, aprovechando la seccionalización de los circuitos.

Control de apertura de las puertas en locales tecnológicos climatizados: a través del PLC se controlará que el personal técnico que ejecuta mantenimiento no deje abiertas las puertas de los locales tecnológicos más allá del tiempo estipulado, de forma tal que no se incurra en gastos excesivos en el consumo de energía eléctrica por parte de los equipos de climatización que son los mayores consumidores en estas áreas —más del 50 % del total facturado—.

Con el objetivo de que esto no ocurra, en este trabajo, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- ♦ Cuando se dejen abiertas las puertas de estos locales, por más de

30 s, se active una alarma sonora y se envíe una señal de “puerta abierta” al CSGT.

- ♦ Transcurridos 60 s después de la apertura de la puerta se apagarán los equipos de climatización, se silenciará la sirena y en el ordenador personal del CSGT se debe observar la señal de “parada de equipos de clima,” en el momento en que ocurrió, informando que el local no está siendo climatizado. Estos equipos deben activarse una vez cerradas las puertas.

Presurizadores de cables: se controlará ininterrumpidamente el funcionamiento de estos equipos para evitar la entrada de humedad y agua a las redes de cables ante roturas en las corazas de los mismos cuando ocurren averías en los sistemas de compresión de aire que proporcionan bajos niveles de presión en el interior de los cables respecto al medio exterior. Aquí el control estará encaminado a lo siguiente:

- Este equipamiento se controlará constantemente de forma tal que cuando haya una avería en el sistema active una alarma sonora por espacio de 2 min, y a la vez se envíe la señal al CSGT para que el taller proceda a la corrección de la falla.

La descripción de los procesos puede observarse en la figura 6.

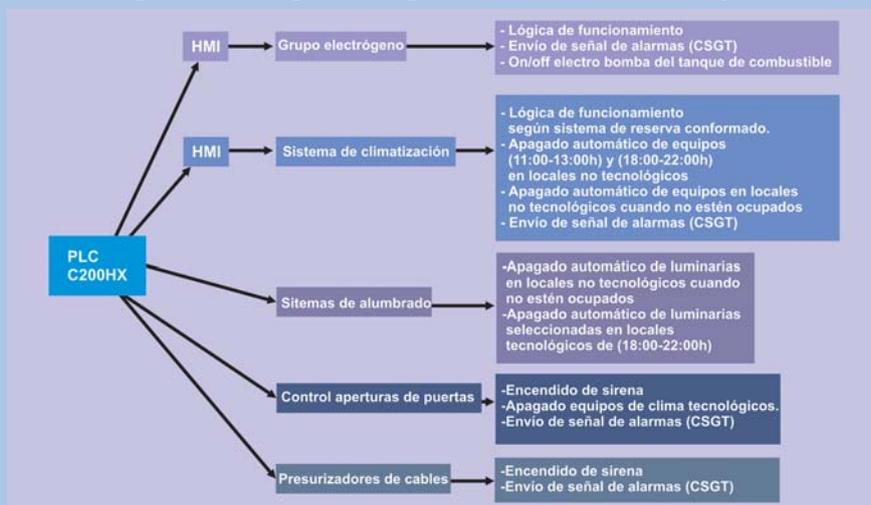


Figura 6 Diagrama en bloque que contempla la descripción de los procesos. Fuente: elaboración propia

Casos de estudio y valoración económica

Para realizar el análisis, se escogieron dos categorías de centros telefónicos de la Dirección Territorial Pinar del Río: un centro principal con instalaciones tecnológicas y bloques de oficinas administrativas, y un centro no atendido con el equipamiento tecnológico solamente.

En la implementación del programa relacionado con el control de los procesos que se desarrollan en las instalaciones de telecomunicaciones, los dispositivos que conformarían la estructura del PLC (hardware) modular sería la siguiente:

Centro principal			
Cantidad de entradas	Modelo dispositivo	Cantidad	Valor total, USD
85	ID 212 (16 puntos)	1	34,65
	ID 216 (32 puntos)	2	77,50
	ID 211(8 puntos)	1	25,35
Total	88 puntos	4	137,50
Cantidad de salidas	Modelo dispositivo	Cantidad	Valor total, USD
103	OC 226 (16 puntos)	7	246,40
Total	16 puntos	7	246,40

Centro no atendido			
Cantidad de entradas	Modelo dispositivo	Cantidad	Valor total, USD
38	ID 212 (16 puntos)	1	34,65
	ID 216 (32 puntos)	1	38,75
Total	48 puntos	2	73,40
Cantidad de salidas	Modelo dispositivo	Cantidad	Valor total, USD
53	OC 226 (16 puntos)	4	140,8
Total	16 puntos	4	140,80

Los ejemplos expuestos demostraron la diferencia de los gastos en que incurriría la Empresa para completar el hardware y solucionar el sistema propuesto. Este análisis se concretará, sobre todo, en el centro principal, por ser más abarcador, aunque se expondrán ejemplos en la otra categoría.

Por cada controlador, se garantizan 48 puntos de entrada digitales, concentrados en estos dos módulos, así como otros dispositivos libres de gastos. Para completar la estructura del PLC, deben añadirse 2 módulos de entrada: uno de 32 puntos y otro de 8 puntos, que importarían 64,10 USD. Al no constar con bloques de salida, se requiere añadir 7 módulos de salida digital con un valor de 246,40 USD.

La suma de estos dos tipos de dispositivos daría un valor total de 310,50 USD. Para un centro no atendido, los gastos se reducirían aproximadamente a un tercio respecto a los de un centro principal —140,80 USD por concepto de los cuatro módulos digitales de salida—, porque ya existen dos bloques digitales de entrada. También es necesario comprar un panel operador o *Human Machine Interface* (HMI) para comandar al grupo electrógeno con un valor aproximado de 173,00 USD. Al sumar ambos conceptos, la Empresa incurriría en un gasto total de 483,50 USD para completar el hardware del autómata que controlará los procesos en un centro principal.

Algunas ventajas económicas

- ♦ El valor actual de una tarjeta Up1-LCD, para la supervisión y control de los grupos electrógenos, es de 1400 USD; y el del Mini-autómata Zelio-Logic para los sistemas de climatización, 350,55 USD. Para el mantenimiento correctivo en una Dirección Territorial, se necesita un total de 4 unidades/año de cada tarjeta, para un gasto total de 7002,20 USD/año. Si las averías en estas tarjetas se comportan similar en las 14 Direcciones Territoriales, entonces el gasto total se elevaría aproximadamente a 98030,80 USD/año.

- ♦ En un local tecnológico climatizado del centro telefónico principal de Pinar del Río, se observó el uso de la puerta de acceso. El local tenía instalado un sistema de reserva 2+1 de climatización con una capacidad de refrigeración de 2 toneladas en cada sistema. Se comprobó que la puerta permanecía 2 horas abierta como promedio mensual, debido a que el personal técnico que entraba a la instalación no la cerraba.

La entrada de calor sensible y latente al local por infiltración del aire exterior provocó un consumo de energía eléctrica de 12 Kwh/mes. En esta instalación, la capacidad de refrigeración es sólo de 2 TR. Si este análisis se extiende a un sistema 2+1 de 15 TR, el consumo de energía eléctrica se elevaría a 103,37 Kwh/mes.

En este territorio existen 84 instalaciones de telecomunicaciones. Si se considera que esta irregularidad, en la apertura de las puertas en locales climatizados, ocurre en el 85 % y las capacidades de los sistemas de reserva 2+1 de climatización promedio es de 2 TR, el valor facturado en un mes sería de 857,00 USD. Esta última cifra llevada a valores anuales y

considerando 0,12 USD/12 Kwh, se gastarían 1234,08 USD/año. Si este valor se prolonga a las 14 Direcciones que pueden estar incurriendo en estos gastos, la Empresa perdería 17277,12 USD/año en pago de facturas a la Unión Nacional Eléctrica (UNE).

En el año 2008, según un análisis estadístico, se comprobó la avería de 3 compresores de refrigeración por el prolongado tiempo de funcionamiento y por la carga térmica introducida en el local debido la permanencia de las puertas abiertas. Esto condujo a un gasto de 1300 USD, por concepto de mantenimiento correctivo y gasto de combustible para trasladarse al lugar de las averías. Si estas interrupciones ocurrieran en el resto de las Direcciones, los gastos se elevarían a 18200,00 USD por pagos de servicios técnicos a terceras entidades.

A causa de una avería en el año 2007, se afectó el servicio telefónico en el CT López Peña —centro no atendido— durante 7,8 horas. Una llamada de Larga Distancia Internacional (LDI) tiene un valor aproximadamente de 0,60 USD/min y el tiempo de duración de la conversación es de 7,72 min, lo que implica que cada llamada reporta 4,63 USD. En las horas de tráfico alto, las llamadas efectivas son de alrededor 65 llamadas/hora. Al contemplar las horas de interrupción, se obtendría un valor de 2347,41 USD sin ingresar. Las llamadas nacionales tienen un valor de 0,18 pesos con un tiempo de duración de 3,56 min; cada llamada reporta 0,65 pesos. Para el centro referido, las llamadas efectivas (entradas-salidas) son de 114 llamadas/hora, que contemplan las horas de afectación con un valor de 578,0 pesos sin ingresar. Debido a esta interrupción, también se afectó una tarjeta (AGM460/461) de conmutación, adquirida por la Empresa con un valor de 2300,00 USD.

El resumen de las pérdidas económicas relacionadas con esta interrupción reportó un valor total de 5080,74 USD y 578,0 pesos en pérdidas y gastos

para la Empresa. No obstante, con el uso del PLC, se hubieran evitado. De ocurrir en un centro principal, las pérdidas serían mayores.

- ♦ La supervisión de las alarmas externas del equipamiento tecnológico en un centro telefónico, a través del PLC, es muy importante para el trabajo de la operación, porque reduciría el tiempo de afectación del servicio en las telecomunicaciones y no se verían afectados los ingresos de la institución. Pueden deducirse, así, las pérdidas económicas que se producirían al ocurrir averías en un presurizador de cables —al servicio de una red de cables (corazas) con miles de abonados y sin supervisión— o en otros equipamiento de energética —bloques de energía, grupos electrógenos, sistemas de climatización, etc.—.

- ♦ El uso del PLC reporta ventajas para la Empresa en la reducción de gastos por varias causas. Por ejemplo: apagado programado de los equipos de climatización en los locales de oficinas en el horario de las 11:00-14:00 h; y uso eficiente de estos equipos y las luminarias en las oficinas mediante sensores de presencia.

En el centro referido existen 37 equipos de climatización —aires de ventanas y sistemas mini-split de diferentes capacidades de refrigeración con un total de 58 TR—, ubicados en áreas de oficinas. Su consumo total es de 377 A, monofásicos, 220 V. Según los términos de energía, para el horario programado, representa un consumo de 242 Kwh/día y 7260 Kwh/mes. Al tomar 0,12 USD/Kwh, entonces al mes se dejarían de pagar 871,00 USD (10452 USD/año) por el apagado de los equipos de climatización, en el horario establecido, para un centro principal solamente. Al suponer que los edificios princi-

pales de las 14 Direcciones Territoriales tuvieran un consumo similar, la Empresa se ahorraría 12194,00 USD/mes sólo por este concepto.

El segundo ejemplo, aunque no es real, permite hacer un análisis bastante cercano a la realidad y apreciar las ventajas que reportaría. En las oficinas del edificio existen 120 luminarias con capacidades de 20 y 40 W, con una y dos lámparas. Para el estudio, se propone una oficina con dos luminarias de un solo tubo de 40 W y un mini-split de 1,5 TR. Ambas luminarias reportarían una potencia activa de 0,0851 Kw y el equipo de clima 2,134 Kw. También se supone que el local es abandonado durante el día en cinco ocasiones por espacio de 15 min y las luminarias permanecen encendidas; y el equipo de climatización, activado. Esto reportaría un consumo de 0,55 Kwh/día para esa oficina solamente. Si se considera que, en las 34 oficinas, ocurriera algo similar, se facturaría al mes 561 USD (6732 USD/año). De ahí, la importancia del uso de sensores de presencia —vinculados directamente con el PLC— en cada local para el apagado automático de las luminarias y equipos de climatización, sobre todo, cuando las personas abandonan las oficinas —después de un tiempo prefijado en el programa del autómatas— y olvidan desconectarlos.

Conclusiones

La elaboración del programa y su hardware correspondiente, para el autómatas C200HX Omron, permite unificar, en este dispositivo, los siguientes aspectos:

- ♦ La supervisión remota de las alarmas del equipamiento de energética y otras técnicas de comunicaciones.

- ♦ El control automatizado y centralizado —a través de los dispositivos del PLC, en sustitución de los con-

troladores individuales— de los procesos que se desarrollan en varias técnicas de energéticas, así como otros eventos en las instalaciones de telecomunicaciones.

- ♦ La modernización, funcionalidad y operatividad (flexibilidad) de los procesos llevados a cabo en estas instalaciones.

- ♦ La posibilidad de ahorrar energía eléctrica mediante el control eficiente del uso de la iluminación, equipos de climatización y aperturas de puertas en locales acondicionados.

- ♦ Los casos de estudios —reales y potenciales— presentados, su incidencia y su valoración económica, apuntan la repercusión, para ETECSA, de la puesta en práctica de este trabajo en los centros de telecomunicaciones. ▀

Referencias bibliográficas

- [1] "Controlador Lógico Programable". Disponible en: http://www.unicron.com/art_historia_PLC.asp. (Consulta: 18/09/2007).
- [2] Martín Castillo, Juan Carlos et al. "Técnicas de automatización III" (Extracto documentación curso). Madrid: Ediciones REEA, 2001.
- [3] "Controlador Lógico Programable". Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_Logico_Programable. (Consulta: 05/06/2007).
- [4] "Controlador Lógico Programable". Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/pcl.html>. (Consulta: 05/11/2007).
- [5] Miranda Vásquez, José F. "Aplicación de los algoritmos PID a un Controlador Lógico Programable". Proyecto Eléctrico I, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica, 2004.
- [6] "Elementos de Programación". Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/lenguaje_LADDER. (Consulta: 08/10/2007).
- [7] "C200HX/C200HG/C200HE Programmable Controller". Manual de Operación Omron Corp., junio, 1996.
- [8] "Características generales de la lógica uPI-LCD". Tecnocontrolli, s.r.l., 2006.

Introducción sobre la Compatibilidad Electromagnética

(CEM)

Por Ing. Ramón Leonardo Vázquez Fonte, Especialista C en Telemática, Dirección Territorial Las Tunas, e Ing. Onaldo Ramírez Matos, Especialista C en Telemática, Dirección Territorial Santi Spíritus, ETECSA
siesp@ltu.etcusa.cu, onaldo.ramirez@etcusa.cu

Introducción

Es un hecho que vivimos inmersos en un ambiente electromagnético provocado tanto por la radiación voluntariamente emitida por diversos equipos como emisoras de radio, televisiones, radares, etc; como por la radiación no intencionada de otros equipos —máquinas eléctricas, computadoras, líneas de alimentación, entre otros dispositivos electrónicos—. Todas estas radiaciones provocan un acoplamiento de energía con cualquier sistema susceptible a captarlas, que pueden provocar fallos en su funcionamiento satisfactorio.

Cuando se pasa cerca de líneas de alta tensión o cae una descarga eléctrica, ¿por qué se escuchan zumbidos en receptores de radio?

Cuando se viaja en un avión, se visita un hospital, cuando se va habilitar combustible, al entrar a un laboratorio de mediciones, ¿por qué aparecen señales de no utilizar o apagar los teléfonos celulares, radios móviles y juegos electrónicos?

Estas advertencias encierran un problema tecnológico de fondo que a pesar de los grandes avances tecnológicos de la industria electrónica y de telecomunicaciones en las últimas décadas, no se ha logrado

diseñar y construir equipos y dispositivos electrónicos que sean compatibles electromagnéticamente del todo, es decir, que tengan la capacidad de operar de manera satisfactoria dentro de un ambiente electromagnético. Operar satisfactoriamente significa no interferir electromagnéticamente en otros equipos o dispositivos eléctricos o electrónicos y, en caso de ser interferido, no se degraden o fallen.

Dada la amplitud de los elementos que inciden en el estudio de la Compatibilidad Electromagnética, su realización requiere un conocimiento mínimo de las leyes del Electromagnetismo —desde la Electroestática y Magnetostática hasta las leyes que rigen la propagación de ondas, tanto en el espacio libre como guiadas—.

Conceptos y definiciones

Se conoce con el nombre de **perturbación electromagnética** a cualquier fenómeno que pueda degradar el funcionamiento de un dispositivo, equipo o sistema. La naturaleza de esta perturbación electromagnética puede ser la de un ruido electromagnético, una señal indeseada o un cambio en el propio medio de propagación [1], [3], [7].

Una **Interferencia Electromagnética (IEM)** es la degradación o la falla en el funcionamiento de un dispositivo, equipo o sistema eléctrico, electrónico o de telecomunicaciones causado por cualquier perturbación electromagnética. Aunque, tradicionalmente, el concepto ha sido asociado con fenómenos de radiación o conducción de campos electromagnéticos, este tiene una acepción más amplia que incluye fenómenos como armónicos, transitorios, rayos, descargas electrostáticas, ruido, fluctuaciones de tensión [1], [2], [3].

La **Compatibilidad Electromagnética (CEM)** es la aptitud de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en su ambiente electromagnético, sin introducir perturbaciones intolerables en ese ambiente o en otros dispositivos/equipos/sistemas y soportar las producidas por otros dispositivos/equipos/sistemas. Usualmente, la compatibilidad electromagnética está regulada por normas que rigen cuáles son los requisitos que deben cumplir los equipos. También se agrupa bajo el título de **Compatibilidad Electromagnética** al estudio de la problemática general de la generación, propagación, influencia sobre otros disposi-

tivos/equipos/sistemas y medidas de corrección de interferencias electromagnéticas [1], [3].

El término **Susceptibilidad Electromagnética (SEM)** y su opuesto **Inmunidad Electromagnética** se emplean para indicar la mayor o menor sensibilidad de un dispositivo/equipo/sistema a ser afectado por las interferencias electromagnéticas, en otras palabras, el nivel de susceptibilidad de un equipo es la propiedad que tiene este para funcionar correctamente en un ambiente de interferencia. **La susceptibilidad** está definida como la capacidad de un dispositivo o equipo eléctrico o electrónico para generar una respuesta no deseada cuando es sometido a una perturbación electromagnética y **la inmunidad** es como la capacidad de un sistema para continuar operando satisfactoriamente al estar sometido a perturbaciones electromagnéticas [3].

Interferencia Electromagnética (IEM)

Los elementos básicos que intervienen en el análisis de cualquier situación de interferencia pueden expresarse en tres componentes, como se refleja en la figura 1



Figura 1 Partes principales del fenómeno de Interferencia Electromagnética.
Fuente: elaboración propia

El estudio de los fenómenos de Interferencia Electromagnética y la solución a los problemas que ocasiona han adquirido una notable relevancia en el desarrollo y desempeño de los modernos dispositivos, equipos y sistemas eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones. En el ámbito mundial, el entorno en el que interactúan los equipos se hace cada día más complejo debido a dos factores principales: la creciente vulnerabilidad de estos dispositivos y equipos y, al mismo tiempo, su capacidad de interferir el funcionamiento de otro equipo.

El fenómeno de Interferencia Electromagnética no es de reciente aparición. Los primeros problemas de IEM se iniciaron hacia 1830 con la invención del telégrafo y se empezaron a intensificar hacia finales del siglo XIX, cuando aparecieron y comenzaron a interactuar las redes telegráficas y telefónicas con los generadores de energía eléctrica y las líneas de transmisión de alta tensión. Con la aparición de los dispositivos de estado sólido de potencia, la aparición del tiristor en 1957 y del transistor bipolar de potencia, se cambiaba entonces de modo radical la forma de tratar la energía eléctrica: se pasaba del convertidor rotativo al convertidor estático o conmutado. Gracias a las ventajas que ofrecían estos nuevos dispositivos, aumentó paulatinamente la proporción de energía eléctrica generada que era procesada por algún tipo de convertidor estático antes de ser utilizada, hasta llegar a nuestros días, complejizando el problema de Interferencia Electromagnética.

Estas dificultades llevaron a la ingeniería a tratar de reducir la gravedad del problema. El gobierno norteamericano creó en 1934 la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), para regular el uso de las comunicaciones inalámbricas. Posteriormente, otros países fueron creando organizaciones similares: Alemania, con sus normas VDE, y Suiza, con su *Comité Inter-*

nacional Special des Perturbations Radioelectriques (CISPR), en Cuba el *Comité Electrotécnico Nacional*; establecidos para determinar métodos y límites de IEM.

En ETECSA, hasta hace muy poco tiempo, el tema ha comenzado a tomar relevancia debido a la gran cantidad de afectaciones provocadas por las descargas atmosféricas a las diferentes tecnologías instaladas; esto conllevó a la creación del Comité Electrotécnico en la Empresa.

La misma evolución de los equipos electrónicos modernos los ha hecho más sensibles a perturbaciones. El usuario de estos, sin embargo, desea que su funcionamiento sea lo más confiable y seguro posible, características particularmente importantes en un mundo moderno que depende de ellos para su quehacer cotidiano.

Para que la Interferencia Electromagnética constituya un problema deben estar presentes al mismo tiempo: la fuente generadora de la perturbación —rayos, motores, teléfono móvil, cables de alimentación, entre otras—, el receptor o víctima afectado por estas fuentes —cables de datos, computadores, dispositivos, otros— y el canal o vía de acoplamiento entre ambos.

Para analizar este fenómeno, en primer lugar, hay que buscar cuáles son las fuentes de las posibles Interferencias Electromagnéticas junto con sus mecanismos de acoplamiento de para poder encontrar, posteriormente, las mejores soluciones a los problemas derivados de la transferencia de energía electromagnética indeseada.

En función de los diferentes caminos de acoplamiento, se puede realizar la siguiente clasificación de las interferencias:

- ♦ **Interferencias conducidas:** cuando el medio de propagación es un conductor eléctrico que une la fuente de interferencias con el receptor —cables de alimentación o señal, pantallas o chasis metálicos, etc.—.

♦ **Interferencias radiadas:** cuando la propagación se realiza mediante el campo electromagnético de radiación; esto es cuando:

$Distancia\ de\ propagación > longitud\ de\ onda / 2p$ [1]-[2].

♦ **Interferencias acopladas:** cuando la transferencia de energía se realiza básicamente a través de un campo eléctrico o magnético. Podría considerarse como un caso particular de las interferencias radiadas cuando se tiene que:

$Distancia\ de\ propagación < longitud\ de\ onda / 2p$ [1]-[2].

Dentro de esta clase de interferencias acopladas pueden distinguirse los dos tipos siguientes:

♦ **Capacitivas:** acoplamiento a través del campo eléctrico.

♦ **Inductivas:** acoplamiento a través del campo magnético.

Siguiendo el esquema mostrado en la figura 1, las posibles soluciones a los efectos nocivos de IEM son

♦ Reducción o eliminación de la emisión en la fuente.

♦ Incremento de la inmunidad del receptor.

♦ Amortiguación de la propagación de la perturbación a través del canal de acoplamiento, de manera que se reduzca la interacción fuente-receptor.

El hecho de que una condición de perturbaciones constituya un suceso potencialmente perjudicial, dependerá entre otros factores, de:

♦ El nivel de la perturbación —magnitud y forma de onda, rango de frecuencia, contenido de energía, máxima tasa de variación, frecuencia de ocurrencia y duración, etc.—.

♦ La susceptibilidad del receptor —respuesta de frecuencia, condiciones de diseño, presencia de elementos de protección, materiales, etc.—.

♦ Las condiciones en las cuales se efectúe el acoplamiento —por conducción o por radiación, características del medio de propagación, atenuación, etc.—.

Las normativas actuales sobre perturbaciones utilizan como criterio para clasificarlas la frecuencia de las mismas. Se habla de armónicos cuando se hace referencia a las perturbaciones que se encuentran por debajo del armónico de orden 50, tomando como frecuencia fundamental la nominal de la red de alimentación; para el caso de Cuba es 60 Hz. Se habla de perturbaciones de alta frecuencia, o perturbaciones EMI, aquellas que son superiores a los 10 kHz hasta los 30 MHz. Los métodos de medida y límites permitidos en ambos casos son totalmente diferentes. De forma gráfica, puede representarse esta clasificación de las perturbaciones en el dominio frecuencial a través de la figura 2.

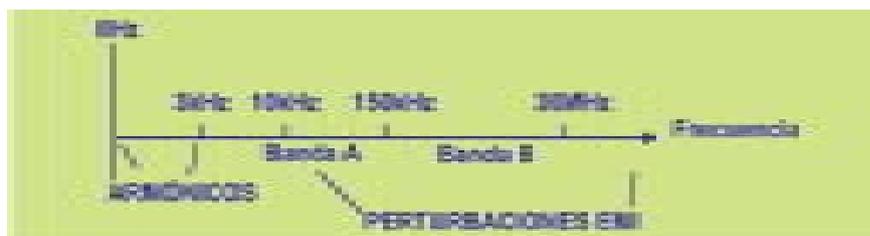


Figura 2 Clasificación de las perturbaciones conducidas según su frecuencia [2]

La forma de onda sinusoidal de la red eléctrica puede ser distorsionada por un conjunto de cargas llamadas distorsionantes o no lineales y como consecuencia, se producen señales de corrientes y tensiones armónicas que están formadas por la onda fundamental y un determinado número de sinusoides de frecuencias múltiplo de la frecuencia principal y amplitudes diferentes. Los armónicos pueden ser de orden par o impar, en las redes eléctricas los más comunes son los impares porque los pares se anulan debido a la simetría de la señal.

Es preciso anotar que un sistema puede ser considerado simultáneamente como el receptor de una perturbación y como el emisor de otra. En este sentido vienen trabajando centros de investigación alrededor del mundo, incluido Cuba, con el fin de caracterizar electromagnéticamente el medio y diseñar y construir equipos eléctricos o electrónicos compatibles electromagnéticamente.

Compatibilidad Electromagnética

La Compatibilidad Electromagnética (CEM) de los dispositivos y equipos eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones es hoy, a escala mundial, una de las principales exigencias de calidad. La Unión Europea por ejemplo, ha establecido la denominada directiva de CEM, de obligatorio cumplimiento, que cubre un gran conjunto de sistemas y equipos eléctricos y electrónicos comercializados en su territorio. Por otra parte, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los Estados Unidos, impone restricciones a las emisiones radiadas y conducidas de los dispositivos digitales que sean comercializados en dicho país [1].

A pesar de la importancia fundamental que ha adquirido la CEM en los últimos tiempos, los métodos y soluciones de esta disciplina todavía no han alcanzado una madurez suficiente. Una posible causa de este hecho es el carácter tan multidisciplinar que conlleva esta materia, dado que requiere tanto conocimientos teóricos como tecnológicos y de instru-

mentación. Es importante considerar la importancia de este tema de investigación debido a que la aplicación de remedios *a posteriori* son muy costosos [1], [3].

Los aparatos eléctricos, electromecánicos o electrónicos emiten usualmente energía electromagnética en el curso de sus operaciones normales. Las emisiones emitidas por estos equipos pueden dividirse en las dos siguientes categorías [2]:

1. Señales emitidas intencionadamente

Estas señales son las emitidas por equipos tales como radar, equipos de comunicación, emisoras de radio y TV, equipos de navegación, sistemas de rectificación de la energía eléctrica, etc. Estas emisiones pueden interferir con otros equipos, especialmente cuando no se ha llevado a cabo una buena planificación del espectro de frecuencias.

2. Señales emitidas sin intención

Dentro de este tipo de señales se pueden distinguir varias fuentes:

- ♦ **Emisiones indeseadas** que se dan en el curso de la operación normal de los equipos emisores señalados anteriormente. Un ejemplo de puede ser cuando estos equipos emiten con un ancho de banda mayor que el previsto.

- ♦ Los procesos de **modulación/demodulación** son inherentemente generadores de ruido dado que requieren el uso de dispositivos activos no lineales que dan lugar a la emisión de subarmónicos de la frecuencia de la señal tratada.

- ♦ **Generación de arcos o corrientes transitorias**, producidos en muchos dispositivos durante su conexión o desconexión, por ejemplo, en la puesta en marcha de motores, dispositivos controlados por termostatos, electrodomésticos.

- ♦ **Descargas atmosféricas**, se calcula que estas descargas producen del 50 al 70 % de los fallos de suministro en instalaciones de media y alta tensión. La emisión producida por los rayos es captada por los cables en forma de un pulso de tensión y este es transmitido a todos los equipos conectados a esta línea.

- ♦ **Descargas electrostáticas**, cuando se produce una acumulación de carga en algún cuerpo, la carga depositada busca el camino de menor resistencia para descargarse a tierra. Este proceso de descarga da lugar a unas corrientes rápidamente cambiantes que provocan desde pequeñas perturbaciones hasta serios *shocks* a equipos y personas. Las causas de la acumulación de carga pueden ser muy diversas aunque algunas de las más usuales son: cuando dos materiales de diferente constante dieléctrica se frotan, al calentar un material por efecto termoelectrónico, por contacto con un cuerpo cargado.

Uno de los casos más elocuentes de la descarga electrostática se da cuando una persona con calzado aislante camina por una alfombra sintética. Al caminar, por frotamiento, se va recogiendo carga de la alfombra, y puede llegar a existir una diferencia de tensión entre la persona que camina y la tierra de 15 Kv. La carga acumulada puede descargarse, por ejemplo, cuando esta persona se aproxima a algún objeto metálico, tal como la cerradura de una puerta o bien la carcasa de un equipo electrónico. Una descarga de varios microcoulombios realizada en tiempos del orden de los microsegundos puede originar corrientes que afecten seriamente a las personas o los equipos.

- ♦ **Pulso electromagnético**, este pulso se origina en una explosión nuclear debido al choque de los rayos X emitidos con los materiales de los equipos. Este choque provoca una emisión incontrolada de electrones, creando el movimiento repentino de todos estos electrones un pulso electromagnético de considerable magnitud —se estima que es equivalente al producido por el efecto combinado de cientos de rayos—. También se origina este pulso por la interacción de la radiación generada en la explosión con las moléculas del aire al suponer que, en este, se manifiesten variedades.

Algunas medidas que se deben tener en cuenta para disminuir los efectos de la interferencia electromagnética son:

- ♦ Separar la energía y los cables de los DATOS —mínimo de separación de 20 km—.

- ♦ Los cables de diversas familias deben cruzarse de modo perpendicular.

- ♦ Proporcionar buena continuidad eléctrica del conductor de tierra entre los diferentes dispositivos, con el objetivo de alcanzar bajas impedancias de acoplamiento.

- ♦ No mezclar los cables de transmisión y los cables de los datos en un sistema del *trunking*.

Espectro de frecuencias

Dado el espectacular incremento de las demandas del espectro de frecuencias y al hecho de que el espectro práctico es finito, los problemas de CEM son fundamentales en este punto. Básicamente, el crecimiento de las demandas del espectro electromagnético viene motivado por el desarrollo de las tecnologías de las comunicaciones, sobre todo, lo que se refiere a los sistemas de transmisión de datos empleados en la interconexión de ordenadores y al creciente uso de sistemas de comunicación personal tales como los teléfonos móviles.

En consecuencia, todas estas demandas de servicios de telecomunicaciones se traducen en una creciente necesidad de aumentar los canales de comunicación con el tiempo. Las tendencias actuales para solucionar este problema son: compresión de la información, nuevos esquemas de modulación, distribución eficaz de los canales, nuevos sistemas de arquitectura de comunicaciones y organización

Ejemplos

La necesidad de mantener una buena Compatibilidad Electromagnética obliga a establecer los límites de inmunidad, compatibilidad, emisión y pruebas para los equipos conectados a la red. La CEM considera todas las perturbaciones electromagnéticas por radiación, conducción e inducción en el rango de frecuencias desde la AC hasta los GHz.

Algunos ejemplos donde se ha puesto de manifiesto la necesidad de la CEM son:

Líneas de distribución de potencia eléctrica. Estas líneas pueden captar interferencias de rayos y tormentas así como transportar transitorios debido a conmutaciones que pueden afectar seriamente la operación de computadores y otros equipos.

Conmutaciones y relés. Las descargas eléctricas asociadas con las aperturas y cierres de relés son una causa importante de IEM.

Equipos de telefonía. Estos equipos son susceptibles a las interferencias producidas por estaciones de radio y televisión, radares, plantas industriales, etc.

Radioastronomía. Dado el nivel tan bajo de la señal que se intenta captar, los equipos usados en Radioastronomía son susceptibles a los pulsos de los relojes digitales de los dispositivos, fuentes de alimentación, radio, televisión, etc.

Efectos biológicos. Especialmente con respecto a la incidencia que puede tener sobre el cuerpo humano la exposición a campos electromagnéticos.

Navegación aérea. En múltiples casos se han detectado errores en los equipos de navegación debido al uso de aparatos electrónicos convencionales —ordenadores portátiles, teléfonos móviles, videoconsolas, etc.—.

Equipos militares. Básicamente en misiles y sistemas guiados, la CEM ocupa un lugar fundamental. También se han aportado datos sobre los fallos en vehículos espaciales a causa de problemas de CEM.

Seguridad en las comunicaciones. Las posibles emisiones electromagnéticas no intencionadas en los equipos diseñados a tal fin ponen en evidente peligro la seguridad.

Conclusiones

En este trabajo se abordaron definiciones del fenómeno de Compatibilidad Electromagnética y se realizó una breve descripción de muchas de sus características principales. Se expuso la clasificación de la Interferencia Electromagnética en función de la vía de acoplamiento hacia la carga o víctima —radiadas o conducidas—. Se concluyó que las emisiones de energía electromagnética que emiten, usualmente, los aparatos eléctricos, electromecánicos o electrónicos, en el curso de sus operaciones normales, pueden ser intencionales —por lo tanto, no son fáciles de eliminar, es el caso de emisoras de radio locales, teléfonos celulares— o pueden ser señales emitidas sin intención. 

Referencias bibliográficas

- [1] Sebastian, J. L. *Fundamentos de Compatibilidad Electromagnética*. 1^{ra} edición. España: Addison-Wesley Iberoamericana, 1999.
- [2] Balcells, J.; Daura, F.; Esparza, R. y Pallás, R. *Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos*. 1^{ra} edición. Barcelona, España: Marcombo Boixareu Editores, 1992.
- [3] Clayton, R. Paul. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. USA: Wiley InterScience, 1992.
- [4] Degauge, Pierre; and Hamelin, Joel. *Electromagnetic Compatibility*. UK: Oxford, 1990.
- [5] Keiser, Bernhard. *Principles of Electromagnetic Compatibility*. USA: Artech House Inc., 1987.
- [6] Kodali, V. Prasad. *Engineering Electromagnetic Compatibility*. USA: IEEE Press, 1996.
- [7] Torres, H., Barreto. "Las perturbaciones electromagnéticas". *Revista Innovación y Ciencia*, vol. V, no. 2 (1996): 30-37.
- [8] Procobre. "Calidad de la energía" (2005). Disponible en: <http://www.procobrevenezuela.org> (Consulta: noviembre/2007).
- [9] IEC. "Compatibilidad electromagnética". Disponible en <http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/000022> (Consulta: noviembre/ 2007).
- [10] Félíce, Eric. *Perturbaciones armónicas*. España: Paraninfo, 2000, págs. 3-15.

Fuente de alimentación con *flyback* empleando el circuito integrado *topswitch*

Por Ing. Julio Eusebio Fajardo Oliva, Gerencia de Gestión de Red, Subgerencia de Energética y Climatización, Grupo de Asistencia Técnica, e Ing. Jesús Fornell Cires, Gerencia de Proyectos, UNR, ETECSA

julio.fajardo@etecsa.cu, jesus.fornell@etecsa.cu

Introducción

En la actualidad, en la esfera de las telecomunicaciones se emplean diferentes fuentes de alimentación cada vez más eficientes y más pequeñas, las cuales son utilizadas en las PC, teléfonos inalámbricos, cargadores de baterías para móviles, pequeños convertidores para uso solar, etc. En la mayoría de estas aplicaciones se destaca la topología *flyback* con el empleo de los circuitos integrados *topswitch* que son una marca de fábrica de Power Integrations, Inc.

El *topswitch* es un dispositivo monolítico que combina un conmutador MOSFET de potencia, a voltaje alto, con toda la circuitería de control digital y analógico requerida para implementar un suministro de potencia conmutado aislado, regulado y protegido. Al diseñarse una fuente de energía queda simplificada grandemente, porque son requeridos pocos componentes externos. La alta frecuencia de conmutación de 100 kHz disminuye el tamaño de la fuente de energía por permitir el uso de componentes almacenadores de energía más pequeños. El *topswitch* fue diseñado para ser utilizado en fuentes de energía aisladas o en convertidores de DC a DC. Niveles de potencia hasta los 50 W pueden ser entregados desde voltajes de AC de 85 a 265 VAC, ó 100 W con un rango de entrada de 195 a 265 VAC. Operaciones para voltajes de entradas más bajos son también posibles con niveles reducidos de potencia de salida [1].

Familias de *topswitch* [1]

- TOPSwitch: TOP200-4/14 —se introduce en 1994—
- TOPSwitch-II: TOP221-227 —se introduce en 1997—
- TOPSwitch-GX: TOP242-250 —en el 2000—
- TinySwitch-II family of ICs —en el 2001—
- LinkSwitch —en el 2002—
- Power Integrations presenta TinySwitch-III family —en el 2006—.

La tecnología *topswitch* implementa con solo tres pines todas las funciones necesarias de un sistema de control conmutado *off-line*: un MOSFET de potencia de canal *N* de alto voltaje con control en una compuerta controladora de encendido, controlador PWM en modo de voltaje con un oscilador integrado de 100 KHz., circuito prefijado para arranque a alto voltaje, ancho de banda de referencia derivado, preferencia regulador Shunt/amplificador de error para lazo de compensación y circuito de protección a fallas [2].

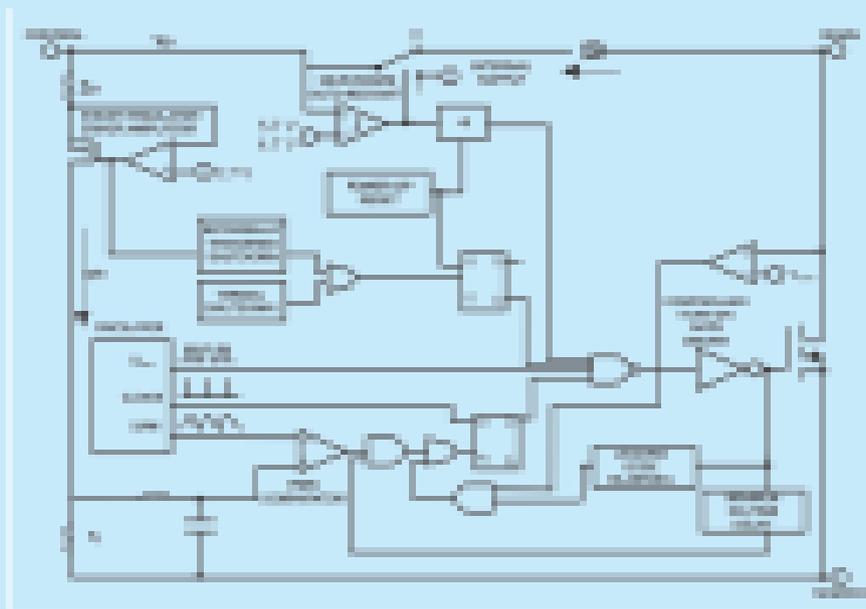


Figura 1 Diagrama de bloque de función [2]

Descripción funcional del *topswitch*

Pin de Drenaje: proporciona una corriente prefijada interna durante la operación de arranque a través de una fuente de corriente de alto voltaje interna. Punto de muestreo de corriente interno.

Pin de Control: pin de entrada de corriente de realimentación y amplificador de error para el control del ciclo de servicio. Conexión de regulador *shunt* interno para proporcionar una corriente prefijada interna durante su operación normal. Entrada de disparo para la orden de cierre. También es usado como una fuente de desviación y auto-rearranque/punto de conexión del capacitor de compensación [2].

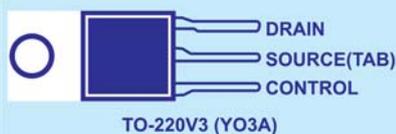


Figura 2 Configuración del pin [2]

Pin de la Fuente: conexión de la fuente MOSFET de salida. Lado primario del circuito común, retorno de energía y punto de referencia [2].

El *topswitch* tiene un auto prefijado y protegido control lineal de corriente para el ciclo de servicio del convertidor con una salida de drenaje abierta. La alta eficiencia es lograda a través del uso de CMOS —*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*— y de la integración de un número máximo de funciones posibles. CMOS significativamente reduce corrientes prefijadas cuando es comparada a bipolar o soluciones discretas. La integración elimina resistores de potencias externos usados para censar corriente o suministrar una corriente prefijada de arranque inicial [2].

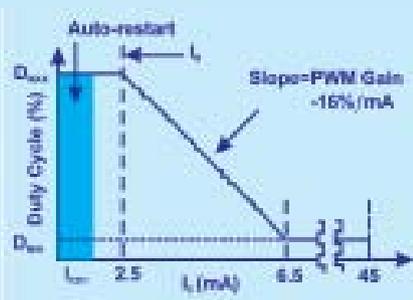


Figura 3 Relación del ciclo para controlar la corriente del pin [2]

Durante la operación normal, disminuye la linealidad del ciclo de servicio del MOSFET de salida interno con aumentos de corriente en el Pin de Control como se observa en la figura 3.

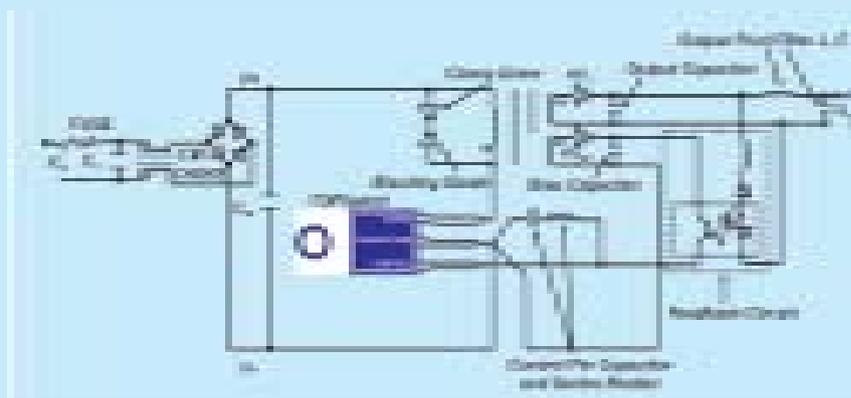


Figura 4 Fuente de alimentación *flyback* [3]

Operación básica de la fuente de alimentación con *flyback* utilizando *topswitch*

Un circuito básico de una fuente de alimentación con *flyback* utilizando *topswitch* es mostrado en la Figura 4 [3].

El transformador **T1** es utilizado para almacenar energía, aislar la salida y transformar el voltaje de salida. Cuando el *topswitch* está encendido, el diodo secundario **D2** está polarizado en inverso, y sube la rampa de corriente en el enrollado primario del transformador acorde a la ecuación:

$$I_{PRI} = I_i + \frac{(V_{IN} - D_{DS(ON)}) \times t_{ON}}{L_p} \quad [3] \quad 1$$

I_{PRI} es la corriente del primario en amperes; I_i es el valor inicial de la corriente del primario en amperes; V_{IN} el voltaje de entrada de CD después del puente; $V_{DS(ON)}$ la caída de voltaje del drenaje a la fuente a través de la salida del MOSFET en el *topswitch*; t_{ON} el tiempo de encendido en el *topswitch*; y L_p la inductancia del primario del transformador en henries. Desde que el transformador es aislado del circuito de salida de la carga por **D2** polarizado en inverso, la energía se suministra a R_L desde el capacitor de salida **C1** durante el tiempo de encendido del *topswitch* [3].

Cuando el *topswitch* se apaga, el flujo magnético en el núcleo del transformador comienza a disminuir, y es invertida la polaridad en el enrollado secundario. **D2** se energiza, y la energía almacenada en el transformador durante el tiempo de encendido del *topswitch* es descargada en el circuito de la carga, suministrando corriente a la carga R_L y reabasteciendo la carga agotada desde **C1** durante el tiempo de encendido. El valor inicial de la corriente en el secundario para el instante en que el *topswitch* se apaga será igual a $I_p \times N_s / N_p$, donde I_p es el valor pico de I_{PRI} para el final del tiempo de encendido del *topswitch*, N_p es el número de vueltas del primario y N_s es el número de vueltas del secundario. La corriente del secundario cae desde su valor inicial acorde a la ecuación (2) [3].

$$I_{SEC} = \frac{I_p \times N_p}{N_s} - \frac{(V_o + V_{D2}) \times t_{off} \times N_p^2}{N_s^2 \times L_p} \quad [3] \quad 2$$

$(I_{SEC} \geq 0)$

V_o es el voltaje de salida de la fuente; V_{D2} la caída de voltaje en conducción de **D2**; y t_{OFF} el tiempo de apagado del *topswitch*. Si la corriente del secundario cae a cero durante el tiempo de apagado del conmutador primario, la corriente de salida es entonces suministrada por el capacitor de salida **C1** [3].

Hay dos modos distintos en la operación de alimentación del *flyback*, dependiendo del valor de I_{SEC} al final del tiempo de apagado del *topswitch*. Si la I_{SEC} cae a cero antes del final del tiempo de apagado, la alimentación está fluyendo en el modo continuo de operación [3].

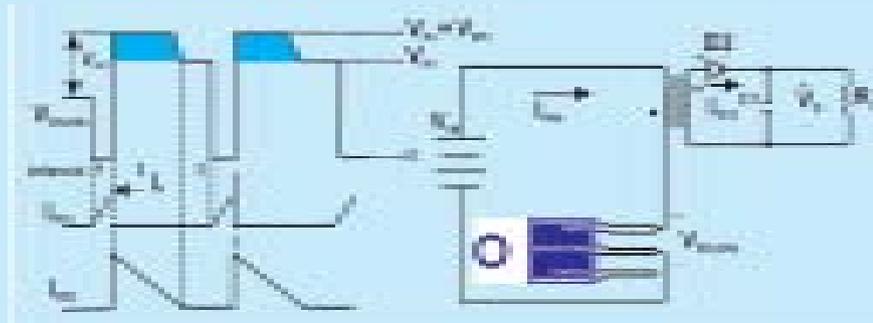


Figura 5 Convertidor *flyback* ideal de formas de ondas-modo discontinuo [3]

Modelo Ideal (Modo Discontinuo)

Existen tres intervalos diferentes de operación del circuito para la fuente de alimentación con *flyback* en modo discontinuo como se muestra en la Figura 5 [3].

El primer intervalo (1) de operación ocurre cuando el *topswitch* está encendido. La rampa de corriente I_{PRI} crece linealmente en el enrollado primario del transformador, causando un campo magnético en su núcleo. El voltaje del drenaje a la fuente $V_{DS(ON)}$ a través del *topswitch* es cercano a cero durante este intervalo. La salida del diodo impide el flujo de corriente en el secundario debido a las marcas de polaridad, el secundario del transformador es aislado de la salida por el diodo **D2** polarizado en inverso, y la corriente es distribuida a la salida por **C1** [3].

El segundo intervalo (2) de operación comienza cuando el *topswitch* se apaga. La energía almacenada en el campo magnético del transformador origina que el voltaje, a través de ambos enrollados secundario y primario, invierta la polaridad. En un circuito ideal la corriente primaria I_{PRI} instantáneamente para de fluir, mientras que la corriente secundaria I_{SEC} al momento comienza a fluir; posteriormente, se mostrará la importancia de este comportamiento no ideal. El voltaje, a través del enrollado secundario, es igual a la suma del voltaje de salida y el voltaje del diodo en conducción. El voltaje secundario es reflejado de regreso a través de la proporción de vueltas del transformador para este enrollado primario. Note que el voltaje de drenaje a fuente, a través del *topswitch* durante este intervalo de operación, es igual a la suma del voltaje de salida reflejado V_{OR} y el voltaje de entrada V_{IN} . Este voltaje reflejado debe ser tomado en cuenta cuando se selecciona la proporción de vueltas el transformador para evitar un exceso de voltaje extremo sobre el *topswitch*. El voltaje reflejado puede también ser utilizado para muestrear indirectamen-

te la salida de voltaje de la fuente desde el lado primario del transformador por medio de una vía o enrollado de control referenciado al retorno del primario, haciendo un control por el lado primario de la posible alimentación [3].

La energía almacenada en la inductancia primaria del transformador durante el primer intervalo de operación suministra corriente al circuito de carga durante el segundo intervalo de operación y reabastece la carga gastada del capacitor de salida **C1** durante los intervalos primero y tercero [3].

El tercer intervalo (3) de operación ocurre cuando el campo magnético dentro del núcleo ha caído a cero ($I_{SEC} = 0$). La corriente no circula en el primario y secundario del transformador lo cual define el modo de operación discontinuo. Se percibe que el voltaje de drenaje a fuente a través del *topswitch* ha decaído para el nivel de voltaje de entrada. Dado que la energía almacenada del transformador ha decaído a cero, la corriente de la carga a la salida es de nuevo suministrada por el capacitor de salida **C1** [3].

La energía entregada a la carga en cada ciclo por el transformador está dada por:

$$E = \frac{1}{2} \times L_p \times I_p^2 \times \eta \quad [3] \quad 3$$

De ese modo, la potencia a la salida se define por:

$$P_o = \frac{T}{2} \times L_p \times I_p^2 \times \eta \times f_s \quad [3] \quad 4$$

donde f_s es la frecuencia de operación del suministro de energía; y η la eficiencia. Sustituyendo la expresión en la ecuación (1) para I_p con $I_l = 0$ y $V_{DS(ON)} = 0$, y definiendo t_{ON} como D/f_s , donde D es el ciclo de servicio; y f_s la frecuencia de operación del *topswitch* [3].

Se obtiene la expresión:

$$P_o = \frac{V_{IN}^2 \times D^2 \times \eta}{2 \times L_p \times f_s} \quad [3] \quad 5$$

En la operación de la fuente de alimentación en modo discontinuo, el controlador se ajustará al ciclo de servicio del conmutador primario para entregar la energía suficiente a la carga y mantener el voltaje de salida deseado. El ciclo de servicio está en función del voltaje de entrada y la carga a la salida [3].

Modelo Ideal (Modo Continuo)

La siguiente figura presenta las formas de ondas características del modo de operación continuo y su circuito de referencia:

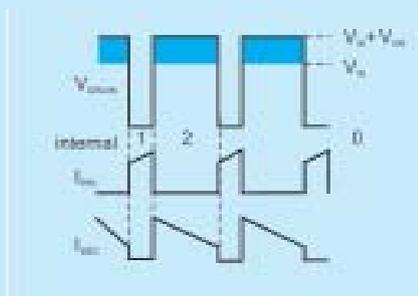


Figura 6 Convertidor flyback ideal de formas de ondas-modos continuo [3]

La corriente por el secundario I_{SEC} no decae completamente a cero como en el modo discontinuo, por lo que el tercer intervalo de operación (3) no existe. La corriente primaria I_{PRI} comienza con un paso de corriente igual al valor final de la corriente por el secundario I_{SEC} reflejada posteriormente a través de la proporción de vueltas del transformador. El voltaje de drenaje a fuente, a través del *topswitch* en el instante de energizarse es también diferente puesto que el tercer intervalo ha sido eliminado. El estado del voltaje a la salida continúa para balancear el ciclo de apagado hasta que el *topswitch* se energice nuevamente [3].

Trabajando correctamente para mantener constante el voltaje de salida, la cantidad que aumenta la rampa de corriente en la inductan-

cia primaria durante el tiempo de encendido debe ser balanceada por la disminución en la rampa de corriente durante el tiempo de apagado. Esto significa que [3]:

$$\frac{(V_{IN} - V_{DS(ON)}) \times D}{L_P \times f_S} = \frac{(V_O + V_{D2}) \times (1-D)}{\frac{N_S}{N_P} \times L_P \times f_S} \quad [3] \quad 6$$

Encontrando la solución para V_O , se obtiene la expresión:

$$V_O = \left[(V_{IN} - V_{DS(ON)}) \times \frac{D}{1-D} \times \frac{N_S}{N_P} \right] - V_{D2} \quad [3] \quad 7$$

Como la energía suministrada está corriendo en el modo continuo, puede ser vista desde la expresión de arriba que no hay una dependencia directa del voltaje de salida sobre la salida de la carga. Para una primera distribución, el ciclo de servicio de la fuente permanecerá constante cuando la carga es variada, y el valor inicial de la forma de onda de la corriente primaria variará en cambio [3].

La inductancia primaria del transformador de energía, la carga en la salida y el tiempo de apagado del *topswitch* determinan la operación discontinua o continua. Esta dependencia se muestra en la ecuación (2). La frontera de la operación continua frente a la operación discontinua es definida por la ecuación [3]:

$$I_{OB} = \frac{V_{IN}^2 \times V_O}{2 \times f_S \times L_P \times \left[\left(\frac{N_S}{N_P} \times V_{IN} \right) + V_O \right]^2} \quad [3] \quad 8$$

donde I_{OB} es la corriente de salida en la frontera entre la operación continua y la operación discontinua.

Esta ecuación se obtiene al asumir que la integral de la corriente de salida en la fuente de alimentación, empleada en el ciclo de conmutación, total es exactamente igual a la integral de la salida de corriente secundaria del transformador, empleada en el periodo del tiempo de apagado. Esto significa que, durante el tiempo de apagado, el transformador entrega exactamente suficiente energía para balancear la energía entregada a la carga que se utiliza en el ciclo de conmutación total, con la energía que no se usa y se escapa al final del tiempo de apagado [3].

Si la salida de corriente es mayor que la parte derecha de la ecuación (8), el suministro está operando en modo continuo. Si la salida de corriente es menor o igual que la parte derecha de la ecuación, el suministro está operando en modo discontinuo. Una inductancia primaria del transformador dejará la energía almacenada en el campo magnético con una proporción más rápida y el resultado consiste en un modo de conducción discontinuo. A la inversa, una inductancia grande en el primario no dejara toda la energía almacenada en el núcleo cada ciclo y operara en modo continuo. Si la corriente de la carga es reducida debajo de I_{OB} , el suministro correrá en modo discontinuo. Además, si el voltaje de entrada es aumentado para una carga dada, el suministro puede cambiar al modo discontinuo, así como I_{OB} se incrementa con el aumento del voltaje de entrada [3].

Modelo No Ideal (Modo Discontinuo y Continuo)

El circuito para la fuente de alimentación con flyback no ideal y las formas de onda asociadas para los modos de operación continuo y discontinuo son mostrados en las figuras 7 y 8 [3].

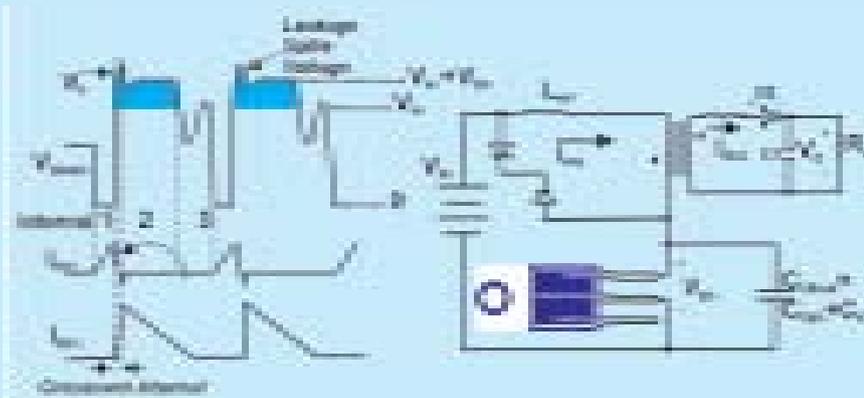


Figura 7 Convertidor *flyback* real de formas de ondas-modo discontinuo [3]

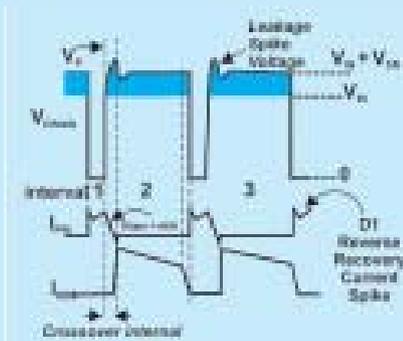


Figura 8 Convertidor *flyback* real de formas de ondas-modo continuo [3]

El *flyback* no ideal tiene tres elementos de circuito parásitos adicionales: dos inductores y un capacitor. El inductor L_{KP} es la inductancia de fuga del enrollado primario del transformador de energía. El inductor L_{KS} es la inductancia de fuga del enrollado secundario del transformador de energía. El capacitor C_{DRAIN} es la suma de C_{OSS} y C_{XT} [3].

Estos son la capacitancia de salida del *topswitch* y la capacitancia del enrollado del transformador, respectivamente. Estos elementos de circuito parásitos están presentes en cualquier *flyback* real, y afectan grandemente el funcionamiento del suministro [3].

El circuito en modo discontinuo tiene tres intervalos de operación por ciclo de conmutación (Figura 7). El impacto sobre la operación del circuito de los elementos parásitos en cada uno de los tres intervalos de operación es analizado a continuación [3].

En el primer intervalo (1) el *topswitch* se energiza, descargando C_{OSS} y C_{XT} . La energía almacenada en estas capacitancias al final del ciclo previo es disipada en el *topswitch* al comienzo del intervalo de encendido. Esta energía disipada es proporcional al cuadrado del voltaje en las capacitancias parásitas. Por causa de este efecto, grandes valores de capacitancia parásita pueden dramáticamente bajar la eficiencia de la fuente de alimentación, especialmente para un voltaje de entrada alto. La inductancia de fuga tiene un efecto pequeño durante el intervalo de encendido, puesto que el transformador no ha almacenado la energía, y el valor inicial de la salida de corriente en el secundario es cero [3].

En el segundo intervalo (2) de operación, el *topswitch* se apaga. La energía almacenada en el campo magnético del transformador durante el intervalo previo es ahora transferida al circuito secundario. Un problema que surge durante esta transferencia es que la fuga de las inductancias L_{KP} y L_{KS} trata de oponerse al flujo de corriente. L_{KP} está intentando mantener el

flujo de corriente por el primario; y L_{KS} , bloquear el flujo de corriente a través del secundario. Hay una “región de intersección” durante la cual la rampa de corriente primaria baja y la de corriente secundaria sube. La rampa de corriente primaria baja a cero con una pendiente determinada por el valor de la inductancia de fuga y los niveles de voltaje del circuito [3]. El gran problema es que la corriente primaria debe continuar circulando durante este intervalo de intersección. El declinar de la corriente primaria finaliza hasta que circula la corriente dentro de C_{OSS} y C_{XT} se carga hasta el pico de voltaje V_p . Este pico de voltaje, causado por la inductancia de fuga será referido como “un pico de fuga”. En una fuente con *flyback* y *topswitch*, el pico de fuga debe ser asegurado a un valor por debajo del voltaje de ruptura nominal [3].

Durante el tercer intervalo (3) de operación, el voltaje de salida reflejado va a cero. El campo magnético del transformador ha dejado toda la energía almacenada durante el primer intervalo. El voltaje del drenaje a la fuente del *topswitch* hace una transición desde un nivel igual a la suma del voltaje de salida reflejado V_{OR} y el voltaje de entrada V_{IN} baja a un nivel igual V_{IN} solo. Esta transición excita el circuito tanque resonante formado por la capacitancia perdida y la inductancia del primario para crear una forma de onda oscilatoria, la cual persiste hasta que el *topswitch* se energiza de nuevo. Esta forma de onda “modula” el voltaje sobre y la cantidad de energía almacenada dentro C_{OSS} y C_{XT} , determinando las pérdidas de energía cuando el *topswitch* se enciende al comienzo del próximo ciclo [3].

En el modo de operación continua, los mismos elementos parásitos están presentes como en el modo discontinuo. Y se añadan, los aspectos no ideales de la característica del recti-

ficador a la salida que se tornan importante. Un rectificador ideal no tiene caída de voltaje en conducción, y conmuta infinitamente rápido. Un diodo real tiene una caída finita de voltaje en conducción, y toma un tiempo finito en apagarse. La unión *PN* del diodo tiene un tiempo de recuperación finito en sentido inverso (t_{rr}) debido a que los portadores minoritarios de carga deben pasar rápidamente desde la unión por el voltaje inverso aplicado antes que la unión del diodo pueda invertir la polarización y conmutar al estado de apagado. En el caso del diodo Schottky, este tiempo de recuperación finito es originado por la capacitancia de unión. El tiempo de recuperación (t_{rr}) es asociado con el pico de corriente de recuperación inversa que persiste hasta que el diodo se apaga. El pico de corriente provoca una disipación de potencia en sentido inverso a la salida del rectificador, y las cargas bajan el *topswitch* durante su transición de encendido. La amplitud y duración de esta corriente de pico depende de la velocidad del diodo. Para fuentes de alimentación a 100 kHz, son recomendados diodos ultra rápidos ($t_{rr} < 50 \text{ ns}$). Utilizar diodos más lentos originaría una pérdida en la eficiencia debido a un exceso de disipación en la potencia de recuperación en sentido inverso, y puede resultar en una fuga térmica del diodo rectificador de salida [3].

Las formas de ondas en la operación no ideal del convertidor *flyback* en modo continuo se muestra en la figura 8. Durante el (1) intervalo de operación, el *topswitch* se enciende mientras la corriente está aun circulando en el enrollado secundario del transformador. Esto significa que el voltaje de drenaje para el instante que enciende es igual a la suma del voltaje de entrada y del voltaje secundario reflejado al revés a través

de la relación de vueltas del transformador. Esto produce una disipación de potencia más alta en el encendido del *topswitch* que en el modo discontinuo, debido a una energía adicional almacenada en las capacitancias parásitas del circuito primario. Además, la corriente en la inductancia de fuga secundaria debe ser descargada antes que la salida secundaria pueda ser apagada. Esto se deriva en una corriente de encendido solapada, mientras la rampa de corriente por el secundario baja y la rampa de corriente por el primario sube. Una vez que la inductancia de fuga por el secundario es descargada, el rectificador de salida **D2** es inversamente referenciado, y los portadores de carga en la unión del diodo son repuestos, resultando en un pico de corriente recuperado en sentido inverso que es reflejado en el primario y aparece para guiar el borde de la forma de onda de la corriente del primario. Dependiendo de las características de los diodos, este pico de corriente inicial puede ser comparable en amplitud o más alto que el valor final de la corriente primaria. Lo que puede resultar una operación falsa del circuito de protección por límite de corriente. El *topswitch* permite construir el borde de ataque del límite de corriente en vacío para prevenir el pico de corriente inicial de un disparo en falso del circuito de protección que limita la corriente [3].

Cuando el *topswitch* se apaga, operando en modo continuo, es similar al modo discontinuo. La corriente secundaria y primaria experimentan una región de solapamiento causado por los efectos de la inductancia de la fuga del transformador. Se eleva el pico de fuga en el primario de la misma forma que en el modo de operación discontinua. El voltaje del drenaje a la fuente sube a la suma del voltaje de suministro de entrada y el voltaje de salida reflejado regresa a través de la relación de vueltas del transformador. Semejante al modelo del modo discontinuo, el voltaje reflejado se mantiene hasta que el *topswitch* se enciende de nuevo, así, no hay intervalo (3) donde el voltaje secundario reflejado cae a cero [3].

Conclusiones

La tecnología *topswitch* comparada con los componentes MOSFET discretos y controladores o auto osciladores en las soluciones de conmutadores conmutados puede reducir el costo total, la cantidad de componentes, el tamaño y el peso, a la vez que incrementa la eficiencia y la fiabilidad del sistema.

La topología *flyback* mantiene sus ventajas para los niveles de potencia hasta 100 W o salidas de corriente hasta 10 A. Para potencias mayores a los 100 W ó 10 A de corriente de salida se requiere el uso de componentes más caros, permitiéndole a las otras topologías convertir más efectivo el costo. 

Referencias bibliográficas

- [1] Power Integrations, Inc. Fact Sheet (February 2006). Disponible en: <http://www.powerint.com>. (Consulta: marzo/2008).
- [2] TOP200-4/14. TOPSwitch Family. Three-terminal Off-line PWM Switch. Disponible en: <http://www.powerint.com>. (Consulta: marzo/2008).
- [3] TOPSwitch® Flyback. Design Methodology. Application Note AN-16. Disponible en: <http://www.powerint.com/sites/default/files/product-docs/an16.pdf>. (Consulta: marzo/2008).
- [4] TOPSwitch-GX Flyback. Design Methodology. Application Note AN-32. Disponible en: <http://www.powerint.com/sites/default/files/product-docs/an32.pdf>. (Consulta: abril/2008).
- [5] Product Selector Guide AC-DC Products. June 2006. Power Integrations, Inc. Disponible en: <http://www.powerint.com>. (Consulta: marzo/2008).

Armónicas y Resonancia Paralelo

Por Jorge de los Reyes y Armando Llamas, Departamento de Ingeniería Eléctrica ITESM, Campus Monterrey
jdelosre@academ01.mty.itesm.mx, allamas@academ01.mty.itesm.mx

Este texto apareció publicado originalmente en el tomo 1 de las Memorias de la Décima Reunión de Verano de Potencia, celebrada por el Tecnológico de Monterrey. Está disponible en: <http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/armonicas/08Resonancia.PDF>. Sus autores, amablemente, cedieron sus derechos para su publicación en nuestra revista.

Introducción

En la actualidad el uso de las llamadas cargas no sinusoidales es cada vez más común en la industria, edificios comerciales, casas, etc. La carga no sinusoidal es aquella cuya característica V-I no es una línea recta la cual corresponde a una carga resistiva, o bien, una elipse que corresponde a una carga inductiva-resistiva o capacitiva. Este tipo de cargas son alimentadas con voltajes casi sinusoidal, pero la corriente que extraen es no sinusoidal y de ahí que la característica V-I sea no lineal. Cuando se tienen cargas que consumen potencia reactiva —motores, reactores y transformadores—, el factor de potencia es pobre y se corrige con capacitores. Cuando se tiene una combinación de cargas que toman corriente con distorsión y cargas que consumen reactivos de desplazamiento, la corrección del factor de potencia con bancos de capacitores puede dar lugar a una resonancia paralelo excitada. Esta condición se manifiesta con el disparo de los ITMs —Interruptores Termo Magnéticos— o la apertura de los fusibles que protegen a

los capacitores. Al colocar capacitores, el factor de potencia que se corrige es de desplazamiento, no el de distorsión; pero, en cambio, se logra bajar la frecuencia de resonancia del sistema a niveles donde esta pueda ser excitada por las cargas no lineales que el sistema alimenta. Al situar capacitores para corregir el factor de potencia, en realidad, se construye un circuito que es conocido como circuito tanque, el cual visto desde la carga —la combinación no lineal e inductiva— nos representa la condición de resonancia paralelo. Cuando existe resonancia paralelo se presenta distorsión elevada en los voltajes y sobre corrientes en los capacitores, por eso es que operan las protecciones.

En las secciones siguientes se presenta una explicación simplificada del fenómeno de resonancia paralelo, un caso industrial, un caso en una instalación comercial, la implementación y simulación de un circuito monofásico que exhibe la excitación de la frecuencia de resonancia y las recomendaciones para corregir factor de potencia en presencia de distorsión.

Explicación simplificada

Se dice que un circuito que tenga inductancia y capacitancia está en resonancia cuando el voltaje y la corriente están en fase a una frecuencia dada, es decir, cuando la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva se anulan. Estamos interesados en la condición de resonancia paralelo que provoca que la impedancia que ve una corriente que se inyecta sea muy elevada como lo veremos más adelante. La figura 1 muestra un diagrama unifilar muy simplificado de un sistema de potencia típico que alimenta a una carga que consume corriente no lineal en paralelo con un banco de capacitores para corregir el factor de potencia

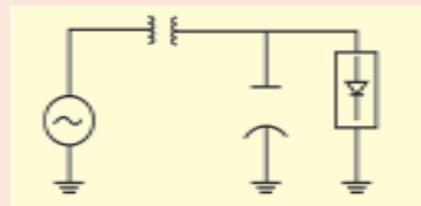


Figura 1 Diagrama unifilar de un sistema de potencia que alimenta a una carga no lineal

En la figura 2 se observa la representación de este sistema de potencia en un circuito eléctrico equivalente. Las cargas no lineales se pueden representar como fuentes de corriente en paralelo, cada una operando a distinta frecuencia. La suma de estas corrientes da como resultado la corriente total que es consumida por la carga no sinusoidal.

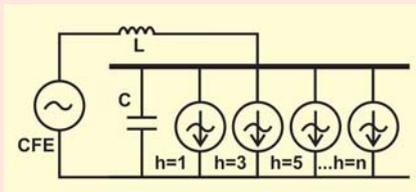


Figura 2 Circuito eléctrico equivalente del sistema de potencia de la figura 1

Dado que este circuito tiene fuentes de corriente que operan a distintas frecuencias, puede aplicarse el teorema de superposición y resolverlo para cada frecuencia. Así, para la frecuencia de 60 Hz, que el circuito contiene una fuente de voltaje, una fuente de corriente, la inductancia y la capacitancia. La figura 3 muestra como quedan interconectados estos elementos a la frecuencia de 60 Hz.

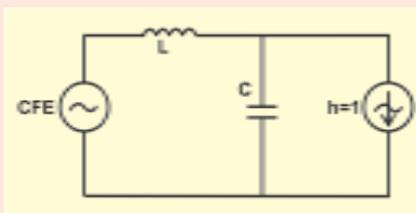


Figura 3 Circuito eléctrico equivalente para una frecuencia de 60 Hz

La figura 4 expone los elementos a frecuencias distintas de 60 Hz. Se tiene ahora a la inductancia, la capacitancia y la fuente de corriente de interés, todos en paralelo. Este circuito presenta una frecuencia de resonancia la cual viene dada por la siguiente expresión:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

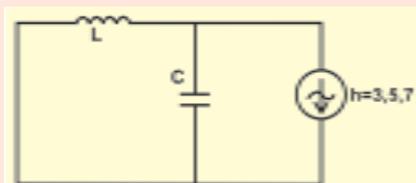


Figura 4 Circuito eléctrico equivalente para frecuencias distintas de fuente de voltaje

Para obtener la corriente del capacitor se aplica la técnica de división de corriente y queda:

$$I_c = I_h \times \frac{\omega L}{\omega L - \frac{1}{\omega C}}$$

A partir de esta ecuación, se podrá observar que conforme se varíe la frecuencia ω , va llegar un momento en que el denominador de dicha ecuación se haga cero o casi cero, lo cual trae como consecuencia un aumento considerable en la corriente que circula por el capacitor. De esta forma, se observa que no se necesita estar exactamente en la frecuencia de resonancia para obtener corrientes elevadas en el capacitor, sino que basta con estar un poco cerca. En un sistema de potencia real, la corriente no se va hacer infinita o excesivamente grande, porque los conductores y las uniones presentan una resistencia inherente la cual limita en cierta medida la corriente. El circuito simplificado indica que si los valores de capacitancia y de inductancia dan lugar a una resonancia que coincida con una de las armónicas presentes en la carga no lineal, el voltaje en el capacitor se haría infinito, obviamente esto no es posible. La carga no está formada por fuentes sino por elementos pasivos. Si la impedancia del sistema de alimentación y el banco de capacitores bloquea la corriente de cierta armónica, entonces el valor de la fuente de corriente que representa a dicha armónica se haría pequeño.

Ejemplos

Ejemplo industrial

En una industria con problemas con el factor de potencia, se decide instalar bancos de capacitores para mejorarlo. Dicha industria tenía cargas no lineales. Cuando se instalaron los bancos, por recomendaciones del fabricante se colocaron protecciones al 200 % para evitar que estuvieran operando con frecuencia. El

problema no quedó resuelto, el factor de potencia seguía siendo bajo y no se sabía si al colocar más capacitores se produciría resonancia. En una visita que se hizo a la planta, se tomaron varias muestras de las formas de onda de corriente y voltaje en los capacitores con y sin la carga. Cuando no había carga, el voltaje de línea a tierra era de 270 V rms y la corriente demandada por los capacitores era de 30 A rms. La figura 5 muestra las formas de onda de corriente y voltaje del banco de capacitores. Obsérvese que la corriente presenta algo de distorsión lo cual es típico en instalaciones industriales y comerciales debido a que los capacitores presentan una impedancia baja a las corrientes de alta frecuencia que se encuentran en la red.

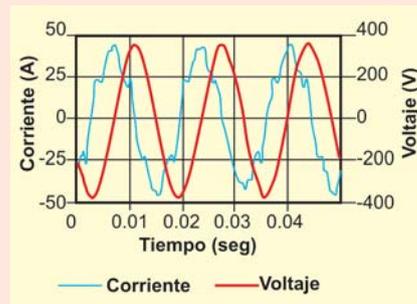


Figura 5 Voltaje y corriente en el banco de capacitores de la planta industrial cuando las cargas no lineales están afuera

En la figura 6 se muestran las formas de onda de corriente y voltaje en el capacitor una vez que la carga no lineal demanda corriente no sinusoidal. Bajo estas condiciones, el valor efectivo de la corriente aumentó de 30 a 34.5 A rms, y el valor del voltaje cayó de 270 V rms a 242 V rms. El aumento de corriente indica que se está en presencia de una condición de resonancia. Al obtener el espectro de armónicas de esta corriente, había resonancia alrededor de la armónica 16. Este mismo resultado fue el que se obtuvo al hacer un análisis en la frecuencia del circuito eléctrico equivalente que representaba a la planta industrial. Dado que la corriente que demandaba la carga no lineal tenía

bastante contenido de armónicas, era obvio que se estaba excitando la frecuencia de resonancia del sistema. Se observa como al entrar en resonancia, el voltaje del capacitor deja de ser sinusoidal y toma la forma como de una onda triangular. La corriente tiene un alto contenido de armónica 16, esta corriente en los capacitores no es común y acorta la vida útil de los mismos.

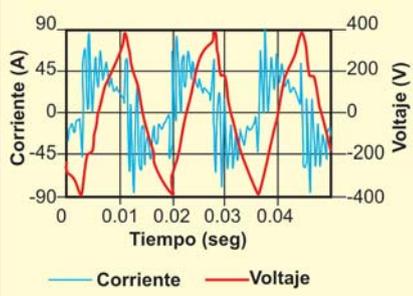


Figura 6 Voltaje y corriente en el banco de capacitores de la planta industrial cuando las cargas no lineales están dentro

Ejemplo comercial

La figura 7, por ejemplo, muestra el voltaje y la corriente en un filtro de quinta armónica sintonizado apropiadamente, por ejemplo, a la 4.6.

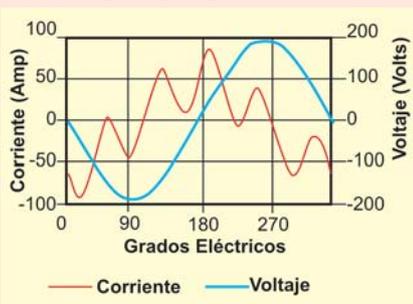


Figura 7 Voltaje y corriente en filtro bien sintonizado

En la figura 8 se observa el voltaje y la corriente de un filtro de armónicas sintonizado por arriba de la quinta,

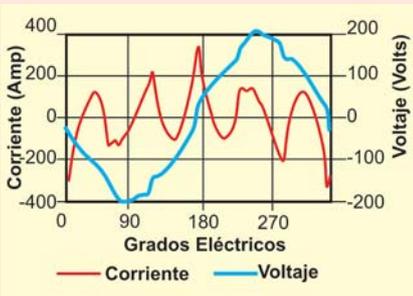


Figura 8 Voltaje y corriente en filtro mal sintonizado

5.5. La corriente aumentó de 50 a 130 A, y el voltaje presenta un alto contenido de quinta armónica. Sin embargo, en esta figura puede apreciarse que no hay sobrevoltaje porque el pico se mantiene en los 200 volts y el valor rms medido no cambió significativamente.

Implementación monofásica

La figura 9 muestra el circuito usado para observar el fenómeno de resonancia. Este es un circuito RLC que alimenta a una carga no lineal conectada en paralelo con el capacitor. La carga no lineal consiste en un puente de rectificación con un capacitor conectado entre las terminales de CD del puente para lograr mantener un voltaje rectificado casi constante el cual alimenta a un foco de 200 W. Esta carga si es conectada a la línea directamente, consume corriente en la forma como lo hacen las computadoras, televisores y videograbadoras.

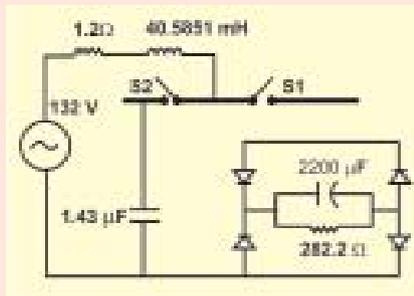


Figura 9 Circuito usado para analizar el fenómeno de resonancia en la armónica no. 11

Para determinar a qué frecuencia de resonancia se sintonizaría el circuito, se empleó el producto Pspice y se hicieron varias simulaciones con distintos valores de inductores y capacitores sintonizados a la 3^{ra}, 5^{ta}, 7^{ma}, 9^{na}, y 11^{na}. De todas estas se escogió la 11^{na} armónica porque fue la primera en el espectro que elevó a más del doble el valor efectivo de la corriente en el capacitor respecto a la condición sin carga. En armónicas más bajas, el mismo sistema es capaz de amortiguar la amplificación de las corrientes por lo que a primera vista parece que el fenómeno de resonancia no se

presenta. Para tener un punto de referencia y ver cuánto se eleva la corriente en el circuito implementado respecto a ese punto, se calcula primero cuanto vale la corriente en estado estable cuando S1 está abierto y S2 cerrado. La fuente de voltaje es de 132 V rms, 60 Hz, la cual se asume que es ideal, es decir, sin distorsión armónica. Bajo estas condiciones, los valores de las reactancias inductiva y capacitiva son:

$$X_L = 120\pi \times 40.585 \times 10^{-3} = 15.3\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{120\pi \times 1.43 \times 10^{-6}} = 1854.95\Omega$$

y la corriente que circula es:

$$I = \frac{132}{12 + j(15.3 - 1854.95)} = 71.7 \text{ mA}$$

En pruebas hechas en laboratorio, la corriente medida fue de 76 mA. Esta pequeña diferencia se debe principalmente a que la fuente de voltaje en el laboratorio no es ideal, debido a que presenta algo de distorsión armónica. La figura 10 muestra el voltaje y la corriente medidos en el capacitor y en los cuales se aprecia la distorsión, sobre todo en la corriente.

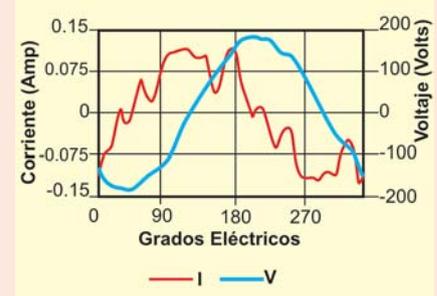


Figura 10 Voltaje y corriente en el Circuito RLC con S1 abierto y S2 cerrado

El segundo caso que se analiza es cuando se tiene S2 abierto y S1 cerrado con el objeto de ver cuál es la corriente que consume la carga no lineal. Para obtener este valor se procedió a hacer una simulación y, de esta manera, determinar el valor efectivo de la corriente. En la simulación la corriente que es demandada por la carga es de 830 mA rms y en pruebas hechas en laboratorio,

resultó ser de 847 mA rms. En las figura 11 y 12 se recogen las formas de onda de corriente y voltaje medidas y simuladas.

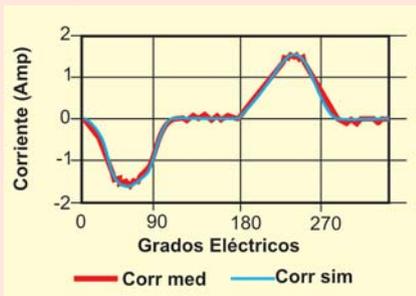


Figura 11 Corriente en el Circuito RLC con S1 cerrado y S2 abierto

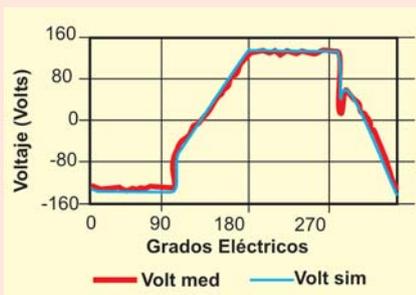


Figura 12 Voltaje en la carga no lineal con S1 cerrado y S2 abierto

Una vez conocidas las dos condiciones de operación por separado del circuito, debe observarse cómo se comporta cuando S1 y S2 están cerrados. Para este caso, la corriente del capacitor aumentó de 76 mA rms a 196 mA rms, que equivale a poco más de 2,5 veces.

La figura 13 representa la forma de onda de la corriente medida y simulada del capacitor. Obsérvese que ya la corriente no es sinusoidal y presenta bastante distorsión. De igual forma, el voltaje del capacitor, que es el que se aplica a la carga, presentó un incremento en la distorsión por el hecho de tener resonancia.

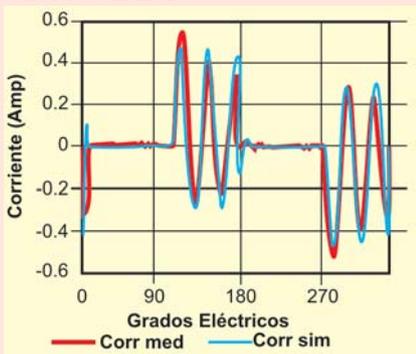


Figura 13 Corriente en el capacitor medida y simulada del Circuito RLC con carga

La figura 14 indica el voltaje medido y simulado del capacitor. En esta prueba se pudo comprobar que el voltaje del capacitor no presentó un aumento considerable porque su valor con y sin carga se mantuvo alrededor de los 131 V rms.

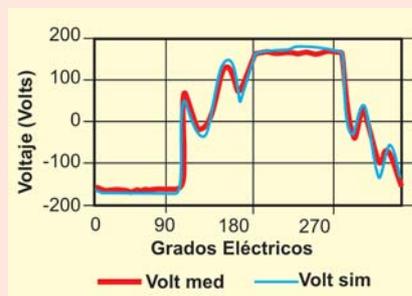


Figura 14 Voltaje en el capacitor medido y simulado del Circuito RLC con carga

Para comprobar que realmente se tiene resonancia en la armónica 11, se obtuvo el espectro de Fourier de las formas de onda de las figuras 13 y 14 el cual se expresa en la figura 15. En esta figura puede verse que efectivamente la armónica que está en mayor porcentaje presente es la once.

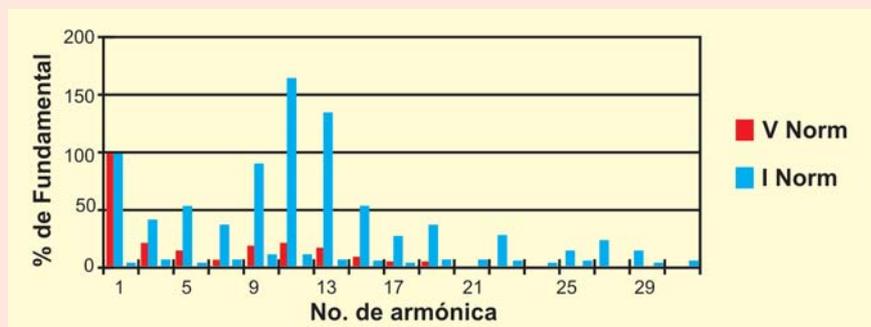


Figura 15 Espectro normalizado del voltaje y la corriente del capacitor

Sin embargo, se observa que también hay armónicas de otras frecuencias como la 3^{ra}, 5^{ta}, etc., y la razón de su presencia es que como son demandadas por la carga, encuentran un camino de más baja impedancia a través del capacitor que del inductor conforme la frecuencia aumenta.

Conclusiones

Cuando en una instalación eléctrica se tiene un bajo factor de potencia en presencia de cargas no lineales, resulta siempre muy arriesgado tratar de corregirlo sin antes hacer un análisis del sistema de potencia en cuestión. Cuando se hizo la implementación monofásica, la resonancia se obtuvo ajustando el valor de inductancia. En un sistema de potencia real el valor de la inductancia no se puede modificar, es fijo, pero en cambio el que sí puede cambiarse es de la capacitancia al ir agregando kVAR's al sistema, y el resultado final es el mismo. Como la frecuencia de resonancia es inversamente proporcional a la capacitancia, añadir kVAR's significa bajar esta frecuencia a niveles donde esta puede ser excitada por las cargas no lineales que existan en el sistema, si es que existen. Si nuestro sistema tuviera cargas lineales, no habría tanto problema, pero hoy son cada vez más numerosas las cargas no lineales en instalaciones eléctricas por lo que resulta factible excitar la frecuencia de resonancia del sistema al agregar capacitores. Ante este tipo de situación lo más recomendable es hacer un estudio del sistema, ya sea mediante simulaciones, o bien, mediciones en el campo. 

Referencias bibliográficas

- [1] IEEE Std 141-1993. "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, Red Book", págs. 456-458.
- [2] IEEE Std 399-1990, "IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis, Brown Book, págs. 243-244.
- [3] Hayt, William H. and Kemmerly, Jack E. *Análisis de Circuitos en Ingeniería*. 4ta. Edición. México: Mc Graw Hill, 1987, págs. 407-409.

El Rectificador como corrector del Factor de Potencia

Por Ing. Erasmo Luis González Méndez, Especialista Principal, Departamento Nacional de Energética y Climatización, VPOR e Ing. Evelio Amor Galano, Especialista en Energética y Climatización, Dirección Territorial Matanzas, ETECSA
luis.glez@etecsa.cu, diagenerg1@mtz.etecsa.cu

Introducción

Aunque en no pocas ocasiones suele olvidarse por sus usuarios, los sistemas de alimentación de DC son de importancia capital en la garantía de la continuidad en el servicio de telecomunicaciones que las empresas del ramo brindan a sus clientes.

Algunos, todavía hoy, identifican el proceso de rectificación de la energía eléctrica suministrada por la red industrial de AC y su conversión en 48 VDC para alimentar las cargas constituidas por el equipamiento de telecomunicaciones, con el que se produce en las fuentes de alimentación de DC estudiadas en las primeras clases de electrónica general de los cursos de formación de técnicos e ingenieros, a saber: transformación, rectificación, filtrado y estabilización. Sin embargo y aun cuando los primeros rectificadores presentaban esta estructura extremadamente sencilla, barata y fiable, la demanda de corriente eléctrica que se impone a la red de distribución de AC, está bastante alejada de una senoide. Puede afirmarse que, en realidad, está formada por cortos e intensos picos de corriente que al circular por la impedancia inherente a la

red de distribución, originan caídas de tensión que afectan significativamente la calidad de la energía recibida por otros usuarios de la misma red. Se originan problemas como la circulación de distribuciones trifásicas de armónicos a través del neutro y de los conductores eléctricos en general, los cuales no pueden ser consumidos por las cargas produciendo sobrecalentamiento en los conductores y devanados de generadores y transformadores con pérdida del aislamiento.



Figura 1 Doble alimentación, supervisión y gestión de alarmas de los sistemas de rectificadores

La contaminación aportada por los sistemas de energía tradicionales de ETECSA a las redes de distribución, comienza a reducirse con la introducción de los rectificadores conmutados que acompañan a las nuevas tecnologías instaladas como resultado del proceso de digitalización. La figura 1 muestra algunas nuevas prestaciones que antes no disponían los rectificadores como son la doble alimentación de AC, la supervisión y la gestión de alarmas. Estos equipos de nueva generación se caracterizan por una alta eficiencia de conversión y por su comportamiento como correctores del factor de potencia. Este comportamiento será motivo de análisis en el presente trabajo, así como también las configuraciones básicas que los mismos presentan.

Fuentes conmutadas: distintas topologías

Los rectificadores empleados hoy en el soporte de energía de las telecomunicaciones, no son otra cosa que las comúnmente denominadas fuentes conmutadas, cuyo diagrama en bloques se muestra en la figura 2.

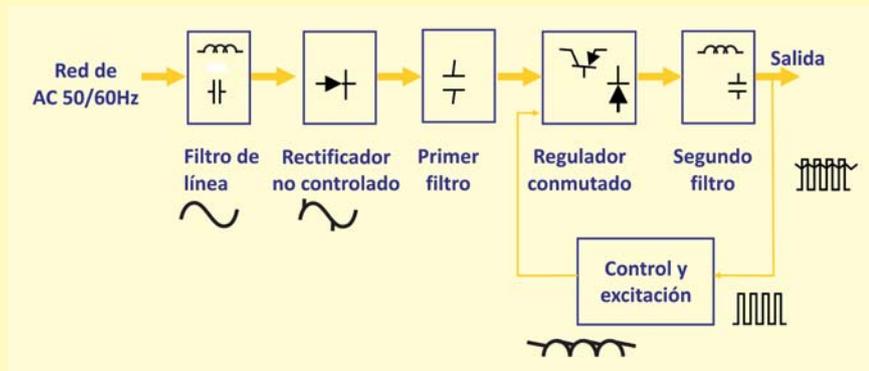


Figura 2 Diagrama en bloques de una fuente conmutada

La alimentación de AC es primeramente rectificada y luego filtrada por el capacitor almacenador de entrada para producir una fuente de DC no estabilizada, cuya capacidad de entrada debe ser regularmente grande para mantener la fuente de DC en caso de una caída severa en la alimentación principal.

El voltaje de DC no estabilizado alimenta directamente al bloque fundamental de la fuente que es el llamado regulador conmutado ó etapa de conmutación de alta frecuencia. A la salida del mismo se obtiene también otro voltaje de DC por lo que se le conoce además por convertidor DC-DC. Los dispositivos semiconductores de potencia de conmutación rápida tales como el MOSFET, los BJT y los IGBT, son excitados para que enciendan y apaguen a una frecuencia relativamente grande, conmutando el voltaje de entrada a la salida, lo que puede hacerse a través de un transformador de potencia en las topologías aisladas o simplemente a través de regulador en las topologías no aisladas. Los pulsos que controlan la conmutación generalmente tienen frecuencia fija que está entre los 20 y los 200 kHz y se varía el ciclo de trabajo. De esta forma, un tren de pulsos de voltaje de magnitud adecuada y con una razón de trabajo, aparece a la salida del regulador conmutado. Este tren de pulsos es rectificado y filtrado en las topologías aisladas o simplemente filtrado en las no aisladas, por el filtro de salida que puede ser un arreglo capacitor-inductor o un solo capacitor, en dependencia de la topología utilizada.

Esta transferencia de potencia, como se verá más tarde, debe llevarse a cabo con las menores pérdidas posibles para mantener la eficiencia en un nivel adecuado. Por lo tanto, es crítico el diseño óptimo de todos los componentes.

La regulación /estabilización de las salidas para lograr una fuente estabilizada fija o variable según sea conveniente es desarrollada por el bloque de control o realimentación. Como regla, los reguladores conmutados son gobernados por una señal PWM —*Pulse Wide Modulation/Modulación por Ancho del Pulso*— a frecuencia fija, que varía ciclo a ciclo el tiempo de conducción del conmutador. Esto compensa las variaciones en la fuente de entrada y en la carga.

En las fuentes con acople por transformador y con el propósito de mantener intacta la barrera de aislamiento, se requiere en la alimentación de algún tipo de aislamiento electrónico. Esto usualmente se logra utilizando un transformador de pulsos pequeño ó un optoacoplador lo que hace que el número de componentes del sistema aumente.

La mayoría de las aplicaciones requieren de un transformador. Este proporciona aislamiento eléctrico, posibilidades de variación de voltaje a través de la relación de vueltas y la probabilidad de proporcionar múltiples salidas. Sin embargo, existen configuraciones aisladas tales como los convertidores reductores y elevadores en los que el procesamiento de la potencia se logra sólo por la transferencia de energía inductiva —la mayoría de los circuitos más complejos están basados en topologías no aisladas—.

Clasificación de los reguladores conmutados

Existen varios criterios a la hora de clasificar a los reguladores conmutados. El primero está asociado a la relación entre el voltaje de salida respecto al voltaje de entrada, pudiendo ser:

- 1- Reductores (*Buck*).
- 2- Elevadores (*Boost*).
- 3- Reductores - Elevadores. (*Buck-Boost*).

En función del aislamiento eléctrico entre la salida y la entrada, pueden encontrarse convertidores aislados y no aislados.

Si la transferencia de energía a la carga ocurre cuando el conmutador conduce, serán convertidores directos (*forward*) y si dicha transferencia ocurre cuando el conmutador está abierto, serán de retroceso (*flyback*).

Si el convertidor manipula niveles de potencia superiores es necesario utilizar más de un elemento conmutador, en ese caso, existen además de las topologías mencionadas anteriormente las configuraciones:

- ♦ Contrafase (*Push-pull*).
- ♦ Semipuente (*Half-bridge*).
- ♦ Puente (*Full-bridge*).

En estas últimas configuraciones ocurre una transformación CD/CA en la operación del convertidor. Estos convertidores en general se estudian en la temática de los inversores o como también se le conoce en el lenguaje técnico de telecomunicaciones: onduladores.

Convertidor Reductor (*Buck Converter*)

La familia de convertidores directos (*forward*) que incluye al *Push-pull* y los puentes, están basados en el convertidor *Buck* que se muestra en la figura 3, el cual es muy empleado en los rectificadores que alimentan a los sistemas de telecomunicaciones.

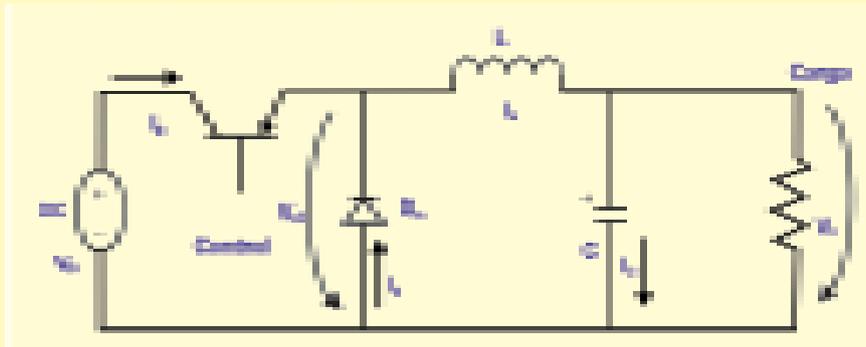


Figura 3 Convertidor Reductor (*Buck*)

En un regulador-reductor, el voltaje promedio de salida es menor que el de entrada de ahí su nombre. La operación del circuito puede dividirse en dos intervalos. El intervalo 1 (Figura 4) comienza cuando satura el transistor en $t=0$.

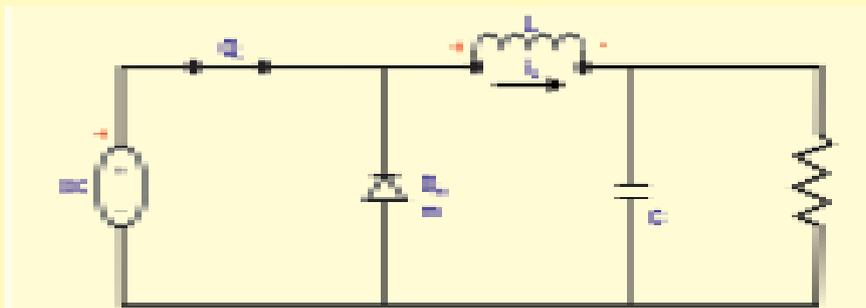


Figura 4 Circuito equivalente del *Buck* con el transistor en ON

La corriente de entrada es creciente e igual a la que circula a través del transistor y el inductor, y se divide en el paralelo formado por el capacitor del filtro y la carga.

El intervalo 2 (Figura 5) comienza cuando se corta el transistor en $t=t_1$.

El diodo de libre camino conduce debido a la energía almacenada en el inductor y la corriente a través del mismo, ahora decreciente, continúa fluyendo a través de L , C , la carga y el diodo D_m .

Este intervalo termina cuando el transistor vuelve a saturar en el próximo ciclo.

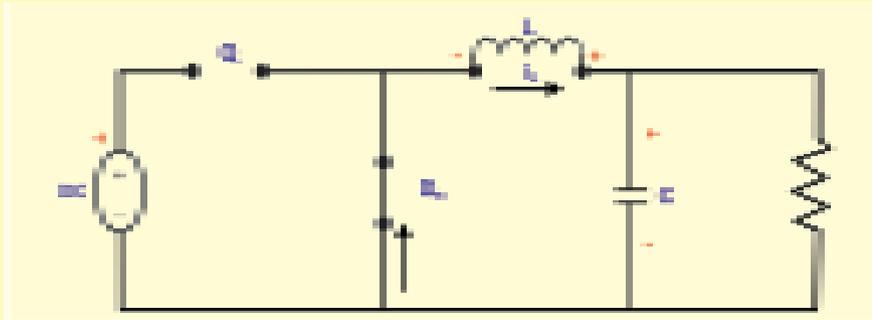


Figura 5 Circuito equivalente del Buck con el transistor en OFF.

El regulador tiene dos modos de conducción o de trabajo posibles:

- ♦ Continua
- ♦ Discontinua.

Puede demostrarse que si se define el factor de trabajo del conmutador o ciclo útil como la relación entre el tiempo en que está encendido el mismo, con respecto al período de conmutación.

$$\delta = \frac{t_{on}}{T}$$

Entonces $V_o = \delta \cdot V_B$; lo cual significa que el voltaje de salida depende lineal y exclusivamente de δ .

Convertidor Elevador (*Boost Converter*)

Este convertidor no es muy empleado en el soporte de energía de las telecomunicaciones debido a que el voltaje medio de salida es mayor que el de entrada. Una variante del mismo que utiliza un MOSFET de potencia se muestra en la figura 6.

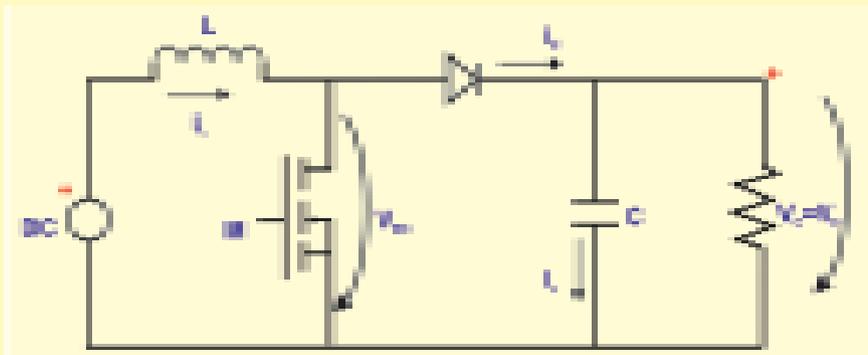


Figura 6 Convertidor Elevador (*Boost Converter*)

Al igual que en el *Buck*, la operación del circuito puede dividirse en dos intervalos.

En el intervalo 1 se activa el conmutador M en $t=0$. La corriente de entrada, que está creciendo, fluye por el inductor L y el MOSFET tal y como se ve en el circuito equivalente de la figura 7.

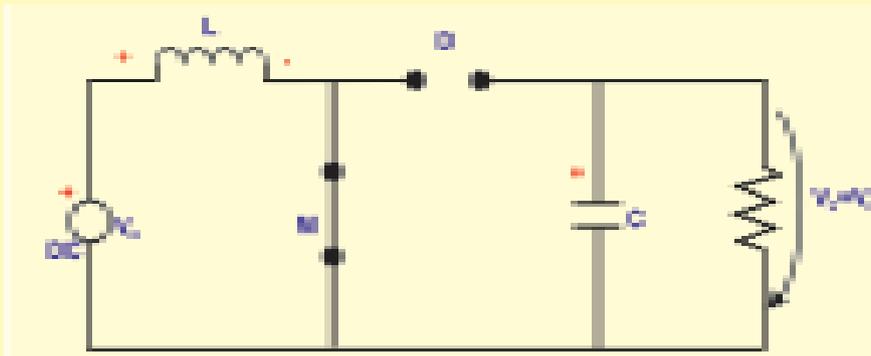


Figura 7 Circuito equivalente con el MOSFET en ON

El intervalo 2 comienza cuando se desconecta el conmutador (MOSFET) M en $t=t_1$. La corriente fluirá ahora a través de L , D , y el paralelo del capacitor y la carga tal y como puede apreciarse en el circuito equivalente de la figura 8.

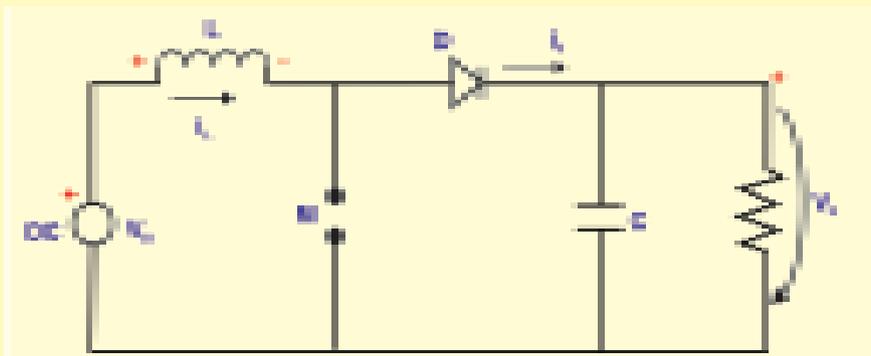


Figura 8 Circuito equivalente con el MOSFET en OFF

En este intervalo la corriente en el inductor decrece hasta que se active nuevamente al MOSFET. La energía que se almacenó en el inductor durante el intervalo 1, es transferida a la carga en el intervalo 2.

El rectificador ideal

Las soluciones activas son las que permiten obtener los mejores resultados en lo que se refiere a la calidad de corriente demandada a la entrada del rectificador, aunque en general son más costosas y menos robustas que las pasivas, pero en cualquier caso, siempre es deseable que un rectificador presente una carga resistiva a la AC de la red industrial. La corriente de línea de AC así como el voltaje tendrán, entonces, la misma forma de onda y estarán en fase.

Resistor Libre de Pérdidas o Emulador de Resistencia

El resultado de lo anteriormente enunciado será entonces el de un factor de potencia unitario o cercano al mismo. A esta red de 2 puertos que es vista por el puente de diodos rectificador como una impedancia resistiva y por el puerto de salida como una fuente de potencia cons-

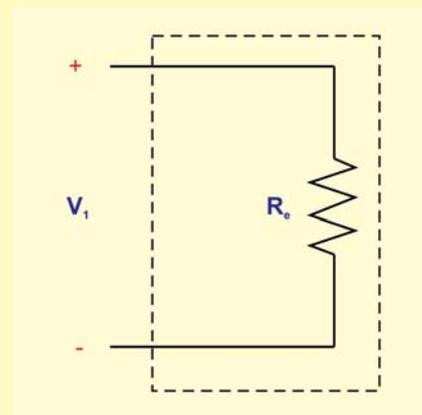


Figura 9 Puerto de entrada simulando una Resistencia Efectiva

tante, se le denomina: Emulador de Resistencia o Resistor Libre de Pérdidas —del inglés, *Loss Free Resistor* (LFR)—.

En estas condiciones, el puerto de AC y, a su vez, de entrada al convertidor DC-DC, se comporta como un resistor efectivo R_e , mientras que el puerto de DC a la salida del convertidor es una fuente de potencia $P(t)$ igual a la consumida por el puerto de entrada. La magnitud del flujo de potencia es controlable a través de R_e y esto se hace a través de un lazo de control como se verá más adelante.

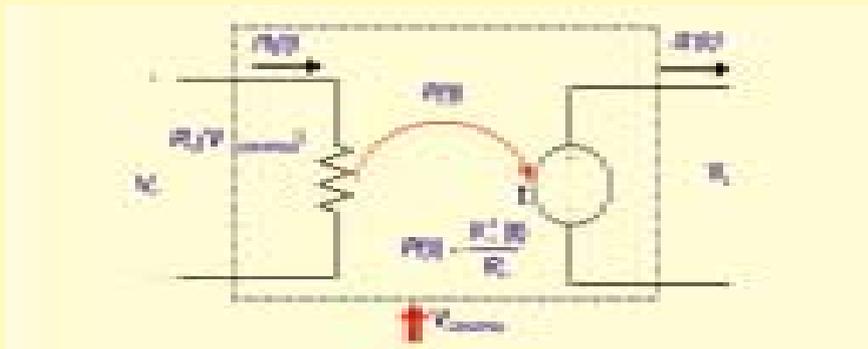


Figura 10 Comportamiento de fuente de potencia

Se requieren hacer dos consideraciones sobre la naturaleza del propio Emulador de Resistencia. En primer lugar, es un convertidor conmutado que en condiciones ideales, no presenta pérdidas. En segundo lugar, la frecuencia de conmutación es mucho mayor que la frecuencia de la red. Esta última siempre será de 50- 60 Hz con lo cual la frecuencia de variación de la señal a su entrada señal de AC rectificada será justamente el doble mientras que la frecuencia de conmutación estará entre los 50 y los 200 kHz como valores típicos. Por esta razón puede hablarse de “cuasiestatismo” a la hora de tratar el funcionamiento de un emulador de resistencia, o lo que es lo mismo, se puede afirmar que la tensión de entrada, prácticamente no varía en un ciclo completo de conmutación. Para que lo anterior se cumpla, es preciso señalar que los elementos reactivos del emulador son calculados en función de la frecuencia de conmutación y, por lo tanto, son capaces de almacenar energía en periodos del orden de la conmutación y no podrán almacenarla en periodos tan largos como los de la red. Con estas consideraciones, la potencia instantánea a la entrada del emulador será una función del tipo “seno elevado al cuadrado”, al igual que la potencia de salida y, en consecuencia, pulsante y de frecuencia igual al doble de la de la red. Como el objetivo final es lograr que la tensión en el bus de salida sea más o menos constante, debe haber un elemento que sea capaz de conseguir este objetivo. El elemento encargado de hacerlos será el condensador C al cual será denominado condensador de almacenamiento, entendiéndose que este es lo suficientemente grande como para que su tensión permanezca constante, por lo que todas las componentes de alterna que circulen por el emulador, lo harán a través de C , mientras que por la carga solo circulará la componente de DC.

Se define, entonces, como resistencia vista por el emulador de resistencia,

$$r(\omega) = \frac{R_0}{2\text{Sen}^2(\omega t)} \quad 1$$

Donde R_0 es la resistencia de carga o el cociente entre V_0 e I_0 si se hubiera conectado otro convertidor en cascada en vez de la carga.

Un circuito equivalente para el puerto de AC de un rectificador ideal, es mostrado en la figura 9. En la práctica el convertidor puede generar asimismo, armónicos en las conmutaciones, una no linealidad que puede reducir el factor de potencia si no es suficientemente filtrada.

Un circuito equivalente para un rectificador ideal en el puerto de AC es por consiguiente una resistencia R_e , de aquí que el valor de R_e dependa de una señal de control (Figura 6). Esto permite la variación de la potencia a través del rectificador, subsecuentemente, la potencia promedio consumida por R_e es

$$P_{AB} = \frac{V_L^2}{R_e} \quad 2$$

Al cambiar R_e , resulta un sistema variable en el tiempo con generación de armónicos. Para evitar la generación de una importante cantidad de armónicos y la degradación del factor de potencia, las variaciones en R_e y en el control a la entrada, deben ser lentas con respecto a frecuencia de la línea de AC.

En la medida en que el convertidor tenga bajas pérdidas y no contenga elementos internos independientes que sean almacenadores de energía, la potencia consumida por R_e debe aparecer en el puerto de salida del convertidor.

La potencia instantánea es

$$P(t) = \frac{V_1^2(t)}{R_e} \quad 3$$

Dependiente solamente de $V_1(t)$ y de la entrada de control y es independiente del voltaje y la corriente en el puerto de salida. Por lo tanto, la salida se comporta como una fuente de Potencia constante que obedece a la relación.

$$P(t) = v_2(t)i_2(t) = \frac{V_1^2(t)}{R_e} \quad 4$$

El símbolo de la fuente de potencia de la figura 10 es usado para denotar tal característica de salida. Note que al contrario de la fuente de corriente o de voltaje básica, la fuente de potencia es un dispositivo no lineal. En ese sentido la fuente de potencia no debe estar abierta o en corto circuito de manera análoga a como se hace con las fuentes de corriente o de voltaje convencionales.

Un modelo no lineal de dos puertos para un factor de potencia unitario ideal en un rectificador monofásico es mostrado en la Figura 9. El modelo de dos puertos es asimismo llamado Resistor Libre de Pérdidas porque de acuerdo con (3) el puerto de entrada obedece a la Ley de Ohm y según (4) toda la potencia en el puerto de

entrada es transferida directamente al puerto de salida sin pérdida de energía. Las ecuaciones que definen el LFR son las siguientes:

$$i(t) = \frac{v_1(t)}{R_e(v_{control})} \quad 5$$

$$v_2(t)i_2(t) = P(t) \quad 6$$

$$P(t) = \frac{v_1^2(t)}{R_e(v_{control})} \quad 7$$

La expresión con la que se obtiene la R_e del Emulador de Resistencia depende de la topología empleada. Por ejemplo, para el caso de un rectificador *flyback* trabajando en el Modo de Conducción Discontinuo —del inglés, *Discontinuous Conduction Mode* (DCM) — se determina por la expresión 8.

$$R_e = \frac{2n^2L}{D^2T_s} \quad 8$$

donde:

L : inductancia de magnetización referida al secundario del transformador del *flyback*.

D : ciclo útil

T_s : período de conmutación.

La variación de R_e en función del ciclo útil es lo que permite los elevados valores del factor de potencia.

La figura 11 muestra el lazo de realimentación a través del cual se regula el ciclo útil del elemento activo a través de un Modulador PWM, variando de esa manera la R_e del Emulador de Resistencia en función de la demanda de la carga, lo cual permite el logro de un comportamiento resistivo y con el mismo, la obtención de un elevado factor de potencia.

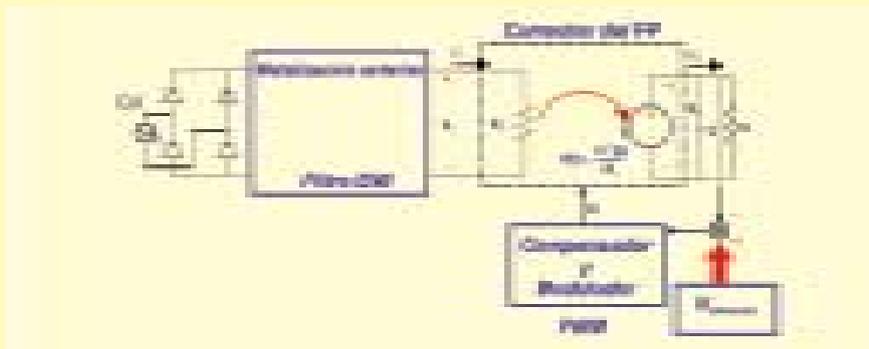


Figura 11 Realimentación y regulación del ciclo útil en función de la demanda hecha a la red de AC

Aplicación en Cuba

Un ejemplo dentro de ETECSA lo constituye el rectificador Emerson del tipo HD4825-3 (Figura 12), empleado en los sistemas de energía PS48300/25 para la alimentación de las centrales de conmutación automáticas C&C de HUAWEI, y el equipamiento de transmisión de este proveedor, que se caracteriza por un factor de potencia de un 0,99, y un rango permisible para el puerto de AC entre 90 y 290 VAC y una eficiencia > 90 %.

Los sistemas de DC que alimentan al equipamiento de telecomunicaciones, instalado como parte del proceso de modernización, presentan características similares. Pueden mencionarse los SMR 48/34 de SAFT, los Flatpack de ELTEK y los rectificadores HPSmV 48/25 de los muy extendidos sistemas RAD.

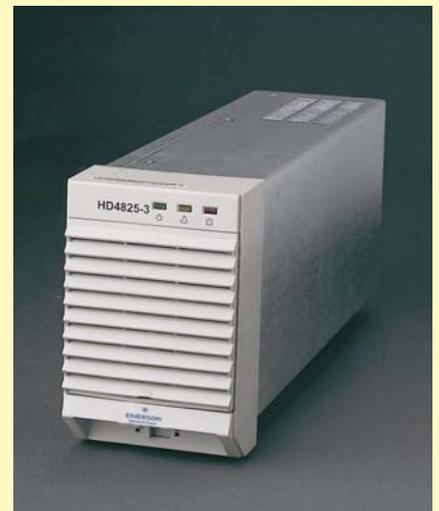


Figura 12 Rectificador Emerson HD4825- 3

Conclusiones

El empleo de rectificadores conmutados en sistemas de energía, favorece decisivamente el factor de potencia que se obtiene. Esto no sólo contribuye a un empleo más racional de la energía suministrada, sino que disminuye los costos por concepto de penalización debido a bajo factor de potencia y, también, disminuye la contaminación de la AC suministrada a otras cargas. El comportamiento de los rectificadores como Emulador de Resistencia permite el alcance de estos objetivos.

Referencias bibliográficas

- [1] De Souza, Alexandre y Barbi de Ferrari, Ivo. "Comparative Análisis of Three High Power Factor Single Phase 200 W Rectifiers". Florianópolis – SC – Brazil: Federal University of Santa Catarina – Electrical Engineering Department INEP – Power Electronics Institute. Disponible en: <http://www.inep.ufsc.br>. (Consulta: diciembre/2007).
- [2] Sebastián J.; Villegas, P.J. y Hernando, M.M. "Corrección del Factor de Potencia en sistemas de alimentación monofásicos". Ponencia presentada en el Congreso Brasileiro de Electrónica de Potencia, 1997. págs. 14-27.
- [3] Ericsson, R.; Madigan, M. and Singer, S. "Design of a Simple High- Power Rectifier Based on the Flyback Converter." IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1990, págs. 792-801.
- [4] User Manual Energy System PS48300/25. Emerson Network Company, 2005.
- [5] Skvarenina, Timothy L. "The Power Electronics Handbook". CRC Press, 2002, págs. 121-133.

Energía renovable y no renovable

Por Ing. Nicasio Echarte del Sol, Técnico C en Telemática, Energético CSGT Villa Clara, e Ing. Emilio Ramón Cabrera Fernández, Técnico C en Telemática, Energético CSGT Cienfuegos, ETECSA
nicasio.echarte@etecsa.cu, emilio@cfg.etecsa.cu

Introducción

El mundo contemporáneo se mueve gracias a la energía. En cada acción cotidiana, en la casa, en el trabajo, en los medios de transporte, en las industrias, la energía es el motor que permite funcionar. Y cada vez se necesita más.

Pero, ¿existe conciencia de lo que hay detrás de un simple interruptor y las consecuencias que tiene en la actualidad una bombilla encendida?

El análisis de las experiencias internacionales más recientes muestra que las nuevas fuentes de energías renovables son un tema prioritario en las agendas energéticas, tanto en los países industrializados como en muchas economías en desarrollo, gracias a sus efectos beneficiosos en las esferas económica, social y ambiental.

Los proyectos de expansión y modernización de las telecomunicaciones en Cuba han tenido una gran importancia: entre otros motivos, porque han jugado un papel fundamental en la mejora de la calidad de vida, tanto en los entornos urbanos como en los rurales. En estos momentos, existen numerosos locales de telecomunicaciones en sitios distantes, donde el uso de la energía convencional es limitado o no existe. En consecuencia, se confirmó que se han realizado estudios con el propósito de buscar soluciones prácticas, a partir del empleo de fuentes alternativas.

Como resultado de este trabajo, en ETECSA existen varios sitios que emplean como fuente de energía la solar mediante la utilización de paneles solares. También se culminó, recientemente, un estudio para la utilización de aerogeneradores de pequeña potencia en determinados lugares del macizo montañosos del Escambray, que hará posible el uso del viento como fuente de energía en instalaciones de telecomunicaciones.

Reseña histórica

Con el descubrimiento del fuego, la humanidad comenzó a controlar y modificar muchos procesos que, hasta ese momento, dependían únicamente de la naturaleza. Desde entonces la energía ha sido un elemento indispensable en la satisfacción de las necesidades cotidianas de diferentes formas organización social, partiendo de los usos y equipos más elementales, como la cocción de alimentos con los fogones de tres piedras, hasta los sofisticados aparatos electrónicos dedicados exclusivamente al ocio y el entretenimiento en las sociedades post-industriales.

Durante la mayor parte de la historia humana, el sistema energético dependió de los flujos naturales de energía y de la fuerza animal y humana para proveer los servicios requeridos en el modo de calor, luz y trabajo. La única forma de transformación conocida era de la

energía química a la calorífica y luminosa, mediante la quema de leña. El ingenio humano también había desarrollado algunas máquinas con las que aprovechaba la fuerza hidráulica para moler los cereales o la fuerza del viento en los barcos de vela o los molinos de viento [1].

Las transiciones sucesivas de la estructura energética mundial, ocurridas a lo largo del siglo XX, han creado un panorama muy diferente al que predominaba en 1850 —fecha en que el cambio más dramático fue el correspondiente a la participación de las fuentes renovables de energía, las cuales constituían casi el 90 % de la oferta energética mundial; en la actualidad, dicha oferta es únicamente de un 14 %—. Esta reducción tan acentuada a favor de las fuentes fósiles, no fue fruto de la casualidad, el crecimiento de la población, la industrialización y el desarrollo del transporte determinaron el surgimiento de nuevas y mayores necesidades energéticas que las fuentes tradicionales [2].

En este sentido, es necesario considerar que la actual era del petróleo, junto con todos sus beneficios, también ha traído numerosas consecuencias no siempre positivas. El hecho de que el petróleo no es un recurso renovable, y que los países con la mayor relación reservas-producción están concentrados en la región del Medio Oriente, genera una gran incer-

tidumbre en el panorama global por los riesgos políticos que esto implica para las principales potencias mundiales. Finalmente, un aspecto que ha cobrado gran relevancia a nivel mundial es el referente a las afectaciones que los recursos energéticos fósiles generan sobre el ambiente y sobre la salud humana.

La gravedad de esta situación queda manifiesta si se analizan las emisiones de Bióxido de Carbono (CO₂), el principal gas generador del efecto invernadero, ocasionadas por la producción y el uso de energía fósil. Se ha comprobado que entre 1970 y el año 2000, las emisiones mundiales de CO₂ crecieron en 1,7 % anual, mientras que se prevé que, entre el 2000 y el 2025, la tasa de crecimiento será de 1,8 % anual. La permanencia de las fuentes renovables en el panorama energético mundial es un factor que no puede descartarse y que, incluso, ofrece un gran potencial de crecimiento [1].

Fuentes de energía renovables y no renovables

La energía es una magnitud física que se asocia con la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo mecánico, emitir luz, generar calor, etc. Para obtener energía se tendrá que partir de algún cuerpo que la posea y pueda experimentar una transformación. A estos cuerpos se les llama **fuentes de energía**. De una forma más general, se llama fuente de energía a todo fenómeno natural, artificial o yacimiento que puede suministrar energía. Las cantidades disponibles de energía de estas fuentes es lo que se conoce como **recurso energético**. La tierra posee cantidades enormes de estos recursos. Sin embargo, uno de los problemas que se ha planteado la humanidad es la obtención y transformación de los mismos [2], [3].

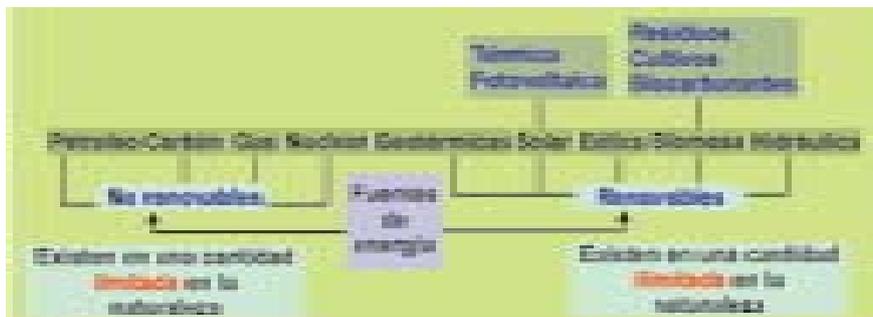


Figura 1 Energía no renovable [3]

Energía no renovable

Energía no renovable o energía convencional es un término genérico referido a aquellas fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y, una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse, porque no existe un sistema de producción o extracción viable la producción desde otras fuentes es demasiado pequeña como para resultar útil a corto plazo [3].

Las fuentes de energía no renovables son los combustibles fósiles y los combustibles nucleares.

Combustibles fósiles

Proviene de restos de seres vivos enterrados hace millones de años, que se transformaron bajo condiciones adecuadas de presión y temperatura. El combustible fósil puede utilizarse directamente, quemándolo para producir calor y movimiento en hornos, estufas, calderas y motores. También pueden usarse para obtener electricidad en las centrales térmicas o

termoeléctricas. En las cuales, con el calor generado al quemar estos combustibles, se obtiene vapor de agua que, conducido a presión, es capaz de poner en funcionamiento un generador eléctrico, normalmente una turbina.

Son combustibles fósiles el carbón, el petróleo y el gas natural.

El **petróleo** es el recurso de energía más popular en el mundo. Se quema en gran parte en las centrales térmicas para producir electricidad. Es un aceite natural de origen mineral formado por una mezcla de ciertos compuestos constituidos por carbono e hidrógeno —denominados hidrocarburos—. Estos hidrocarburos se producen por antiguos restos de organismos vegetales, organismos acuáticos y organismos vivos depositados en el transcurso de miles de años en las profundidades de la corteza terrestre en forma de sedimento. Se calcula que, de continuar el actual ritmo de extracción, el petróleo se acabará en unos doscientos años [4].

El **carbón** es el combustible fósil de más abundancia en el mundo. Está formado por la acumulación de vegetales. Estos vegetales, a lo largo del tiempo, han sufrido el encierro en el subsuelo terrestre, y han experimentado cambios de presión y temperatura lo que ha posibilitado la acción de reacciones químicas que los han transformado en variados tipos de carbón mineral. Se utiliza para la generación de electricidad, la cual ocurre cuando la energía guardada en el carbón se libera y emite calor [4].

Los mayores depósitos de carbón están en América del Norte, Rusia y China, aunque también se encuentra en cantidades considerables en algunas islas del Ártico, Europa Occidental, India, África del Sur, Australia y la zona este de América del Sur [4].

Por su parte, el **gas natural** es una mezcla de gases combustibles depositados en forma natural en el sub-

suelo de la Tierra y poseen un gran poder calorífico. En ocasiones, los yacimientos de gas natural están acompañados por yacimientos de petróleo. El principal componente del gas natural es el metano y, en menor proporción, los gases de etano, propano y butano. La transportación de este gas no conlleva tantos riesgos como la del petróleo, porque es transportado en forma líquida, proceso que se logra sometiendo el gas a temperaturas sumamente bajas, y de ocurrir algún accidente en el trayecto, con el calor del ambiente este, rápidamente se convertiría de nuevo en gas y subiría hacia la atmósfera. El gas natural es el más limpio de los combustibles fósiles y el que menos efectos causa sobre el ambiente y la salud.

Los combustibles fósiles tienen algunas ventajas, por ejemplo:

- ♦ Son muy fáciles de utilizar.
- ♦ Tienen una gran disponibilidad.
- ♦ Pueden usarse en cualquier momento.

No obstante, tienen algunos inconvenientes que son:

- ♦ Su uso produce la emisión de gases que contaminan la atmósfera y resultan tóxicos para la vida.
- ♦ Puede producirse un agotamiento de las reservas a corto o medio plazo
- ♦ Al ser utilizados contaminan más que otros productos que podrían haberse usado en su sustitución.
- ♦ Provocan lluvia ácida.
- ♦ Ocasionan la disminución de recursos pesqueros [6].

Combustibles nucleares

Son combustibles nucleares el uranio y el plutonio, y en general, todos aquellos elementos químicos capaces de producir energía por fisión nuclear. Esta energía se utiliza para producir electricidad en las centrales nucleares. La forma de producción es muy parecida a la de las centrales termoeléctricas. Las plantas de energía nuclear utilizan un proceso llamado fisión nuclear para liberar la energía de la división de un átomo de uranio.

A través de la fisión o división de los átomos, se libera la energía de calor, la cual es utilizada para convertir agua en vapor y la fuerza del vapor acciona un generador de turbina. El uso de la energía nuclear es un riesgo, debido a que puede ocasionar accidentes o escapes radioactivos [7].

Ventajas combustibles nucleares

- ♦ Produce mucha energía de forma continua y a un precio razonable.
- ♦ No genera emisiones de gases de efecto invernadero.

Inconvenientes

- ♦ Se acabarán a mediano plazo.
- ♦ La producción de residuos de alto riesgo genera residuos radiactivos activos durante cientos de años.
- ♦ Puede ocasionar graves catástrofes medioambientales en caso de accidente.
- ♦ Algunas de ellas no están suficientemente desarrolladas tecnológicamente.
- ♦ Existen dificultades para su almacenamiento por lo que no es aprovechado todo su potencial [7].

Energías renovables

Una fuente de energía es renovable cuando se convierte en inagotable, aunque sea intermitente, y su aprovechamiento no causa alteraciones graves al medio. El Sol nos envía suficiente energía para alimentar las necesidades humanas. Las fuentes de energía renovable son la radiación solar, el viento, el movimiento de las olas y las mareas, el desnivel del agua de los ríos, el calor de subsuelo terrestre y la energía acumulada por los seres vivos (biomasa) [1], [2], [5].

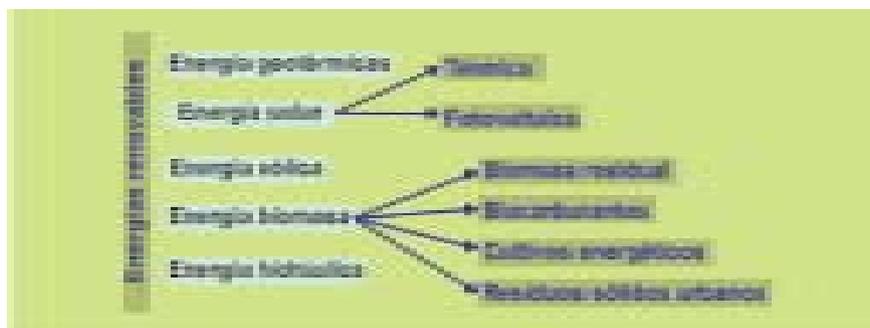


Figura 2 Energía renovable [5]

Biomasa

La biomasa es el medio de producir energía renovable mediante el uso de materia orgánica obtenida biológicamente. Esta fuente de energía es sostenible siempre que se realice un consumo racional, empleando cultivos energéticos, repoblando el bosque y reciclando consecuentemente los residuos urbanos [1], [2], [5].

Ventajas respecto a los combustibles fósiles

- ♦ El proceso de combustión de biomasa no libera CO₂ adicional a la atmósfera como ocurre con los combustibles fósiles.
- ♦ El precio de la biomasa es menor que el de los combustibles fósiles, lo que supone un gran ahorro y una rápida amortización.
- ♦ Independencia del combustible debido a que, en una misma caldera, puede quemarse cualquier tipo de biomasa —pellets, astillas, cáscaras de frutos secos, huesos de aceituna, etc—. Puede elegirse en todo momento el proveedor más conveniente.

- ♦ La biomasa se crea localmente, esto contribuye a crear puestos de trabajo en el entorno rural mediante los cultivos energéticos y el reciclado de los restos de podas para su utilización como biomasa.

- ♦ Se contribuye de manera significativa a la limpieza de los bosques, ayudando a reducir los incendios forestales. Esta se vuelve rentable al poder usar los restos para producir biomasa.

- ♦ Permite el aprovechamiento de residuos agrícolas y de la industria maderera, papelera, etc.

- ♦ Subvencionada por los organismos públicos, la biomasa es una de las energías más promocionadas por el nuevo plan de energías renovables [1], [2], [5].

Energía solar

El Sol es el mayor recurso energético con que se cuenta y es la forma de producir energía más limpia. Actualmente la energía solar se aprovecha de dos formas, principalmente, mediante colectores solares para la generación de agua caliente —**energía solar térmica**— y a través de la utilización de paneles fotovoltaicos para la generación de electricidad —**energía solar fotovoltaica**— [1], [2], [5].

Ventajas

- ♦ Es la fórmula energética más respetuosa con el medio ambiente y sus recursos son inagotables.

- ♦ Las instalaciones solares son silenciosas, limpias y con una larga vida útil.

- ♦ Facilita el autoabastecimiento y permite generar energía cerca de donde se requiere sin invertir en costosas infraestructuras para su transporte.

- ♦ No hay emisión de dióxido de carbono a la atmósfera y los impactos ambientales por la contaminación de aire y agua son bajos.

Inconvenientes

- ♦ Los costos iniciales son altos.
- ♦ Solo se obtiene cuando hay sol.
- ♦ Emisión de tensión baja y poca corriente.

Energía eólica

Eolo era el dios de los vientos, según la mitología griega. De ahí que a la energía de los vientos se le llame “eólica”. Esta aprovecha los vientos que se forman en nuestro planeta para producir electricidad mediante el movimiento de las aspas de unos molinos, llamados aerogeneradores. Antiguamente se utilizó para propulsar naves marinas y mover molinos de grano. Hoy se emplea, sobre todo, para generar energía limpia y segura [1], [2], [5].

Ventajas

- ♦ Es una energía limpia, no requiere de combustión.

- ♦ Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo, en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables.

- ♦ Puede convivir con otros usos del suelo, por ejemplo, prados para la ganadería o los cultivos .

- ♦ Es autóctona y universal. Existe en todo el mundo.

- ♦ La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero ni a la lluvia ácida.

Inconvenientes

- ♦ Impacto visual: su instalación genera una alta modificación del paisaje.

- ♦ Impacto sobre la avifauna: principalmente por el choque de las aves contra las palas, efectos desconocidos sobre modificación de los comportamientos habituales de migración y anidación.

- ♦ Impacto sonoro: el roce de las palas con el aire produce un ruido constante, la casa más cercana deberá estar al menos a 200 m (43 dB(A)).

Energía hidráulica

Se denomina **energía hidráulica** a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos, saltos de agua o mareas. El conjunto de instalaciones e infraestructura para aprovechar este potencial se denomina central hidroeléctrica. Alrededor del 20 % de la electricidad usada en el mundo procede de esta fuente [5].

Desde el punto de vista ambiental, la energía hidroeléctrica es una de las más limpias, aunque esto no quiere decir que sea totalmente inocua, porque los pantanos que hay que construir suponen un impacto importante y alteran gravemente el ecosistema fluvial. Se destruyen habitats, se modifica el caudal del río y cambian las características del agua como su temperatura, grado de oxigenación y otras.

Ventajas

- ♦ Es renovable, no contaminante y produce mucha energía.

Inconvenientes

- ♦ Es muy caro construir sus infraestructuras.

- ♦ Depende de los factores climáticos.

- ♦ Impacto medioambiental, con frecuencia su construcción exige trasladar a pueblos enteros y sepultar bajo las aguas tierras de cultivo, bosques y otras zonas silvestres.

Energía geotérmica

Es el calor contenido en el interior de la Tierra que genera fenómenos geológicos a escala planetaria. El

término energía geotérmica es a menudo utilizado para indicar aquella porción del calor de la Tierra que puede o podría ser recuperado y explotado por el hombre.

La energía geotérmica se produce como consecuencia de la desintegración de elementos radiactivos y del calor permanente que se originó en los primeros momentos de formación del planeta.

Las aplicaciones de la energía geotérmica varían en función del rango de temperatura que se obtenga en el yacimiento. La temperatura por debajo de la cual no es posible producir electricidad con un rendimiento aceptable está entre 120 y 180°C, pero son temperaturas muy apropiadas para cubrir las necesidades domésticas, urbanas o agrícolas en agua caliente tanto para agua caliente sanitaria como para calefacción [1], [2], [5].

Ventajas

- ♦ La energía geotérmica no requiere ser importada y, en algunos casos, es la única fuente de energía local.
- ♦ Evita la dependencia energética con el exterior.
- ♦ Los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los combustibles fósiles.

Inconveniente

El único punto en el que habría que tener precaución a la hora de realizar explotaciones de energía geotérmica es las emisiones de CO₂ y H₂S —Ácido Sulfhídrico— que se puedan suceder y proceden del interior de la tierra.

Conclusiones

Debido a la importancia y a la presencia casi constante de la energía en todos los órdenes de la vida contemporánea, se presentó una aproximación de la evolución de los sistemas energéticos, y una pormenorización de las llamadas fuentes de energía renovables y no renovables, con el propósito de destacar la importancia del ahorro y uso racional de los combustibles.

Se mostraron las principales aplicaciones, ventajas e inconvenientes de estas fuentes energéticas alternativas, sobre todo, para resaltar cómo, en la actualidad, ofrecen soluciones viables para las economías tanto de los países desarrollados como para aquellos que están en vías de desarrollo. 

Referencias bibliográficas

- [1] Calle, Merche S. "Energías renovables". *Magazine on-line Waste*. Disponible en: <http://waste.ideal.es/renovables.htm>. (Consulta: agosto/2007).
- [2] "Fuentes de energía renovable". *Wikipedia, La Enciclopedia Libre*. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Energias_renovables. (Consulta: marzo/2008).
- [3] "Tipos de energías". AVEN, Agencia Valenciana de la Energía. Disponible en: <http://www.aven.es/energia/renovables.html>. (Consulta: julio/2007).
- [4] "Combustibles fósiles". MSN Encarta. Disponible en: es.encarta.msn.com/encyclopedia_961543773/combustibles_fosiles.html - 32k. (Consulta: julio/2007).
- [5] "Fuentes energéticas: energías renovables". Disponible en: www.cne.cl/fuentes_energeticas/e_renovables.php - 21k. (Consulta: enero/2008).
- [6] McNeill, John. "Efectos medioambientales del uso de combustibles fósiles". Disponible en: teleformacion.cujae.edu.cu/repositorios/.../efectos%20medioambientales%20del%20uso%20de%20lo. (Consulta: febrero/2008).
- [7] "Combustibles nucleares". *Kompass Business Search*. Disponible en: www.kompass-usa.com/anuario.../combustibles-nucleares-isotopos-compuestos-sus-equipos-532005-3790. (Consulta: febrero/2008).

Desafíos del sector de la energía

como impulsor del desarrollo humano

Por Enrique Velo García, Grupo de Investigación en Cooperación para el Desarrollo Humano. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.

Versión editada del artículo publicado originalmente en la revista *Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano*, no. 5 (mayo 2006). Esta publicación forma parte de un proyecto de la Federación Española de Ingeniería sin Fronteras y se encuentra en el sitio de l Directorio de Revistas de Acceso Abierto —del inglés, *Directory of Open Access Journals* (DOAJ)—.

Presente y futuro del sistema energético

El importante papel del sistema energético en el desarrollo de los pueblos y en el diseño de un modelo de desarrollo sostenible está ampliamente reconocido. En el contexto actual, la previsible crisis del sistema energético basado fundamentalmente en fuentes de origen fósil es motivo de múltiples publicaciones, informes, reuniones políticas de alto nivel, conflictos geopolíticos y de debate social.

En la misma medida, la estrecha relación de la generación y el uso de la energía con la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y sus consecuencias sobre el cambio climático han puesto al sector energético en el punto de mira de la comunidad internacional.

El tiempo en el que la energía era relativamente abundante y barata para los países industrializados y en el que la emisión de GEI no tenía restricciones, está llegando a su fin.

Del mismo modo, es conocida la situación de precariedad en el acceso a la energía de los países del Sur, sobre todo, de algunas regiones entre las que destaca el África Subsahariana. En 2002 (AIE, 2004) 2,400 millones de personas dependían de la biomasa tradicional para cocinar y calentarse —residuos agrícolas y ganaderos, leña y carbón vegetal usados de forma ineficiente y contaminante— y 1,600 millones de personas no tenían acceso a la electricidad. La tabla 1 muestra cómo el 76 % de la población sólo consume el 38 % de la energía primaria.

	2002		2030		2002-2030
Población (millones de habitantes)					
Países en desarrollo	4,712	76 %	6,480	80 %	38 %
Resto del mundo	1,488	24 %	1,620	20 %	9 %
TOTAL	6,200		8,100		31 %
Demanda de energía primaria (toneladas equivalentes de petróleo)					
Países en desarrollo	3,931	38 %	7,089	43 %	80 %
Resto del mundo	6,414	62 %	9,398	57%	47 %
TOTAL	10,345		16,487		59 %
Uso <i>per cápita</i> de energía (<i>tep</i> por habitante y año)					
Países en desarrollo	0,83		1,09		31 %
Resto del mundo	4,31		5,80		35 %

Fuentes: Para población y energía: WEO-2004 (AIE, 2004). Uso *per cápita* calculado a partir de los datos anteriores. Resto del mundo incluye a los países de la OCDE y las economías en transición.

Tabla 1 Evolución de la población, la demanda de energía primaria y el uso de energía primaria *per cápita*

A pesar de que la desigualdad es notoria, el menor consumo de energía no es un indicador en sí mismo. La cuestión clave es en qué medida la falta de acceso a fuentes de energía fiables y económicas afecta a las oportunidades de las personas para desarrollar una vida digna, saludable, creativa. En definitiva: ¿cómo afecta al desarrollo humano? Tomando como indicador el Índice de Desarrollo Humano (IDH), el PNUD (2004) muestra una clara relación, sobre todo, para valores bajos del IDH, entre el desarrollo humano y el consumo *per cápita* de energía (Figura 1).

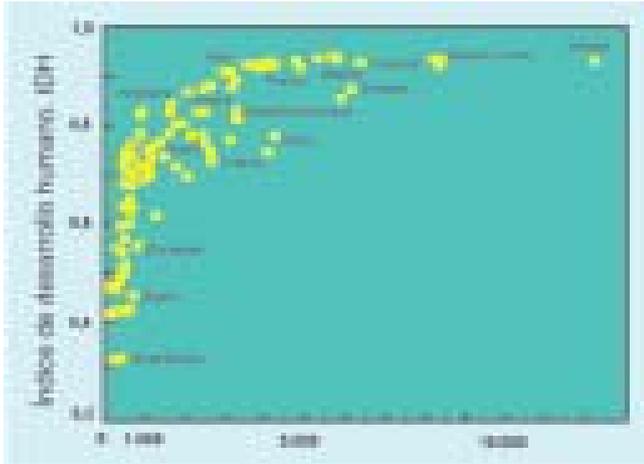


Figura 1 Relación entre el Índice de Desarrollo Humano y el consumo de energía —Kg equivalentes de petróleo—. Fuente: PNUD (2004)

A partir de los datos expuestos, puede afirmarse que el sistema energético actual es insostenible por diversas razones:

- ♦ No garantiza la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras:
 - La previsible escasez de fuentes de energía puede tener repercusiones graves sobre la economía.
 - La lucha por el control de las cada vez más escasas fuentes de energía fósil genera y generará conflictos geopolíticos.
- ♦ Tiene repercusiones sobre el medio ambiente a escala local y global:
 - Que pueden tener efectos irreversibles para las generaciones futuras.
 - Que afectan en mayor medida a las zonas del planeta más vulnerables —desastres naturales debidos al cambio climático— y a las personas más vulnerables—enfermedades debidas al uso tradicional de la biomasa—.
- ♦ No garantiza el acceso universal:
 - Limitando el desarrollo humano de una parte importante de la población mundial.

En un escenario de referencia en el que las políticas de los gobiernos sigan siendo las mismas que en 2004, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) prevé un aumento de las necesidades energéticas

mundiales para 2030 del orden del 60 % (Tabla 1). Una buena parte de dicho incremento provendría de los países en desarrollo.

Este incremento se estima en función del aumento de población en general y del rápido crecimiento económico de algunos países o regiones —por ejemplo: China, India o Indonesia—. La industrialización y la migración de la población hacia zonas urbanas en los países en desarrollo también contribuirán al aumento de la demanda energética.

En este escenario, sin embargo, el consumo *per cápita* de energía se estima que crecerá mucho más en los países de la OCDE que en los países en desarrollo. En consecuencia, la brecha entre Norte y Sur a este respecto seguiría aumentando.

El número de personas que dependen de la biomasa tradicional pasaría de 2,400 millones en 2002 a 2,600 millones en 2030. El porcentaje de esta población que vive en India o África (conjuntamente) pasaría de la mitad a casi las dos terceras partes. El África Subsahariana seguirá siendo la zona del planeta con mayor porcentaje de población dependiente de la biomasa tradicional.

El porcentaje de población con acceso a la electricidad en los países en desarrollo se espera que pase del 66 % en 2002 al 78 % en 2030. En Oriente Medio, Norte de África, Asia Oriental y América Latina, se espera que los porcentajes de electrificación se aproximen al 100 %. Aunque la situación puede mejorar en el África Subsahariana, se espera que en 2030 todavía permanezca sin acceso a la electricidad la mitad de su población. Todo ello implicaría que unos 1,400 millones de personas en el mundo no tendrán acceso a la electricidad, con una disminución en números absolutos en Asia pero un incremento en África. El acceso a la electricidad en zonas urbanas seguiría siendo más fácil que en zonas rurales, pero el número total de personas sin electricidad en las ciudades aumentará ligeramente, mientras que decaerá en las zonas rurales debido a la migración.

Enfoque de derechos y servicios básicos

Los números y estadísticas pueden ser más o menos clarificadores de la situación actual y más o menos acertados en la previsión del futuro de los países en desarrollo. No obstante, no tienen mucho sentido si no es bajo el enfoque de cómo afectan y afectarán a la vida de las personas.

En la medida que se acepta el derecho a una vida digna, larga, saludable y creativa, al acceso a la educación, a la movilidad, a la participación social, a la equidad, etc., es obvio que se está reconociendo el derecho de las personas a un acceso a la energía que permita desarrollar todas estas facetas. Pero la realidad dista mucho de garantizar tales derechos.

Debido a su carácter esencial, la distribución de energía y la cobertura de las necesidades energéticas mínimas de las personas y de las



Figura 2 Relación entre el acceso a la energía y el desarrollo humano. Fuente: elaboración propia, adaptado PNUD (2001) citado en Pérez-Foguet et al. (2005)

comunidades, se pueden enfocar también desde la perspectiva de dotación de servicios básicos. Este tipo de infraestructuras económicas están asociadas a una base tecnológica y pueden derivar en una red de suministro de servicios: electricidad, gas, carburantes, etc. Además, la energía juega un papel clave para garantizar otros servicios básicos en la promoción del desarrollo humano —por ejemplo: agua y salud—.

Durante el proceso de preparación de la Conferencia de las Naciones Unidas en Medioambiente y Desarrollo (WSSD. Johannesburgo, 2002), el Secretario General de las Naciones Unidas, Kofi Annan, introdujo la idea de un marco que incluyese un número reducido de temas seleccionados. Este marco, denominado WEHAB —siglas en inglés de *Water, Energy, Health, Agriculture and Biodiversity*—, incluye: Agua, Energía, Salud, Agricultura y Biodiversidad.

La figura 3 muestra la relación de la energía con el resto de temas y su importancia para conseguir los objetivos planteados para cada uno de ellos. Como eje central se destaca el suministro de energía para cubrir las necesidades básicas.

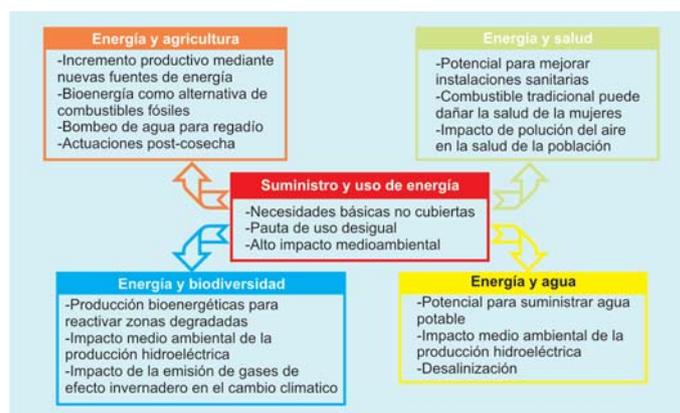


Figura 3 Relación de la energía con otras áreas del desarrollo humano. Fuente: adaptado de WEHAB 2002 por Salvador y Snej en Velo et al. (2006)

Como resultado de la WSSD, su plan de implementación hace recomendaciones específicas en cuanto al acceso a la energía. En él se hace un llamamiento para concentrar la atención en la electrificación rural como medio para combatir la pobreza y se hace énfasis en el papel crucial que juegan las políticas y marcos reguladores para conseguirlo.

El Banco Mundial, en su “Informe para el desarrollo mundial 2004: Hacer que los servicios funcionen para los pobres”, presta especial atención a los servicios de agua, saneamiento y electricidad.

Energía y reducción de la pobreza: leyendas y realidades

Pero la energía no es sólo electricidad, ni la electricidad garantiza todas las necesidades básicas. Existen ciertos equívocos o mitos que es necesario clarificar con el fin de fomentar qué sector de la cooperación para el desarrollo piense con más rigor sobre temas relacionados con el suministro de energía, el acceso a la energía y el uso de la misma.

EQUÍVOCOS	REALIDAD
<p>Prioridades La gente pobre no considera el acceso a la energía como una prioridad</p>	<p>Los pobres tal vez no usen el término “energía”, pero puede suceder que gasten más tiempo y esfuerzo en conseguir servicios energéticos que los más ricos; y gastan una proporción substancial de sus ingresos domésticos en energía para sus necesidades básicas de supervivencia: cocinar, calefacción, etc.</p>
<p>Electrificación El acceso a la electricidad, tanto si es a través de la conexión a red como gracias a sistemas descentralizados que utilizan fuentes renovables de energía, resolverá las necesidades de servicios energéticos para los pobres.</p>	<p>Los especialistas en desarrollo a menudo hablan erróneamente de “electricidad” cuando quieren decir “energía” y viceversa – toda la gente necesita acceder a un conjunto diverso de fuentes de energía para satisfacer sus necesidades básicas – cocinar, calentarse, transporte y comunicaciones.</p>
<p>Pago Los pobres no pueden pagar los servicios energéticos.</p>	<p>Muchas personas pobres a menudo pagan más por unidad de energía que los más ricos, en parte debido a las tecnologías de conversión ineficientes y en parte debido a la corrupción.</p>
<p>Nuevas tecnologías Las nuevas tecnologías por sí solas –como la solar fotovoltaica y las celdas de combustible – mejorarán el acceso a los servicios energéticos de las personas pobres.</p>	<p>La tecnología raras veces es el factor limitante: abordar los problemas institucionales, políticos y sociales que limitan las formas de ganarse la vida de forma sostenible y la falta de conocimientos y habilidades son, a menudo, importantes.</p>
<p>Problema rural Sólo las personas que viven en las zonas rurales sufren de falta de acceso a la energía.</p>	<p>También la gente que vive en zonas urbanas sufre de falta de acceso a servicios energéticos y su número crecerá ya que se espera que para el 2025, viva en zonas urbanas el 61 % de la población mundial.</p>

Tabla 2 Energía y reducción de la pobreza: conceptos erróneos y realidades [Fuente: DFID, 2002]

Agenda internacional. Los Objetivos de Desarrollo del Milenio

Desde que en 2000, la Asamblea General de la ONU aprobara la Declaración del Milenio (UNGA, 2000), los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) se han configurado como el marco de referencia para seguir la evolución del desarrollo en el mundo a través de los indicadores cuantitativos asociados a tales objetivos.

Si bien el acceso a la energía no aparece explícitamente entre los ODM, desde 2002 han aparecido distintas publicaciones que enlazan los ODM

con el acceso a la energía, la primera la del *Department for International Development* (DFID) británico (2002). Se trata pues de un marco de referencia para señalar objetivos, también en el campo de la energía, que ya se está utilizando de forma amplia en las últimas publicaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2004 y 2005), de la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2004) y del organismo interagencias UN-Energy (2005) creado en 2005 para coordinar todas las acciones de las agencias de la ONU relacionadas con la energía.

Algunas de las relaciones directas entre la energía y los Objetivos de Desarrollo del Milenio, se muestran a continuación (DFID, 2002):

- ♦ **Erradicar la pobreza extrema:** el acceso a los servicios energéticos aumenta la productividad con el uso de maquinaria, la generación de ingresos fuera de las horas diurnas y favorece la creación de mercados locales.

- ♦ **Lograr la educación primaria universal y la igualdad de género:** los servicios energéticos liberan a mujeres y niños de parte del tiempo dedicado en las actividades domésticas, la iluminación permite el estudio en el hogar, aumenta la seguridad, y la electrificación da la posibilidad de utilizar materiales educativos multimedia en las escuelas y el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

- ♦ **Reducir la mortalidad infantil, mejorar la salud materna y combatir enfermedades:** la energía es una componente clave en el funcionamiento de los centros de salud —electrificación de las salas de operaciones, refrigeración de vacunas y medicamentos, equipos de esterilización, etc.—.

Todos estos aspectos están relacionados entre sí y forman círculos virtuosos como se ha mostrado en la figura 2.

¿Existirá suficiente acceso a la energía?

La previsión de la AIE (AIE, 2004) no es muy alentadora. En un escenario de referencia en el que las políticas de los gobiernos sigan como hasta ahora (Figura 4), la reducción del número de personas dependientes de la biomasa tradicional y del número de personas sin acceso a la electricidad será insuficiente para cumplir el objetivo de reducción de la pobreza extrema.

“Sentarse a esperar a que la gente se vuelva rica a medida que la economía global se expande no será suficiente” (AIE, 2004). Los países en desarrollo no verán incrementados sus ingresos y sus niveles de vida sin un incremento en el uso de servicios energéticos modernos. Si se quiere romper el círculo vicioso entre la precariedad energética y los bajos índices de desarrollo humano, es preciso actuar para mejorar la disponibilidad y accesibilidad a servicios energéticos modernos, especialmente la electricidad”.

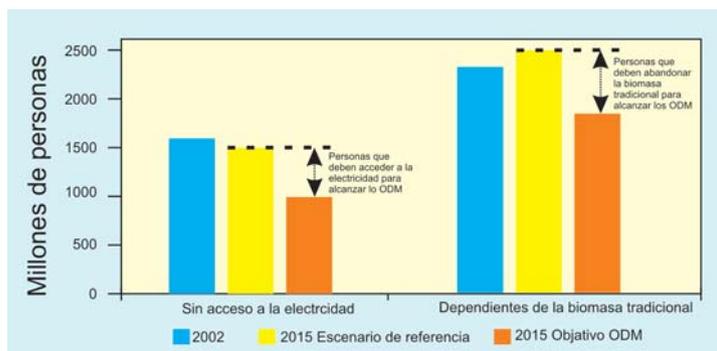


Figura 4 Implicaciones de la energía en la reducción a la mitad de la proporción de personas pobres en los países en desarrollo para 2015. Diferencias entre las proyecciones (escenario de referencia) y las necesidades para conseguir este objetivo. Fuente: WEO-2004 (AIE, 2004)

¿Qué es necesario para cumplir los ODM?

El informe Sachs (2005) —*Invirtiendo en desarrollo. Un plan práctico para conseguir los Objetivos de Desarrollo del Milenio*— hace un análisis y recomendaciones sobre las mejores estrategias para alcanzar los ODM. La tabla 3 y la Tabla 4 muestran los contenidos en cuanto a la energía y servicios energéticos.

Necesidades en los países de bajos ingresos	Medios necesarios para llevar una vida productiva	Energía, electricidad y carburantes de uso seguro para cocinar
Vulnerabilidad geográfica	Condiciones adversas que pueden hacer caer en "la trampa de la pobreza" a determinados países	Falta de recursos energéticos nacionales —combustibles fósiles, potencial geotérmico o hidroeléctrico—
Inversiones públicas prioritarias para potenciar a los pobres	Desarrollo rural: aumento de la producción alimentaria y de los ingresos	Inversiones que aumenten el acceso rural a... la energía moderna... apta para la agricultura y pequeñas y medianas empresas relacionadas con la agricultura... en forma sostenible desde el punto de vista ambiental
Prioridades de los ODM en cada región	Se requieren importantes inversiones en infraestructuras energéticas nacionales	<ul style="list-style-type: none"> ♦ África Subsahariana ♦ CEI en Asia central ♦ América Latina. Países en desarrollo sin litoral

Tabla 3 Análisis del informe Sachs (2005) en el ámbito de la energía

Los ODM no se pueden conseguir únicamente mediante inversiones a nivel de los países. Se recomienda vincular las estrategias nacionales por regiones y estas con los mecanismos internacionales de coordinación	Dar apoyo internacional a la creación de infraestructuras públicas regionales coordinadas entre países vecinos que integren las estrategias de reducción de la pobreza. Entre ellas las infraestructuras energéticas
Mobilización de la ciencia y la tecnología mundiales para alcanzar los ODM	<p>Crear capacidades científicas y tecnológicas en los países más pobres</p> <p>Encauzar la investigación y el desarrollo hacia retos concretos con que se enfrentan —los países más pobres— en materia de enfermedad, clima, agricultura, energía y degradación ambiental</p> <p>Financiación pública directa de unos 1.000 millones de dólares para —la investigación y el desarrollo de— tecnologías energéticas mejoradas</p>

Tabla 4 Recomendaciones para el sistema internacional de apoyo al desarrollo del informe Sachs (2005) en el ámbito de la energía

¿Cómo debe ser el enfoque local?

El enfoque del informe Sachs es prominentemente global —por países y grandes regiones—. No obstante, hace falta también un enfoque más cercano a los problemas y soluciones locales para canalizar los programas y proyectos para el desarrollo que intervengan en el sector de la energía hacia la consecución de los ODM.

En esta línea, la última revisión del Informe Mundial de la Energía (PNUD, 2004) apunta los siguientes requisitos:

- ♦ **Tener un enfoque centrado en las personas**, más allá del tipo de tecnología, con el objetivo de que los servicios energéticos cubran sus necesidades básicas y prioridades.
- ♦ **Asegurar la participación** y la voz de las comunidades beneficiarias, de manera que tengan responsabilidad en la toma de decisiones.
- ♦ **Trabajar la energía de forma transversal** con otros servicios para aumentar los procesos de desarrollo.
- ♦ Incidir a nivel local, nacional e internacional con el objetivo de **promover y desarrollar políticas energéticas que respalden a las comunidades más pobres**.
- ♦ Desarrollar acciones dentro de **estrategias a largo plazo en base a la realidad sociocultural de las comunidades**.
- ♦ **Concienciar a la comunidad internacional** sobre las relaciones existentes entre la energía y la reducción de la pobreza.

Energía sostenible, el gran reto

Al reto de conseguir el cumplimiento de los ODM, se le une el reto del desarrollo sostenible.

Energía sostenible: “energía producida y utilizada de forma que sustenta el desarrollo humano en todas sus dimensiones, sociales, económicas y medioambientales”. *World Energy Assessment* (PNUD, 2001).

Muchos países han financiado sus sectores energéticos con préstamos concedidos por instituciones de préstamos bilaterales o multilaterales. Por diversas razones, estas instituciones han favorecido fuertemente el uso de combustibles fósiles y grandes infraestructuras hidroeléctricas. Todo ello ha dejado a los países en desarrollo con grandes deudas y con grandes impactos ambientales tanto a nivel global como local, mientras que se proveía de servicios energéticos adecuados sólo a una pequeña fracción de la población.

Se necesita pues evolucionar hacia otros modelos de desarrollo que fomenten la sostenibilidad a nivel global al tiempo que permitan disminuir gradualmente las desigualdades en materia energética (Figura 5) tanto a nivel global como local.

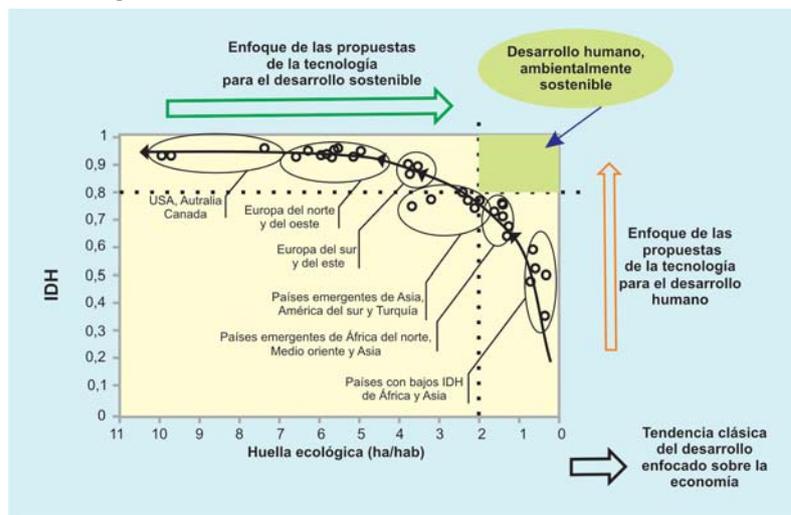


Figura 5 Relación entre IDH y huella ecológica para distintos grupos de países. Fuente: adaptado de Thuillier et al. (2002), citado en Pérez-Foguet et al. (2005)

Las energías renovables como alternativa al suministro energético representan no sólo una evolución hacia un modelo más sostenible, sino una alternativa ventajosa en países en desarrollo, sobre todo, en zonas rurales.

Sin embargo, el potencial de las energías renovables está afectado por diversas restricciones —incluyendo el uso competitivo de la tierra, la cantidad y tiempo de irradiación solar, las pautas del viento y una variedad de aspectos medioambientales— y por barreras de diversa índole: económicas, tecnológicas, institucionales, sociales, de mercado, etc.

Superar tales barreras al tiempo que se garantiza la sostenibilidad económica, ambiental y social es el gran reto de los programas y proyectos de provisión de energía y servicios energéticos en los países en desarrollo.

Las prioridades del PNUD en el ámbito de la energía son (PNUD, 2005):

- ♦ Apoyar los marcos políticos nacionales que reflejen el papel de la energía en la reducción de la pobreza y el desarrollo sostenible.
- ♦ Promover el acceso a los servicios energéticos, electricidad o combustibles más limpios, en las zonas rurales.
- ♦ Incrementar el uso de tecnologías energéticas de bajas emisiones, incluyendo las energías renovables y las tecnologías de mayor eficiencia energética y/o que usen combustibles fósiles avanzados.
- ♦ Expandir el acceso a la financiación de inversiones energéticas a través de los Mecanismos de Desarrollo Limpio —MDL del protocolo de Kyoto— o de las sociedades públicas-privadas.

El PNUD financia acciones en el campo de la energía a través de sus recursos regulares y, además, actúa como agencia de implementación del *Global Environment Facility* (GEF).

Energía necesaria, pero ¿suficiente?: enfoque integral

Disponer de luz o de más tiempo para estudiar o de más tiempo para dedicarse a procesos productivos o generación de ingresos, pongamos el caso, no se puede materializar si no se dispone de otros medios. Trabajar la energía de forma transversal, como recomienda el PNUD, implica incorporar a los proyectos de provisión de energía otros objetivos:

- ♦ Mejorar la salud de las personas.
- ♦ Promover la igualdad y la potenciación de género.
- ♦ Facilitar la energía y los medios para la producción de ingresos.
- ♦ Potenciar y generar capacidades.

Por otro lado, las políticas cuyo objetivo sea mejorar tanto la calidad como la cantidad en servicios energéticos deben estar respaldadas por políticas que promuevan la inversión, el crecimiento y el empleo

productivo (PNUD, 2005). En el ámbito rural, ello incluye:

- ♦ Desarrollo de infraestructuras rurales.
- ♦ Educación y capacitación.
- ♦ Apoyo mediante programas de micro-créditos.

Se necesita un mayor esfuerzo en fortalecer el marco general legal e institucional, incluyendo la protección de la tierra y los derechos de propiedad.

Desarrollo energético rural

Los servicios energéticos modernos ayudan a impulsar el crecimiento económico a través de la mejora en la productividad y de la generación de ingresos. En las zonas rurales, estos se pueden obtener gracias a un desarrollo agrícola mejorado y a la creación de puestos de trabajo no agrícolas —industrias auxiliares, normalmente agroalimentarias—.

Acelerar la introducción de servicios energéticos es pues una estrategia clave para promover el desarrollo en las áreas rurales de los países en desarrollo. En el sector productivo ello implica:

- ♦ Combustibles líquidos y electricidad para mecanizar la agricultura.
- ♦ Electricidad a un precio suficientemente bajo para atraer la actividad industrial a las zonas rurales —generando puestos de trabajo y ayudando a frenar la migración hacia las zonas urbanas—

La generación de electricidad mediante sistemas mini-hidráulicos permite, normalmente, producir un excedente que puede utilizarse de forma muy flexible en todo tipo de procesos productivos: pequeñas industrias artesanales, granjas, comercios y servicios —incluyendo, por ejemplo, los turísticos—. El uso de la energía hidráulica como fuente de energía mecánica, conocida desde antiguo, no debe desestimarse; las tecnologías mejoradas en este ámbito permiten mejorar su grado de aprovechamiento en los sectores productivos rurales.

Salvo algunas excepciones, las tecnologías eólicas y fotovoltaicas, debido a la baja potencia instalada, no suelen utilizarse para usos productivos, aunque sí pueden tener aplicación en el sector servicios —pequeños comercios o servicios de restauración— y, por supuesto, para el bombeo de agua —aplicable al riego con el consiguiente aumento de la productividad de las explotaciones agrícolas—. Recientemente se está investigando en el uso de estos sistemas para actividades agroindustriales como la molienda de grano.

La prolongación de la jornada, mediante electrificación doméstica, también permite la realización de pequeñas actividades artesanales con las que incrementar los ingresos familiares.

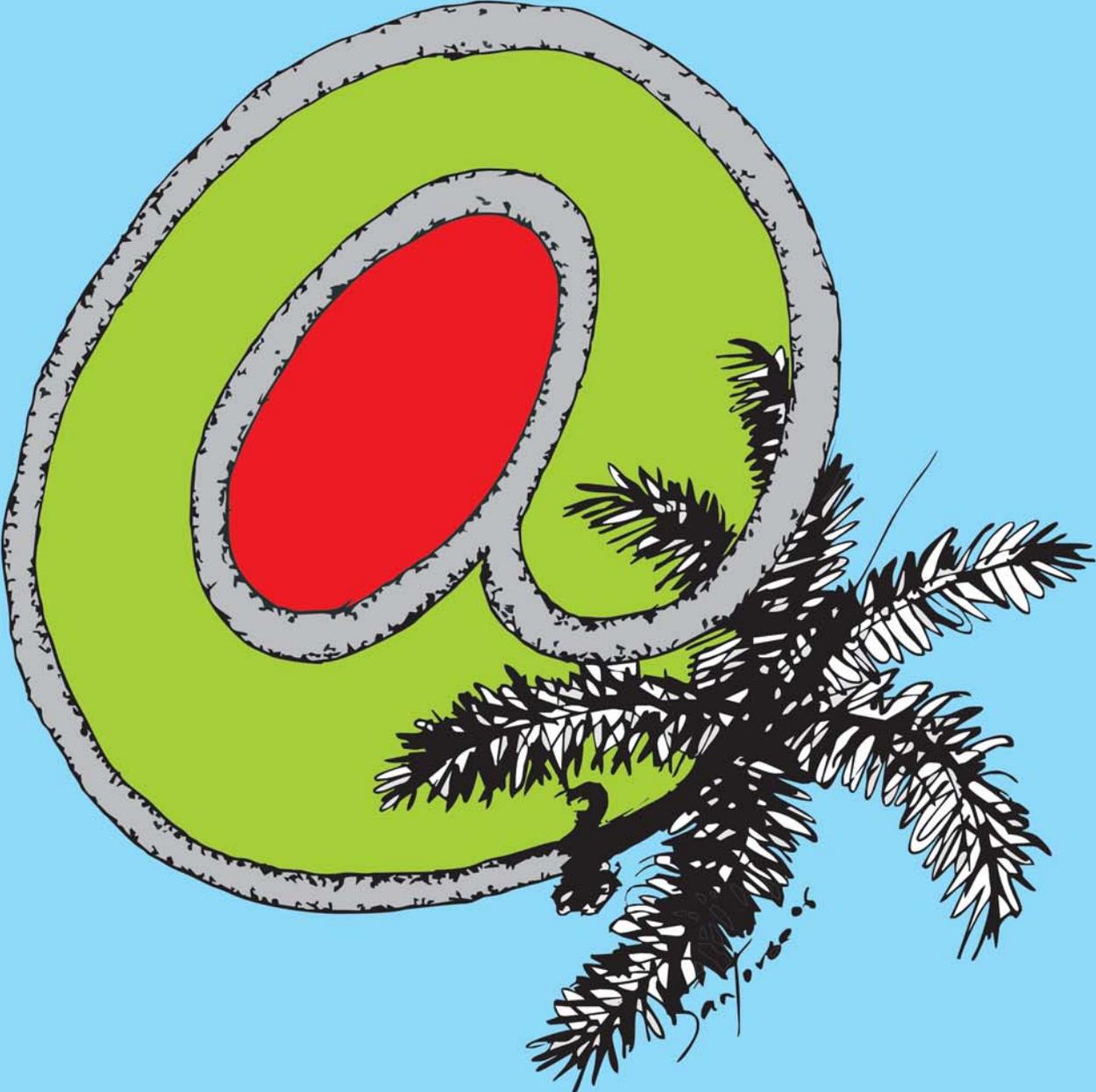
Las tecnologías de la biomasa y la energía solar térmica permiten obtener calor suficiente para abastecer

las necesidades de pequeñas industrias en el sector agroalimentario —secado o curado de alimentos—. Estos procesos amplían las posibilidades de comercialización de productos perecederos.

En el ámbito de la biomasa, el aprovechamiento energético de los residuos que genera la propia industria agroalimentaria, permite cerrar el ciclo energético y hacer que sea prácticamente autoalimentado. Por otro lado, el ahorro de combustibles tradicionales mediante el uso de tecnologías más eficientes en el ámbito doméstico ofrece la posibilidad de utilizar tanto el combustible ahorrado, como el tiempo o el dinero que se gastaba en obtenerlo, para usos productivos y generación de ingresos. 

Referencias bibliográficas

- Agencia Internacional de la Energía, AIE (2004), World Energy Outlook 2004. IEA, París.
- Asamblea General de Naciones Unidas, (2000), Declaración del Milenio A/RES/55/2.
- Department for International Development, DFID (2002). Energy for the Poor. Underpinning the Millennium Development Goals. DFID. Reino Unido.
- Pérez-Foguet, A., Morales, M., Saz-Carranza, A. (2005), Introducción a la Cooperación al Desarrollo para las Ingenierías. UPC-Ingeniería Sin Fronteras, Barcelona.
- PNUD (2001), Informe sobre Desarrollo Humano 2001. PNUD.
- UN-Energy (2005), The Energy Challenge for Achieving the Millennium Development Goals. UN-Energy
- PNUD (2005). Achieving MDG: the Role of Energy.
- PNUD (2004), World Energy Assessment. 2004 update. PNUD.
- PNUD (2000), World Energy Assessment. Energy and the challenge of Sustainability. PNUD
- SACHS, J.D. (director) (2005). Invirtiendo en desarrollo. Un plan práctico para conseguir los Objetivos de Desarrollo del Milenio. PNUD. Nueva York.
- Velo, E., Sneij, J., Delclòs, J. (eds.) (2006), Energía, participación y sostenibilidad. Ingeniería sin Fronteras, Barcelona.



Abreviaturas

A

A

Ampere

Amperio

AC

Alternating Current

Corriente Alterna

AICD

Agencia Interamericana para la

Colaboración y el Desarrollo

Inter-American Agency for

Cooperation and Development

AIE

Agencia Internacional de la Energía

International Energy Agency

B

BJT

Bipolar Junction Transistor

Transistor de Unión Bipolar

C

CA

Corriente Alterna

Alternating Current

CC

Corriente Continua o Directa

Direct Current

CD

Corriente Directa o Continua

Direct Current

CD/CA

Corriente Directa o Continua/

Corriente Alterna

Direct Current/ Alternating

Current

CDM

Clean Development Mechanism

Mecanismos de Desarrollo Limpio

CEM

Compatibilidad Electromagnética

Electromagnetic Compatibility

CEN

Comité Electro-Técnico Nacional

National Electrotechnical Committee

CEL

Calidad de la Energía Eléctrica

Quality of Electrical Energy

CF

Crest Factor

Factor de Cresta

CISPR

Comité International Spécial des

Perturbations Radioélectriques

International Special Committee

on Radio Interference

Comité Internacional Especial de las

Perturbaciones Radioeléctricas

CLP

Controlador Lógico Programable

Programmable Logic Controller

CMOS

Complementary Metal-Oxide

Semiconductor

Semiconductor Complementario

del Óxido de Metal

COHCIT

Consejo Hondureño de Ciencias y

Tecnologías

Honduran Science and Technology

Council

CPU

Central Processing Unit

Unidad Central de Procesamiento

CSGT

Centro de Supervisión y Gestión

Territorial

D

DC

Direct Current

Corriente Directa o Continua

DCM

Discontinuous Conduction Mode

Modo de Conducción Discontinuo

DES

Duración Equivalente de las Interrupciones del Servicio

Equivalent Duration of Service

Interruption

DF

Distortion Factor

Factor de Distorsión

DFID

Department for International

Development

Departamento para el Desarrollo

Internacional

DG

Distributed Generation

Generación Distribuida

DTA

Distorsión Total de Armónicas

Total Harmonic Distortion

E

EDS

Equivalent Duration of Service

Interruption

Duración Equivalente de las Interrupciones del Servicio

Equivalent Frequency of Service

Interruption

Frecuencia Equivalente de las Interrupciones del Servicio

Equivalent Duration of Service

Interruption

Frecuencia Equivalente de las Interrupciones del Servicio

EMC

Electromagnetic Compatibility

Compatibilidad Electromagnética

emf

Electromotive Force

Fuerza Electromotriz

EMI

ElectroMagnetic Interference

Interferencia Electromagnética

EMS

Electromagnetic Susceptibility

Susceptibilidad Electromagnética

ETNO

European Telecommunications Network Operator's Association
Asociación de Operadores Europeos de Redes de Telecomunicaciones

F

FCC

Federal Communications Commission
Comisión Federal de Comunicaciones

f.e.m

Fuerza Electromotriz
Electromotive Force

FES

Frecuencia Equivalente de las Interrupciones del Servicio
Equivalent Frequency of Service Interruption

FV

Fotovoltaico
Photovoltaic (PV)

G

GE

Grupos Electrónicos
Generators

GEI

Gases de Efecto Invernadero
Greenhouse Gases

GEF

Global Environment Facility
Instalación Global de Medio Ambiente

GeSI

Global e-Sustainability Initiative
Iniciativa Global de Sostenibilidad Electrónica

GD

Generación Distribuida
Distributed Generation

GRI

Global Reporting Initiative
Iniciativa Global para la Elaboración de Informes

H

HDI

Human Development Index
Índice de Desarrollo Humano

HMI

Human Machine Interface

HSP

Horas Solares Picos
Peak Sun Hours

I

IDEA

Instituto por la Diversificación y Ahorro de la Energía
Institute for Energy Diversification and Saving

IDH

Índice de Desarrollo Humano
Human Development Index (HDI)

IEA

International Energy Agency
Agencia Internacional de la Energía

IEM

Interferencia Electromagnética
ElectroMagnetic Interference

IGBT

Insulated-Gate Bipolar Transistor
Transistor Bipolar de Computa Aislada

ITMs

Interruptores Termo Magnéticos
Thermomagnetic Switch

ITU

International Telecommunication Union
Unión Internacional de Telecomunicaciones

L

LDI

Larga Distancia Internacional

LFR

Loss Free Resistor
Resistor Libre de Pérdidas

M

MDL

Mecanismos de Desarrollo Limpio
Clean Development Mechanism

MOSFET

Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor

O

OBE

Organización Básica Eléctrica

OCDE

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

ODM

Objetivos de Desarrollo del Milenio
Millennium Development Objectives

ONU

Organización de las Naciones Unidas
United Nations Organization

Abreviaturas

P

PC

Personal Computer
Computadora Personal

PGD

Pizarra General de Distribución
General Distribution Board

PLC

Programmable Logic Controller
Controlador Lógico Programable

PNUD

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
United Nations Development Program

R

RMS

Root Medium Square
Raíz Media Cuadrática

PV

Photovoltaic
Fotovoltaico

PWM

Pulse Wide Modulation
Modulación por Ancho del Pulso

S

SEM

Susceptibilidad Electromagnética
Electromagnetic Susceptibility

SEN

Sistema Electroenergético Nacional
National Electroenergetic System

SPCR

Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas
Atmospheric Discharge Protection Systems

T

THD

Total Harmonic Distorsion
Distorsión Total de Armónicas

TIC

Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Information and Communication Technologies

U

UNE

Unión Nacional Eléctrica

UN-Energy

United Nations related to Energy

UNGA

United Nations Millenium Development Goals

Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas

UPS

Uninterrupted Power Suply
Sistema de Alimentación Ininterrumpida

UNE

Unión Nacional Eléctrica

UN-Energy

United Nations related to Energy

UNGA

United Nations Millenium Development Goals

Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas

UPS

Uninterrupted Power Suply
Sistema de Alimentación Ininterrumpida

V

V

Voltage
Tensión o Voltaje

W

W

Watt

Vatio

WBCSD

World Business Council for Sustainable Development

Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible

WEHAB

Water, Energy, Health, Agriculture and Biodiversity

Agua, Energía, Salud, Agricultura y Biodiversidad

WSSD

World Summit Sustainable Development
Conferencia de las Naciones Unidas en Medioambiente y Desarrollo



Centro de Información Científico-Técnica de ETECSA
Vicepresidencia de Desarrollo y Tecnología

Centro de Negocios Miramar, calle 3^{ra}, e/ 76 y 78, Edificio Beijing, Piso 4, oficina 404.
Playa, Ciudad de La Habana, Cuba. C.P.: 11300



desde mi **Barrio**
defendiendo lo nuestro

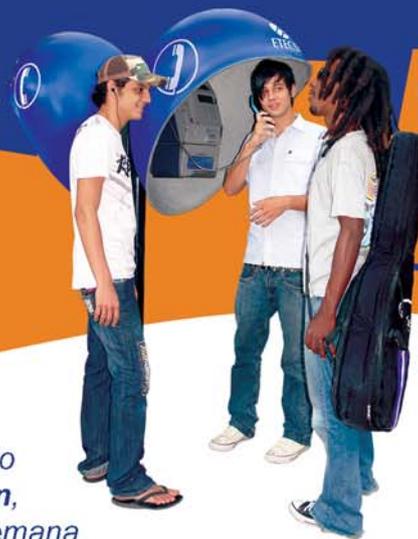
...estamos en la esquina del teatro,
te esperamos para el ensayo



mami, **recuerda...**
voy para la casa
de estudio.



...hola viejo
estoy bien,
voy el fin de semana



si detecta
alguna avería
repórtela al
118



El cuidado de las redes de telecomunicaciones
es **responsabilidad de todos**

Álvaro Alberto Pérez Medina



Título: Historia interminable
Técnica: acrílico sobre tela
Medidas: 130 x 80 cm