

ISSN 2444-4987

Revista de Investigación y Desarrollo

Volumen 2, Número 6 – Octubre – Diciembre - 2016

ECORFAN[®]



ECORFAN-Spain

Indización

Google Scholar

Research Gate

REBID

Mendeley

RENIECYT

ECORFAN-Spain

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD.

Director Regional

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD.

Director de la Revista

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC.

Edición de Logística

PERALTA-CASTRO, Enrique. PhD.

Diseñador de Edición

TREJO-RAMOS, Iván. BsC.

Revista de Investigación y Desarrollo, Volumen 2, Número 6, de Octubre a Diciembre -2016, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Spain. Calle Matacerquillas 38, CP: 28411. Moralarzal -Madrid. WEB: www.ecorfan.org/spain, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS –ESCAMILLA, María, Co-Editor: MIRANDA –GARCÍA, Marta, PhD. ISSN-2444-4928. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA –BOUCHÁN, Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Centro Español de Ciencia y Tecnología.

Consejo Editorial

MARTINEZ-BRAVO, Oscar Mario, PhD

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica-UNAM- México

PÉREZ-RAMÍRE, Rigoberto, PhD

Universidad Autónoma del Estado de México-México

SOUSA-GONZÁLEZ, Eduardo, PhD

Universidad Autónoma de Nuevo León- México

BLANCO-ENCOMIENDA, Francisco Javier, PhD

Universidad de Granada-Spain

GARCÍA VILLANUEVA-Jorge, PhD

Universidad Pedagógica Nacional- México

ALIAGA-LORDEMANN, Francisco Javier, PhD

Universidad de Zaragoza-Spain

GARCÍA Y-BARRAGÁN, Luis Felipe, PhD

Universidad de Guanajuato-México

ARANCIBIA- VALVERDE, María Elena, PhD

Universidad Pedagógica Enrique José Varona de la Habana- Cuba

TORRES-HERRERA, Moisés, PhD

Universidad Autónoma de Barcelona-Spain

LINAREZ-PLACENCIA, Gildardo, PhD

Centro Universitario de Tijuana-México

DOMÍNGUEZ-GUTIÉRREZ, Silvia, PhD

Universidad de Guadalajara-México

Consejo Arbitral

TCME, PhD

UPIICSA –IPN-México

ABD, PhD

Escuela Superior de Economía-IPN-México

GIMR, PhD

Universidad Nacional Autónoma de México-México

SAOH, PhD

Centro de Investigación en Energía –UNAM-México

CBC, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana-México

GGO, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana-México

PRR, PhD

Universidad Iberoamericana-México

EVFJ, PhD

Universidad de Sonora-México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Investigación y Desarrollo

En Pro de la Investigación, Docencia, y Formación de los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión del Editor en Jefe.

El artículo *Génesis del mercado eléctrico minorista y de baja potencia, con tecnologías de microgeneración renovable en México* por AQUINO-ROBLES, José, LUCERO, FERNÁNDEZ-NAVA, Cecilia y CORONA-RAMÍREZ, Leonel, como siguiente artículo está *La Enertrónica elemento clave en la transición hacia las redes eléctricas inteligentes en México* por AQUINO-ROBLES, José, FERNÁNDEZ-NAVA, Cecilia y TRUJILLO-CABALLERO, como siguiente artículo está *Action Connectors* por GONZÁLEZ-ESPINOZA, Jessica y GONZÁLEZ-ESPINOZA, Paola, como siguiente artículo está *Optimización de la iluminación de un edificio de biblioteca para eficiencia energética* por RAMÍREZ-RASCÓN, Luis, SERRANO-ARELLANO, Juan, AGUILAR-CASTRO, Karla y RODRÍGUEZ-URIBE, Juan con adscripción en el Instituto Tecnológico de Huichapan, como siguiente artículo está *Estudios de psicología ambiental en hospital general de Huichapan: elementos sensoriales y bioclimáticos* por MAGOS-RAMÍREZ, Sergio, SERRANO-ARELLANO, Juan, DÁVILA-NÚÑEZ, Milka y TREJO-TORRES, Zaira, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan y Universidad Superior Bajío, como siguiente artículo está *Reutilización de papel reciclado en la producción de material de construcción aislante térmico y acústico* por SALDAÑA-ACOSTA, Jorge, ROSALES, Javier y MUÑOZ, Armando, con adscripción en la Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo, como siguiente artículo está *Optimización del proceso de hidrólisis enzimática a partir de bagazo de sorgo dulce pre tratado* por GUARNEROS-FLORES, Javier, LOPEZ-ZAMORA, Leticia y AGUILAR-USCANGA, María con adscripción en el Instituto Tecnológico de Orizaba, como siguiente artículo está *Análisis paramétrico y evaluación estadística de las turbinas de gas comerciales empleadas para cogeneración hasta 50MW* por SANTAMARIA-PADILLA, Adriana, ROMERO-PAREDES, Hernando y SEGURA-PACHECO, Norberto con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana, como siguiente artículo está *Caracterización de los parámetros físico-químicos de los aceites comestibles usados para la generación de biodiesel en la planta piloto del IT Cancún* por L-TORRES, BEN-YOUSSEF, D-EK y R-ESCALANTE con adscripción en el Instituto Tecnológico de Cancún, como siguiente artículo esta *Determinación de la velocidad de corrosión de hierro gris en biodiesel de girasol* por DECTOR, Andrés, MANRIQUEZ-REZA, Elizabeth SOSA-DOMÍNGUEZ, Adrián y MARROQUIN, Ángel con adscripción en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, Universidad Politécnica de Querétaro y Universidad Autónoma de Querétaro, como siguiente artículo está *Estudio de las señales EEG generadas a partir de expresiones faciales* por CHÁVEZ-SAENZ, Velia, JIMENEZ-GONZÁLEZ, Fernando, TORRES-RAMÍREZ, Dulce y PEREZ-KLAPEZ, Christian, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez.

Contenido

Artículo	Página
Génesis del mercado eléctrico minorista y de baja potencia, con tecnologías de microgeneración renovable en México AQUINO-ROBLES, José, LUCERO, FERNÁNDEZ-NAVA, Cecilia y CORONA-RAMÍREZ, Leonel	1-19
La Enertrónica elemento clave en la transición hacia las redes eléctricas inteligentes en México AQUINO-ROBLES, José, FERNÁNDEZ-NAVA, Cecilia y TRUJILLO-CABALLERO	20-43
Action Connectors GONZÁLEZ-ESPINOZA, Jessica y GONZÁLEZ-ESPINOZA, Paola.	44-47
Optimización de la iluminación de un edificio de biblioteca para eficiencia energética RAMÍREZ-RASCÓN, Luis, SERRANO-ARELLANO, Juan, AGUILAR-CASTRO, Karla y RODRÍGUEZ-URIBE, Juan	48-51
Estudios de psicología ambiental en hospital general de Huichapan: elementos sensoriales y bioclimáticos MAGOS-RAMÍREZ, Sergio, SERRANO-ARELLANO, Juan, DÁVILA-NÚÑEZ, Milka y TREJO-TORRES, Zaira	52-67
Reutilización de papel reciclado en la producción de material de construcción aislante térmico y acústico SALDAÑA-ACOSTA, Jorge, ROSALES, Javier y MUÑOZ, Armando.	68-74
Optimización del proceso de hidrólisis enzimática a partir de bagazo de sorgo dulce pre tratado GUARNEROS-FLORES, Javier, LOPEZ-ZAMORA, Leticia y AGUILAR-USCANGA, María.	75-81
Análisis paramétrico y evaluación estadística de las turbinas de gas comerciales empleadas para cogeneración hasta 50MW SANTAMARIA-PADILLA, Adriana, ROMERO-PAREDES, Hernando y SEGURA-PACHECO, Norberto.	82-91
Caracterización de los parámetros físico-químicos de los aceites comestibles usados para la generación de biodiesel en la planta piloto del IT Cancún L-TORRES, BEN-YOUSSEF, D-EK y R-ESCALANTE.	92-108

Determinación de la velocidad de corrosión de hierro gris en biodiesel de girasol 109-114
DECTOR, Andrés, MANRIQUEZ-REZA, Elizabeth SOSA-DOMÍNGUEZ, Adrián y MARROQUIN, Ángel

Estudio de las señales EEG generadas a partir de expresiones faciales 115-124
CHÁVEZ-SAENZ, Velia, JIMENEZ-GONZÁLEZ, Fernando, TORRES-RAMÍREZ, Dulce y PEREZ-KLAPEZ, Christian

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Génesis del mercado eléctrico minorista y de baja potencia, con tecnologías de microgeneración renovable en México

AQUINO-ROBLES, José*†, LUCERO, FERNÁNDEZ-NAVA, Cecilia y CORONA-RAMÍREZ, Leonel.

Recibido Octubre 11, 2016; Aceptado Noviembre 4, 2016

Resumen

Con las reformas energéticas recién aprobadas y ahora ya en sus primeras fases de implementación, es necesario considerar factores que hagan que las virtudes anunciadas en ellas, sean efectiva y eficazmente aplicadas en la práctica. Por tales hechos en este trabajo de investigación; se mostrará el necesario surgimiento de un mercado eléctrico minorista y de baja potencia en México. Este mercado minorista deberá ser la contraparte al mercado eléctrico mayorista que es operado ya en el Centro Nacional de Control de la Energía, y que fue recientemente desincorporado de la Comisión Federal de Electricidad. Dicho mercado minorista despresurizará las tensiones que se generan en un mercado que compra y vende energía en grandes cantidades y que podría crear cuellos de botella y especulación en la seguridad de suministro de energéticos primarios; de acuerdo a lo observado en otras naciones donde solo se implementó el mercado mayorista. Y también crear especulación financiera derivada entre otras causas por los altamente cambiantes precios de los hidrocarburos, que se utilizan para producir electricidad. De acuerdo a lo anterior, se explicará la forma operativa del mercado eléctrico minorista y de baja potencia. Con las inherentes ventajas de utilizar tecnologías de aprovechamiento renovable y los contratos de interconexión existentes en México.

Energías renovables, tecnologías renovables de aprovechamiento energético, mercado eléctrico, microgeneración renovable

Abstract

With energy reforms recently approved and now in the early stages of implementation. It is necessary to consider factors that make that virtues written on reforms, can be effective and effectively applied in practice. By such facts in this research we will show the necessary emergence of a retail electric market and low power in Mexico. Let the counterpart to the wholesale electricity market which is already at the Centro Nacional de Control de la Energía, recently cut de la Comisión Federal de Electricidad. The retail market despresurizará the tensions that are generated in a market that buys and sells energy in large quantities. And that could according to that observed in other nations where only implemented the wholesale market, create necks of bottle and speculation on the security of supply of primary energy. And also financial speculation arising among other causes by highly changing prices of hydrocarbons, which are used to produce electricity. According to the above, we will explain the operational form of the retail electric market and low power. With the inherent advantages of using renewable technologies and use existing interconnection contracts in Mexico.

Renewables energy, electrical market, microgeneration

Citación: AQUINO-ROBLES, José, LUCERO, FERNÁNDEZ-NAVA, Cecilia y CORONA-RAMÍREZ, Leonel. Génesis del mercado eléctrico minorista y de baja potencia, con tecnologías de microgeneración renovable en México. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 1-19

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jaquinor@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Antecedentes

Para comenzar, cabe señalar que a partir de la aprobación de la reforma energética en nuestra nación, ha habido un cambio fundamental en relación al suministro eléctrico; ya que este último ahora es considerado como una mercancía que se compra y se vende en un único mercado mayorista de energía; el cual ya está operando en el Centro Nacional de Control de la Energía (CENACE), en este 2016 y está ya trabajando bajo normas y reglas ya preestablecidas y con ello el suministro dejará de ser un servicio estratégico que la nación a través de sus empresas estatales prestaba a la población en general, para la satisfacción de sus necesidades en general y ahora la energía eléctrica pasa a ser una mercancía que se compra y se vende en un mercado (Aquino, Corona Cuervo 2012).

Ahora bien para entender en qué punto nos encontramos históricamente hablando vale la pena recordar cómo se ha conformado hasta ahora el Sector Eléctrico en el mundo. En este contexto cabe señalar que el transporte y distribución de la energía eléctrica empezó a ser necesario poco después de que surgió la bombilla eléctrica (Yebra 2010). Edison junto con J.P. Morgan, fundan General Electric (GE) en 1880. Esta compañía apostó por la generación y distribución de energía eléctrica mediante máquinas de Corriente Continua (CC). Sin embargo en 1886 apareció un fuerte competidor con una tecnología diferente, fue en este año cuando George Westinghouse funda en Pittsburgh la Westinghouse Electric & Manufacturing Company. Esta compañía apostó por la generación en Corriente Alterna (CA).

Hubo una intensa contienda por liderar el mercado. En Europa las primeras redes de distribución fueron en corriente continua, en 1882 se construyó un enlace de 2kV CC entre las localidades alemanas de Miesbach y Munich, que distan 50 km. Grandes ingenieros de la época se enzarzaron en discusiones para dilucidar que tecnología era la mejor. En Inglaterra Ferranti, Gordon, W. M. Mordey, Silvanus Thomson en EE.UU. Tesla, Sprague y C.P. Steinmetz estaban a favor de la CA, mientras que a favor de la CC en Inglaterra estaban Lord Kelvin, Crompton, A.W. Kennedy, John Hopkinson y en EE.UU. Edison.

De lo anterior se afirma con evidencias históricas, que el inicio del crecimiento de los sectores eléctricos respondía a la iniciativa privada, mientras el Estado observaba y ejercía una muy limitada regulación a dicha actividad industrial. En este período el Estado también comenzó a intervenir en el establecimiento de precios sirviendo muchas veces de árbitro entre los consumidores y los proveedores de energía eléctrica.

Pero el cambio principal llegó por motivos tanto tecnológicos como económicos. La instalación de líneas de transmisión (en aquel tiempo exclusivamente en corriente alterna, para trasladar la energía a grandes distancias) esto hizo posible la creación de centrales de gran capacidad de generación (principalmente hidráulicas, alejadas de los centros de consumo). Surgiendo con ello el concepto actual de Sistema Eléctrico de potencia (SEP), que engloba la interconexión de varias centrales de generación, con la transmisión, la distribución, la comercialización y finalmente el consumo de la energía eléctrica (Perez Arriaga, Batle y Rivier 2008).

Desde el punto de vista tecnológico permite ventajas como compartir la cobertura de demanda máxima, disponer de potencia de respaldo y tener un despacho económico de generación desde la perspectiva económica. Todo lo cual es posible gracias a la mencionada interconexión del sistema.

Para llegar a concretar sistemas interconectados fue necesario fortalecer las empresas eléctricas con el financiamiento de los bancos. Todo ello avanzaba por buen camino, sin embargo, la crisis financiera de la década de los treinta en el siglo XX, en América, y posteriormente la segunda guerra mundial en Europa debilitaron la capacidad inversora de las compañías eléctricas, no pudiendo afrontar los grandes proyectos que se vislumbraban como necesarios para mantener el alto ritmo de crecimiento que siguieron a estos sucesos históricos. Esta dificultad motivó la primera gran reestructuración de la industria eléctrica. El sector eléctrico se nacionalizó en casi todos los países del mundo, y en particular en América Latina.

Con ello el primer cambio de propietario se da de una forma tal que en México podríamos equiparlo a la nacionalización de la banca en 1982 solo por citar un hecho cercano a nuestra memoria colectiva o la más reciente nacionalización de parte del estado Argentino de la empresa YPF (yacimientos petrolíferos fiscales) independientemente del contexto; en algunas ocasiones este hecho se considera una nacionalización por motivos políticos y en otras un rescate de parte del estado para seguir suministrando un servicio que ya no pueden ofrecer empresas privadas que han quebrado financieramente o que los servicios que suministra no son los convenidos en los contratos.

Reasumiendo, los Estados emprendieron ambiciosos planes de expansión centrados en la construcción de centrales de gran tamaño muy intensivas en capital, tanto complejos hidráulicos, como térmicos (o en su caso también nucleares como en el caso de Argentina, Brasil y México en AL). La planificación eléctrica se volvió por tanto responsabilidad del Estado por medio de empresas públicas estatales, que hacían los planes sobre los aspectos claves (evolución de la demanda, evolución del coste de los combustibles...), fijaban el margen de reserva, la calidad de servicio deseada... El elemento central, conceptualmente al menos, era un proceso explícito de optimización cuya función objetivo era satisfacer las necesidades energéticas estimadas, maximizando la eficiencia, o al menos tratando de hacerlo.

La década de los sesenta y setenta del siglo XX se caracterizó por una fuerte inversión, sin embargo en algunos países los gobiernos en turno convirtieron al servicio público de energía eléctrica y por ende a las empresas eléctricas en botines políticos usándolas para sus intereses electorales, políticas de empleo, control de la inflación. Y con la crisis petrolera de 1973 (que supuso un freno al crecimiento de la demanda eléctrica) precipitaron a muchos países a sus empresas eléctricas a una situación próxima al colapso económico. Los Estados tuvieron que intervenir directamente al sector, inyectando abundantes recursos financieros para evitar la debacle.

El problema no se detuvo ahí. Muchos gobiernos no tenían suficiente capital para emprender las nuevas inversiones necesarias para mantener cuando menos funcionando al sector eléctrico y las fuentes de financiación (organismos como el FMI o el banco mundial) que hasta ese momento habían soportado el vertiginoso ritmo de inversión comenzaron a exigir cambios estructurales profundos para nuevamente dotarlos de recursos.

La administración pública de muchas empresas latinoamericanas, con el Estado como regulador y propietario, dejaba mucho que desear y la intromisión hasta la fecha en algunos países en las decisiones empresariales es en general un factor de ineficiencia, de acuerdo a (Perez Arriaga et al 2008).

Por otro lado, la construcción de líneas de alta tensión para el transporte permitía la creación de mercados de dimensión antes impensable; el agotamiento de las economías de escala de las tecnologías tradicionales de generación (carbón, combustóleo, hidráulicas y nucleares) y el surgimiento de nuevas tecnologías (ciclos combinados de gas) permitió la expansión de los sistemas eléctricos con costes marginales inferiores a los costes medios existentes; y las principales instituciones (FMI, etc.) prestatarias del sector eléctrico en América Latina influyeron a los gobiernos a sumarse a la ola liberalizadora (privatizadora) de los servicios (comunicaciones, banca, energía, petroleras, gaseras, minería).

En Europa la reestructuración del sector y la introducción de la competencia (creación de un mercado competitivo) fueron vistas como una oportunidad para reducir la presencia del Estado en el sector, y con ello incrementar la eficiencia de la industria eléctrica con la idea de beneficiar al consumidor y compatibilizar los marcos regulatorios nacionales, con el nuevo marco de integración europea.

Los procesos de liberalización también permitieron generar ingresos para las naciones y temporalmente al menos, se redujeron las tarifas, aprovechando simultáneamente las mejoras en eficiencia, el menor coste de las nuevas tecnologías de generación y la significativa bajada que tuvieron los tipos de interés en la década de los noventa del siglo XX.

En Latinoamérica, además de tratar mejorar en eficiencia y de buscar que la industria eléctrica dejara de ser el botín político del gobierno en turno. La reforma fue primordialmente regida por la imperiosa necesidad de atraer nuevo capital del exterior que hiciera posible la expansión y ordenada administración de los sistemas eléctricos. El cual es necesario para nutrir los altos niveles de crecimiento económico y descargar a los gobiernos de la necesidad de invertir en la expansión del sector.

El proceso de reforma comenzó con la privatización de las compañías eléctricas en Chile a finales de los años ochenta, seguido de la liberalización y reestructuración de las industrias del petróleo, electricidad y gas natural en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú. También se afirma en que la privatización del sector eléctrico en Chile no alcanzó la creación de un mercado verdaderamente competitivo. Este último hecho, entre otros tantos más ha motivado investigaciones como la presente.

Argentina llevó a cabo un proceso de reestructuración profunda, el cual involucró la separación de la industria eléctrica y la competencia en la generación eléctrica, así como la competencia en el mercado mayorista (incluyendo un mercado de contratos y un mercado spot). De forma paralela a la reestructuración y la privatización, se busca introducir restricciones a la propiedad para prevenir discriminación y poder dominante en el mercado. Cosa que debe observarse con mucho detalle para aspirar a tener un verdadero mercado y que este sea también verdaderamente competitivo.

La apertura competitiva y la reestructuración de los mercados eléctricos se han llevado a cabo también en Bolivia, Colombia y Perú, mientras que está en consideración en Ecuador.

Brasil y México, las dos economías más grandes de América Latina, están abriendo de manera cautelosa sus sectores eléctricos, entre otras causas para observar el desempeño de los modelos de mercado. Por ejemplo, las reformas en Brasil son implementadas de forma gradual, tomando en consideración la estructura federal de la nación (Aquino Robles et al 2014 a).

México y algunos países de Centroamérica, mantuvieron un sector eléctrico integrado verticalmente, permitiendo a productores independientes de electricidad concluir contratos con la empresa eléctrica nacional sin embargo dada ya la reforma energética y en su capítulo eléctrico en este 2016 ya se tiene en pleno funcionamiento el mercado eléctrico en México lo cual implicará contratos o subastas futuras, la programación a mediano plazo y el mercado de corto plazo. Para lo cual ya se ha preparado para tal hecho creando el ente regulador (la Comisión Reguladora de Energía CRE) separado del ente legislador (Secretaría de Energía SENER) desde hace ya varios años e irán separando las actividades que realiza todavía la empresa pública estatal (Comisión Federal de Electricidad CFE). De las cuales por ejemplo han ido desincorporando ya el Centro Nacional de control de la Energía (CENACE) mismo que dejó de ser parte de la CFE, ya que la misma CFE ha pasado a ser por decreto presidencial la otrora empresa pública estatal que monopolizaba todavía la mayor parte de las actividades del sector eléctrico en México a ser ahora una empresa productiva del estado; la cual competirá al igual que todos los demás Productores Independientes de Energía eléctrica en México (PIEs) para suministrar energía eléctrica en México.

De momento algunos de los efectos positivos conocidos de la privatización y la liberalización del sector energético son: competencia, más eficiencia en la generación, el transporte y la distribución, el incremento en la productividad, el alivio en las presiones a las finanzas públicas.

Marco teórico

La operación del sistema eléctrico de potencia, en cualquier nación moderna, se enfrenta a nuevos retos, por un lado se desea ofrecer a la ciudadanía una energía de alta calidad, tanto desde el punto de vista de flujo ininterrumpible, como desde la perspectiva de los parámetros de la onda de tensión. Y por otra parte se desea que la producción el transporte y la distribución de la energía sea eficiente y aún más, que todo lo anterior tenga nulo o muy poco impacto ambiental. Con todo lo anterior y con la apertura o liberalización de actividades dentro del sector eléctrico; y con la disponibilidad de tecnologías modulares y de aprovechamiento renovable tanto de niveles macro, como de niveles micro de producción eléctrica se vive también una democratización de la generación eléctrica, resultado de lo cual, casi cualquier consumidor puede, mediante la tecnología apropiada convertirse en productor de energía, logrando con ello cubrir parte de su consumo, todo su consumo o inclusive cubrir su consumo y además vender energía eléctrica (García 2008).

Sin embargo es digno aclarar que la electricidad tiene ciertas características técnicas que le diferencian de otros productos que se compran y se venden en diferentes mercados. Mientras en otros sectores como puede ser textil, se puede contar con un volumen de stock que puede absorber variaciones de la demanda, la electricidad es un producto que no puede ser almacenado en condiciones económicamente viables por el momento.

Esto hace que en cada momento la generación ha de ser igual a la demanda, debiendo contar con una red de transporte lo suficientemente consistente para llevar a cabo esta transmisión y con una capacidad de producción acorde a las necesidades. Por tanto, es necesaria una coordinación entre las decisiones de inversión en generación y transporte de la energía eléctrica. Todas estas características técnicas y económicas han hecho del sector eléctrico un sector necesariamente regulado incluyendo los sectores en diferentes naciones que han optado por liberalizar sus actividades (Gilzans 2010).

En la actualidad existe una elevada correlación entre el incremento de la demanda eléctrica y el aumento en el producto interior bruto (P.I.B) de un país. Este hecho, es una de las razones por las que el sector eléctrico ha estado regulado, dada la importancia que tiene en el desarrollo económico de un país (Aquino et al 2014 b).

Son varias las causas que han llevado al cambio en la estructura del sector eléctrico, pasando de un sistema totalmente regulado propiedad del estado, a un mercado liberalizado en el que cualquier compañía puede desarrollar la actividad económica. Aunque no todas las actividades propias de este sector han sido o pueden ser desreguladas.

Mientras en la generación y comercialización se han dado una serie de acontecimientos que han hecho viable esta liberalización, el caso del transporte y la distribución permanecen regulados en su totalidad, debido a que no se han desarrollado nuevas tecnologías que hagan que dejen de ser, monopolios naturales.

Los factores que han hecho posible la liberalización de actividades son:

- Reducción de las economías de escala en la generación. En la actualidad la modularidad de gran parte de los elementos que conforman las centrales hacen que ya no sea mucho más rentable construir una central de 500 MW que dos de 250 MW.

- Desarrollo de nuevas tecnologías. La creación de tecnologías renovables, sobre todo de la eólica, con unos costes de instalación y mantenimientos muchos menores que los que estaban asociados a otras tecnologías, o la aparición de los ciclos combinados, más eficientes que las anteriores han provocado un cambio en las condiciones del sector a nivel de generación.

Todo ello ha conseguido que las barreras de entrada sean mucho menores, haciendo viable una posible entrada de nuevos participantes. Pero no basta con que se existan los medios para poder liberalizar el sector, también es necesario que se permita plenamente por parte de las autoridades y que los usuarios lo crean conveniente para ellos.

El primer requisito se ha dado en gran cantidad de países, incluso la Unión Europea ha publicado dos directivas en las que se insta a los gobiernos de los países miembros a tomar las medidas necesarias para favorecer esta liberalización.

El segundo requisito es un impedimento menor, ya que en la actividad de generación la búsqueda de aumentar la eficacia y con ello disminuir el precio, está relacionada con la liberalización. Se podría decir que mientras existe un único propietario que toma todas las decisiones de inversión repercutiendo los posibles costes de unas medidas erróneas al conjunto de los consumidores, el uso que se está haciendo de los recursos no es todo lo eficiente que debería.

Si esta toma de decisiones se reparte en diferentes empresas, cada una de ellas se preocupará por minimizar los costes de operación y de aumentar sus ingresos, prestando una especial atención a su estrategia de inversiones para reducir los errores en las mismas. Por ejemplo, si una empresa decide la construcción de una central que no resulta adecuadamente eficiente, el mercado se encargará de dejarla fuera en sus decisiones y esto repercutirá en el beneficio del agente en cuestión. El hecho de que exista un conjunto de agentes tomando decisiones hace que el mercado escoja a las que actúan de forma más eficiente, por lo que el error en una decisión no afecta a los consumidores al menos de forma tan directa como en el escenario regulado (Jiménez 2006).

Todo esto deberá repercutir en una disminución en el precio al aumentar la competencia y eficiencia en el sector. Aunque para que la disminución en los precios sea efectiva, es necesario que la competencia también lo sea y esto solamente se puede conseguir haciendo que el número de participantes en el mercado sea lo suficientemente elevado (Aquino Robles et al 2015).

Dado que la mayoría de los mercados que se han liberalizado hasta el momento son locales, como puede ser el caso de México, la cantidad de empresas participantes es todavía pequeña pudiéndose considerar estos mercados como oligopolistas, siendo hasta cierto punto cuestionable la efectividad de la competencia, hasta el momento. Una posibilidad de incrementar esta competencia es mediante la integración de diversos mercados, sabiendo que es necesario el incremento de las capacidades de transporte entre ellos.

Esta línea de actuación tiene asociados problemas técnicos, en lo que se refiere a desarrollo de la red de transporte adecuada, además de dificultades desde el punto de vista político dada la necesaria coordinación o incluso fusión de los operadores del sistema.

Otra posibilidad es aumentar el número de empresas dentro del mercado interior de cada país y esto implica la existencia no solo de un mercado mayorista en el sector, sino también la fuerte e intensa participación de productores y consumidores en un mercado al menudeo o minorista donde se venda y se compre energía eléctrica pero en cantidades pequeñas para proveedores y clientes en pequeño (Aquino et al 2015 b).

La actividad de comercialización es relativamente fácil de liberalizar, una vez que es posible hacerlo con la generación; ya que se pueden facturar los consumos de los clientes con independencia del agente que les suministre la energía, tan solo haciendo uso del medidor eléctrico que posee cada uno de los consumidores. Para asegurar la liberalización de esta actividad se debe permitir el uso de las redes de distribución sean propiedad de quien sean, por cualquier comercializador; previo pago eso sí, de una tarifa estipulada por el regulador incluso mediante la implementación de un mercado de baja potencia y minorista.

En algunos países Europeos, en la actualidad no es extraño el hecho de que la red de distribución que llega a una zona sea de una determinada compañía, pero la empresa que factura la energía que llega a una vivienda o empresa de esa área sea otra diferente. Se puede decir que una vez liberalizado el sector eléctrico, se pueden definir cada uno de los participantes de la siguiente forma:

Productor: Es el agente que realizando su actividad de generación eléctrica en régimen de competencia. Puede vender su producción de varias formas diferentes, reflejando en el precio de venta los costes en los que incurre por el hecho de realizar esta actividad. Se pueden realizar los intercambios en un mercado mayorista o mediante contratos bilaterales con agentes compradores de electricidad y también mediante subastas tanto de largo plazo, como de corto plazo.

Transportista: En el escenario liberalizado, este agente desarrolla su actividad de forma regulada. Por tanto sus ingresos están fijados por el Estado, mediante el ente legislador ya sea Secretaría o Ministerio o Intendencia de Energía; debiendo mantener la red de transporte de larga distancia en funcionamiento. Cada agente interesado en utilizar la red le deberá pagar una tarifa fijada por el regulador. Esta tarifa es fija o debería serlo para todo el que quiera utilizarla con independencia del uso.

Distribuidor: Realiza una actividad también regulada, en la que realiza el transporte regional de la energía. Por esta razón suelen existir distribuidores diferentes en cada región, siendo habitual, aunque problemático, que los grandes productores inviertan también en redes de distribución.

Comercializador: El cual desarrolla su actividad de forma liberalizada al igual que los productores. Adquiere la energía a los productores en las condiciones que se permitan en cada mercado y la vende al consumidor final. Cada uno de los comercializadores trata de diferenciar el producto que vende, a pesar que la electricidad que suministra un comercializador tiene las mismas características que las de otro; desde un punto de vista técnico. Esto se consigue ofreciendo paquetes diferentes dependiendo del uso.

Clientes o consumidores: Son el último eslabón de la cadena. En un mercado totalmente liberalizado, debe poder adquirir la electricidad a través de los comercializadores o en el mercado mayorista e incluso de existir en un mercado de baja potencia y minorista, aunque en algunos casos, debido al coste de transacción, se decantan por la compra a los comercializadores (Jiménez 2006).

El sistema eléctrico tradicional, regulado, verticalmente integrado, es el resultado de 100 años de evolución, donde los requerimientos técnicos operacionales determinaron su estructura. El concepto “verticalmente integrado” se refiere a que las funciones de previsión, planeación, construcción, generación eléctrica, transmisión y transformación, distribución, medición, facturación y cobranza las realiza una sola empresa en un territorio, constituyendo un monopolio natural. Puede ser una empresa pública nacional, regional o municipal, o empresas privadas a las que se ha concesionado el servicio eléctrico en un territorio, bajo supervisión del Estado, que controla las tarifas y la calidad del servicio. De ahí el término “reguladas”, que básicamente significa con control de tarifas (Gilzans 2010).

Las empresas eléctricas, públicas o privadas, prestan un servicio estratégico que incluso es asunto de seguridad nacional. Algunos creen que es una industria que vende kilowatt por hora (kwh) y piensan que su objetivo es reducir costos e incrementar ventas, es decir, utilidades. Pero los kwh no son el producto a vender, son simplemente la unidad de medida de un servicio energético que hace posible la iluminación eléctrica, la fuerza motriz que mueve las máquinas, y todos los equipos eléctricos y electrónicos que caracterizan a la civilización moderna (Ibídem).

La electricidad en corriente alterna no puede almacenarse; por ello en la industria eléctrica la generación de fluido es simultánea a lo que los usuarios demanden, instantáneamente. A lo largo del día, como a través del año, la demanda de electricidad por los usuarios del servicio presenta patrones estadísticos llamados curvas de demanda, que son típicas de cada día de la semana, de lunes a domingo, y varían en magnitud y forma a lo largo del año, en forma coincidente con la duración del día solar y la temperatura ambiente.

Además crecen continuamente, conforme crece la población y se desarrolla la economía. Esta variación de la demanda, hora a hora y día a día, hace que la operación del sistema sea crítica. Todas las funciones están íntimamente relacionadas y la estabilidad del sistema total depende de una buena coordinación y supervisión de las mismas (Aquino Robles et al 2014 a).

A principios de los años ochenta, a un economista inglés, el Dr. Littlechild, se le ocurrió que el sistema eléctrico también debería abrirse a la competencia, “para mejorar el servicio y bajar costos”. Y se llamó “desregulación” al proceso de desintegrar las empresas eléctricas en empresas de generación eléctrica que compiten entre sí para vender su electricidad al “menor precio”, en un mercado abierto en el que se subastan diariamente los bloques horarios de energía a vender, llamado mercado eléctrico o mercado spot, donde se cotejan diariamente las ofertas y cotizaciones.

También, pensó en una empresa de transmisión y control del despacho de carga, que programa las entregas horarias de energía eléctrica a las empresas distribuidoras en los distintos territorios en que se dividió una región o país.

Empero, dado que con esto es difícil que alguna empresa privada o pública haga inversiones fuertes sobre la base de “a ver si vendo mi electricidad”, surge también otro actor, llamado comercializador, que funge como intermediario, que compra con contratos de largo plazo, haciendo viable la inversión, y revende en el mercado eléctrico, especulando con la relación oferta/demanda para obtener su utilidad (Gilzans 2010).

En ese aspecto en México se ha ido transitando de un modelo verticalmente integrado, con el cual operó la CFE y la ahora extinta Compañía de Luz y Fuerza del Centro (CLyFC), hasta la década de los 90s. A un modelo de comprador único, con el que hasta este año ha operado la CFE, vea figura 1.

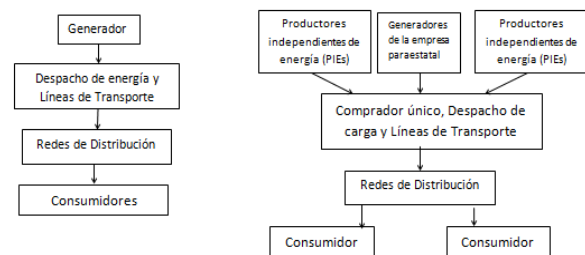


Figura 1 Sistema eléctrico verticalmente integrado y sistema eléctrico de comprador único

A principios de este año 2016 de acuerdo a la hoja de ruta especificada por la SENER entró en vigor en México el modelo del mercado mayorista, por lo que el sector eléctrico en nuestra nación transitara a una apertura y para lo cual han ofrecido el siguiente calendario que marca las fechas de implementación y pruebas vea figura 2.

Calendario de implementación: Sigüientes pasos		
Mercado	Hito	Fecha para primera etapa
Mercado del Día en Adelanto y Mercado de Tiempo Real para Energía y Servicios Conexos.	Pruebas	Septiembre de 2015
	Operación	1 de enero de 2015 (día en adelante el 31 Dic 2015)
Subastas de Largo Plazo para Potencia, Energía Limpia y Certificados de Energías Limpias.	Pruebas	Septiembre de 2015
	Operación	Octubre de 2015 (contratos inician en 2018)
Subasta de Derechos Financieros de Transmisión.	Pruebas	Septiembre de 2015
	Operación	Noviembre de 2015
Mercado de Potencia.	Pruebas	Octubre de 2015
	Operación	Noviembre de 2015
Subastas de Mediano Plazo para Energía.	Pruebas	Septiembre de 2016
	Operación	Octubre de 2016
Mercado de Certificados de Energías Limpias.	Pruebas	2018
	Operación	

Figura 2 Calendario de implementación del mercado eléctrico mayorista en México

De acuerdo a la SENER en su portal de internet, delinean una hoja de ruta que permite seguir los pasos hacia la apertura del sector en varios pasos, pero su objetivo final es tener el esquema siguiente de acuerdo a la figura 3. (Aquino Robles et al 2015b).

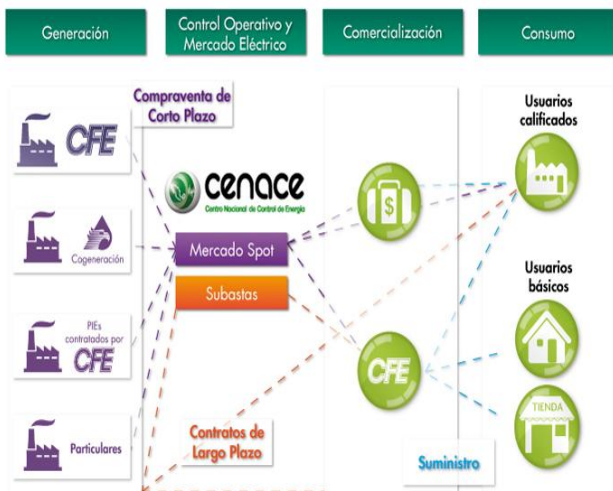


Figura 3 Esquema de operación del mercado eléctrico mayorista en México.

Por tales hechos el Catedrático José María Yusta L. en sus investigaciones manifiesta la necesidad de la participación de muchos más proveedores de energía y no solo de compradores y vendedores de grandes cantidades, sino la de vendedores y compradores de cantidades pequeñas de energía lo que provoque a su vez, la existencia de un mercado equilibrante, un mercado minorista y de baja potencia en México vea figura 4.

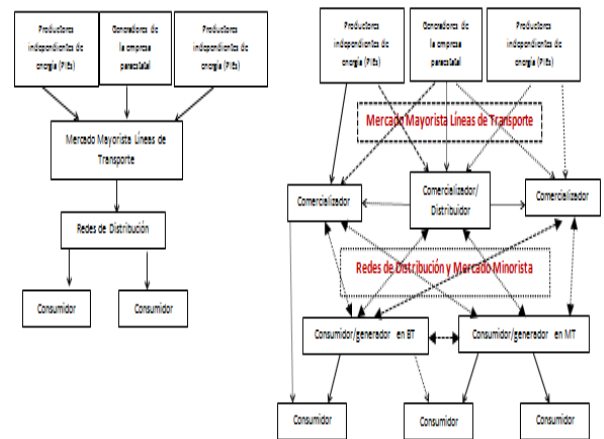


Figura 4 Esquema del sector eléctrico con mercado mayorista y con mercado mayorista y minorista de energía

En referencia a esta última implementación (del mercado eléctrico de baja potencia) ha surgido toda una línea de investigación, desarrollo tecnológico y de innovación (I+D+i), para subsanar los problemas relacionados con los cuellos de botella, la voluntad especulativa inherente en las transacciones en los mercados, misma que no solo es inherente a los mercados eléctricos, sino también sucede en los mercados: financieros, petroleros, de fondos para el retiro, de gas, de inmuebles y de divisas. Se ha investigado alrededor de las tecnologías de microgeneración eléctrica y de generación distribuida y de recursos energéticos distribuidos (Aquino Robles et al 2015a).

De estas investigaciones podemos rescatar un concepto que se ha desarrollado para crear la necesaria y nutrida competencia que en verdad haga bajar los precios de la electricidad de forma natural debida a la competencia (vía la ley de la oferta y la demanda) y no por medio de subsidios que a la postre provocan burbujas financieras o quebrantos económicos en las finanzas de algunas nación en particular. Este concepto es el *de Planta virtual de generación eléctrica* (Virtual Power Plant VPP).

Mismo que consiste en la agrupación (dentro de un área geográfica determinada) de diversas unidades de microgeneración eléctrica, pudiendo ser estas tanto de tecnologías renovables como convencionales, las cuales para obtener mejores beneficios tanto técnicos, como económicos y de despacho preferencial de energía, unidos o agrupados o asociados entre sí, deben buscar generar energía de forma coordinada, de tal suerte que juntos pueden ser observados vía previa negociación de por medio por el despachador de energía del mercado mayorista y dependiendo de su magnitud podría considerársele como si fuera una planta de generación de pequeña o mediana capacidad de generación siendo que en la realidad son muchos microgeneradores dispersos en un área determinada (Aquino Robles et al 2013).

Las plantas virtuales de generación eléctrica, son ya un concepto más avanzado surgido de lo que originalmente fue la inserción de la generación distribuida en las redes eléctricas, en las décadas pasadas; lo cual no es más que colocar plantas de generación muy cerca del usuario industrial o dentro de sus mismas instalaciones; en ocasiones sirviendo de cogeneración y que esto consiste en suministrar toda o parte del consumo de las industrias que generaban calor residual y que al insertar éste dentro de un ciclo que le permitiera generar calor y con ello producirse energía eléctrica mediante pequeñas o medianas plantas eléctricas; lograban con ello importantes ahorros en su factura eléctrica.

Esto al ir incrementándose entre los industriales logró no solo evitar la construcción de más líneas eléctricas (tanto de distribución como de transmisión) que son siempre necesarias al incrementarse los consumos entre los polígonos y parques industriales, sino que a su vez mejoro la calidad del suministro eléctrico, evitando las inherentes interrupciones por sobre cargas y también evitando los bajos niveles de tensión a la hora de mayor demanda eléctrica.

Y en naciones donde la generación distribuida ha sido muy utilizada también ha evitado la construcción de grandes plantas de generación eléctrica y sus líneas de alta tensión para el transporte de la energía, como en Alemania y Dinamarca.

Aunado a lo anterior, en países desarrollados se ha incrementado de forma exponencial la instalación de micro y macro generación fotovoltaica principalmente en la Europa continental y en Norteamérica, Canadá y Estados Unidos, juntamente con China y Japón, y estos han recibido tanto incentivos como las primas en las tarifas, por ser su producción eléctrica de origen renovable, así como incentivos fiscales y hasta préstamos blandos a plazos largos para el pago de las instalaciones.

Sin embargo en ciertas naciones de Europa, como Alemania, Dinamarca España y Portugal han surgido empresas que construyen instalaciones de hasta cientos de kilowatts y algunas otras de varios Megawatts que los colocan alquilando azoteas de naves industriales y venden la energía eléctrica con la industria del interior de la nave o con algún otro cliente industrial cercano. Dando con ello ejemplo de que puede constituirse un mercado de compra y venta de energía eléctrica a nivel minorista y de baja potencia. Prueba de ello es la empresa parques solares de Navarra de España (Aquino, Robles et al 2015 b).

Considerando que tanto la tecnología de aprovechamiento energético fotovoltaica como la eólica, se consideran fuentes no firmes de energía; por tales hechos los contratos de compra y venta de energía por parte de la gente que desee participar en estas transacciones deberá por fuerza considerar la participación de un tercero que suministre la energía eléctrica necesaria en las horas que no exista luz solar o no exista o no haya suficiente fuerza de vientos para la producción eólica o que este tercer participante pueda permitir pactar el intercambio energético en el mejor de los casos si no es que la compra venta de energía horaria.

Otro aspecto trascendente para que tales negocios se lleven a cabo; surge del poder de convocatoria de parte de las pequeñas o medianas empresas que instalan paneles fotovoltaicos y que para poder desarrollar proyectos que los superan en capacidad económica y para no perder las oportunidades se valen de campañas para atraer también inversionistas que puedan aportar cantidades también de no tan alto nivel para de alguna manera incrementar su capacidad financiera y con ello crear sociedades de inversión; como en el caso de la empresa parques solares de Navarra, ofrecían en 2011, mediante una campaña de invitación a inversionista en plena crisis económica de Europa un rendimiento anual del 10% respecto a su participación inicial invirtiendo desde 3000 Euros, en adelante. Con todo la multiplicación de productores de energía eléctrica de baja potencia entre un determinado sector de la población no puede ya simplemente obedecer la normativa con la que empezaron a interconectarse con la red eléctrica que fue conocida en su tiempo como fit and forget que podría traducirse como conectar y olvidarse (Aquino Robles et al 2013).

Dado que en la red eléctrica como ya se había mencionado anteriormente; la energía debe generarse en el momento mismo que se consume, so pena de hacer variar los dos principales parámetros del servicio, como lo es la onda de tensión y la frecuencia de oscilación de la corriente alterna. Por lo cual el concepto de Planta virtual de generación eléctrica, tendrá por tanto de disponer de los mandos necesarios para poder ajustarse a las necesidades de la red eléctrica en cualquier momento. Necesitará por tanto de sistemas de monitoreo y de adquisición de datos (SCADA), colocando a las redes de distribución eléctrica en camino a convertirse plenamente en redes eléctricas inteligentes. Vea figura 5 (Aquino Robles et al 2015b).

Sin embargo existen también ciertas contrariedades para la implementación de las plantas virtuales de generación eléctrica, una de ellas es la relativa incertidumbre de las fuentes de energía renovables de dos de las principales tecnologías que forman el grueso de la microgeneración, las cuales son la variabilidad que puede presentar la insolación o intensidad luminosa del sol, por el paso de nubes o días nublados o de mucho viento y la intermitencia del recurso eólico. Sin embargo como se puede observar en la figura 5. Las fuentes o microfuentes de generación renovable pueden interconectarse de forma sincronizada con generación convencional y aunado a los sistemas de almacenamiento energético (en desarrollo) pueden en un momento dado funcionar incluso de manera autónoma, si es que se llega a perder el suministro de la línea principal. Claro considerando que existan cargas críticas que pudieran ponerse en riesgo sí es que desaparece el suministro de la compañía generadora principal (Aquino Robles et al 2013).

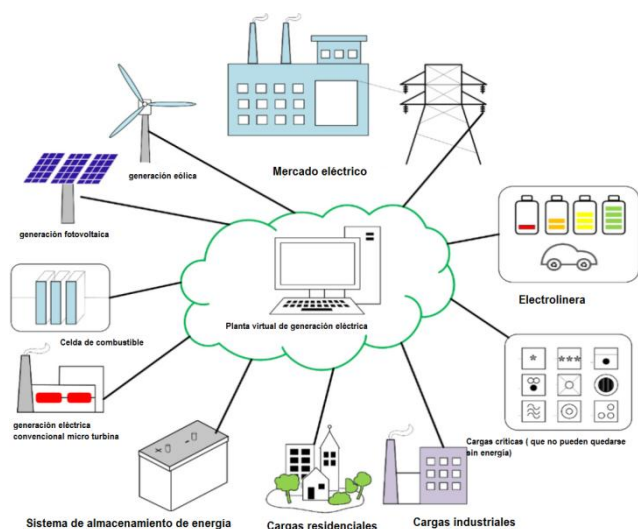


Figura 5 Esquema de una planta virtual de generación eléctrica.

Las dos principales virtudes del agrupamiento entre pequeños microproductores en el concepto denominado Planta virtual de generación eléctrica son:

- Una vez agrupados pueden vender sus excedentes o toda su energía entre los consumidores locales y con ello crear un mercado minorista local en el que incluso pueden venderse también servicios auxiliares.
- Juntos los productores tendrán mayor fuerza para poder negociar en el mercado mayorista, si en un momento dado cuentan ya con la capacidad instalada total que les permita negociar contratos y subastas de gran magnitud.

Con lo anterior se puede considerar que el mercado eléctrico de baja potencia puede llegar a despresurizar problemas que son muy conocidos dentro del ámbito de investigación de los mercados eléctricos. Crisis como la del sistema eléctrico de California en 2001, pudo haberse evitado o en su caso el daño colateral hubiese sido menor al que sucedió con la implementación de un mercado de baja potencia que fuera la alternativa de elección de los clientes eléctricos (Aquino Robles et al 2015b).

A la postre, con la operación en primera instancia del mercado eléctrico mayorista, y posteriormente la del mercado eléctrico minorista será necesario también un ente reconocido institucionalmente hablando para que tanto compradores como vendedores de energía, tanto de nivel macro, como de nivel micro puedan trabajar coordinadamente, bajo una normativa y un reglamento que ellos mismos (los productores-consumidores de energía eléctrica) junto con la CRE y la SENER puedan crear conjuntamente para beneficio de todos en su conjunto. Para lo cual será necesaria la creación de una cámara de comercio de energía eléctrica, muy al estilo de la que ya existe en Brasil cuya página en la red interconectada es <http://www.ccee.org.br/portal>, organismo que interactúa con el ministerio de energía de esa nación <http://www.mme.gov.br/>, justamente también actuando de contrapeso ante el Ministerio de energía y abogando tanto por los productores independientes de energía tantos sus derechos como sus obligaciones agrupados ellos en esa cámara de comercio.

Así mismo para la inserción masiva (masificación) de tecnologías renovables de microgeneración entre la población en urbanizaciones e unidades habitacionales y fraccionamientos y también entre los consumidores industriales y de servicios; existen los siguientes medios contractuales para la interconexión, de acuerdo a (Aquino Robles et al 2013):

- Contrato de Interconexión para fuentes de energía renovable del tipo intermitente¹ (CIEI).

¹ En este caso, se consideran tanto al recurso solar como eólico como fuentes intermitentes, sin embargo es menester aclarar que el recurso solar es más bien en recurso variable, debido a que su presencia tiene que ver con tiempos bastante bien definidos que son la entrada y salida del sol en horas bastante bien determinadas que solo dependen de la estación del año en la que se viva. Sí llegan a existir días de alta nubosidad y días muy nublados estos hacen que el recurso solar disminuya más no hacen que se interrumpa. El recurso eólico sí que es intermitente, puesto que de un momento a otro puede haber una alta disponibilidad de viento y en muy poco tiempo puede que este se ausente totalmente.

Aplicable a permisionarios con capacidad > 0.5 MW con disponibilidad intermitente del energético primario como: energía eólica, solar e hidroelectricidad con almacenamiento o disponibilidad limitados). El contrato permite la interconexión de los permisionarios con el Sistema Eléctrico Nacional y regula su relación con respecto a:

- Servicios de transmisión
- Intercambio de energía
- Compraventa de energía

La energía generada se entrega a la red de transmisión cuando está disponible; La energía generada en cualquier periodo horario y no consumida por los usuarios puede ser “acumulada” por CFE y “entregada” en otros periodos horarios análogos, en periodos distintos o en días o meses diferentes; El intercambio de energía se lleva a cabo al precio de tarifa en el punto de interconexión al Sistema Eléctrico Nacional; Al final del año, el permisionario puede vender a la CFE la energía sobrante acumulada al 85% del CTCP.

Transmisión: Los cargos por transmisión se calculan con base en la energía efectivamente transportada (no en la capacidad reservada de transmisión).

Reconocimiento de capacidad de generación: La capacidad es calculada con base en el promedio de la capacidad de la central, medida durante las horas de máxima demanda en los días hábiles.

Otros: Los cargos por servicios conexos (regulación de frecuencia y voltaje) son por energía generada y no por capacidad instalada. La energía en emergencias se paga al 1.5 del cargo variable de la tarifa correspondiente.

- **Contrato de Interconexión para fuentes de energía solar a pequeña escala (Net metering 1:1).**

Características:

- Aplicable a cualquier persona física o moral que instale un equipo fotovoltaico menor a 30 kW;
- No se requiere Permiso de generación (< 0.5 MW);
- La energía se intercambia al mismo precio (1:1).

Ventajas:

- Disminución del cargo en la facturación;
- Mejor calidad de la energía, toda vez que la generación está en el lugar donde se consume
- Diversificación del parque de generación del suministrador.

- **Contrato de Interconexión para sociedades de autoabasto y cogeneradores con los Suministradores.**

Los permisionarios de autoabastecimiento que entreguen energía eléctrica exclusivamente a instalaciones de municipios, estados o gobierno federal pueden utilizar el CIEI con cualquier fuente de energía renovable.

- En estos casos, la Metodología para la determinación de los cargos por servicio de conducción de energía eléctrica en media tensión considera también una disminución en el cargo de transmisión dado el beneficio que aportan a la disminución de pérdidas en la red.

- **Contrato de Compraventa de energía eléctrica para pequeños productores (CCPP).**

CCPP: características:

- Aplicable a permisionarios con capacidad < 30 MW;

- Aplicable a Pequeños Productores ubicados en el Sistema Interconectado Nacional;

- La totalidad de la energía generada es vendida al Suministrador;

- El Suministrador está obligado a tomar la energía del Permisionario;

- El contrato tiene una vigencia de 20 años (renovable);

- La energía se paga al 98% del Costo Total de Corto Plazo (CTCP) de la región de que se trate.

- **Convenio de Compraventa de excedentes de energía eléctrica (energía económica) y porteo.**

- Energía Sobrante: La potencia neta entregada mayor a la potencia de compromiso de porteo en un intervalo de medición. Podrá ser vendida al suministrador en el mismo mes o acumularla para su venta en meses posteriores.

- Energía Faltante: La potencia entregada menor a la potencia de compromiso de porteo. Podrá ser compensada con energía sobrante de meses anteriores.

- Energía Complementaria: Es energía complementaria cuando un Centro de Consumo, además de la energía que recibe de su Fuente de Energía requiere de un contrato de suministro normal de energía.

Con la Energía Complementaria y la Energía Faltante se determina la demanda facturable como lo establece el Acuerdo de Tarifas

- Compensación: Se compensará equivalentemente entre Periodos Horarios análogos.

- Pagos por porteo: Contratos para fuentes de Energía Renovable: Estos cargos se corrigen en función de la energía realmente porteada (factor de planta).

Desde el punto de vista del usuario común en territorio mexicano, que podría tener un problema económico debido a su consumo energético en ciudades con clima extremo, como Mexicali, Monterrey, Ciudad Juárez, Mérida, Cancún, Ciudades costeras o del Norte de la república y que al poder producir el mismo mediante tecnología fotovoltaica parte o toda su energía que consume en aire acondicionado y demás consumo, podría en un momento dado con la tecnología apropiada simplemente interconectarse mediante los siguientes trámites:

Gestiones para generar energía eléctrica mediante tecnología fotovoltaica a pequeña escala menor a 30 kW se reduce a los siguientes trámites:

1.- Estudio de factibilidad de interconexión (Este se realiza ante la compañía suministradora en este caso CFE

2.- Contrato de interconexión, también se realiza ante la compañía suministradora en este caso también CFE.

El contrato de interconexión para fuentes fotovoltaicas a pequeña escala, es solo un anexo al contrato, con la compañía suministradora CFE. (Vea figura 6).

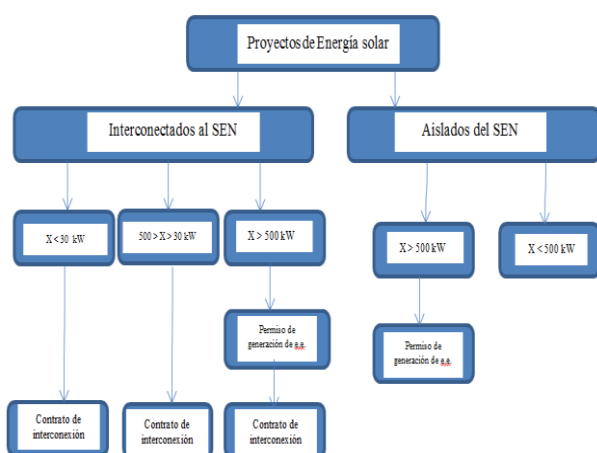


Figura 6 Instrumentos de regulación de proyectos solares fotovoltaicos

Sin embargo el contrato de interconexión se limita a un intercambio energético, basado en el principio de balance neto, medición neta o net metering. El cual consta de lo siguiente:

- Para fines de facturación la medición neta se determinará como la diferencia: energía eléctrica recibida de CFE menos energía eléctrica entregada a CFE.
- Para el caso de que haya una diferencia mayor que cero: Se consume más energía que la que se entrega. Se considerará como un saldo a favor de la CFE y se facturará en la tarifa aplicable de acuerdo al contrato.
- Para el caso de que haya una diferencia igual a cero entonces: Se consume la misma cantidad de energía que la que se entrega a CFE, por lo que se facturará el mínimo establecido en la tarifa en la que se tiene el contrato de suministro normal.
- Para el caso de que haya una diferencia menor que cero significa entonces que: Se entregó más energía que la que se consumió, por lo que se considerará como un crédito energético a favor que podrá ser compensado dentro de los 12 meses siguientes, de no ser así dicho crédito se cancela. La facturación procede de la siguiente manera:

- Se factura el mínimo establecido en la tarifa en la que tiene el contrato de suministro normal y se te guarda virtualmente la energía que quedó a favor, para regresársela automáticamente en las siguientes facturaciones en las que se presenten diferencias mayores que cero.

Comparativa en cuanto a oportunidades comerciales.

Aun cuando la medición neta o net metering permite ciertas ventajas como la de poder tener balance cero o a balance a favor del consumidor. Una de las limitantes que impide que la instalación masiva de sistemas fotovoltaicos se realice en México es debido justamente a este contrato poco atractivo para hacer negocios. Ya que en él se limita únicamente a un intercambio energético y no un intercambio monetario. A pesar de ser el tipo de instalación que menos gestiones deben realizarse. Podría en el papel parecer la más atractiva para implementarse. Sin embargo no se le aprecia como negocio por las razones expuestas en el párrafo anteriormente.

A ese respecto, cabe señalar que para las compañías instaladoras representa una mayor utilidad buscar, los pocos proyectos de gran tamaño que a pesar de ser pocos representan un mercado todavía más atractivo. Más aún la mayor parte de proyectos mayores de 30 kW y menores de 0.5 MW son aún de autoconsumo.

Las oportunidades comerciales que pueden explotarse en principio pueden ser:

Conseguir convencer a muchos consumidores cautivos de generar su propia energía eléctrica, esto es en principio particularmente atractivo para los consumidores de energía en sitios de clima extremo.

Los cuales requieren de aire acondicionado para vivir con cierta comodidad en sus casas. Poblaciones como Mexicali, Ciudad Juárez, Mérida y diversas ciudades o centros turísticos costeros, son particularmente nichos de mercado para instalar sistemas fotovoltaicos domiciliarios. Ello por el importante ahorro monetario que representa producirse su propia energía para autoconsumo. Ya que la cantidad de energía necesaria para tener la casa-habitación climatizada, representa un alto nivel de consumo, aun con la tarifa preferencial que CFE les ha otorgado a esas ciudades sigue siendo alta la cantidad que se debe pagar por todo el consumo.

La dispersión de una cantidad considerable de sistemas fotovoltaicos domiciliarios; entre la población consumidora y en su momento la cantidad de ellos podría integrar una central eléctrica virtual. Ésta Podría llegar a diferir e incluso puede llegar a sustituir no solo la construcción de más líneas de distribución y transporte eléctrico, sino que también de centrales eléctricas convencionales planeadas para incrementar la oferta de energía eléctrica. Con ello se puede también aplazar o dejar de pensar en construir enormes complejos como lo son las grandes centrales nucleares (considerando su enorme vulnerabilidad ante sismos y otros desastres naturales como en el caso reciente de Fukushima Japón) o el caso de grandes centrales hidroeléctricas que llegan a llevarse más de 5 años en construcción y llegan a afectar enormes áreas geográficas y desplazar en ocasiones a poblaciones enteras de sus lugares de origen. En ese contexto de nadie es desconocido que estos grandes complejos tienen una aceptación social negativa y un gran impacto ambiental y la tasa de retorno de la inversión es bastante más larga.

Considerando que poner en marcha una moderna planta térmica de gas natural lleva de 1 a 3 años dependiendo del tamaño de ésta. Una gran central hidroeléctrica de 5 a 10 años, considerando el desplazamiento de población y las obras que deben hacerse alrededor de la planta. Una central nuclear es en tiempo de construcción y puesta en marcha algo similar a la hidroeléctrica. La instalación y puesta en marcha de un pequeño sistema fotovoltaico de hasta 30 kW lleva cuando mucho de 1 a 4 meses considerando el estudio de factibilidad de interconexión de CFE y los permisos correspondientes de la CRE. Y sí se considera que la instalación de varias instalaciones fotovoltaicas se puede llevar a cabo de forma paralela en el tiempo. Se puede manifestar que es la apuesta más viable para sustituir o dejar de construir enormes complejos generadores centralizados de energía que aunque intensivos en capital, son altamente contaminantes o su simple presencia implica grandes riesgos por su alta vulnerabilidad a desastres naturales o en el caso de las hidroeléctricas implican grandes gastos por el llamado concepto de “judicialización” del proyecto. Debido a la problemática inherente a sus daños colaterales en su construcción.

Riesgo reducido con respecto a un gran riesgo financiero

Desde el punto de vista operativo y económico-financiero en caso de que alguna persona vendiera su casa por separado de su sistema de generación eléctrica o por algún motivo dejara de producir energía. El impacto de que un pequeño productor deje de producir, es mínimo. En el caso de que una central de generación de gran tamaño sufriera un daño severo por cualquier índole incluyendo una quiebra financiera o el caso de que su combustible primario escaseara o fuera sumamente caro. El impacto de cerrar una central de gran tamaño sería severo para el sistema interconectado.

Desde estos puntos de vista es necesario quitar algunas cortapisas a un naciente mercado eléctrico a nivel minorista, para que al igual que sucede con los productores independientes, se puede mercar energía eléctrica a niveles minoristas, tal como suceda actualmente a niveles macro. Puesto que esto en cierta medida es un tanto discriminatorio. Considerando que solo se favorece a las economías de escala aun siendo contaminantes con todo y que usen gas natural. En ese aspecto. Debe por tanto favorecerse también las inversiones pequeñas en este sector y que al mismo estas inversiones puedan tener retornos económicos monetarios y no simples intercambios energéticos para el caso del contrato basado en Medición neta.

Conclusiones

En esta investigación, se puede observar la trayectoria que lleva la implementación de las reformas recientemente aprobadas, particularmente la reforma eléctrica. Misma que ha cambiado y cambiará aún más la estructura del sector eléctrico en México.

Deberá tenerse cuidado de verificar todas y cada una de las operaciones que podrían suscitarse tanto desde el punto de vista financiero como técnico mismas que puedan llegar a provocar problemas en la nueva forma de operación en el sector.

Sobretudo deben aprenderse las lecciones catastróficas que han puesto en predicamento a estados como California en Estados Unidos en 2001. Y así como también los problemas que viven actualmente en Alemania y España, donde el cambio modernizador del sector prometía también bajar los precios de la electricidad vía la competencia que habría entre generadores, lo cierto es que bajaron durante un tiempo al inicio y posteriormente nunca han dejado de ir incrementándose.

La apuesta por el mercado de baja potencia servirá precisamente para poder realmente prometer mantener las tarifas en costos adecuados mediante un proceso natural basado en la ley de la oferta y demanda y no mediante artilugios financieros con propósitos electorales que a la postre producen costos altos aunque diferidos a lo largo del tiempo.

Se presentan algunas alternativas para poder crear el mercado en baja tensión y de baja potencia o minorista de energía eléctrica.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la SIP del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo recibido para la realización de este trabajo el cual es parte del proyecto de investigación registro SIP No. 20161088. Y también a la fundación Carolina, al COTEBAL- IPN y al IIE de México, por las facilidades otorgadas para los cursos doctorales

Referencias

Aquino Robles. J.A., Fernández Nava, Corona L. *Recursos Energéticos Distribuidos frente a los sistemas eléctricos de potencia convencionales*. VIII Congreso de Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico CIINDET 2010 organizado por AMIME y la IEEE sección Morelos, 2010.

Aquino R. J.A., Corona R.L.G., Cuervo P.V.D. Las decisiones del mercado versus las decisiones en la lucha contra el cambio climático – una revisión desde la perspectiva del sector eléctrico. Presentado en el 2º. Congreso Nacional en Investigación en Cambio Climático del 15 al 19 de Octubre del 2012

Aquino Robles. J.A., Corona R.L.G., Fernández N.C. *Comparativa de requisitos para generar energía eléctrica por medio de energías renovables entre empresas y particulares en México*. 3er. Congreso Nacional en Investigación en Cambio Climático del 14 al 18 de Octubre del 2013.

Aquino Robles. J.A. Cortez H. P., Corona R. L. Una misma meta con soluciones en las antípodas – Seguridad de Suministro Eléctrico o Independencia Energética XI Congreso de Internacional de Innovación y Desarrollo Tecnológico CIINDET 2014, IEEE sección Morelos, 2014.

Aquino-Robles J.A. Illescas G.O. Osorio G. B.C. Análisis del incremento en la capacidad instalada, la diversificación energética y el cambio climático en américa latina. 4º. Congreso Nacional en Investigación en Cambio Climático del 20 al 24 de Octubre del 2014.

Aquino-Robles, J. A. González C. J.F., Fernández N. C. El mercado eléctrico de baja potencia en México en el contexto del cambio climático. Quinto congreso nacional de investigación en cambio climático. 2015 ciudad universitaria.

Aquino Robles J.A. González C. J.F. Corona R. L.G. *“Las plantas virtuales de generación en el contexto de México”*. V International Congress on Alternative energies CINEA 2015, Red de energía del IPN México D.F. Noviembre del 2015

García Quintero Edwin, Valoración de la Calidad de la Energía Eléctrica, Respecto a Huecos de Tensión: Índices y Niveles de Calidad, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia 2008. Disponible en: <http://www.tdx.cat/handle/10803/22108>. Consultado en Enero del 2016

Gilzans G.M. Integración de un modelo fundamental y un modelo econométrico para la caracterización del mercado eléctrico. Proyecto Fin de Carrera para obtener la titulación en Ingeniería Industrial en la Universidad Pontificia de Comillas Madrid. Junio del 2010.

Jiménez H.D. Análisis estratégico de la redes de electricidad. Proyecto Fin de Carrera, presentado para obtener la titulación en Ingeniería Industrial en la Universidad Pontificia de Comillas Madrid. Junio del 2006.

Pérez-Arriaga J., Batlle C., Rivier M., Gómez T., “Expansión de la oferta e infraestructura eléctrica en Iberoamérica: generación, transmisión y distribución”, Libro sobre la energía y regulación en Iberoamérica, CNE, Madrid, 2008.

Yebera Vega, Tomás, “Nuevos retos en el diseño de redes eléctricas de distribución. Enfoque a la carga, la red y la calidad de la energía eléctrica”. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Instituto de Tecnología Eléctrica, España, Junio del 2010.

La Enertrónica elemento clave en la transición hacia las redes eléctricas inteligentes en México

AQUINO-ROBLES, José*†, FERNÁNDEZ-NAVA, Cecilia y TRUJILLO-CABALLERO, Juan.

Recibido Octubre 4, 2016; Aceptado Noviembre 1, 2016

Resumen

El sistema eléctrico es un invento que tiene ya más de 130 años de haberse creado. Y después de todo ese tiempo se ha modernizado. A tal grado las compañías suministradoras garantizan el suministro hasta en un 99.99%. Esto hace que como mucho el usuario al año tenga en promedio interrupciones del orden de 6 horas. Tales niveles de confiabilidad se han logrado al controlar y monitorear, la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica mediante sistemas SCADA. Sin embargo, con el surgimiento de tecnologías eficientes renovables como no renovables de generación distribuida. Conocidos también como recursos energéticos distribuidos. Son necesarios nuevos sistemas de control y monitoreo en las redes eléctricas de distribución. Y que estos permitan el flujo de energía entre generadores y clientes o entre clientes-productores y clientes consumidores. En contexto con lo anterior, ha surgido una nueva disciplina de la ingeniería la cual hace sinergia entre lo ya conocido como lo son los sistemas de potencia y las tecnologías de vanguardia. En cuanto al control digital y las telecomunicaciones de manera tal que a través de este trabajo interdisciplinario puedan surgir los elementos que coadyuven en la transición hacia las redes eléctricas inteligentes.

Enertrónica, energías renovables, tecnologías renovables de aprovechamiento energético, redes inteligentes, Smart grids

Abstract

The electrical system is an invention that it has anymore of 130 years of having created. And after all this time has been modernized. To such a degree the supplying companies guarantee the supply even in a 99.99 %. This makes the user as much per year on average has interruptions order 6 hours. Such levels of reliability have been achieved to control and monitor the generation, transmission and distribution of electricity through SCADA systems. However, with the surging of efficient renewable technologies like non renewable of distributed generation. Also known as distributed energy resources. New control systems are necessary and monitoring in the electric nets of distribution. And that these allow the flow of energy between generators and customers or between productive customers and consuming customers. In context with the above, there has emerged a new engineering discipline which makes synergy between what is already known such as power systems and advanced technologies. As to the digital control and the telecommunications in such a way that through this interdisciplinary work the elements that help in the transition toward the electric smart grids can appear.

Enertronics, renewable energies, Smart grids, microgeneration, distributed generation

Citación: AQUINO-ROBLES, José, FERNÁNDEZ-NAVA, Cecilia y TRUJILLO-CABALLERO, Juan. La Enertrónica elemento clave en la transición hacia las redes eléctricas inteligentes en México. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 20-43

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jaquinor@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Motivación

El presente proyecto sobre el advenimiento de soluciones energéticas por medio de una disciplina emergente como la Enertrónica está directamente dirigida a nuestra sociedad, la cual espera que sus facultades y escuelas de ingeniería, la creación de conocimiento de carácter tecnológico que proporcione medios que transformen la realidad que hoy vivimos para obtener un estado de bienestar que realmente perdure (Aquino, Corona, Cuervo 2011). Sabemos bien que la creatividad se manifiesta de manera tangible, en tiempos como los actuales, en los que se viven períodos de crisis tanto sociales como financieras y medioambientales y también situaciones altamente cambiantes, es entonces el momento oportuno cuando se recurre a este potencial humano. Y así como la creatividad, es la esencia misma de la ingeniería es ella también el alma de las estrategias innovadoras orientadas al desarrollo de medios para implantar o sustituir tecnologías, procedimientos y/o métodos que en otro tiempo fueron exitosos, pero que hoy, por cuestiones inherentes a una alta dependencia de energéticos primarios contaminantes; y a los problemas que estos causan al producir una gran cantidad de gases de efecto invernadero en su combustión; tienen al mundo en un punto de inflexión respecto a enfrentarse a efectos más catastróficos de cambio climático (Aquino Fernández 2007).

Introducción

De una forma general, se entiende por sistema eléctrico el conjunto de líneas, transformadores e infraestructuras que llevan la energía eléctrica desde los centros de generación hasta todos los consumidores.

Por otro lado las líneas de transporte y las redes de distribución son las encargadas de transportar y distribuir la electricidad producida en las centrales (ya sean las convencionales del tipo: nucleares, hidráulicas, de carbón o las más recientes de ciclo combinado o las vanguardistas de tecnologías renovables) hasta los puntos de consumo final. Sin embargo una buena parte de las redes actuales fueron diseñadas y están en funcionamiento desde la mitad del siglo pasado (donde los principales centros de producción eléctrica estaban lejanos de las poblaciones) y por ende éstas deben de ser modernizadas para convertirse en redes más eficientes y robustas. De forma que puedan soportar las necesidades futuras tanto desde el punto de vista de los consumidores como de las características de las centrales basadas cada vez más en energías de fuentes renovables.

Se puede considerar con cierta relatividad que el sistema eléctrico es una innovación hasta cierto punto nueva; no tiene más de 130 años y sin embargo en este lapso temporal nos ha embarcado en varios ciclos de innovación en todos los aspectos de la vida humana. Los sistemas eléctricos se han convertido en una fuente de riqueza y de alguna forma en un indicador del desarrollo de las naciones. El consumo de la energía eléctrica salvo por contadas excepciones, no ha dejado de crecer y en la actualidad se está viviendo una nueva revolución con la automatización digital de los procesos, tanto productivos como en los servicios. Si bien es cierto que cuando el sistema eléctrico falla; se producen muchos detrimentos, la población en general, salvo circunstancias aisladas, percibe que el actual sistema eléctrico funciona bien en la mayoría de naciones desarrolladas (Aquino et al 2011).

Las dificultades surgen cuando se introducen varios factores y desafíos que se plantean en el futuro.

La creciente preocupación por la actividad del hombre en la Tierra impone que todo sistema ha de ser respetuoso con el medioambiente, por lo que se han de ir sustituyendo las fuentes de generación que más riesgos implican y más impacto ambiental causan y desarrollar nuevas que no contaminen y no impliquen altos riesgos. Lo anterior implica el desarrollo de todo un nuevo ciclo de innovación tecnológica que nos deberá llevar en un cercano futuro a tener toda una red eléctrica inteligente en todo sentido y en toda la extensión de las líneas y no solo en el despacho de energía y en el transporte de la misma. Como sucede en la actualidad.

En ese contexto; el sistema eléctrico ha sufrido en algunos países, transformaciones profundas en cuanto a la comercialización de la energía llegando ahora al modelo de mercado eléctrico, imponiéndose las reglas que buscan como fin económico; la eficiencia y la libre competencia en el sector. Esto ha provocado divisiones o separación de las actividades en los sectores eléctricos, Mismo que ha implicado un cambio en la conceptualización de ésta actividad industrial, puesto que en las naciones que han optado por el modelo de mercado liberalizado; la prestación del servicio eléctrico como tal, ha dejado de ser visto de esta manera. Esto se explica por el hecho de que la corriente económica que promueve la libre competencia en el sector, ha categorizado a la energía eléctrica como una mercancía más dentro de la gama de negocios que se llevan a cabo en los mercados mundiales; y esto ha provocado la adaptación de las antiguas empresas prestatarias del sector eléctrico al nuevo escenario económico-financiero. Por tanto en una parte del mundo se ha contrapuesto el concepto de energía eléctrica como producto de compraventa al concepto que anteriormente tenían los gobiernos de las naciones; en cuanto a la prestación del servicio eléctrico a la sociedad, como medio para lograr el progreso comunitario.

Actualmente en las naciones con sistemas eléctricos liberalizados, los precios se ajustan en los mercados y se crea naturalmente una incertidumbre que antes no se tenía. Adicionalmente, la demanda crece constantemente por lo que hay necesidad de incrementar el número y capacidad de las instalaciones de generación, transporte y distribución. Aun con todo ello se tiene como premisa principal, disponer de una alta calidad y una alta disponibilidad en el suministro, sobre todo en industrias o aplicaciones críticamente dependientes de energía eléctrica. Y estos aspectos solo son una parte de todos los desafíos a los que se enfrenta el sistema eléctrico actual, en las naciones.

A causa de estos factores el sistema puede llegar a situaciones críticas de muy diversa índole. Y para encontrar respuesta a las contingencias, varias naciones están incentivando a sus instituciones y centros de investigación y de innovación. Y como respuesta a ello se han creado diversas iniciativas como Intelligrid (Estados Unidos), Smartgrid (Europa), Futured (España) large-scale Smart Grid, (Canada), “Red eléctrica inteligente” de la Comisión Federal de electricidad (México), Smart grid, smart city Project (Australia) éstas iniciativas tratan de impulsar estructuras a distintos niveles, para crear las políticas, las normas, los reglamentos y el modo de operación necesario para construir el sistema eléctrico del futuro en las naciones. Mediante estas plataformas de investigación se busca, por medio de innovadoras tecnologías de aprovechamiento, monitoreo y control modernizar y adecuar el presente sector eléctrico en una red inteligente en todo sentido.

En contexto con lo anterior de forma inherente a estos procesos tanto de investigación, desarrollo tecnológico y de innovación (I+D+i) se van creando de forma tanto implícita como explícita; sinergias entre disciplinas científicas y/o tecnológicas que anteriormente nunca habían estado unidas o incluso van naciendo otras más con el enlace de ellas, que a la postre crean más o mayor interdisciplinariedad (enlace) entre las disciplinas científicas y tecnológicas en ese aspecto en este trabajo se presenta a la Enertrónica como la disciplina que enlazará las tecnologías ya conocidas y bastante maduras que han emergido en el sector eléctrico de potencia en el mundo con las tecnologías emergentes de la electrónica, tanto de control, comunicaciones, estado sólido, internet, instrumentación y monitoreo de procesos del sector, mismo que será explicado más adelante.

Antecedentes Históricos – Surgimiento del sector

La industria eléctrica, como tal nace con el surgimiento de la bombilla eléctrica inventada por Thomas Edison, la cual llegó a competir en ese tiempo (siglo XIX), con la iluminación basada en gas, pero al ser la electricidad una energía que no produce emisiones contaminantes en su utilización, y en ciertos aspectos menos riesgosa, tomó ventaja sobre el gas, respecto a la iluminación, pero más aún por la fuerza motriz, que puede producir mediante motores eléctricos en las actividades industriales. Ello trajo consigo la necesidad de trasladar la energía desde lugares alejados y aprovechar las fuentes naturales de energía, como las caídas de agua y así mismo también distribuir la energía por las ciudades, industrias y zonas de consumo. Con lo cual, la expansión de esta incipiente industria empezó a darse por todo el mundo (Dyer 2004). Edison junto con J.P. Morgan funda General Electric (GE) en 1880. Esta compañía apostó por el transporte y generación de energía eléctrica mediante máquinas de corriente directa (CD).

En 1886 apareció un fuerte competidor con una tecnología diferente, fue en este año cuando George Westinghouse funda en Pittsburgh la Westinghouse Electric & Manufacturing Company (Westinghouse 2008). Esta compañía apostó por la generación en corriente alterna (CA).

Hubo una intensa contienda por liderar el mercado. En Europa las primeras redes de transporte fueron en corriente directa. En 1882 se construyó un enlace de 2kV en CD entre las localidades alemanas de Miesbach y Munich, que distan 50 km. Grandes ingenieros de la época se enzarzaron en discusiones para dilucidar que tecnología era la mejor. En Inglaterra Ferranti, Gordon, W. M. Mordey, Silvanus Thomson en EE.UU. Tesla, Sprague y C.P. Steinmetz estaban a favor de la CA, mientras que a favor de la CD en Inglaterra estaban Lord Kelvin, Crompton, A.W. Kennedy, John Hopkinson y en EE.UU. T. A. Edison.

La invención del transformador generó el impulso necesario para decidir la confrontación. El transformador permite elevar la tensión fácilmente con la consecuente disminución de las pérdidas por efecto Joule en las líneas eléctricas en largas distancias. Para competir con esta ventaja, la GE hubiera tenido que construir máquinas de CD más grandes cuyo coste aumentaría exponencialmente, a parte de las dificultades técnicas que eso conlleva. Debido al menor coste total de las instalaciones y la mayor eficiencia, terminó imponiéndose la CA a la CD. Hubo además otros factores que influyeron en la masificación de la CA ya que se consiguió perfeccionar el alternador y se desarrolló el motor de inducción que sólo funciona con CA. Las redes de transporte trifásico mejoraron aún más la eficiencia del sistema basado en CA. El primer sistema con transformador trifásico fue el de transmisión de Hellsjön de 9.6 kV, instalado en Suecia en 1893.

En la Figura 1 se muestra un diagrama con los sucesos en la historia de la tecnología eléctrica, más importantes en la concepción del sistema eléctrico y que implicó el cambio que definió el tipo de corriente que perduró hasta nuestros días.

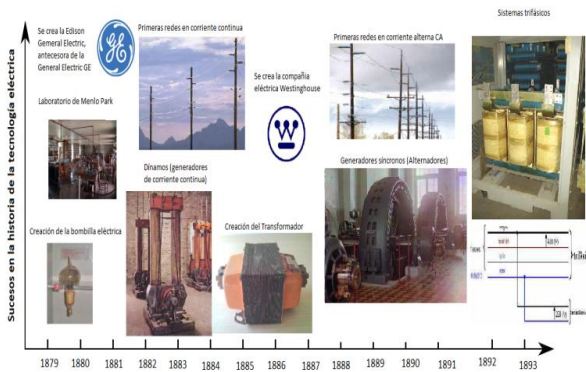


Figura 1 Primeros hitos históricos innovadores en el desarrollo del actual sistema eléctrico.

En el continente Americano, Nicola Tesla en la compañía donde trabajó, lideraba la innovación tecnológica y la investigación aplicada y por tales hechos; fue creando, por decirlo de alguna manera, los estándares necesarios para esta naciente industria, así que después de una serie de experimentos que lo llevaron a encontrar un equilibrio entre solventar el problema del efecto estroboscópico de la iluminación y la potencia en los motores de inducción, logro encontrar la frecuencia más apropiada. Aunque es digno de recordar que las frecuencias que originalmente había decidido el equipo de Tesla eran particularmente altas 133 Hz, por lo que fueron experimentando disminuyendo los valores de frecuencia hasta llegar a 60 Hz, la cual consideraron, como la más apropiada.

En contraparte en Europa, la empresa alemana “Asociación General de Electricidad AEG”, era la que lideraba la innovación tecnológica en ese continente. Por lo que también se enfrentó al mismo problema, establecer un compromiso en la frecuencia de generación, que pudiera ser imperceptible al efecto estroboscópico en las lámparas.

Y a la vez permitiera utilizar motores asíncronos sin tantos polos para que estos tuvieran el par necesario para realizar el trabajo industrial requerido. Particularmente en talleres de máquinas-herramientas. Sin embargo esta empresa en un principio comenzó generando a 40 Hz. Por lo que empezó haciendo trabajo experimental, aumentando el valor de la frecuencia en la generación y al observar que a 50 Hz, el efecto estroboscópico ya no se notaba, decidieron establecerlo como el estándar en la generación en Europa.

Siendo los valores anteriores 50 Hz en Europa y una minoría de países de Sudamérica y 60 Hz en la mayor parte de América y países del lejano oriente, los estándares en generación utilizados hasta la fecha.

El sistema eléctrico de potencia, ya a principios del siglo XX, estaba prácticamente definido en su concepto. Aunque éste fue creciendo de acuerdo a diversas etapas en cuanto a su interconexión con otros sistemas cercanos, (figura 2). Los sistemas al irse interconectando adquirieron ventajas respecto a actuar de forma aislada como lo es:

- Compartir la cobertura de demanda máxima,
- Disponer de potencia de respaldo y
- Tener un despacho económico de generación.

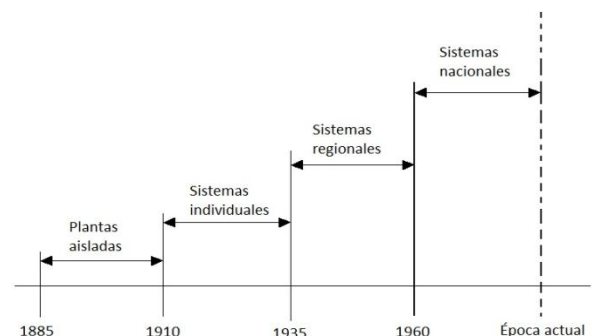


Figura 2 Desarrollo de la interconexión de los sistemas eléctricos de potencia.

Al inicio se había definido que el suministro se hiciese en CA y mediante un sistema trifásico. Las causas se entienden fácilmente por los siguientes motivos:

- Las fuentes de generación primaria estaban muy lejos de los consumos. A principios del siglo XX ésta era fundamentalmente hidráulica y también térmica a base de carbón. Para un mismo cable, la potencia a transportar aumenta en relación a la tensión de transporte.
- La CA puede ser elevada en tensión fácilmente con el transformador. El transformador podía disminuir la tensión en los lugares de consumo con lo cual los aparatos del consumidor eran más pequeños y baratos. En su momento para hacer una regulación en tensión en la carga el sistema de CD de Edison debía colocar otros generadores de CD (dinamos).
- El sistema a tres fases hace más eficiente y más económica la operación de los motores de inducción. Este tipo de motor pronto se popularizó por el poco costo de su construcción, su escaso mantenimiento y su robustez de operación. Lo anterior en claro contraste con el motor y generador de colector, escobillas y delgas de CD. Esta tecnología en CA para el transporte y distribución se extendió rápidamente por todo el mundo y es el esquema que usamos en la actualidad.

Derivado del crecimiento de los sistemas actualmente se reconocen cinco niveles, bien definidos en un sistema eléctrico de potencia (ver figura 3).

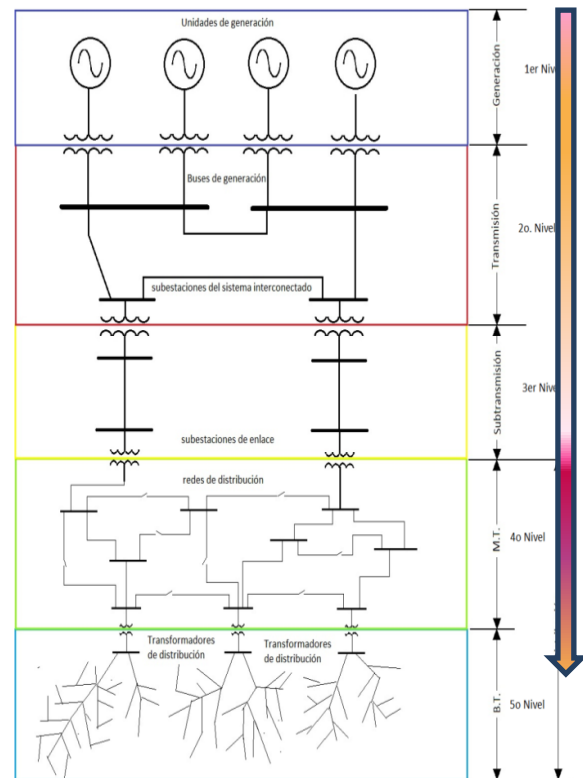


Figura 3 Niveles de tensión en los sistemas eléctricos de potencia.

Los cuales vienen fijados por los niveles de tensión por los que circula la energía. El primero concierne a la generación; esta se había caracterizado por estar compuesta por grandes centrales generadoras, situadas en zonas alejadas de las poblaciones. La generación se realiza normalmente en niveles de media tensión y a los pocos metros esta tensión se eleva para evitar pérdidas por efecto joule. Aguas abajo de los transformadores del área de generación comienza el nivel de transporte o transmisión. Las tensiones nominales de transmisión varían desde los 220kV a los 750kV o incluso más en el caso de largas distancias. Su función es la de trasladar la energía hacia los grandes núcleos industriales y de población. Por si esto fuera poco es necesario mantener una estructura, (un centro de control y de despacho) que sincronice los generadores y consiga una distribución de la potencia eléctrica de forma tal que la demanda iguale a la oferta en todo momento.

Para ello la red de transmisión opera de forma interconectada y para tal fin se utilizan subestaciones que sirven para que ello se sincronice en todo instante. Los puntos finales de la red de transmisión son las subestaciones de enlace o también llamadas de maniobra; regularmente en el nivel de subtransmisión. Con tensiones menores a los niveles de transmisión, pero obviamente con valores mayores a los niveles de tensión de las líneas y redes de distribución. La forma de explotación de esta última parte de la red es a veces radial y a veces en anillo y los puntos finales de esta red son otras subestaciones, las cuales se sitúan en las cercanías o en el interior de las poblaciones. La red de subtransmisión también sirve para llevar de forma eficiente la electricidad a las zonas rurales. El cuarto nivel corresponde a la red de distribución que, aunque se busca que sea una red mallada en muchos casos, se explota radialmente. La red de distribución en media tensión opera habitualmente entre 6kV y 33kV con líneas aéreas y subterráneas. Antes de alimentar al consumidor final se hace una transformación a baja tensión con transformadores de distribución.

Durante los primeros treinta años del siglo XX, la estructura de los sectores eléctricos fue el resultado de un crecimiento directo de las empresas privadas, cuyo inicio se dio a fines del siglo XIX, como ya se mencionó. De lo anterior se afirma que el génesis del crecimiento de los sectores eléctricos respondía a la iniciativa privada, mientras el Estado observaba y ejercía una limitada regulación a dicha actividad industrial. En este período el Estado también comenzó a intervenir en el estableciendo cierta regulación en las tarifas.

Para llegar a concretar sistemas interconectados fue necesario fortalecer las empresas eléctricas con el financiamiento de los bancos.

Todo ello avanzaba por buen camino, sin embargo, la crisis financiera de la década de los treinta en el siglo XX, en América, particularmente en EEUU y la segunda guerra mundial en Europa debilitaron la capacidad inversora de las empresas eléctricas, no pudiendo afrontar los grandes proyectos que se vislumbraban como necesarios para mantener el alto ritmo de crecimiento que siguieron a estos sucesos históricos. Esta dificultad motivó una gran reestructuración de la industria eléctrica.

El servicio eléctrico se nacionalizó en casi todos los países del mundo, y en particular en América Latina. Los Estados emprendieron ambiciosos planes de expansión centrados en la construcción de centrales de gran tamaño muy intensivas en capital, como lo son los complejos hidráulicos, térmicos y también nucleares como en el caso de una buena parte de las naciones desarrolladas.

La planificación eléctrica se volvió por tanto responsabilidad del Estado por medio de empresas públicas, que hacían los planes sobre los aspectos claves (evolución de la demanda, evolución del coste de los combustibles...), fijaban el margen de reserva, la calidad de servicio deseada... El elemento central, conceptualmente al menos, era un proceso explícito de optimización cuya función objetivo era satisfacer las necesidades energéticas estimadas, maximizando la eficiencia, o al menos tratando de hacerlo.

La década de los sesenta y setenta del siglo XX se caracterizaron por una fuerte inversión, sin embargo en algunos países los gobiernos en turno convirtieron a las empresas públicas entre ellas las eléctricas en botines políticos usándolas para sus intereses electorales, políticas de empleo, control de la inflación. Y con la crisis petrolera de 1973 (que supuso un freno al crecimiento de la demanda eléctrica) precipitaron en muchos países a sus empresas eléctricas a una situación próxima al colapso económico.

Los Estados tuvieron que intervenir directamente al sector, inyectando abundantes recursos financieros para evitar la debacle. El problema no se detuvo ahí. Muchos gobiernos no tenían suficiente capital para emprender las nuevas inversiones necesarias para mantener el servicio, y las fuentes de financiación que hasta ese momento habían soportado el vertiginoso ritmo de inversión comenzaron a exigir cambios estructurales profundos para nuevamente dotarlos de recursos. La administración pública de muchas empresas latinoamericanas, con el Estado como regulador y propietario, dejaba mucho que desear y la intromisión hasta la fecha en algunos países en las decisiones empresariales es en general un factor de ineficiencia económica (Aquino, Fernández 2013).

Para sostener el crecimiento del sector desde la perspectiva convencional, es necesaria la construcción de más líneas de alta tensión y ésta exige inversiones cada vez grandes, además de que cada vez existe mayor oposición social al establecimiento de las mismas. Aunado a lo anterior, se ha llegado al agotamiento de las economías de escala de las tecnologías convencionales de generación (carbón, combustóleo, hidráulicas y nucleares). Sin embargo con el surgimiento de nuevas tecnologías tanto convencionales como renovables (ciclos combinados de gas, microturbinas, solar, eólica) se ha logrado la expansión de los sistemas eléctricos con costes marginales inferiores a los costes medios que antes se tenían.

En Europa la reestructuración del sector y la introducción de la competencia fueron vistas como una oportunidad para reducir la presencia del Estado en el sector, y con ello incrementar la eficiencia económica de la industria eléctrica en beneficio del consumidor y compatibilizar los marcos regulatorios nacionales, con el nuevo marco de integración europea, todo ello de acuerdo a la teoría desarrollada para tal fin.

Los procesos de privatización también permitieron generar ingresos para las naciones y temporalmente al menos al inicio, reducir las tarifas, aprovechando simultáneamente las mejoras de eficiencia, el menor coste de las nuevas tecnologías de generación y la significativa bajada que tuvieron los tipos de interés en la década de los noventa del siglo XX.

En Latinoamérica, además de tratar de mejorar en eficiencia y de buscar que la industria eléctrica dejara de ser un botín político. La reforma fue primordialmente regida por la imperiosa necesidad de atraer nuevo capital del exterior que hiciera posible la expansión y ordenada administración de los sistemas eléctricos. Necesario todo ello para nutrir los altos niveles de crecimiento económico y descargar a los gobiernos de la necesidad de invertir en la expansión del sector (Aquino et al 2013).

Pérez-Arriaga, Batlle, Rivier, Gómez 2008 relatan que el proceso de reforma comenzó con la privatización de las compañías eléctricas en Chile en los años ochenta (siglo XX), seguido de la liberalización y reestructuración de las industrias del petróleo, electricidad y gas natural en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú. También afirma (Perez-Arriaga et al 2008) que la privatización del sector eléctrico en Chile no alcanzó la creación de un mercado verdaderamente competitivo. Argentina llevó a cabo un proceso de reestructuración profunda, el cual involucró la separación de la industria eléctrica y la competencia en la generación eléctrica, así como la competencia en el mercado mayorista (incluyendo un mercado de contratos y un mercado spot). De forma paralela a la reestructuración y la privatización, se introdujeron restricciones a la propiedad para prevenir discriminación y poder dominante en el mercado. La apertura competitiva y la reestructuración de los mercados eléctricos se han llevado a cabo también en Bolivia, Colombia y Perú, mientras que está en consideración en Ecuador.

Brasil y México, las dos economías más grandes de América Latina, están abriendo de manera cautelosa sus sectores eléctricos, entre otras causas para observar el desempeño de los modelos de mercado. Por ejemplo, las reformas en Brasil son implementadas de forma gradual, tomando en consideración la estructura federal de la nación. México y algunos países de Centroamérica, han mantenido hasta hace muy poco un sector eléctrico integrado verticalmente, permitiendo a productores independientes de electricidad la compra-venta de energía por medio de contratos con la empresa eléctrica nacional. Algunos de los efectos conocidos de la privatización y la liberalización del sector energético son: competencia, más eficiencia en la generación, transmisión/transporte y distribución, el incremento en la productividad, el alivio en las presiones a las finanzas públicas, etc.

A este suceso de ir y venir del sector eléctrico, primero surgiendo de las manos de la iniciativa privada y luego creciendo en manos del Estado, y ahora en algunos casos, algunas de las actividades del sector en manos de compañías privadas; Javier Pérez Arriaga le ha denominado efecto péndulo. Sin embargo durante cada ida y cada vuelta, se ha buscado entre otras cosas más, la expansión del sector y así mismo garantizar la seguridad de suministro eléctrico, con la mejor calidad posible (Aquino et al 2013).

En referencia a lo anterior mencionan en (Santiago & Larsen 2010) que la desregulación o liberalización de actividades, en el sector eléctrico es poco probable que se invierta, sin embargo al observar ahora las nacionalizaciones (2012) que se han llevado a cabo en materia energética tanto en Argentina, con YPF como en Bolivia, con la compañía que controlaba el despacho del sector eléctrico, tal afirmación no puede sostenerse en todos los casos, ni en todas las circunstancias, por lo que el efecto péndulo seguirá en movimiento de acuerdo a lo observado en los hechos.

Dentro de la concepción tradicional de la industria eléctrica, el crecimiento del sistema implicaba la instalación de nuevas plantas generadoras, en forma más o menos continua en el tiempo, y la ampliación de las redes de transporte y distribución de energía, también en forma continua pero con menor frecuencia. Uno de los factores relevantes en esta lógica de desarrollo (En la concepción tradicional) es que la toma de decisión surge de una planificación centralizada ubicada dentro del monopolio administrativo de un sistema verticalmente integrado. Como que se aprecia en la figura 4.

El sistema eléctrico opera bajo la restricción que deriva de no poder almacenar la energía eléctrica en los sistemas actuales convencionales. Por tanto la energía eléctrica producida y consumida en el sistema debe ser igual en cada momento. De ahí que, la operación del sistema se basa en el control de la generación de energía del sistema y su adaptación a las fluctuaciones de la carga hasta cierto punto inciertas en el sistema. De acuerdo también con las restricciones impuestas por las redes de transporte de energía.

En los sistemas eléctricos de potencia hasta hace unos años toda la energía se generaba por un número relativamente pequeño de centrales eléctricas de gran capacidad. Para asegurar tanto:

- una alta confiabilidad,
- como seguridad de suministro.

El sistema se interconecta en anillo, para proveer el direccionamiento alternativo en caso de fallas. Las redes de distribución son o se consideran pasivas con una alimentación radial que permite la operación de las protecciones específicas. En esta estructura de sistema, la potencia eléctrica circula del más alto al nivel de voltaje inferior.

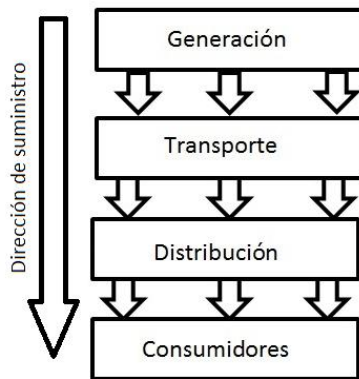


Figura 4 Sistema verticalmente integrado.

La generación de energía en un sistema verticalmente integrado se basa principalmente en fuentes primarias de energía controlables o gestionables, como los combustibles: tanto nuclear, como fósil en el caso de grandes plantas de energía termo-eléctricas o de agua embalsada en el caso de las centrales hidroeléctricas. El uso de fuentes de energía controlables o gestionables, permite el control robusto de la generación de energía del sistema y por lo tanto el funcionamiento fiable del mismo. Estas centrales forman la generación convencional, con tres características principales:

- Son a gran escala,
- Tienen una gran capacidad de control y
- Son de tecnología de generación unificada.

Un sistema eléctrico de potencia verticalmente integrado proporciona ventajas considerables, tales como:

- Economía de escala en la generación de energía,
- La reducción de los márgenes de reserva obligatorios,

- La minimización del costo de la energía eléctrica debido a un despacho centralizado que busca como principio optimizar entre la diversificación de centrales de generación con diferentes fuentes de energía primaria lo cual implica un uso eficaz de los equipos de generación
- Una mayor eficiencia energética en las unidades grandes de generación y operar con una cantidad relativamente pequeña de personal, reducción del riesgo de fallos de causa común debido a la utilización de equipos de diferentes fabricantes y tiempos de uso, etc.

A pesar de estas ventajas, la generación de energía convencional tiene inconvenientes inherentes. Estos se deben a razones socioeconómicas, medioambientales y políticas que han prevalecido durante los últimos años, motivadas por el desarrollo de nuevos y modernos esquemas de generación, basados en la utilización de fuentes de energía renovable y convencional distribuida.

Los inconvenientes de la generación convencional de gran escala en sistemas verticalmente integrados son los siguientes:

- **La seguridad de suministro de combustibles fósiles**- Las reservas de este tipo de combustibles no son infinitas y se irán agotando poco a poco o simplemente el costo de extracción del combustible primario en su momento será tan caro que no sea conveniente extraerlo. Esta dependencia impulsa por sí misma el cambio gradual de fuentes de energía sostenibles (renovables) en el mix de generación de los sistema de potencia eléctrica para su reemplazo.

- Emisiones de gases de efecto invernadero-

Los impactos ambientales negativos derivados de la explotación de las centrales de combustibles fósiles, como: el cambio climático global y el efecto invernadero provocado por el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera de la Tierra. Por ello el Protocolo de Kyoto de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático fue adoptado para buscar la "des-carbonización" de los sistemas energéticos del futuro basada en el uso de fuentes de energía nuevas y renovables de generación eléctrica.

- La energía nuclear- Aunque energéticamente eficiente y libre de carbono, tiene una aceptación social negativa muy alta; debida al problema de la eliminación de los residuos nucleares y el temor a los efectos adversos a un desastre natural o provocado; en este tipo de centrales. A excepción de unas pocas regiones económicamente emergentes del mundo, se puede observar que la producción de energía nuclear, utilizando las tecnologías existentes, se reducirá en las próximas décadas y las viejas plantas no están siendo reemplazadas. Varios países europeos, como Alemania y Suecia, han promulgado leyes para acelerar el desmantelamiento de las centrales nucleares. Sin embargo, las tecnologías emergentes, permiten una fabricación altamente estandarizada de las centrales modulares que podrían reactivar la industria de la energía nuclear, ya que es probable que se utilice en cualquier mix de generación libre de carbono en el futuro.

- Energía hidráulica- Las grandes centrales hidroeléctricas constituyen una valiosa alternativa renovable. Aunque a gran escala, la energía hidroeléctrica representa oportunidades muy importantes en varias regiones en desarrollo del mundo. En los países desarrollados, el potencial hidroeléctrico disponible ya se ha utilizado en gran parte. Aunado a esto, la construcción de embalses y cuencas para la generación de energía hidroeléctrica provoca la inundación de grandes áreas y afecta el flujo de los ríos, impactando en la flora y la fauna de estas fuentes naturales. Lo que trae graves consecuencias ambientales y por lo tanto la aceptación social tiende a ser altamente negativa para la construcción de gigantescos proyectos hidráulicos aunado a que tienen prolongados tiempos de construcción.

En el esquema verticalmente integrado, para solventar el crecimiento en el consumo de electricidad fue previsto agregar tanto nuevas centrales eléctricas, como la construcción de nuevas líneas de transmisión y la ampliación de los sistemas de distribución tradicionales. Sin embargo la solución del problema de la capacidad del sistema de transmisión mediante la construcción de nuevas líneas se vuelve cada vez más difícil, debido a los costes de inversión, la falta de espacio físico disponible para la expansión y la aceptación social negativa por el impacto ambiental que se provoca en la construcción de las líneas de transporte. Este problema, unido a la tendencia mundial hacia la desregulación de los mercados de la electricidad y la introducción de nuevas tecnologías más eficaces de generación a pequeña escala, como las plantas combinadas de calor y electricidad, microturbinas. Ha creado un impulso hacia el uso de recursos energéticos distribuidos en el sistema. Una solución alternativa al problema de la construcción de grandes plantas de generación y de más líneas de transmisión; deberá por tanto provenir de la conexión de la generación en los sistemas de distribución.

Además, de un entorno liberalizado para acceder abiertamente a las redes de distribución, mismo que deberá proporcionar oportunidades para las pequeñas unidades, que requieren menores costos de capital y poco tiempo de instalación en comparación a las grandes centrales.

Los beneficios de la generación de energía cerca de las cargas incluye el uso de calor residual para la calefacción o refrigeración (producción combinada de calor y electricidad, cogeneración) y la disponibilidad de energía de reserva para las cargas críticas durante los períodos en que la electricidad de la red pública no esté disponible o llegue a ser de baja calidad. Por otra parte, una serie de tecnologías en pequeña escala de generación renovable de energía ha alcanzado una etapa de desarrollo que permitirá la implementación masiva dentro de los sistemas de suministro eléctrico existentes.

Crecimiento del sector eléctrico en el presente

De lo anterior podemos resumir que dentro de esta nueva concepción del sector eléctrico, el crecimiento de la demanda se puede satisfacer de dos formas:

- Instalando generación central convencional y ampliando las redes de transporte.
- Instalando Generación Distribuida (GD)

Una gran central moderna conectada en la red de transporte siempre será más eficiente económicamente hablando que una pequeña central moderna del tipo distribuida (las economías de escala existen cuando se aumentan las dimensiones de un generador en múltiples magnitudes). Sin embargo, en una de las magnitudes clave, la eficiencia en operación, las diferencias pueden no ser tan significativas.

Incluso si lo que se pretende es potenciar una vieja central generadora, probablemente los costos asociados sean mayores a si se instala o se instalan varias plantas de generación distribuida. Esto se debe a una de las características de los equipos de generación distribuida ya que son actualmente diseñadas para ser fabricadas en serie, por tanto son producidas en forma estandarizada y luego se instalan con relativa facilidad en el sitio (plug and play), lo que reduce notablemente sus costos; considerando en contraparte que una central de gran capacidad, sus componentes son en muchos casos diseñados y construidos bajo pedido y existen en el mundo pocos fabricantes que los pueden hacer, por lo cual también el factor tiempo en la construcción, tiene implicaciones importantes, además de que al ser componentes que se producen en pocas cantidades. El soporte técnico y la existencia de refacciones también suele ser un factor considerable al momento de decidir.

En la evaluación de las opciones, los costos exactos que se deben evaluar son aquellos de la planta de GD contra los de la planta generadora convencional más la red de transporte asociada a esta última, tanto en costos hundidos como en mantenimiento y pérdidas acumuladas. En ese aspecto la GD no utiliza la red de transmisión y el uso de suelo que invariablemente afecta a una red de muy alto voltaje. Por lo tanto evita los costos asociados con ésta. Es menester observar también que mientras los costos globales de construcción de las redes de transporte se han incrementado, debido al aumento en el costo de la mano de obra y de las restricciones de uso de suelo, la estética de su diseño, por el contrario los costos asociados en la GD han disminuido ya que estas plantas se construyen de forma estandarizada y tienen gran modularidad.

Además de las consideraciones anteriores, debe tenerse en cuenta que la GD presenta beneficios adicionales al sistema eléctrico ya que con un marco normativo adecuado y reglas claras de operación puede colaborar para ir:

- Reduciendo las pérdidas en la red eléctrica
- Incrementando la confiabilidad en el suministro eléctrico.
- Proporcionando control de energía reactiva y regulación de tensión en la red de distribución.
- Generando energía limpia utilizando fuentes renovables (GDR- generación distribuida renovable)
- Dispersando y descentralizando la propiedad en el sector de generación, característica fundamental para incentivar la competencia.

Como consecuencia, la GD presenta en la actualidad, en el papel, singulares ventajas frente a la generación central convencional. Evidentemente, en el sector eléctrico, las imperfecciones del mercado abundan, basta observar que tanto la transmisión como la distribución son sectores de grandes redes. Por lo tanto, Competencia y Regulación son actividades francamente complementarias de esta industria, sin embargo es la Regulación en el plano normativo la que en última instancia determinará el grado de Competencia real que exista.

Por consiguiente, en la nueva estructura del sector eléctrico de competencia, el rol que jueguen los marcos regulatorios es fundamental. Estos deben establecer sistemas tarifarios justos que reconozcan los costos y beneficios reales del sistema y eviten los subsidios cruzados entre distintos agentes y la existencia de restricciones, directas o indirectas, a la entrada de nuevos agentes.

Con este nuevo esquema, podría llegar a cambiar de dirección en ciertas áreas la circulación de energía en las redes de distribución eléctrica, particularmente donde se tengan conectadas unidades de generación distribuida, tanto renovable como generación convencional y la operación del sistema por consiguiente también cambiará tendiendo hacia una operación un tanto más horizontal, como se muestra en la figura 5.

De acuerdo a lo que se mencionó en la introducción de este trabajo, existen ya programas de investigación en los países que desarrollan ciencia y tecnología de vanguardia y otros más que han externado su preocupación en temas medioambientales y de seguridad de suministro energético. Lo anterior en consonancia a la modernización inherente del sector eléctrico; la cual incluye la conexión de generación distribuida y una operación inteligente de la red eléctrica que permita: un suministro seguro, eficiente, limpio, confiable, y con la calidad de suministro adecuada, para la satisfacción de las crecientes necesidades energéticas de las poblaciones, aunado a lo anterior y para que la modernización del sector eléctrico sea sostenible, deberá estar bien sustentada en lo social, en lo económico y en lo ecológico, para que la renovación del sector no provoque quebrantos económicos ni problemas sociales y sea sostenible desde el punto de vista ambiental también.

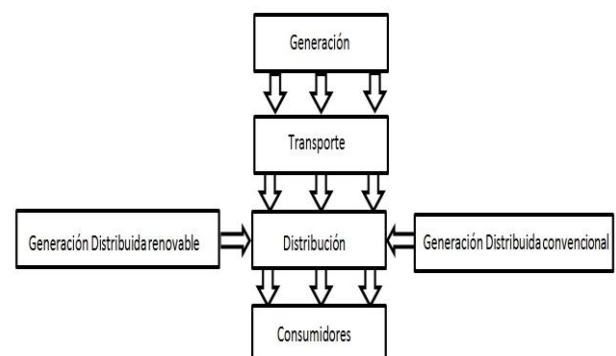


Figura 5 El sistema eléctrico de potencia con un modo de operación más horizontal.

Según el Instituto Nacional de normalización y tecnología (NIST, por sus siglas en inglés) define a la red eléctrica inteligente como la red moderna que permite el flujo bidireccional de energía y utiliza la comunicación bidireccional y la capacidad de control que llevará a una serie de nuevas funcionalidades. Entre éstas podemos encontrar las siguientes:

- Deberá ser en la medida de lo posible; auto reparable: que anticipa, detecta y responde a disturbios para evitar o reducir interrupciones.
- Incorpora al consumidor como un agente activo, que modifica su consumo en respuesta a precios de la energía en tiempo real
- Resiste fenómenos naturales, ataques físicos y cibernéticos
- Acomoda todo tipo de fuentes de generación y almacenamiento de energía
- Opera eficientemente y optimiza el uso de los activos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

En gran medida, las características del sistema eléctrico del futuro se lograrán con la incorporación de “inteligencia”, basada en tecnologías de información y comunicaciones:

- Sensores y sistemas de medición avanzada
- Redes de comunicación y procesamiento de datos
- Sistemas de actuación y control

En este contexto (Jiménez, Mota, Betanzos y Basilio 2008), mencionan que los sistemas de distribución eléctrica son actualmente rígidos y prácticamente “sin inteligencia”.

Estos sistemas responden ante fallas censando corrientes producidas por cortocircuitos y abriendo interruptores para aislar las fallas de acuerdo a una coordinación de protecciones, preestablecida y por obvias razones rígida. Algunos sistemas un poco más vanguardistas (mediante hardware y software) pueden determinar la localización de la falla y realizar operaciones de interruptores; con el fin de proporcionar un camino alternativo de alimentación después de la falla; con el propósito de minimizar el número de clientes afectados. Sin embargo estas operaciones siguen siendo de alcance muy limitado. Una situación similar se presenta en el control de tensión, aún hoy día las redes tienen muy poca capacidad para tener respuestas locales en tiempo real para adaptarse a algunos cambios o en su caso enfrentar contingencias severas.

La infraestructura actual del sector eléctrico en la mayor parte de naciones miembros de la OCDE, tiene entre 40 y 50 años de antigüedad, eso aunado al incremento constante de la demanda eléctrica, juntamente con las condiciones ambientales y de consumo, han provocado un incremento en los apagones desde 1978. Los siguientes casos son algunos de los más significativos:

- Francia, Diciembre de 1978

Un descenso de temperatura no previsto provocó un importante incremento de carga (4600 MW en 1 hora) principalmente en la zona de París, que sobrecargó todo el sistema de 400 kV, debido a la necesidad de traer potencia desde zonas alejadas del este del país, que provocó tensiones bajas en toda la red. Se intentó solucionar el problema bloqueando los automatismos de los reguladores bajo carga del lado primario de los transformadores de 400 kV, que habitualmente mantienen la tensión en valores constantes en la red de 230 kV. No se consiguió controlar totalmente el descenso de tensión, y comenzaron a operar las protecciones de sobrecarga en diversas líneas del sistema.

El fenómeno total se desarrolló durante algo más de una hora, y en un intento desafortunado de re-energización (trayendo potencia esta vez desde el oeste del país) provocó un segundo gran colapso.

- Suecia, Diciembre de 1983

El problema se inició con una falla en una estación 400/220 kV que alimenta la zona de Estocolmo y que provocó la salida de servicio de dos de las siete líneas 400 kV que alimentan Estocolmo; desde las centrales hidráulicas del Norte. Las cinco líneas de 400 kV restantes se sobrecargaron, pero el sistema sobrevivió hasta que los automatismos de los cambiadores bajo carga de los transformadores en la zona de Estocolmo comenzaron a tratar de restituir la tensión en las cargas. Esto provocó un aumento en la potencia de carga que esta vez no fue soportado por las líneas de 400 kV, las cuales fueron disparadas por relés de sobrecarga o relés de distancia (que aprecian el aumento de corriente y disminución de tensión como si fueran cortocircuitos en las líneas). La zona de Estocolmo quedó aislada y el déficit de generación no pudo ser resuelto por los esquemas de desenganche de carga por subfrecuencia, provocándose un apagón total en esa zona por algo así como 1 hora.

- Japón, Julio de 1987

Se produjo un aumento de demanda muy por encima de lo previsto en un día inusualmente caluroso. Pese a que entraron en servicio todos los bancos de condensadores disponibles, la tensión comenzó a decrecer y en aproximadamente 10 minutos (con tensiones del orden de 0,75 p.u.) la actuación de relés provocó la salida de servicio de 3 estaciones de 500 kV y un apagón importante en la zona de Tokio. Se conjetura que la característica potencia-tensión de la carga (aparatos de aire acondicionado, con característica de potencia casi constante) fue un factor decisivo en el colapso.

- Alemania, 5 de Noviembre del 2006

El problema afectó a Alemania, Francia, Italia, Portugal y España. A las 10 de la noche se procedió a cortar el suministro en una línea de muy alta tensión (400 kV) que cruza el río Ems, para permitir que un barco de importantes dimensiones pasara sin peligro. Esto debería haber sido una operación rutinaria, la cual se convirtió en el mayor fallo eléctrico europeo de las últimas décadas. Una de las centrales de generación se quedó aislada del sistema, lo que provocó una diferencia entre la demanda y la generación. Al haber mucho más demanda que generación, la frecuencia de la red cayó.

- Barcelona, Julio del 2007

La causa fue un cable de alta tensión que cayó sobre otro en la central eléctrica de Collblanc en L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona) generando 3 cortocircuitos, dos de ellos no tuvieron mayores consecuencias, pero el tercero terminó afectando a la subestación de Urgell. Esto afectó en cadena a cinco o seis subestaciones eléctricas más, dejando así sin suministro de energía a casi 350.000 abonados de casi toda Barcelona y su área metropolitana.

La implementación de sistemas automáticos inteligentes podrá hacer que las compañías eléctricas tengan un conocimiento en tiempo real de toda la red permitiendo una rápida reacción, la detección previa de problemas potenciales y la minimización del impacto de un fallo. Además, si se dispone de una conexión directa con todos los clientes finales se puede comprobar el estado de sus líneas, consumos y suministros, pudiendo actuar antes de que se produzca el aviso del fallo, esto por supuesto en el caso de que el fallo no se dé, de forma espontánea.

En la red eléctrica inteligente se aplicarán tecnologías, herramientas y técnicas, muchas de ellas ya disponibles en la actualidad en otras aplicaciones industriales y que incorporarán mayor información y conocimiento a la red eléctrica, para que ésta sea más eficiente, tanto desde el punto de vista energético, como en la seguridad de operación.

Tradicionalmente el suministro de electricidad dentro de los grandes sistemas eléctricos de potencia ha estado compuesto por un control de supervisión y un sistema de adquisición de datos (SCADA) (supervision control and acquisition data system), lo que ha permitido monitorizar y controlar dicho proceso desde la generación hasta las subestaciones de potencia. Lo anterior se realiza para poder detectar necesidades de incremento o reducción de generación o responder a inestabilidades del sistema.

En este contexto, las tecnologías informáticas y de telecomunicación juntamente con las de control, tendrán ahora que permear hacia la distribución eléctrica, tanto en el monitoreo de la red, como en el control de la generación distribuida conectada en este nivel de tensión. En relación a lo anterior y de la misma forma como en la actualidad la mayor parte de naciones industrializadas aprovecha de forma intensiva las fuentes renovables de energía en específico; los grandes parques eólicos conectados a la red de transporte y éstos son gestionados de forma centralizada. También la generación distribuida, tanto renovable, como la convencional tendrá que ser “observable” y “controlable”, en la red de distribución. De esta forma las redes inteligentes de distribución actuarán como medios que:

- Permitan la participación activa de los consumidores
- Acomoden todas las opciones de generación y almacenamiento (sí lo hubiere)

- Permitan el desarrollo de nuevos productos, servicios y mercados en el sector eléctrico.
- Optimicen la operación de los elementos de la red.
- Se anticipen y respondan a perturbaciones del sistema.
- Resistan ataques y desastres naturales.

Respecto a lo anterior, la inserción de las fuentes renovables y no renovables en las redes de distribución eléctrica, se ha llevado a cabo en una etapa temporal, un tanto posterior a la inserción de grandes parques de generación renovable, tanto eólica como solar (2ª etapa en la figura 6); en los sistemas de potencia eléctrica, que por cierto aún no concluye y en cierta forma ha tenido ya cierta oposición social negativa en algunos países (ver figura 6). Para llevar a cabo este proceso de inserción en las redes de distribución, se han creado normas de interconexión que engloban los parámetros y requisitos necesarios para llevar a cabo este procedimiento, sin embargo en esta etapa de inserción, dichas normas se han redactado bajo unas premisas iniciales, hechas exprefeso para no causar dificultades de operación en las redes eléctricas de distribución que para tal efecto se han considerado como redes pasivas (3ª etapa figura 6).

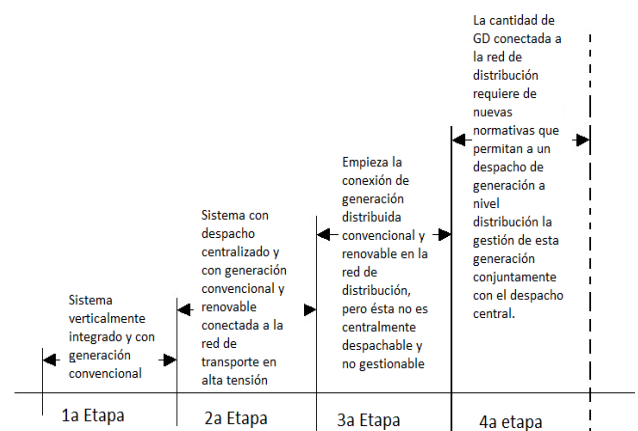


Figura 6 Etapas de inserción de fuentes de generación renovable y convencional en la red eléctrica.

Gestión Pasiva de la red de distribución eléctrica con generación distribuida.

La gestión pasiva de las redes de distribución considera a dichas redes con ausencia de problemas en condiciones normales de operación, al haber sido estos resueltos, en su mayoría en el ámbito de la planificación de red mediante infraestructura tradicional (transformadores, reguladores, capacitores). La gestión pasiva también implica que la red responda ante fallas estimando las intensidades producidas por cortocircuitos y accionando seccionadores y/o restauradores para aislarlas de acuerdo a una coordinación de protecciones, preestablecida y por obvias razones rígida. Como se mencionó anteriormente algunos sistemas un poco más vanguardistas (mediante hardware y software) pueden determinar la localización de la falla y realizar operaciones de interruptores; con el fin de proporcionar un camino alternativo de alimentación después de la falla; con el propósito de minimizar el número de consumidores afectados. Sin embargo estas operaciones siguen siendo de alcance muy limitado. Una situación similar se presenta en el control de tensión, aún hoy día; las redes tienen muy poca capacidad para tener respuestas locales en tiempo real para adaptarse a cambios bruscos de carga o en su caso enfrentar contingencias severas. Resumiendo, la gestión pasiva de la red de distribución eléctrica, conlleva las siguientes características:

- Redes con flujos unidireccionales y predecibles desde la red transporte hasta el consumidor final.
- Nula o muy baja penetración de GD
- Niveles bajos de supervisión y automatización en redes media tensión y baja tensión
- Baja o nula capacidad de gestión sobre los recursos energéticos distribuidos.

Bajo la consigna de seguir operando de forma pasiva la red de distribución, con las características intrínsecas de la misma, han sido redactadas normativas nacionales que tutelan la conexión de recursos energéticos distribuidos (RED) y generación distribuida (GD) en las redes de distribución eléctrica, mismas que están basadas en los estándares internacionales IEEE 1547, IEEE 929 y la norma IEC 61727.

Nueva visión en la gestión de las redes eléctricas de distribución.

Sí la producción eléctrica a partir de fuentes renovables se generalizase no solo a nivel macro como pasa en la actualidad con los grandes parques eólicos sino también a niveles micro con los sistemas fotovoltaicos interconectados y otras fuentes renovables aprovechables de pequeña potencia. Las redes de distribución no serían ya solamente los grandes distribuidores de energía; tendrían por tanto que tener la capacidad para gestionar y equilibrar localmente las necesidades de energía de las pequeñas o grandes ciudades. Deberán tener la capacidad de gestionar el flujo de la energía entre los circuitos alimentadores que pudieran tener excedentes y lograr, de ser posible, que ésta sea consumida en los sectores deficitarios, es decir, la explotación de la red debería pasar de una gestión pasiva, a una gestión "activa", donde podría llegarse a tener una cantidad significativa de generadores de micro capacidad de 1 a 30 kW; distribuidos por la red. En ella se deberá supervisar constantemente los flujos de energía para garantizar el equilibrio local del sistema. Eso exigiría cambios importantes en la forma de administrar las redes, no lo solo en la operación del sistema, sino también en las normativas que regirán no solo la participación de los generadores que utilizan tecnologías convencionales (basadas en gas, diésel, gasóleo, etc). Sino también renovables, como la mini hidráulica, la mini eólica y la solar fotovoltaica.

Además de normar la participación de uno o ambos tipos de generación en la prestación de servicios auxiliares en las redes de distribución eléctrica. Todo ello ya desde la perspectiva de una gestión activa de la red eléctrica.

Etapas de transición de la gestión pasiva a la gestión inteligente en redes eléctricas de distribución.

Con la citada convergencia que tiende hacia una operación inteligente de la eléctrica de distribución, se busca concretar una gestión activa del sistema con una alta penetración de fuentes renovables a nivel distribución juntamente con fuentes convencionales y con gestión también en la demanda. Sin embargo la transición de una red gestionada de forma pasiva a una red operada de forma inteligente; al igual que como suele pasar con casi toda transición tecnológica en la que están involucrados muchos actores con arraigadas inercias, no es tan simple; (la industria eléctrica actual tiene 130 años de haber nacido). Por tanto se ha empezado dicha transición, con cambios no tan drásticos pues para el caso tampoco se encuentra disponible actualmente la tecnología para pasar de un momento a otro; de una red como la actual a una red inteligente, de igual forma tampoco se tiene concretada ya una normativa y un reglamento que dé certidumbre jurídica a la operación de la red inteligente. Además de que durante el tiempo que dure ésta transición, el suministro eléctrico no puede ser interrumpido y aunado a lo anterior, el factor económico para que esto sea posible, es sumamente trascendente ya que con la liberalización de actividades y siguiendo las directrices que promovieron tal hecho.

Será necesaria la intervención más activa de los consumidores de energía, de tal forma que sean ellos los principales gestores del cambio; quienes de forma ordenada puedan hacer posible finalmente la red eléctrica inteligente; con la participación intensiva de fuentes renovables de energía, incluyendo los servicios auxiliares; mismos que deberán también de ser provistos por los usuarios y coordinados por el gestor de la red de distribución. Por tanto tendrá que tenerse también una forma bastante bien diseñada para otorgar la remuneración proporcional a cada uno de los participantes, ya sea aportando energía eléctrica, como prestando servicios auxiliares en la red eléctrica en este nuevo escenario.

Como parte inicial en esta transición puede considerarse aquella en la que se ha permitido la interconexión de fuentes renovables y no renovables en las redes de distribución eléctrica. Esto tanto en los niveles de baja tensión (BT), como en media tensión (MT) y de acuerdo a (Peças Lopes 2002), se ha llevado a cabo bajo la filosofía o enfoque conocido como conectar y olvidarse “fit and forget approach”. Bajo este concepto se ha realizado la interconexión tanto pequeñas plantas de cogeneración de los consumidores en MT; como de generación renovable, en BT, especialmente la fotovoltaica por la disponibilidad del recurso, entre el común de los usuarios y por las ventajas que representa ésta tecnología renovable.

En este periodo inicial, se ha buscado la generación distribuida renovable se instale en lugares muy próximos a su consumo.

Y bajo este esquema de conectar y olvidarse se busca que deba existir a lo más un equilibrio, entre la generación conectada y el consumo de energía del cliente que la instaló, de tal forma que en un principio, la instalación de la microgeneración distribuida fotovoltaica no cause ningún inconveniente en la red o en su caso no produzca disturbios en la calidad del suministro eléctrico, considerando que la energía producida sería consumida casi en su totalidad por el cliente que la instaló y en el caso de haber algún excedente, este sería vertido en la red, para ser consumido en el mismo nivel de tensión en el que se hizo la conexión, por algún otro consumidor de forma local. Todo ello de acuerdo a la reglamentación que regula los contratos de interconexión en las normativas establecidas. Este proceder bajo el esquema conectar y olvidarse permite el ingreso de cierta cantidad de microgeneración renovable, manteniendo la gestión pasiva de la red.

Gestión intermedia

La gestión intermedia, es aquella que servirá de etapa de transición, entre la gestión pasiva actual y la gestión activa de las redes inteligentes a nivel distribución. En la figura 7. Se muestran las etapas en las que se ha de transitar hacia la conversión de llegar a tener redes inteligentes.

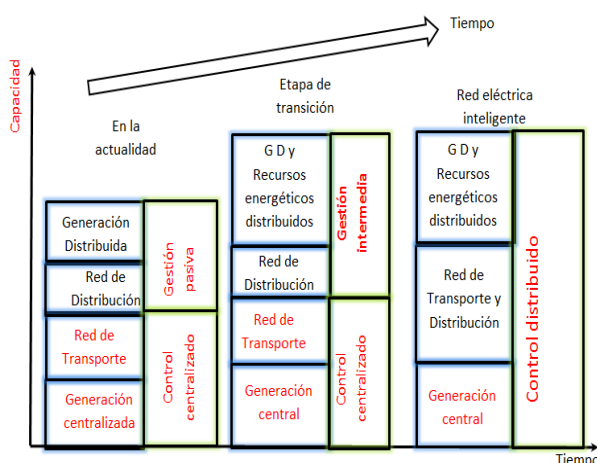


Figura 7 Etapas de transición, con rumbo a la red eléctrica inteligente.

De las evidencias significativas de la gestión intermedia son los desarrollos conocidos como microrredes conocidas en inglés como micro-grids, los cuales son pequeños sistemas inteligentes de distribución eléctrica autogestionados localmente, de forma que podrían funcionar tanto conectados a la red pública de distribución como aislados de la misma. Las microrredes eléctricas están siendo ampliamente investigadas y comienzan a ser implementadas.

Las microrredes teóricamente deberán permitir una mayor calidad del suministro, un mayor ahorro y una menor dependencia de la red de distribución, ya que se controla más el consumo y se optimizan los elementos del sistema. Además, la mayor cercanía entre las fuentes de generación y la demanda, y el aprovechamiento en red de los diversos sistemas de energía y calor aumentan considerablemente la eficiencia energética del conjunto. Otra ventaja de estos sistemas es la reducción de los costes de distribución al encontrarse las fuentes de generación y las cargas más cercanas.

En las micro redes de acuerdo a su concepto, se lleva a cabo una gestión activa al interior de ellas, ya que existe un elemento gestor que decide que unidades de GD o RED pueden aportar a la red de acuerdo a la disponibilidad de los recursos ya sea convencionales o renovables de la forma más económica y también debe proporcionarse a sí misma mediante los generadores conectados, los servicios auxiliares que necesitan las cargas en la microrred, tanto regulando los niveles de tensión; como también aportando la potencia reactiva que necesita la microrred, para operar de acuerdo a la naturaleza de las cargas. En todo caso las interfaces de electrónica de potencia y que acondicionan la energía eléctrica que es producida por las fuentes renovables o convencionales deberán interactuar con la red eléctrica. Para proporcionar la energía de acuerdo a las necesidades en todo momento.

Sin embargo las microredes son de momento un concepto experimental y en algunos ejemplos puntuales podemos citar a los barcos que dan servicios de cruceros vacacionales en algunos puertos. Estos Navíos se conectan a la red de distribución portuaria intercambiando energía, funcionando como microredes en ese momento, pues en el interior de los navíos se regula la potencia eléctrica de acuerdo al tipo de cargas en el interior del mismo.

Un ejemplo de una red de distribución en BT con una gestión intermedia en tierra, se aprecia en un vecindario japonés estudiado por (Ueda et al 2005), en el cual dadas las características propias de un vecindario japonés, una cantidad considerable de unidades de generación fotovoltaica agrupada en un área geográfica reducida, aunado a esto, durante los momentos de máxima generación, (mayor insolación) coincide algunas veces con periodos de poca demanda de las cargas en las casas de este vecindario. Por lo que, para evitar que los niveles de tensión en este vecindario, se ha añadido un sistema adicional a los inversores de los sistemas fotovoltaicos que van censando los niveles de tensión a la salida de los sistemas y si el nivel es superior al especificado por la norma, ordena restringir la salida del sistema de generación fotovoltaico. (Ueda et al 2005 bis), especifica que ésta forma de control, conocida como “restricción de salida” del vocablo en ingles “output restriction” consiste en una primera etapa en modificar el factor de potencia del inversor con lo cual se incrementa o reduce la potencia reactiva, lo cual es posible utilizando inversores con tales capacidades y posteriormente, sí la modificación del factor de potencia no es suficiente para llevar a la tensión al nivel normativo, entonces se modifica también el punto de máxima de transferencia de potencia (MPPT), para restringir de esta manera la potencia activa que se vierte en la red.

También (Tonkoski & Lopes, 2011) realizan estudios, basados en la restricción de salida, sin embargo en esta investigación, se utilizan inversores con un dispositivo conocido como limitadores de potencia. Pero a diferencia del caso Japonés, que permite la inyección de potencia reactiva para regular la tensión. En este trabajo de investigadores de Canadá, mencionan que en los sistemas de BT, la relación entre la tensión y la potencia activa es más fuerte que con la potencia reactiva, dadas las características de la línea altamente resistivas. Por lo que el control de tensión, lo hacen únicamente con la modificación del punto de máxima transferencia de potencia y que se refleja en la limitación de la potencia activa, por lo que el sistema sigue transfiriendo potencia a un factor de potencia muy cercano a la unidad. Solo que se hace en menor cantidad, con lo que se logra limitar con ello el nivel de tensión de la red.

Para poder profundizar y continuar con el Desarrollo Tecnológico y la innovación necesarias para proceder de forma continua y exitosa esta transición hacia una red inteligente se percibe a la Enertrónica, como la disciplina tecnológica que tome la batuta de parte de la Ingeniería eléctrica de potencia para poder realizar la sinergia entre las disciplinas emergentes de vanguardia, con las disciplinas maduras de mucho más antigüedad. Por ello la Enertrónica la nueva rama de la ingeniería que al igual que su hermana mayor, la Mecatrónica también hace sinergia entre varias disciplinas de la ingeniería; sin embargo para el caso de la Enertrónica las disciplinas asociadas a ella, son más bien en la línea de la Ingeniería eléctrica de potencia tanto en el manejo como en el acondicionamiento de la energía eléctrica tanto a pequeña como a gran escala ello por medio de la Electrónica de Potencia entre otras más.

La intención de dicha disciplina es el de ofrecer soluciones integrales en el ámbito energético. Por tales hechos en la Enertrónica convergen:

- la electrónica de comunicaciones,

- la electrónica de potencia,
- la electrónica de estado sólido,
- la electrónica de circuitos integrados (microcontroladores),
- la electrónica analógica y la digital,
- la electrónica de programación

Juntamente con otras disciplinas, como el Control y la Automática o Automatización, todo ello para conseguir algo ya muy conocido que es: generar electricidad; pero ahora se busca hacerlo de forma aún más eficiente y poder interconectar también a las redes eléctricas; con las fuentes y las nuevas tecnologías de generación eléctrica renovable y no renovable de vanguardia, ver figura 8.

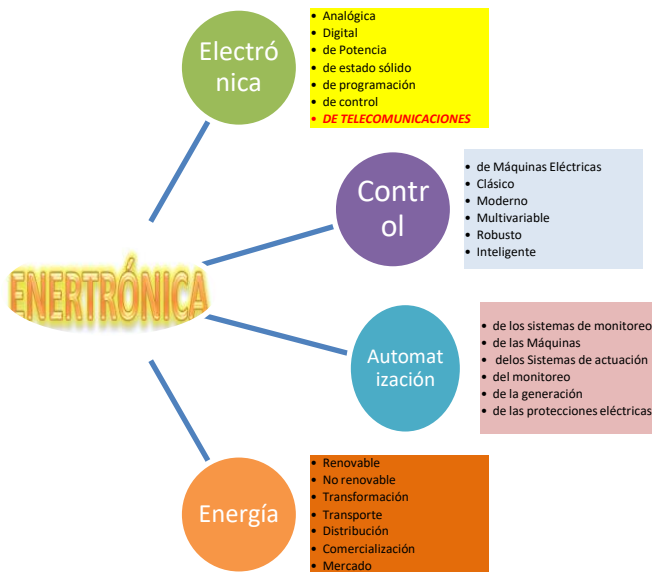


Figura 8 Disciplinas asociadas a la Enertrónica

Por ello todo lo anterior requiere de un trabajo que en primera instancia va de lo multidisciplinario y que aterrizará y dará abundante fruto en su transitar interdisciplinario y transdisciplinario. Sin embargo en ésta ocasión centraremos nuestra explicación en específico a la red que permitirá la interconexión entre los dispositivos, máquinas, interfaces, sistemas de monitoreo, control etc.

Si recordamos que la Mecatrónica en cierta medida trata de hacer una similitud o analogía entre el ser humano y la forma inteligente con la que interactúa con su entorno. Ello con respecto a dotar de inteligencia a las máquinas y los procesos productivos industriales. De tal forma que; al igual que el ser humano que cuenta con un cerebro que recibe información (datos y señales) del exterior y que por medio de él, podemos procesar esa información y actuar en consecuencia. Las máquinas inteligentes deberán contar al igual que las personas; con un medio equivalente al sistema nervioso que permita el flujo de señales venidas de los sensores de las máquinas y con esta información, las máquinas actúan en consecuencia de acuerdo a una programación, mediante un microprocesador que sería su cerebro. De tal suerte que las máquinas, robots o manipuladores, cuenten también con actuadores para interactuar, con el medio, así como los seres humanos contamos con sistema óseo y muscular, para tal fin. Vea figura 9.

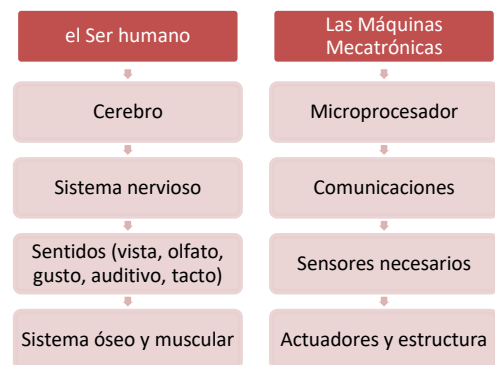


Figura 9 Analogía del ser humano con las máquinas mecatrónicas.

En este contexto, los sistemas eléctricos de potencia, se enfrentan a una modernización que intenta dotarle de inteligencia a toda la red eléctrica interconectada. Hasta el momento, los sistemas de potencia cuentan con un sistema de monitoreo y control que le permite a los operadores del mismo, interactuar con la generación y observar mediante el sistema SCADA; el estado de la red, en todo momento.

Sin embargo este sistema en la mayoría de naciones; incluso las que están a la vanguardia tecnológica solo monitorea y controla desde la generación hasta las líneas de transporte o transmisión, en un esquema verticalmente integrado y que en caso de existir generación distribuida y en su caso cogeneración, de algún usuario esta no es observable desde el centro de despacho de la energía sí es que no es de una capacidad importante. De este hecho parte el decir que en la actualidad la red de distribución eléctrica, no cuenta con ese sistema nervioso que permita a la red entera, ser observable desde algún punto del sistema, para que este pueda ser mayormente controlable, en caso de disturbios. Los cuales son propios de un sistema dinámico que nunca descansa y que nunca está en un estado que pueda considerarse permanente o estacionario en todo caso.

Desde ésta perspectiva y con advenimiento de tecnologías de aprovechamiento energético del tipo renovable, tanto eólica, como solar fotovoltaica en sus versiones de macro generación, como de micro generación, es necesario que los dispositivos que permiten la interconexión de estas tecnologías de generación con la red eléctrica, puedan en todo caso adaptarse a las necesidades de la red y no solo eso, sino que puedan también comunicarse entre sí y además comunicarse con los operadores de la red de distribución que en todo caso, aún no existen como tal. Puesto que en la actualidad la conexión de fuentes renovables de baja y media tensión, se lleva a cabo bajo el esquema llamado de “conectar y olvidarse”. Deberá por tanto pensarse en ese nuevo “sistema nervioso” que permita conectar a los sensores y portar las mediciones y estimaciones de los parámetros pertinentes, para que a su vez, lleve estos parámetros hacia los microcontroladores de los inversores, convertidores que transforman la energía generada por las tecnologías renovables en energía utilizable en las redes eléctricas.

Todo ello de forma coordinada y por las vías seguras para poder considerar que la red ha alcanzado la inteligencia necesaria para poder operar de forma eficiente.

Y en consonancia con dicha convergencia tecnológica Cisco systems muestra el concepto llamado el “internet de todo”. Sin embargo previo a dicho concepto es necesario describir la evolución del internet y la forma cómo ha cambiado la forma de vida de la civilización actual. Hasta el punto de que podemos observar; que será por medio de una red muy similar a la del internet, que podremos tener la comunicación de los dispositivos que logren hacer de la red eléctrica que hoy conocemos una red eléctrica inteligente en un futuro muy cercano (vea figura 10).



Figura 9 Evolución de la red que conectara a todo.

Conclusiones

En este trabajo se ha descrito el surgimiento, el crecimiento y la trascendencia que tiene y ha tenido el sector eléctrico en el mundo desarrollado. Así mismo se ha descrito con detalle algunos de los ciclos de innovación que han ido teniendo el sector eléctrico y que a la postre lo han hecho mucho más complejo y a la vez más confiable en su servicio y en su continuidad.

En la actualidad se vive un proceso de cambio tanto tecnológico, como económico en el que una gran parte de las naciones desarrolladas han incluido la competencia en precios en los mercados ahora de compra y venta de energía eléctrica, por lo que las centrales eléctricas deberán ser más eficientes en sus procesos de producción y por si eso fuera poco deberán ser incluso menos contaminantes.

Por otro lado, con el surgimiento de las tecnologías de aprovechamiento energético renovable, hacen de la producción de energía eléctrica un gran reto para las centrales convencionales al momento de competir en el mercado energético ya que las centrales de energía renovable el costo de su energético primario es cero, por lo cual son percibidas en cierto modo como una competencia desleal, sin embargo el costo de instalación de las centrales renovables sigue siendo moderadamente alto, en cierto sentido eso lo compensa, aunado a que todavía se siguen considerando a las centrales solares fotovoltaicas y eólicas, como fuentes no firmes de energía.

En medio de todos estos cambios, es necesaria una forma interdisciplinaria que resuelva los puntos complejos de todo este proceso de innovación tecnológica en el sector eléctrico en el mundo. Por tales hechos se describe a la Enertrónica, como la disciplina de ingeniería que hará converger a las otras líneas de investigación y desarrollo tecnológico que orbitan alrededor de las redes inteligentes y que a la postre será la nueva forma de operar y fortalecer el sector eléctrico en el mundo entero.

Agradecimientos:

Los autores agradecen a la SIP del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo recibido para la realización de este trabajo el cual es parte del proyecto de investigación registro SIP No. 20161088. Y también a la fundación Carolina, al COTEBAL- IPN y al IIE de México, por las facilidades otorgadas para los cursos doctorales

Referencias

Aquino-Robles J.A. Corona Ramirez L.G. Cuerno Pinto V.D. "El campo de Acción de la Enertrónica, 1er Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático, PINCC de la UNAM, 2011.

Aquino Robles J.A., Fernández Nava C. "La Estrategia de Enseñanza basada en Proyectos como medio para impulsar la Actitud de Innovación en Estudiantes de Ingeniería". 2o Congreso de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica y Mecatrónica CIMEEM 2007 UAM, Azcapotzalco. Ciudad de México Junio del 2007

Dyer F., Edison His Life and Inventions. Kessinger Publishing, 2004.

Westinghouse Our Company History Timeline," 2008. En línea disponible en: <http://www.westinghousenuclear.com/OurCompany/history/Timeline/index.shtm>

Aquino J. A., Corona L., Fernández C. "Las tendencias actuales de inversión en generación eléctrica en América Latina". X Congreso de Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico CIINDET, IEEE sección Morelos, México 2013.

Pérez-Arriaga J., Batlle C., Rivier M., Gómez T., "Expansión de la oferta e infraestructura eléctrica en Iberoamérica: generación, transmisión y distribución", Libro sobre la energía y regulación en Iberoamérica, CNE, Madrid, 2008.

Santiago Arango, Larsen E. R., “The environmental paradox in generation: How South America is gradually becoming more dependent on thermal generation”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 14, Issue 9, December 2010, Pages 2956-2965, DOI: 10.1016/j.rser.2010.07.049

Jiménez Guzmán M. Mota Palomino R. O. Betanzos Manuel J., Basilio Rodríguez B. “Prospectiva tecnológica de la distribución de energía eléctrica”. Presentado en la RVP de la IEEE sección México Julio de 2008.

Peças Lopes J., “Integration of dispersed generation on distribution networks—impact studies, in”: *Proceedings of the IEEE Winter Meeting, N.Y., February 2002.*

Ueda Y., Oozeki T., Kurokawa K., Itou T., Kitamura K., Miyamoto Y., Yokota M., Sugihara H., and Nishikawa S., “Analytical results of output restriction due to the voltage increasing of power distribution line in grid connected clustered PV systems,” in *Proc. 31st IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, 2005, p. 1631.

Ueda Y. T. Oozeki, K. Kurokawa, T. Itou, K. Kitamura, Y. Miyamoto, M. Yokota, H. Sugihara, and S. Nishikawa, “Detailed performance analyses results of grid-connected clustered PV systems in Japan—First 200 system results of demonstrative research on clustered PV systems,” in *Proc. 20th Eur. PV Solar Energy Conf.*, Barcelona, Spain, Jun. 2005, pp. 2466–2469.

Tonkoski R. and Lopes L. A. C., “Impact of active power curtailment on overvoltage prevention and energy production of PV inverters connected to low voltage residential feeders,” *Renew. Energy*, vol. 36, no. 12, pp. 3566–3574, Dec. 2011.

Action Connectors

GONZÁLEZ-ESPINOZA, Jessica*† y GONZÁLEZ-ESPINOZA, Paola.

Recibido Octubre 5, 2016; Aceptado Noviembre 8, 2016

Resumen

Este proyecto pretende mediante un servicio de Planes personalizados de ahorro y eficiencia de recursos (PPEAR) integrar estos conceptos con inclusión social en el que consideremos, agua, gas, electricidad y la forma de ahorro pasiva como los son la creación de espacios verdes, y demos la participación de oficios comunes en México, esto con el fin de incluir a la sociedad productiva a ser agentes de cambio, y dar a conocer la importancia del ahorro de los recursos convirtiendo el deseo de un ahorro económico en el pretexto perfecto para ayudar al medioambiente. Esto se logra mediante una página web y redes sociales pretende enlazar a proveedores y aliados que se dediquen al ahorro de los recursos antes mencionados (algunos ya identificados) para ofrecer a los clientes y usuarios un servicio integral y completamente personalizado, en esto exageramos con el fin de llevar un rendimiento óptimo de los recursos y por supuesto sustentar el consumo de estos de una manera fundamentada y comprobada entregando al cliente o empresa un resultado certero.

Perzonalizacion, ahorro, recursos, servicio, inclusion social

Abstract

This project aims through a service customized savings plans and resource efficiency (PPEAR) integrate these concepts with social inclusion in which we believe, water, gas, electricity and the form of passive savings as are the creation of green spaces, and demos participation of common offices in Mexico, this in order to include productive society to be agents of change and raise awareness of the importance of saving resources making the desire for economic savings in the perfect pretext for help environment. This is accomplished through a website that aims to link to suppliers and partners who are dedicated to saving the resources mentioned above (some already identified) to provide customers and users a comprehensive and service completely personalized, in this exaggeration in order to keep optimal performance of the resource and of course support the consumption of these in an informed manner and proven customer or company providing an accurate result.

Perzonalizacion, savings, resources, service, social inclusion

Citación: GONZÁLEZ-ESPINOZA, Jessica y GONZÁLEZ-ESPINOZA, Paola. Action Connectors. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 44-47

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jesskaconsulta@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El mundo Actualmente existe una gama muy extensa de empresas que distribuyen elementos de la energía alternativa en México, desde herramientas (paneles, calentadores, estufas ahorradoras) hasta servicios como estudios energéticos y también financiamientos para que logres que tu empresa ahorre energía, dichos servicios y productos son todavía caros y su utilización se ve orillada a personas con cierto nivel económico.

¿Qué pasaría si lográramos que dichas empresas se asociaran y trabajaran en conjunto para un beneficio social y ambiental? Action connectors diseño una manera en la que por medio de la asociación empresas-usuarios y un servicio de integración de varias técnicas de eficiencia de recursos entreguemos un plan de ahorro real y totalmente personalizado a los clientes , según sus necesidades con el fin de ahorrar dinero, y a la vez contribuir con la mitigación del uso excesivo de los recursos naturales con el plus de incluir en nuestra mano de obra a gente del sector productivo que quiera capacitarse en el rubro de las energías renovables e incluirlos para que se conviertan en agentes de cambio también .

México es un país donde el gran porcentaje de su población es obrera y si queremos impactar ambientalmente se debe comenzar a incluir a la población a este cambio, utilizando un servicio integral que permita ir desde el análisis hasta la aplicación de alternativas renovables.

En el presente artículo se explica la importancia de la utilización de un servicio emergente en relación al desarrollo sustentable y su impacto social que repercute finalmente en el medio ambiente positivamente.

Resolviendo una problemática

El sector productivo (pymes, ranchos, manufactura, casas) tiene gran potencial de aprovechamiento y implementación de alternativas energéticas, pero estos tienen necesidades y situaciones distintas y resulta complicado inclinarse a las energías renovables sin un plan totalmente adecuado.

Impacto

Es importante conocer y mencionar que parte de la población puede verse involucrada en la adquisición del servicio, conocer a que se dedica la población económicamente activa , pues esto nos indicara de qué forma podemos diseñar un plan de estudio y de mercado , estos datos proporcionados por el (INEGI, 2015) INEGI nos permiten saber por medio de la gente empleada el tipo de negocios que hay y por tanto el tipo de recursos que se utilizan en esos negocios pero también nos indica que la mayoría de la gente está realizando un servicio para formar su estilo de vida.

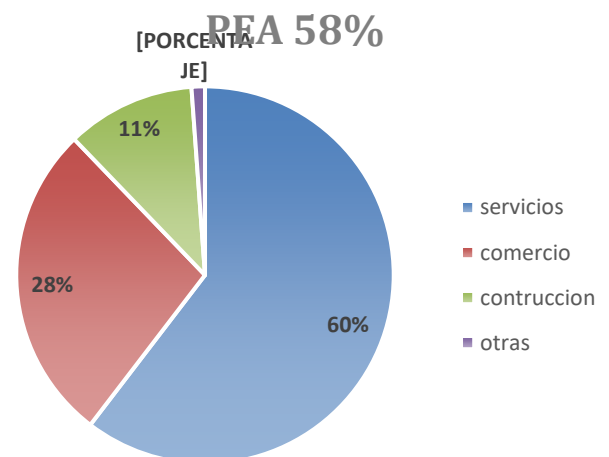


Gráfico 1 (Población económicamente activa.) (INEGI, 2015)

“Los Mercados Verdes son mercados de productos y servicios ambientalmente amigables y de aquellos derivados del aprovechamiento sostenible del medio ambiente.

El comercio verde lo constituye un grupo de actuales y potenciales compradores de un bien o servicio, que responde a una preferencia o necesidad, en la cual se involucran aspectos ambientales que impulsan el crecimiento de este sector económico.

El Mercado Verde, aparece como una alternativa al mercado convencional, saturado de productos con ingredientes contaminantes que cada vez más van siendo de menor preferencia por los consumidores.

El número de seguidores de esta “corriente verde”, al igual que la demanda de productos pro-ambientales ha crecido.

Generando un mayor interés por parte de las empresas para insertarse en este tipo de mercado y, así destinar, un gran porcentaje de sus utilidades a la investigación y creación de tecnologías que no sólo les generan una ventaja de competitividad frente a los productos normales, sino además, les plantean reducciones en la adquisición de las materias primas que se utilizan en sus procesos de producción” (Rodríguez, 2011)

Elementos necesarios y relaciones

Este servicio nace de la necesidad de conectar a las empresas que se dediquen a la eficiencia y ahorro de recursos, formar la asociación, ofrecer capacitaciones a personas que realicen un oficio para que poco a poco la tendencia de conocimiento de aplicación hacia nuevas tecnologías cueste menos, con una mano de obra renovada e incluida en una sociedad que necesita crecer y que está en el mejor punto para hacerlo como lo es México.

Creacion del plan de negocios

El plan de negocios como la misión misma del proyecto, incluye a la población desde la mano de obra hasta el plan de negocios formando una asociación integral con una visión fiel al objetivo de la creadora del proyecto Jessica PE Gonzalez Espinoza que es “Aprovechar la necesidad del ahorro económico, donde intervengan empresas, profesionistas, obreros, jóvenes teniendo como resultado nato, un beneficio social donde el medio ambiente es el medio que más nos conviene a todos para hacerlo.

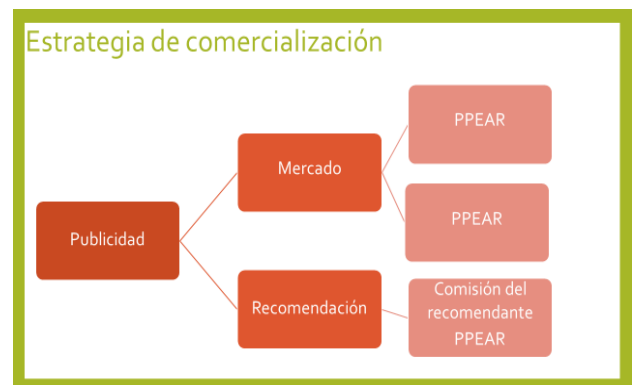


Figura 1 (Plan de negocios, action connectors)

Metodología a desarrollar

El desarrollo de la metodología de la creación de un plan personalizado de eficiencia y ahorro de energía (PPEAR) involucra varias actividades para lograr la visión del proyecto donde se considera un análisis energético y de ahorro en cuanto a agua, gas, y espacio, esto requiere una relación formal con el usuario en donde se ofrece un servicio, innovador y con un concepto de negocio a la vanguardia.

Actividades de Action Connectors

La principal actividad de Action Connectors es brindar y vender - PPEAR (planes personalizados de eficiencia y ahorro de los recursos) sin embargo hay 3 actividades que nos ayudan a integrar dicha actividad como los son:

- Campañas de capacitación en energías alternativas al público.
- Campañas de Desarrollo Sustentable a Escuelas.
- Relaciones y convenios con empresas verdes y universidades.

Conclusiones

Action connectors en un proyecto que esta creciendo y se encuentra en etapa de investigación y busca oportunidades para crecer y desarrollarse, aun hay mucho por hacer soy una joven que quiere poner su grano de arena a la sustentabilidad a mi país pero también conozco las necesidades de la gente y esta idea es buena para comenzar a mitigar grandes problemas en México:

- Cambio climático,
- Pobreza (que acarrea el vandalismo y la drogadicción)
- Fomentar la sustentabilidad en la sociedad, consecuentemente el individualismo.

Tenemos una cartera de clientes, otra de socios y estamos trabajando desde la parte social para darnos a conocer, es un proyecto joven que conoce la magnitud de sus alcances y también la responsabilidad que implica involucrar a la sociedad y empresas en los fines de un proyecto, gracias a esta asociación podemos brindar un servicio totalmente profesional de mejora ambiental.

Agradecimiento

Agradesco a La Universidad Tecnologica de Queretaro , Ing Luis Gerardo Mendoza y a la ing Livier Cacho docentes de esta institución en la que soy Estudiante, a las personas de las comunidades rurales del estado de Guanajuato quienes me permiten conocer el sentido del medio ambiente y en los que encontré la inspiracion para unir los puntos e idear el proyecto del servicio, al INEGI donde consulte los datos via telefónica y a la oportunidad de escribir el articulo y participar en el congreso interdisciplinario de energías renovables (CIERMI), y a mi familia por enseñarme que siempre se puede mejorar.



Figura 2

Referencias

- (INEGI, 2015)
- (Rodriguez, 2011)

Optimización de la iluminación de un edificio de biblioteca para eficiencia energética

RAMÍREZ-RASCÓN, Luis*†, SERRANO-ARELLANO, Juan, AGUILAR-CASTRO, Karla y RODRÍGUEZ-URIBE, Juan.

Instituto Tecnológico de Huichapan, Domicilio Conocido S/N, Col. El Saucillo, 42411 Huichapan, Hgo., México

Recibido Octubre 11, 2016; Aceptado Noviembre 2, 2016

Resumen

Se realizó un estudio de la iluminación del edificio de la biblioteca de una institución de educación superior. El edificio de estudio fue construido de forma tradicional sin realizar un estudio detallado de iluminación de las intensidades o de la correcta ubicación de las mismas, por lo que se realizó un levantamiento arquitectónico del mismo para poder analizarlo a través de una simulación. Las intensidades de iluminación se encontraron en todas las áreas a través del programa de simulación de luminarias. En los resultados se encontró que se podía reducir el consumo de energía en un 40%. Esto representó una gran reducción en el consumo de energía eléctrica. Posteriormente, se realizaron mediciones en las zonas de uso para comprobar los resultados de las intensidades encontradas y se verificaron los resultados con las simulaciones. Se mostró que estas herramientas de análisis benefician enormemente el uso eficiente de la energía y ayudan a la sustentabilidad energética.

Iluminación, luminarias, sustentabilidad

Citación: RAMÍREZ-RASCÓN, Luis, SERRANO-ARELLANO, Juan, AGUILAR-CASTRO, Karla y RODRÍGUEZ-URIBE, Juan. Optimización de la iluminación de un edificio de biblioteca para eficiencia energética. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 48-51

Abstract

A study of lighting library building of an institution of higher education was conducted. The studio building was built in the traditional way without making a detailed study of illumination intensities or the correct location of the same, so that an architectural lifting of the same was done to analyze through a simulation. The illumination intensities were found in all areas through simulation program luminaires. The result show that could reduce energy consumption by 40%, this represented a reduction in power consumption. Subsequently, measurements were performed in areas of use to check the results of the intensities encountered and the results were verified with simulations. It was shown that this analysis tool is of great benefit to the efficient use of energy and contribute to energy sustainability.

Lighting, luminaire, sustainability

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jserrano@iteshu.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad el consumo de energía eléctrica en las edificaciones mediante luminarias se encuentra entre el 18% y 20% del consumo total, es por eso que la importancia de una correcta ubicación y selección de luminarias impactará de forma directa en el consumo de energía en la vivienda o edificio. Se han reportado algunos estudios que nos permiten conocer la cantidad de iluminación recomendada para cada área de acuerdo a las actividades que se realizarán en dicho lugar. Es por eso que se llevó a cabo un estudio de iluminación en una biblioteca utilizando el software Dialux, con el fin de realizar un análisis de las luminarias por zonas dando cierta prioridad a las áreas destinadas a estudios, lectura y donde se encuentran los acervos de dicha edificación. En este artículo se abarcará el levantamiento arquitectónico de la edificación y su exportación al software de simulación de luminarias.

Levantamiento arquitectónico de la edificación sobre la que se realizaría el análisis

La edificación se encuentra en el estado de Hidalgo en el municipio de Huichapan, la edificación es una biblioteca y para su análisis se realizó un levantamiento arquitectónico de la estructura. Para la exportación del levantamiento al software fue necesario dibujarlo en un software de tipo CAD, en el cual, se dibujaron los planos de la planta baja y la planta alta por separado. Con las medidas obtenidas en el levantamiento se realizaron los planos eléctricos de dichas plantas, así como, un plano con la distribución de los objetos que se encuentran en cada planta. En las Figuras 1 y 2 se muestran los planos arquitectónicos de la planta baja y planta alta, respectivamente.

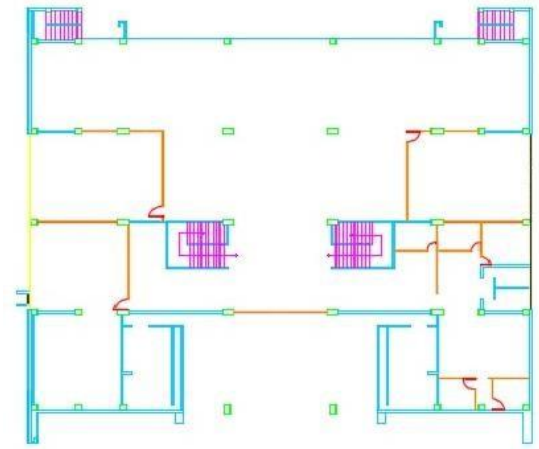


Figura 1 Plano de planta baja.

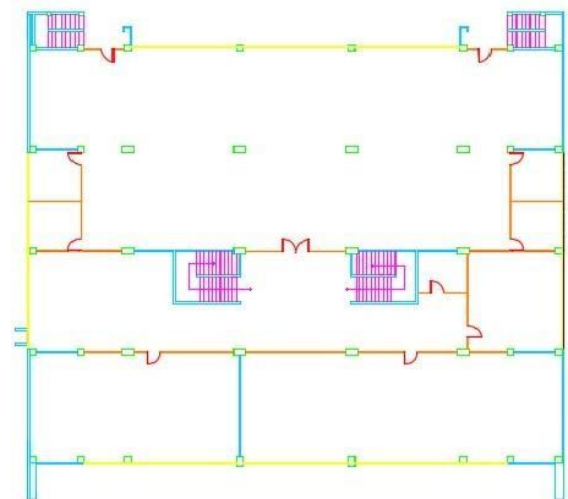


Figura 2 Plano de planta alta.

Exportación a software de simulación

Los planos fueron exportados a un software de simulación (Dialux) donde se trabajó para su renderización en 3D, una vez hecho esto se colocaron los muebles para que los resultados sean los más parecidos a los reales. La selección de las luminarias se realizó mediante una investigación donde se determinó que las lámparas led son más óptimas por su bajo consumo de potencia eléctrica. Debido a lo anterior, se procedió a colocar las lámparas en la edificación para una mejor distribución de la intensidad luminosa por área considerando las normas oficiales mexicanas NOM-025-STPS- 2008 y NOM-007-ENER-2014.

En estas normas oficiales se esclaren los niveles aceptables de luxes, medida de intensidad luminaca, como se muestra en la

Area de trabajo	Tarea a realaizar	Niveles minimos de iluminacion
Requerimiento visula simple.	Almacenaje rudo, recepción y despacho.	200
Distincion moderada de detalles.	Aulas y oficinas.	300
Distincion clara de detalles.	Salas de cómputo, áreas de dibujo y laboratorios.	500
Distincion fina de detalles.	Talleres de alta precisión.	750

tabla 1.

Tabla 1 Requerimiento minimos de iluminacion por área de trabajo.

Como se muestra en la tabla anterior, se debe contar con entre 300 y 500 luxes para áreas dedicadas a estudios, así como, centros de cómputo. En la Figura 3 se muestra la edificación en 3D.

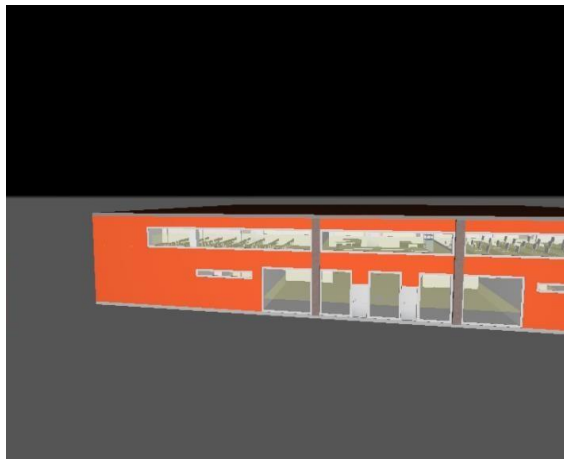


Figura 3 Visualizacion en 3D de la edificación. Resultados

La edificación contaba con la cantidad de 450 lámparas de tipo incandescente las cuales tenían un consumo de 32 W, por lo que, para la evaluación se usaron lámpara de tipo de led con una potencia similar, 31 W.

En la Figura 4 se puede apreciar la distribución de las luminarias tipo led en la planta alta, donde se encuentra el área de lectura de la biblioteca y el centro de cómputo.

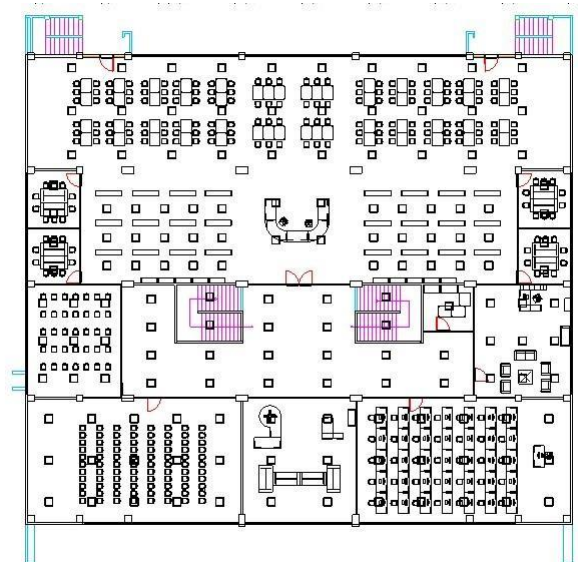


Figura 4 Planta alta con la nueva distribución de luminarias led.

Se colocaron 287 luminarias led para la prueba, el resultado que se obtuvo quedo dentro de los parámetros que marca la norma oficial mexicana que son de 400 luxes en el área de estudio y arriba de 500 luxes, para el centro de computo. En la Figura 5 se muestra el área de estudio de la biblioteca y en la Figura 6 se muestra el centro de cómputo, ambos vistos con el software Dialux.

Resultado un ahorro del 40% del consumo eléctrico de la edificación



Figura 5 Visualización del área de estudio a través del software



Figura 6 Visualización del centro de cómputo a través del software

Con estos resultados se hizo un análisis del ahorro energético que estas nuevas luminarias generaron con respecto a las actuales, para ello, se utilizó la Ecuación (1).

$$P_{tm} = (T_{lum}) \times (P_{KW}) \times (H_u) \times (D_u) \quad (1)$$

Donde: P_{tm} es la potencia total de consumo, T_{lum} es el total de luminarias de la edificación, P_{KW} es la potencia de las luminarias en kW, H_u son las horas de uso diario y D_u es la cantidad de días que se usan al mes.

Con esta ecuación se obtuvo que el total de potencia de consumo en kW de la edificación con las luminarias previas a la prueba fue de 1382.4 kW, y para las luminarias led con el mismo periodo de tiempo fue de 854.112 kW. Los datos mensuales anteriores se multiplicaron por la tarifa que CFE cobra por consumo para el resultado un ahorro del 40% del consumo eléctrico de la edificación

Agradecimiento

Al Instituto Tecnológico Superior de Huichapan y a la Universidad Guares Autónoma de Tabasco por el apoyo y las facilidades para la realización de este trabajo.

Conclusiones

Por medio de esta investigación se pudo comprobar que la selección y ubicación correcta de luminarias para las distintas zonas que se encuentran en nuestro hogar o área de trabajo generará un significativo ahorro de consumo de energía eléctrica. Los resultados obtenidos en este trabajo nos indican que es factible respaldarnos con los distintos softwares de simulación de luminarias que existen en la actualidad, ya que gracias a ellos podemos obtener análisis de luminarias y saber de qué forma se podría beneficiar su adecuada distribución en las edificaciones.

Referencias

NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.

Estudios de psicología ambiental en hospital general de Huichapan: elementos sensoriales y bioclimáticos

MAGOS-RAMÍREZ, Sergio*†, SERRANO-ARELLANO, Juan, DÁVILA-NÚÑEZ, Milka' y TREJO-TORRES, Zaira.

División de Arquitectura, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan-ITESHU-TecNM. Dom. Conocido S/N, El Saucillo, Huichapan, Hgo, México. C.P. 42411.

'Departamento de Psicología, Universidad Superior Bajío, Álvaro Obregón # 307, Zona Centro, Celaya Gto. México. C.P. 38000.

Recibido Octubre 14, 2016; Aceptado Noviembre 7, 2016

Resumen

El presente artículo muestra una investigación a través de una de las más recientes ramas de la psicología, la psicología ambiental, abordando el estudio de los Hospitales. Puesto que la mayoría de este tipo de inmuebles ejerce problemas psicológicos y físicos sobre los usuarios (trabajadores y pacientes) afectando en la realización de sus actividades, recuperación de enfermedades y consigo directamente en la calidad de vida. Por ello se maneja la integración de arquitectura y psicología, como una forma de estudiar los factores determinantes de los problemas psicológicos en los hospitales, así como generar propuestas que solucionen dichos problemas por medio de la implementación de elementos arquitectónicos como: la funcionalidad, la psicología del color, el manejo de materiales y elementos naturales. Los cuales permitirán crear espacios idóneos para los usuarios adentrándolos en atmósferas confortables y de bienestar emocional, influyendo así positivamente en los procesos de recuperación y actividades laborales. De esta manera podrán mejorarse muchos de los inmuebles Hospitalarios, que para la mayoría de la sociedad son espacios de desagrado, estrés, ansiedad, frustración e inasistencia médica.

Psicología ambiental, propuestas alternativas, relación hombre, contexto

Abstract

The present article shows an investigation across one of the most recent branches of the psychology, the environmental psychology, approaching the study of the Hospitals. Since the majority of this type of real estate exercises psychological and physical problems on the users (workers and patients) concerning in the accomplishment of his activities, recovery of diseases and with it directly in the quality of life. For it one handles the integration of architecture and psychology, as a way of studying the determinant factors of the psychological problems in the hospitals, as well as to generate proposed that they should solve the above mentioned problems by means of the implementation of architectural elements as: the functionality, the psychology of the color, the managing of materials and natural elements. Which will allow creating suitable spaces for the users them entering in comfortable atmospheres and of emotional well-being, influencing this way positively the processes of recovery and labor activities. Hereby there will be able to be improved many of the hospitable real estate, which for the majority of the company are spaces of displeasure, stress, anxiety, frustration and medical nonattendance

Environmental psychology, alternative offers, relation man, contex

Citación: MAGOS-RAMÍREZ, Sergio, SERRANO-ARELLANO, Juan, DÁVILA-NÚÑEZ, Milka y TREJO-TORRES, Zaira. Estudios de psicología ambiental en hospital general de Huichapan: elementos sensoriales y bioclimáticos. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 52-67

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jserrano@iteshu.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los Hospitales, centros médicos y la medicina han sido desde sus inicios una herramienta utilizada para combatir en gran medida las enfermedades físicas, con la finalidad de propiciar el íntegro desarrollo y crecimiento personal del individuo, así como su calidad de vida.

En la actualidad existen altos niveles de déficit de asistencia y atención respecto a los usuarios que hacen uso de los diferentes establecimientos sanitarios, a causa de diversos factores ambientales que intervienen en el desempeño laboral, dando como resultado una desventaja en el bienestar físico y mental de los ocupantes. Esto significa un principio en el desarrollo de los diversos problemas psicológicos y enfermedades físicas en las personas. Así pues, se reconoce que los aspectos psicológicos, así como sus variaciones y afectaciones alteran el funcionamiento del organismo y la salud fisiológica, perturbando el comportamiento y los estados de la mente, de modo, que el desequilibrio de los aspectos que conforman al ser humano desembocan directamente en problemas de salud y en relación social con los demás.

Por lo tanto se realizó un estudio en el Hospital General de Huichapan, con la finalidad de identificar los factores estresantes existentes, y así mismo dar propuestas de solución por medio de elementos naturales, perceptivos y arquitectónicos, para mejorar la relación y calidad de vida de los ocupantes respecto al entorno inmediato.

Si las propuestas que se proponen dan resultados satisfactorios, satisficieran las necesidades de los usuarios, y mejorarán la calidad de vida de los mismos por medio de elementos arquitectónicos desde un enfoque psicológico.

Psicología Ambiental

Definir a la psicología ambiental no es una tarea fácil, ya que numerosas han sido las revisiones y aportaciones en dicha área (Craik, 1973; Stokols, 1978; Canter y Craik, 1981; Rusell y Ward, 1982 y Holahan, 1986) entre otros teóricos. Por lo cual no han llegado a unificar un criterio. Sin embargo el área de la investigación psicológica destaca en el estudio de aquellas transacciones que los individuos tienen con respecto al ambiente socio-físico en el que se desarrollan, ya sea de índole natural o construido por el hombre.

Existen cuatro características principales que considera la Psicología Ambiental, las cuales nos ayudan a comprender más el término.

- Tratado del ambiente ordenado y definido por el hombre.
- Nace de los apremiantes problemas sociales.
- Es de naturaleza multidisciplinaria.
- Incluye el estudio del hombre como parte de todo problema.

“La psicología ambiental es el área de la psicología interesada en proveer de un manejo sistemático las relaciones entre el hombre y su ambiente-conducta”, Rusell y Ward (1982).

Canter y Craik (1982) por su parte la definen como “el área de la psicología que agrupa y analiza las transacciones e interrelaciones de las experiencias humanas y sus acciones con aspectos pertinentes del entorno socio-físico”.

Evolución Histórica de la psicología ambiental

En la actualidad se ha considerado a la Psicología Ambiental como una nueva disciplina. No obstante, el peculiar interés por estudiar las relaciones que existen entre las personas y sus entornos no es reciente.

La prehistoria de la psicología ambiental se remonta a finales de los años 40 y los 50s cuando algunos geógrafos en Norteamérica (Lowenthal, 1967), psicólogos y sociólogos en La Gran Bretaña (Langdon, 1963, Chapman y Thomas, 1944) respondieron a la influencia política de la democracia social comenzaron a examinar las concepciones de la gente sobre su entorno físico.

Aunque se considera que los primeros intentos de estudiar cómo afecta el medio físico en la conducta, se muestran en los estudios realizados por Roethlisberger y Dickson en 1930 en el que se exploró sobre aspectos de diseño ambiental como los efectos de la luz y otros, sobre la conducta de las personas. A partir de este momento los ingenieros y arquitectos se interesaron en explorar las relaciones entre el medio ambiente y el comportamiento humano a través de sus diseños. (Aragonés y Américo, 2002).

En 1947, dos Psicólogos de la Universidad de Kansas, fundaron la estación psicológica en Midwest, Kansas, con una población de 800 personas. El objetivo era saber en que formas las situaciones ambientales del mundo real afectan la conducta de las personas con un especial interés en la conducta.

Los dos predecesores de mayor influencia de la Psicología Ambiental son: Brunswik, quien utilizó por primera vez el termino de Psicología Ambiental y destaco el papel de las personas en la estructuración de la percepción del ambiente, y Kurt Lewin, quien valoró la representación interna que las personas tienen del ambiente para moverse en a través del espacio vital. (Aragonés y Américo, 2002).

Pero no fue sino por los trabajos de Barker y Wright (1955) y Mintz (1956) que apareció el nombre de Psicología Ambiental a finales de los 50s y comienzos de los 60s reconociéndose como un aspecto potencialmente particular de la Psicología. Entrada la década de los años 60, la investigación, especialmente en Estados Unidos, se centra en los llamados "case studies". Como destaca Gifford (1987) ya a finales de los 50 Sommer y Osmond empiezan a estudiar sistemáticamente como la alteración de elementos físicos en los edificios producen efectos sobre la conducta de sus ocupantes: redistribuyendo el mobiliario y rediseñando las salas de hospitales geriátricos y psiquiátricos observaron como se incrementaba la comunicación entre los pacientes (Osmond, 1957; Sommer y Ross, 1958). Al mismo tiempo, Sommer (1959) empieza sus estudios sobre el espacio personal. Posteriormente, Ittelson, Proshansky y Rivlin (1976) realizan estudios similares en un hospital para pacientes mentales.

Conjuntamente, durante la década de los sesenta y principios de los setenta, se desarrollan conferencias y se publican revistas en las cuales se habla de una psicología del medio construido o de la arquitectura más que de una psicología ambiental específicamente.

Posteriormente se consolida el término de Psicología Ambiental como una disciplina compuesta de varios campos activos, definiéndola como un campo interdisciplinario, y se asumen términos como Psicología de la Arquitectura y Psicología Ecológica. (Aragón y Américo, 2002).

Pero es en la década de los 70 que la Psicología Ambiental experimenta su expansión más espectacular. Siguiendo a Stokols (1995), este período se caracteriza por un esfuerzo de formular nuevas aproximaciones tanto en el plano teórico como metodológico para explicar la complejidad de las relaciones entre la gente y sus entornos. Es en esta misma década que el Instituto de Estudios de Administración local y algunas Ediciones Privadas en el área de Arquitectura jugaron un importante papel en la transformación de diseños ambientales.

Enric Pol, 1992; mencionó que ahora la Psicología Ambiental lucha por un perfil profesional para tener la facultad de examinar de que manera la unión entre los arquitectos y los psicólogos ambientales son de utilidad para la sociedad y sus posibles consecuencias. Estas aportaciones son un terreno especial de la Psicología Ambiental principalmente en: Ambientes escolares, residencias, prisiones y hospitales.

Relaciones Hombre – Entorno

Hall (1981,1998) fue el primer estudioso en identificar el término de proxémica o concepto de los espacios interpersonales. Dicho concepto fue introducido para efectos de describir las distancias subjetivas que rodean a una persona, las que pueden ser objeto de mediciones para determinar los tipos de espacios que deben ser respetados mientras los individuos interactúan entre sí.

En definitiva, el espacio vital puede definirse como aquel conjunto de hechos y circunstancias que determinan el comportamiento de un sujeto dado en un momento determinado. Este espacio contendría al individuo mismo, los objetivos que busca realizar, los factores negativos que trata de eludir, así como las barreras que restringen y limitan sus movimientos, o bien, los caminos que debe seguir para lograr alcanzar aquello que desea. Si bien a diferencia de lo que plantea Hall, algunos investigadores han establecido que el espacio vital no debe ser confundido con el espacio geográfico o físico, sino que debe ser visto como el mundo tal cual éste afecta a la persona, no deja de ser cierto que existen elementos comunes en ambos enfoques que influirán de una u otra forma sobre el comportamiento final del individuo.

La calidad del ambiente es determinada por el conjunto de juicios que se elaboran a partir de la percepción que tenga del medio circundante. Las imágenes incorporan ideales, la gente confronta la realidad con estas imágenes y evalúan la calidad ambiental a partir de aquellos ideales. Las personas analizan los estímulos, gracias aquellos esquemas cognitivos; estos esquemas están influenciados por las experiencias previas, por los niveles de adaptabilidad aprendidos y por la cultura porque no poseen algunas características específicas (Flachsbart y Peterson, 1973; Ladd 1972 citado en Rapaport 1978).

Psicología y Arquitectura

No cabe duda alguna que la ciencia de la psicología puede jugar un rol en todo proyecto arquitectónico, por cuanto el arquitecto y/o diseñador están en la labor de crear los diversos ambientes que pueden influir en los estados de ánimo de las personas o usuarios de estos espacios, sin importar si éstos están destinados a intereses privados, públicos o institucionales.

Así como es cierto que toda obra arquitectónica permite inferir las emociones que embargaban al autor en el momento de su creación, del mismo modo se hace necesario que el proyecto definitivo de una obra permita reflejar la personalidad de los futuros ocupantes de la misma, es decir, que ellos sientan que ese espacio es parte de ellos mismos, de que es su espacio.

Los arquitectos y urbanistas han sido fundamentales para el desarrollo de la Psicología Ambiental, de la cual aparece el término de Psicología Arquitectónica, el cual es relativamente nuevo. Sin embargo, los aspectos prácticos que se relacionan con la disciplina han sido considerados y aplicados desde los inicios de la arquitectura, ya que la arquitectura indudablemente tiene efectos psicológicos en las personas, esto se refleja en el simple hecho de que las personas están en continua relación con la arquitectura, y la manera en que la perciben, la recorren y la habitan tiene vínculos directos con aspectos psicológicos.

Además, el aporte del tema para el desarrollo del proyecto es importante ya que existen varios estudios, estrechamente relacionados con esta disciplina, en los cuales se han analizado distintos ambientes educativos, penitenciarios, hospitalarios, entre otros, donde se observado los efectos terapéuticos del diseño y plantean estrategias que facilitan la adaptación de los usuarios al ambiente físico, generando una reacción que estimula o evita ciertos comportamientos a través del diseño del edificio.

Efectos psicológicos en los usuarios Estrés

El estrés es un proceso que se origina cuando las demandas ambientales superan la capacidad adaptativa de un organismo. Esto puede dar lugar a cambios biológicos y psicológicos, que a su vez pueden ser causantes de enfermedades.

La adaptación al estrés es la respuesta del organismo, tanto fisiológica como emocional, para intentar paliar los efectos del estrés, y supone cambios en el individuo. Las diferentes respuestas que puede tener el individuo ante el estrés se pueden agrupar en dos campos: psicológico y biológico.

Los agentes estresantes se presentan en los diversos ámbitos en los que el individuo esta inmerso, siendo estos de carácter familiar, social, laboral y personal. No obstante el estrés laboral es un de los factores significativos en el desarrollo de problemas psicológicos y fisiológicos en el ser humano.

Consecuencias del estrés Alteraciones físicas:

a) Alteraciones digestives

- Úlcera de estómago
- Colon irritable
- Dispepsia funcional
- Colitis ulcerosa
- Aerofagia

b) Alteraciones respiratorias

- Hiperventilación
- Disnea
- Asma psicógena
- Sensación de ahogo

c) Alteraciones nerviosas

- Pérdida de memoria
- Cefaleas
- Insomnio

- Astenia
- Ansiedad
- Cambios de humor
- Aumento de consumo de drogas sociales.
- Depresión

Ansiedad

La mayoría de las personas han experimentado ansiedad alguna vez. Lejos de ser algo completamente negativo, la ansiedad permite que el organismo se ponga en alerta y active todos sus mecanismos de defensa ante una situación determinada. La ansiedad se convierte en patológica cuando altera el comportamiento del individuo, de tal manera que deja de ser una reacción defensiva para convertirse en una amenaza que el individuo no puede controlar.

La situación de hospitalización genera un gran estrés, que se manifiesta como un elevado índice de ansiedad. Los agentes estresantes o desencadenantes de la ansiedad en el paciente en este caso serían:

La enfermedad y la hospitalización: Las expectativas con respecto a los cuidados, tratamientos e intervenciones a las que tiene que ser sometido. Esta ansiedad, en un principio, prepara al individuo para la acción a la hora de enfrentarse a un peligro, y muchas veces esta respuesta puede ser clave: el organismo segrega adrenalina y aparecen las sensaciones corporales propias de la ansiedad. En este momento, la respuesta al estrés facilita la ejecución de cualquier acción, si bien la respuesta varía de unas personas a otras.

La relación entre la percepción del ser humano y los elementos arquitectónicos

Los espacios arquitectónicos siendo estos de cualquier índole, están caracterizados y representados por una serie de elementos intangibles, físicos, perceptuales y naturales. Estos elementos son de suma importancia para el Arquitecto o Diseñador en el proceso de la proyección arquitectónica, pues la manera en la que se integrarán nos permitirá crear diversos tipos de ambientes para quienes harán uso de los mismos, ahondando específicamente en satisfacer sus necesidades tanto físicas como psicológicas.

La percepción de las formas

El Arquitecto es el encargado de diseñar y concebir formas que personalizarán un significado interno para el sujeto, afectando de manera positiva o de manera negativa en él. Las formas producen ciertas sensaciones estando dentro del subconsciente de cada persona, un espacio arquitectónico puede establecer sensaciones de seguridad, confortabilidad e incluso inestabilidad dependiendo cuanto se sienta identificado el individuo con las formas arquitectónicas, haciéndolas suyas.

La percepción visual es aquel proceso constructivo de imágenes por el cual el ser humano tiene la capacidad de organizar las sensaciones y captar conjuntos y formas llenas de sentido. Es la manera en la que se mantiene e interpreta la información que se ha recibido a través de los sentidos. La percepción visual es importante ya que permite llevar las sensaciones que percibe cada individuo de lo visual a lo táctil, a lo físico. La variedad de sensaciones que se presentan al observar se puede organizar en grupos. Así se puede obtener que los elementos arquitectónicos y urbanos puedan segregarse, agruparse y organizarse de acuerdo a las cualidades que presentan al ser percibidos, asegurando su identidad y estructura formal.

La psicología del color

La psicología del color es un estudio que habla sobre el comportamiento y la conducta que asume inconscientemente nuestro cerebro al percibir los colores.

Existe un acuerdo general sobre el hecho de que cada uno de los colores posee una expresión específica desde el punto de vista psicológico. El color dadas sus cualidades permite ser empleado como un medio de expresión puesto que pronuncian estados anímicos y emociones de muy concreta significación psíquica, también ejercen acción fisiológica, por lo tanto son un medio conductor de sensaciones, emociones, sentimiento y deseos.

Los materiales y las sensaciones

La importancia de los materiales va mucho más allá de su empleo y manejo en la construcción, y esto se debe a que portan consigo ciertas cualidades sensoriales en diversos niveles que el ser humano puede detectar con sus sentidos. De esta manera aportan un gran beneficio a la Arquitectura, pretendiendo aprovechar las proyecciones sensoriales de los productos en los diferentes espacios en los que habita el ser humano. Contribuyendo a mejorar la calidad del ambiente arquitectónico desde su concepción, pues nunca antes se han manejado desde el punto perceptivo sensorial del ser humano.

Por lo tanto puede suponerse que los materiales tienen identidad, considerando sus capacidades de transmitir, comunicar, hacer sentir y de permitir experimentar experiencias sensibles. Un amplio número de materiales poseen características olfativas, visuales, táctiles y auditivas, además de que es posible dotarlos con texturas, formas, olores, colores, etc., con lo que es posible darles una imagen más humana, emocional y personal.

Los elementos naturales

Numerosos hallazgos psicológicos han mostrado que los seres humanos se sienten atraídos y responden con preferencias estéticas positivas ante configuraciones específicas del entorno natural. Árboles, agua, vegetación, piedra y paisajes abiertos reducen el estrés y mejoran el rendimiento.

Vegetación: La presencia de vegetación y jardines en los diseños arquitectónicos son un componente esencial ya que sus efectos psicológicos permiten generar ambientes que mantienen en el ser humano un equilibrio físico y mental. Es una herramienta importante en la mejora de la calidad de vida. Además se relacionan con conceptos de bienestar, salud o incluso poder económico, por sus beneficios físicos, psicológicos y ambientales, también aportan carácter estético a los espacios. Su implementación comprende un rol fundamental para promover experiencias y sensaciones en el individuo.

El olor: La percepción del olor provoca conductas de carácter emocional, muchas veces inconscientes, las sensaciones olfativas provocan a menudo una respuesta directa traducida en una determinada conducta.

Los aromas tienen una influencia relevante en el confort de los ambientes en los que se habita, este elemento crea una perfecta armonía con el manejo de jardines y presencia de agua. Por lo tanto su presencia se denota en la integración de materiales naturales o artificiales, y dependerá estrechamente del espacio arquitectónico, puesto que será uno de los elementos que caracterizará el ambiente interior o exterior.

El sonido: Los sonidos poseen atributos y propiedades, las cuales afectan positiva o negativamente en el ámbito fisiológico así como en el afectivo emocional. Considerar el sonido como un elemento integral en la arquitectura permite aplicar sus cualidades correctamente en los espacios arquitectónicos.

Caso de estudio Hospital General de Huichapan Hgo

El establecimiento a analizar se encuentra ubicado en Huichapan Hidalgo, localizado aproximadamente a 5km del centro de la ciudad de Huichapan, en las coordenadas: Longitud 99°42'; latitud norte 20°23'; altitud 2,085 msnm.

Edificación

- Tipo de edificación: Colonial
- Numero de pisos: Un piso
- Material constructivo predominante: Block y Cemento
- Año de construcción del Hospital: 1999- 2001
- Área del terreno: 5,900m²
- Área construida: 2,200m²
- Porcentaje de áreas libres disponibles: 25% de área disponible.

Mediante de un recorrido autorizado por la Ing. Cristina Suarez encargada del área de mantenimiento del hospital, se conocieron las instalaciones del inmueble, con la finalidad de que se estudiaran y analizaran las condiciones actuales de los diversos espacios que conforman la edificación.

Dicho recorrido aportó los elementos y herramientas básicas para generar las encuestas, las cuales permitirán identificar y evaluar los diferentes factores estresores existentes en el inmueble, así como los diversos niveles de relación existentes entre el ser humano y su entorno físico inmediato, perteneciente al proyecto de Psicología Ambiental.

De igual manera se realizó el levantamiento arquitectónico del Hospital, con la finalidad de ubicar las distribuciones, relaciones y dimensiones de los espacios que lo conforman.

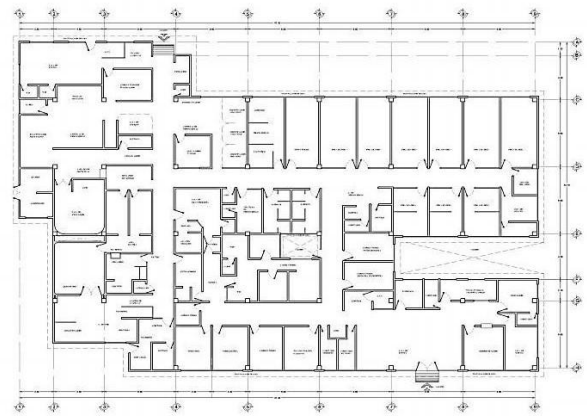


Figura 1 Plano Arquitectónico del Hospital General de Huichapan, Fuente propia.

Una vez realizado el análisis del inmueble se consideró que los factores estresantes más notables son la inadecuada iluminación y ventilación natural en el interior, la monotonía en los colores, y la falta de atención médica, derivada de dichos factores. Lo que provoca reacciones negativas de los individuos afectando sus condiciones emotivas y conductuales, ya que los ocupantes adoptan un ambiente de irritabilidad, molestia y estrés.

Encuesta de satisfacción.

Se realizó el levantamiento de información mediante un cuestionario para comprobar algunos datos sobre los usuarios y el personal que labora en el Hospital General Huichapan, el tema de psicología ambiental no es muy común dentro del ámbito hospitalario es por tal motivo que esta investigación se volvió de gran importancia.

Las encuestas fueron realizadas en el Hospital General de Huichapan Hgo., a usuarios en diversas horas y días de la semana, así como al personal de diversas edades que labora en esta misma institución. De esta manera se conocerán las condiciones ambientales y arquitectónicas del Hospital, las relaciones entre el personal y la percepción que estos tienen respecto a su entorno inmediato, así como los efectos psicológicos que manifiesta el ambiente sobre los usuarios.

Áreas analizadas

- Anestesiología
- Camilleros
- Cirugía
- Dirección
- Farmacia
- Laboratorio
- Pediatría
- Psicología
- Intendencia y vigilancia
- Recursos humanos
- Trabajo social
- Urgencias

Encuesta realizada a pacientes y usuarios, resultados:

1. Considera que el Hospital es:

- a) Grande b) Pequeño

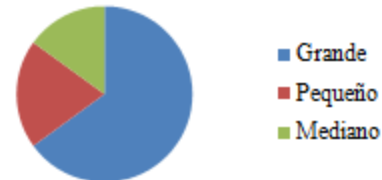


Gráfico 1 Resultados pregunta 1 (Usuarios).

2. La sala de espera me parece que es:

- a) Agradable b) desagradable

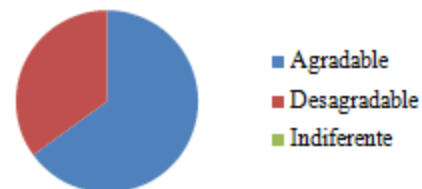


Gráfico 2 Resultados pregunta 2 (Usuarios).

3. El color de las paredes de los pasillos me parece:

- a) Agradable b) Desagradable

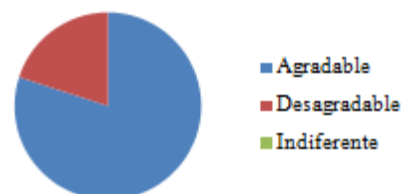


Gráfico 3 Resultados pregunta 3 (Usuarios).

4. El color del piso de los pasillos es:

- a) Agradable b) Desagradable

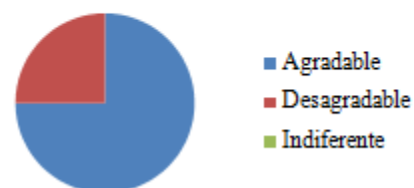


Gráfico 4 Resultados pregunta 4 (Usuarios)

5. La iluminación de los pasillos es:

- a) Optima b) Insuficiente

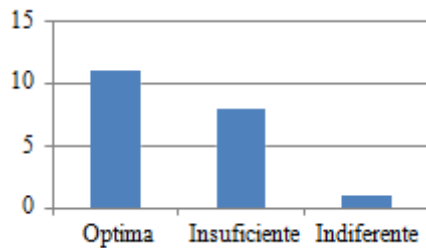


Gráfico 5 Resultados pregunta 5 (Usuarios).

6. Considera que el nivel de ruido que se genera dentro de las instalaciones del hospital es:

- a) Alto b) Bajo

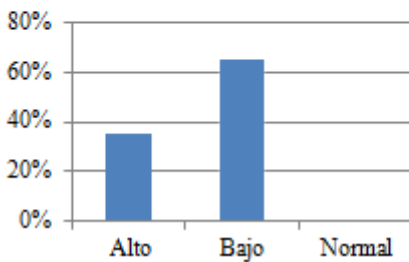


Gráfico 6 Resultados pregunta 6 (Usuarios).

7. En el Hospital existe un lugar de descanso:

- a) Cierto b) Falso



Gráfico 7 Resultados pregunta 7(Usuarios).

8. ¿Qué tipo de emociones considera que le provoca los espacios abiertos dentro del Hospital?

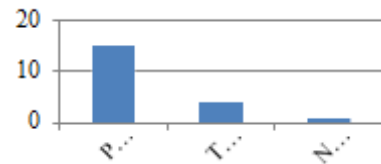


Gráfico 8 Resultados pregunta 8 (Usuarios)

9. Considera que la temperatura dentro d inmueble es:

- a) Adecuada b) Inadecuada

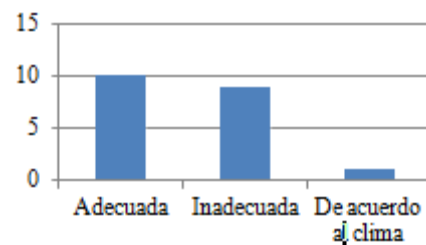


Gráfico 9 Resultados pregunta 9 (Usuarios).

10. La atención que se le brinda dentro es:

- a) Eficiente b) Ineficiente

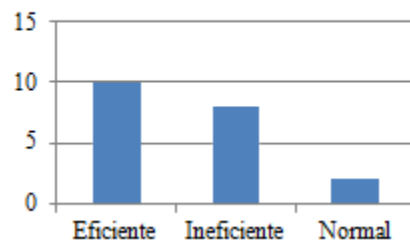


Gráfico 10 Resultados pregunta 10 (Usuarios)

11. Estando dentro de las instalaciones, puede experimentar algunos síntomas como:

- a) Dolor de cabeza b) Enojo c) Mareo
d) Irritabilidad e) Nauseas f) Ninguno

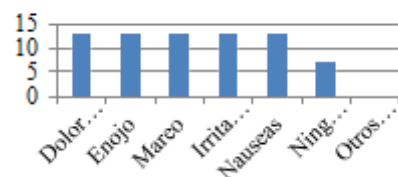


Gráfico 11 Resultados pregunta 11 (Usuarios).

Encuesta realizada a trabajadores del Hospital, resultados:

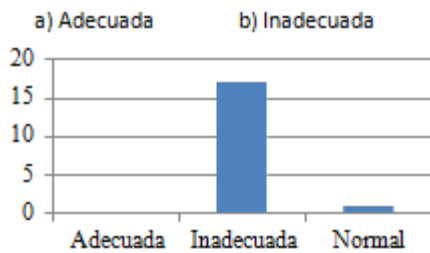


Gráfico 12 Resultados pregunta 1 (Trabajadores).

2. El diseño de la Oficina me permite:

- a) Un fácil desplazamiento
- b) Un difícil desplazamiento

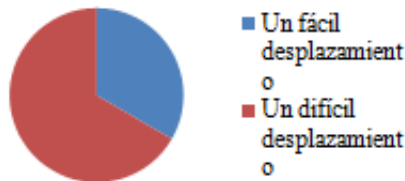


Gráfico 13 Resultados pregunta 2 (Trabajadores).

3. El mobiliario que se encuentra dentro de la oficina es:

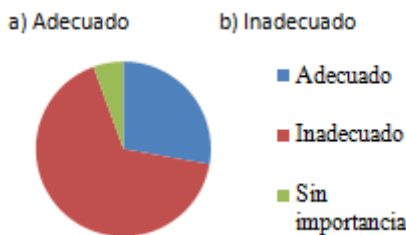


Gráfico 14 Resultados pregunta 3 (Trabajadores).

4. En el exterior de la oficina se genera un nivel de ruido:

- a) Alto
- b) Bajo

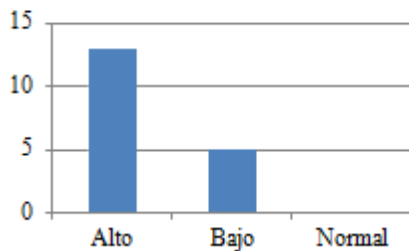


Gráfico 15 Resultados pregunta 4 (Trabajadores).

5. El aire que se respira en las instalaciones se siente:

- a) Puro
- b) Contaminado

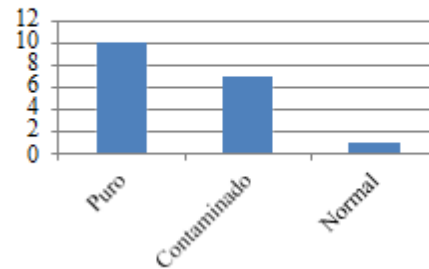


Gráfico 16 Resultados pregunta 5 (Trabajadores).

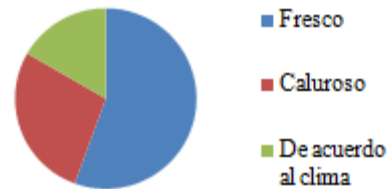


Gráfico 17 Resultados pregunta 6 (Trabajadores).

6. La temperatura que prevalece dentro de la oficina es:

- a) Fresco
- b) Caluro

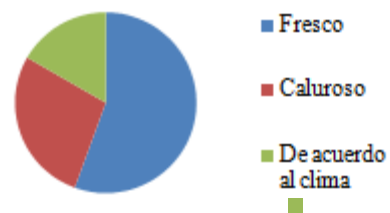


Gráfico 18 Resultados pregunta 6 (Trabajadores).

7. Considera que la iluminación es:

- a) Suficiente
- b) Insuficiente



Gráfico 19 Resultados pregunta 7 (Trabajadores).

8. El color de las Instalaciones me parecen:

- a) Agradable b) Desagradable

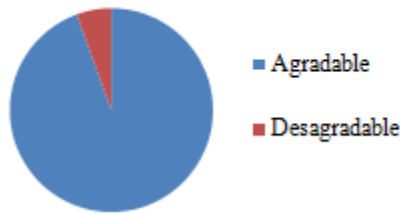


Gráfico 20 Resultados pregunta 8 (Trabajadores).

9. La ventilación dentro de la oficina es:

- a) Adecuada b) Inadecuada

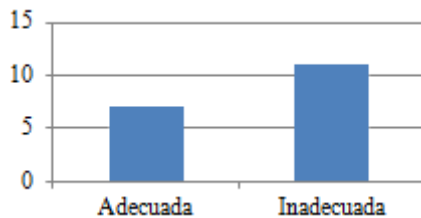


Gráfico 21 Resultados pregunta 9 (Trabajadores).

10. En el Hospital el servicio de mantenimiento es:

- a) Eficiente b) Ineficiente

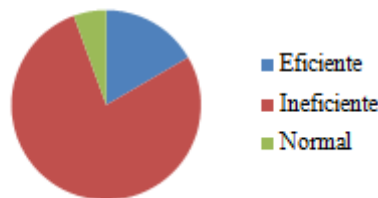


Gráfico 22 Resultados pregunta 10 (trabajadores)

11. En mi opinión las características físicas y arquitectónicas del hospital (color, iluminación, diseño, etc.) influyen en mi trabajo de forma:

- a) Alta b) Baja

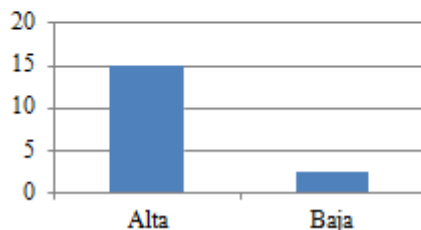


Gráfico 23 Resultados pregunta 11 (Trabajadores).

12. En algunas ocasiones puedo experimentar algunas reacciones a causa de la carga de trabajo como:

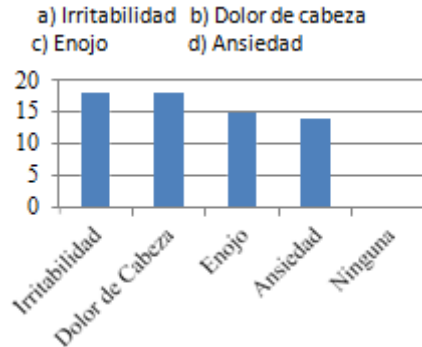


Gráfico 24 Resultados pregunta 12 (Trabajadores).

La aplicación de las encuestas nos ayuda a tener un panorama general de como las personas perciben el Hospital. Aunque algunos de los resultados nos arrojaron datos positivos, las personas que hacen uso del inmueble muestran inconformidad y frustración hacia el mismo, incluyendo el personal que labora en las diversas áreas.

Por lo tanto se accedió a intervenir con algunas propuestas de solución, para las áreas más críticas del Hospital General de Huichapan. Con la finalidad de propiciar a los usuarios

Propuestas de solución

Consultorio: En muchas de las áreas concernientes al Hospital logra notarse una gran falta de organización del mobiliario. El desorden significa caos, y el caos impide la correcta realización de las actividades para las que esta destinado un espacio. Conllevando a un ambiente estresante para los trabajadores del Hospital, quienes desembocan dicho estrés en su salud física y psicológica, asimismo reflejan la problemática en su trato con los usuarios y la ejecución de sus labores diarias.



Gráfico 25 Fotografía de consultorio.



Grafico 26 Propuesta de solución para Consultorio.

Con ayuda de la antropometría, la percepción de los espacios y la organización se pretende adentrar los espacios en atmósferas apropiadas que ayuden a los usuarios a mejorar las actividades que ejercen.

El manejo de los colores claros como el color beige en muros y blancos en pisos permite generar una percepción de amplitud, además permite potenciar la luz natural del exterior. Este tipo de acabados dotan de carácter y ánimo al consultorio, significando para el paciente y el trabajador tranquilidad y limpieza.

Oficinas: En las oficinas continuamos viendo gran cantidad de material y mobiliario innecesario, este tipo de ambiente evoca gran frustración en los trabajadores. Los colores azules están catalogados dentro de los colores fríos, estos generan en mayor cantidad sensaciones de melancolía, depresión y reserva.

Las oficinas con estas características parecen ser más pesadas y oscuras.

En general los colores azules son relajantes y tranquilos, se aconseja utilizarlos en espacios que requieran una especial relajación. Por lo tanto resulta ser una pésima cualidad en espacios dedicadas a la labor como las oficinas.



Grafico 27 Fotografía de Oficina.



Grafico 28 Propuesta de solución para Oficina

Se recomienda utilizar colores cálidos en las oficinas que sugieran amabilidad, vitalidad y estabilidad emocional. Los colores verdes son tranquilos, propician el desarrollo de las actividades y luminosidad.

Está comprobado que los trabajadores que laboran en un ambiente de este tono tienen menos dolores de estómago. Sin embargo, el efecto del verde depende mucho de su tonalidad; los tonos profundos evocan abundancia, mientras que los claros, calman.

Generalmente los colores verdes recuerdan la vegetación y el mundo natural, invitando a la reflexión. De igual manera de hace contraste en colores en materiales y colores, añadiendo en menor cantidad un muro con acabado en recinto o piedra, de una tonalidad café claro, denotando una gran decoración resaltando la forma del espacio.

Puede jugarse positivamente con las sensaciones del ser humano, integrando texturas en los diversos acabados de un espacio.

Área de camillas: El área de camilleros debe ser un ambiente tranquilo y de relajación que permita al paciente sentirse tranquilo y cómodo. Sin embargo siempre están constituidos por colores blancos en su totalidad, siendo monótonos e induciendo a la preocupación.

Este tipo de contextos retiene al paciente en su proceso de recuperación, incluso puede llegar a generarle otros problemas comenzando con problemas psicológicos como la ansiedad y la depresión, afectando su calidad de vida.



Gráfico 29 Fotografía de área de Camilleros



Gráfico 30 Propuesta de solución para área de Camilleros

Como ya se mencionó los colores azules son relajantes, siendo ideales para el área de camilleros en tonalidades claras, para expresar descanso, esperanza y paz. El manejo de arte y vistas hacia el exterior consiente al paciente. Mientras que el contraste con colores rosa en diversas tonalidades evoca emoción, juventud y energía.

La implementación de vegetación en algunas de las áreas del hospital vitaliza el ambiente interior, regula la temperatura de algunas zonas y sobre todo introduce a los usuarios en estados de confortabilidad, relajación y agrado. Variedades de plantas para interiores tienen la cualidad de ser aromáticas, provocando emociones, sentimientos y confortabilidad incentivando la concentración.

Áreas exteriores: No obstante uno de los mayores problemas para los acompañantes de los pacientes es la inexistencia de zonas de descanso y espera. Por lo que se realiza una intervención en los espacios exteriores del Hospital, mediante la integración de mobiliario urbano y el manejo de vegetación.



Gráfico 31 Fotografía de áreas exteriores del Hospital



Gráfico 31 Propuesta de solución para área exteriores del Hospital

Conclusiones

Con la implementación de los elementos arquitectónicos, perceptuales y naturales en el Hospital desde la perspectiva de la psicología ambiental, pueden generarse ambientes idóneos que propicien seguridad, confort y una mejora en la calidad de vida de los usuarios del Inmueble.

La integración de materiales, elementos naturales y colores ayudan a los trabajadores a realizar mejor sus actividades, reduciendo el estrés y la ansiedad. Asimismo estos espacios ayudan a los pacientes del Hospital a generar una mejora en la recuperación de enfermedades, haciendo de los inmuebles dedicados a la salud una de las mejores opciones para la sociedad, en comparación de las existentes en la actualidad.

Referencias

LOTITO CATINO Franco, Arquitectura, Psicología, Espacio E Individuo.

MOSER Gabriel, La Psicología Ambiental en el Siglo 21: El Desafío del Desarrollo Sustentable.

CODOL, 1975

GOLEMAN, 2003

CARDONI Zulema Isabel, El Espacio Vivencial del Hombre Entre la Psicología y la Arquitectura.

Estrés y ansiedad.

GARCIA-HERRERA PEREZ Bryan JM, NOGUERAS MORILLAS EV, MUÑOZ COBOS F, Guía de Práctica Clínica para el Tratamiento de la Depresión en Atención Primaria., Ed.2011.

INSTITUTO NACIONAL DE LA SALUD MENTAL, Depresión., 2009.

TAMAYO DUQUE Silvana, La Psicología Ambiental En Arquitectura.

VIDAL MORANTA Tomeu, POL URRÚTIA Enric, La Apropiación del Espacio: Una Propuesta Teórica para Comprender la Vinculación entre las Personas y los Lugares.

OVIEDO L. Gilberto, El Estudio de la Ciudad en la Psicología Ambiental., 2009

Emociones y Comportamiento Pro-ambiental., 2007

WIESENFELD Esther, La Psicología Ambiental y el Desarrollo Sostenible. ¿Cuál Psicología Ambiental? ¿Cuál Desarrollo Sostenible? 2003

VALERA PERTEGÁS Sergi, Análisis de los Aspectos Simbólicos del Espacio Urbano. Perspectivas desde la Psicología Ambiental., 1996

Q. PINHEIRO José, Psicología Ambiental en Busca de un Ambiente Mejor., 1997

PÁRAMO Pablo, Psicología Ambiental.

MUNTAÑOLA THORNBERG Josep, Psicología y Arquitectura., 1986.

URBINA SORIA Javier, ORTEGA ANDEANE Patricia, MERCADO DOMÉNECH Serafín, Relaciones Hombre-Entorno: La Incursión de la Psicología en las Ciencias Ambientales y el Diseño.

Reutilización de papel reciclado en la producción de material de construcción aislante térmico y acústico

SALDAÑA-ACOSTA, Jorge*†, ROSALES, Javier y MUÑOZ, Armando.

Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo, Carrera de Química área Tecnología Ambiental, Escobedo, N. L. Libramiento Noreste km. 33.5

Recibido Octubre 24, 2016; Aceptado Noviembre 23, 2016

Resumen

El objetivo de esta investigación fue la fabricación de ladrillos de forma económica y sustentable, a través del uso de papel y aserrín de desecho. La mezcla para la obtención de los ladrillos contenía cemento, papel reciclado, aserrín y cal. Los ladrillos obtenidos mostraron altas cualidades mecánicas y propiedades muy adecuadas como materiales de construcción. Fueron resistentes al fuego, de baja densidad (0.79 g/cm^3), soportaron una carga puntual de 6.8 kg. /cm^2 , la absorción de agua fue mínima $0.08 \text{ g. (} 8.5 \times 10^{-3} \text{ del peso original)}$ además fueron resistentes al ataque de insectos y microorganismos.

Reciclado, Papel, Ladrillos, Sustentable

Abstract

The objective of this research was the manufacture of bricks economically sustainable through the use of waste paper and sawdust. The mixture for the production of bricks containing cement, recycled paper, sawdust and lime. The bricks obtained showed high mechanical qualities and properties very suitable as building materials. Were resistant to fire, low density (0.79 g/cm^3), punctual bore a 6.8 kg / cm^2 , the minimum water absorption was $0.08 \text{ g. (} 8.5 \times 10^{-3} \text{ to original weight)}$ were also resistant to insects and microorganisms.

Recycled paper, bricks, Sustainable

Citación: SALDAÑA-ACOSTA, Jorge*†, ROSALES, Javier y MUÑOZ, Armando. Reutilización de papel reciclado en la producción de material de construcción aislante térmico y acústico. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 68-74

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: 3010jmsa@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El uso de materiales alternativos de construcción suele estar relacionado con la Ecología y con la Economía; generalmente son materiales reutilizados o reciclados, que a menudo son baratos y fácilmente adquiridos. Estas alternativas de construcción están ganando importancia en sectores o zonas de la población económicamente desprotegidas. Los aislamientos juegan un papel crucial en la construcción de edificaciones sustentables, un aislamiento no solo nos resguarda de los agentes externos (calor, frío, ruidos...), sino que además contribuye de manera muy importante a la reducción en el consumo de energía en nuestros hogares y puestos de trabajo, así como también una disminución de los gases con efecto invernadero producto de la combustión.

Al momento de seleccionar los materiales que se emplearán en una edificación, se debe valorar el funcionamiento ambiental de estos, lo cual debe ser tan importante como los de tipo técnico y económico (Caballero-Montes y Alcántara-Lomelí, 2012).

La celulosa es el material de aislamiento idóneo para todas las épocas del año. Nos protege del calor y el frío. Asimismo sus propiedades lo convierten en un aislante acústico excepcional. El aislamiento de celulosa es el único que combina la protección térmica, acústica y control de condensación en un solo material.

En beneficio de sus excelentes propiedades y sin incrementar el valor de la obra, se consiguió una disminución muy significativa del consumo de energía. Con ello se contribuyó de forma importante a la protección de los recursos naturales al disminuir significativamente la demanda de recursos al medio ambiente, y a la reducción de la emisión de CO₂ a la atmósfera.

El aislante de celulosa cuya conductividad térmica k es de 0.042 W/mK, deriva de fibras naturales de la madera por lo que posee características similares a la madera ($k = 0.13$ W/mK). Al casi no permitir el paso del calor, este se queda dentro de la vivienda en invierno, mientras que en verano la alta capacidad de absorción de calor específico nos proporciona una temperatura fresca en el interior.

La reducción de entradas de calor, de frío o ruido, aumenta la sensación de confort y crea un clima ambiental sano.

Las principales características del aislamiento de celulosa son:

- Protección térmica y acústica para toda la vida.
- Confort térmico. 6° C a 10° C menos en los días más cálidas del verano.
- Contribución a la ecología. Material de origen reciclado.

Las prácticas de reciclaje y reutilización, a partir de la recuperación de materiales y componentes de desecho de los diversos procesos productivos son eficientes desde el punto de vista ecológico, pero también desde el punto de vista económico, ya que la recuperación de materiales puede ser el punto de partida para generar un mercado alternativo de productos, que por haber sido utilizados anteriormente resulten más económicos. La ventaja económica también se obtiene a causa de reintroducir los desechos en el ciclo industrial-comercial.

La generación de materiales de construcción sustentables, aislantes y económicos, con material reciclado. Impactará positivamente: en la economía de la sociedad y al disminuir importantemente la generación de CO₂ hacia la atmósfera.

2.- Antecedentes: Hoy en día la tecnología debe tener además otro objetivo fundamental que es el de la búsqueda del bienestar humano, la naturaleza y el equilibrio ecológico; lo que se conoce como diseño sustentable, evaluando aspectos como son:

- El consumo de agua potable y energía.
- La contaminación del aire, agua, y suelo, la generación de residuos sólidos (Rodríguez M. F. 1998).

La rápida evolución de la civilización contemporánea, nos lleva a la necesidad de una revisión de los juicios que se han hecho acerca de ciertos problemas estrechamente ligados con el hombre, uno de ellos es todo el aspecto ecológico, el cual, si lo ligamos con el constructivo, encontramos que se ha abusado de materiales cuyo proceso de fabricación llega a derroches energéticos, o bien a otros; el sector constructivo es responsable de un notable impacto ambiental (agotamiento de recursos naturales, calentamiento global, lluvia ácida, emisión de humos, acumulación de residuos, etc.) durante el proceso de fabricación de los materiales para construcción y durante la edificación de los inmuebles (Sartori, I. and Hestness, A.G. 2007; Deepak, et al, 2011). Es el principal consumidor del suelo y materia prima, y una gran generación de desechos, a nivel mundial anualmente consume el 40 % de piedra, arena y grava, 25 % de madera y 16 % de agua (Arena and de Rosa, 2003; Sartori, I. and Hestness, A.G. 2007; Deepak, et al, 2011); de esta preocupación, surge la intención de búsqueda de sistemas constructivos, que sean o no tradicionales, que contribuyan al bienestar ambiental del país al no tener excesivos costos energéticos ni en su manufactura ni en su abasto. (García L. E. 1998; González y Navarro, 2006; Chau, et al, 2012; Young-sun, et al, 2012).

La construcción a base de pacas de paja cumple con estas características, no es tradicional de México, es ciertamente una técnica importada la cual se adapta de manera eficiente en la idiosincrasia del mexicano y en la realidad económica del país. (García L. E. 1998).

Los primeros pioneros del norte del nuevo mundo, los Estados Unidos, importaron en el siglo XIX, este sistema constructivo de Inglaterra y lo repitieron en sus nuevas moradas, seguramente por la rapidez de ejecución de una vivienda (García L. E. 1998).

En México entra la influencia alrededor de los años 80, muy recientemente, sobre todo en el norte, Chihuahua, y por promoción campesina y de desarrollo alternativo en comunidades se copia en el Bajío y Centro de la República teniendo, evidentemente, asimilaciones y adaptaciones que corresponden a los nuevos materiales, los nuevos paisajes y la nueva gente que las construye. (García L. E. 1998)

Para que una vivienda se considere ecológica debe cumplir ciertos requisitos como son: evitar los impactos ambientales, interrelación con los ciclos de la naturaleza, diversidad funcional de la vivienda. En la realización de las obras se recomienda la utilización de materiales de construcción inocuos para el medio ambiente. Así, como aislantes, se deben utilizar materiales naturales como corcho, papel, lana mineral o fibra de vidrio y, en general, materiales que sean poco conductivos y que almacenen calor. (Ramos Z. M. 2001)

La sensibilización y concientización en relación al cuidado del ambiente en los procesos productivos ha llevado a proponer materiales alternativos de construcción a partir de materiales reciclados a menor costo y mayor diversidad para los procesos constructivos (Cabalero-Montes y Alcántara-Lomelí, 2012).

El uso de materiales sobrantes o inútiles, naturales o bien de procesos de transformación, en la generación de materiales alternativos de construcción nos permite insertarlos en un ciclo autosustentable.

En el mundo de hoy y con su estilo de vida se genera una gran abundancia de materiales de desecho que por algunas características generales pueden ser considerados como potenciales aislantes térmicos de bajo costo.

Materiales a base de celulosa de diferentes fuentes, en diversas proporciones de mezcla con otros materiales como el cemento, el bórax ó fibras poliolefínicas ya han sido utilizados para este fin. (Molleda, C et al 2005; Gutierrez, J. y González, A. 2012; Rivera, L. 2013) Muñoz y cols, en 2005 analizaron el potencial de aplicación como aislante térmico económico, dos desechos industriales: las cenizas de carbón y la celulosa de papel reciclados mezclada con cemento a una relación de 0.6 de acuerdo a las recomendaciones de Velasco, 1998.

En el mercado existen ya diversos tipos de productos aislantes a base de papel reciclado como el Isofloc el cual es un granulado de celulosa (ICARO 1995); ECOMARC que es papel periódico reciclado mezclado con sales bóricas y HOMATHERM paneles de celulosa reciclada (93% – 90 %) y Fibras Poliolefínicas (7 % - 10 %), Fibra vítrea sintética que son materiales inorgánicos fibrosos que contienen silicatos de aluminio o de calcio. (ATSDR 2004).

Otros materiales alternativos de construcción son la mezcla de cascara de cacahuete con poliéster y cemento en la fabricación de paneles con propiedades de aislamiento térmico y baja densidad; el papercrete compuesto de cemento portland, arena y papel con cualidades de aislamiento acústico y resistencia a la compresión; Biprocel, ladrillos de adobe adicionados con paja, tabiques de jal (Soares andre 2007; Calafell, M. 2011; Alcivar Velez, D.E. 2012; Rivera L.E., 2013).

A través del diseño adecuado de los espacios es posible, evitar o disminuir el uso de la climatización artificial; así como aprovechar ampliamente la iluminación natural durante el día. Aplicando el diseño bioclimático, se ayuda también a preservar el medio ambiente, integrando al hombre a un ecosistema más equilibrado. La arquitectura debe diseñar espacios ecológicamente concebidos que respondan integral y armónicamente a la acción de los factores ambientales del lugar. (Fuentes F. V. 1998).

3.- Material y Métodos: La mezcla para la obtención de los ladrillos contenía cemento (40 %), papel reciclado (29 %), aserrín (17 %) y cal (14 %). Estos componentes se mezclaron perfectamente, posteriormente se añadió agua hasta obtener una pasta homogénea de consistencia semilíquida; esta fue depositada en moldes de madera de 24 cm x 11.5cm x 5.25 cm y se dejó secar a temperatura ambiente durante 5 horas, posteriormente fueron desmoldados y se continuo el sacado por 72 horas más.

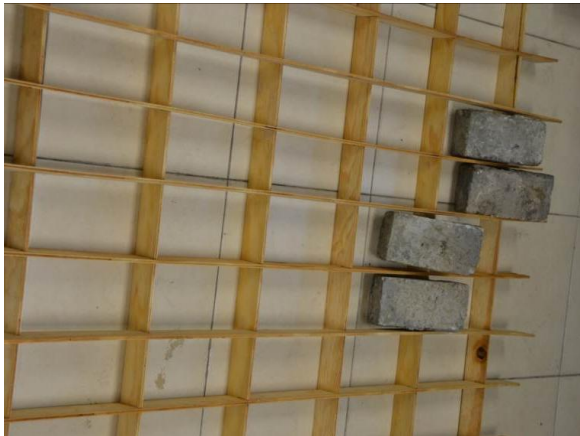


Figura 1 Molde para fabricación de ladrillos.

Los ladrillos obtenidos fueron sometidos a una serie de pruebas para determinar sus propiedades mecánicas y características propias para su utilización en procesos de construcción, tales como:

- a) *Resistencia a la compresión simple.* Es una de las pruebas de mayor relevancia ya que la función principal es soportar esfuerzos de compresión en una construcción, esta se realizó de acuerdo a la norma oficial NOM-C-036-ONNCCE-2003.
- b) *Absorción de agua.* El grado de absorción de agua es una medida de la maduración del ladrillo. Los ladrillos fueron sumergidos en un depósito con agua, por 15 días y al término de este período de tiempo se analizó su integridad, resistencia a la fricción y su peso húmedo. NOM-C-037-ONNCCE-2005.
- c) *Densidad.* El material debe tener una densidad baja para facilitar su manejo, transporte y aplicabilidad en sitios elevados. Ésta se determinó a través de la fórmula de densidad, se obtuvo el peso promedio de 12 ladrillos y el volumen promedio de estos, estos valores fueron aplicados en la fórmula de densidad. $d = m/V$.
- d) *Resistencia al fuego.* Todo material para construcción debe cumplir con una resistencia al fuego de una hora como mínimo, sin producir flama, humo, ó gases tóxicos. Una pila de 12 ladrillos fue expuesta al fuego directo de un soplete de gas butano. NOM-C-307/1-ONNCCE-2009.
- e) *Resistencia al ataque de insectos.* Por el tipo de componentes en estos ladrillos existe la posibilidad de que sean atacados por diversos insectos. Los ladrillos fueron dejados a la intemperie en una zona donde abundan los insectos (termitas, arañas, tijeretas, etc.) por un período de dos meses y medio.
- f) *Resistencia al ataque por microorganismos.* La presencia de papel y madera (aserrín) en los ladrillos establece la posibilidad de que sean atacados por microorganismos, sobre todo sí se dan las condiciones de humedad y temperatura adecuadas, para prevenir esto fue incluida en la mezcla cal. Los ladrillos fueron dejados a la intemperie y enfrentados a cultivos de hongos del suelo (*Aspergillus*, *Rhizopus* y *Penicillium*) así como a cultivos de bacterias del suelo (*Bacillus subtilis*, *Aeromonas*) durante dos meses y medio.

Resultados: Los ladrillos obtenidos fueron resistentes al fuego, ya que no produjeron flama ni desprendieron humo ó gases tóxicos al ser expuestos al fuego de un soplete de gas butano. La densidad de los ladrillos producidos fue bastante baja, 0.79 g/cm^3 , en comparación con la de otros materiales de uso cotidiano (Tabla 1).

MATERIALES	DENSIDAD (g/cm ³)
Ladrillo aprensado	2.2 – 2.3
Ladrillo común	1.8 – 2.0
Ladrillo blando	1.5 -1.7
Ladrillo Sílico Calcáreo fino	1.66
Ladrillo Mahon hueco	1.20
Adobe	2.02
Bloque hormigón ligero	1.40
Bloque hormigón macizo	1.00
Paca de Paja	0.85
Ladrillo de papel y aserrín (UTE)	0.79

Tabla 1 Valores de absorción de agua por algunos materiales de construcción.

Estos mostraron una buena resistencia al ataque de insectos y microorganismos ya que después del período de enfrentamiento no mostraron deterioro observable a simple vista. La absorción de agua por parte de estos ladrillos fue mínima (8.5×10^{-3} % del peso original), comparada con otros materiales de construcción como: el ladrillo blanco 20%, ladrillo de gres 2%, ladrillo de arcilla 12% y ladrillos cara vista comunes por arriba de 8%. (Ver Tabla 1).

Además no sufrieron ningún deterioro o desgaste apreciable a simple vista, no sufrieron deterioros por fricción en estado húmedo, y su incremento de peso solo fue de 0.08 g.

En cuanto a la resistencia a la compresión, mostraron una alta resistencia con un valor de 6.8 kg. /cm².



Figura 2 Imagen de Ladrillos Obtenidos a partir de material de desecho (papel y aserrín).

Conclusión y Discusión

Esta tecnología es muy ambiciosa por su eficacia energética y económica.

Se desarrolló un nuevo material aislante ideal para las regiones más débiles económicamente; Al ser producido con material de desecho y sin gasto de energía su precio al final es realmente bajo.

Los ladrillos obtenidos mostraron altas cualidades mecánicas y propiedades muy adecuadas como materiales de construcción. La resistencia a la compresión del material de construcción alternativo obtenido fue alta, a pesar de sólo haber sido fraguado al sol. Esta propiedad mecánica fue mayor (1.36 veces) que la reportada para los ladrillos comerciales prensados y cocidos.

La densidad de estos ladrillos permite que puedan ser utilizados en sitios elevados, sin incrementar la cimentación; y los hace perfectamente manejables.

Su buena resistencia a al ataque de insectos y microorganismos así como al fuego los hace un material alternativo de construcción ideal, que además de ser económicos y resistentes, representan un beneficio ecológico al ser un material sin ningún gasto de transformación y promover la reutilización del papel de desperdicio y el aserrín, materiales de desecho que tienen un tiempo de degradación promedio de 2 a 5 meses y 4 años respectivamente. Esta aplicación impactará positivamente al medio ambiente al disminuir la generación de residuos urbanos.

Con respecto a la acción del viento y la temperatura estos materiales mostraron una alta resistencia ya que después de 18 meses no han sufrido deterioro alguno.

Referencias

- Arena, A.P. & C. de Rosa. 2003. Life cycle assessment of energy and environmental implications the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza - Argentina. *Build. Environ.* 38, 359-368.
- Caballero Montes José Luis y A. Alcantára Lomelí 2012. Beneficios Ambientales Inherentes al uso de Sistemas de construcción con materiales alternativos en viviendas. *Naturaleza y Desarrollo*. Vol.10, N° 2. 48 – 53
- Chau, C.K. W.K. Hui and G. Powell 2012. Assessment of CO2 emission reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options. *Resour. Conserv. Recycl.* 61, 22 – 34
- Deepak R. S. Behzad, F. Rosi and H. Xiao 2011. Assessment of CO2 emissions reduction in a distribution warehouse. *Energy* 36, 2271 - 2277
- Dyna rev.fac.nac. 2006. Minas. Vol. 73. N°148 Medellín Jan/Apr
- Fuentes Freixanet, Víctor Armando, 1998 *Nuevas Tecnologías en la arquitectura bioclimática, Tecnología y diseño en las edificaciones*, Ed. U. A. M. –A., México, D. F., ISBN. 970654711 – 8, Pp. 135 - 162.
- García López, Esperanza, 1998, *Técnicas ecológicas de construcción no tradicionales, Tecnología y diseño en las edificaciones*, Ed. U. A. M. –A., México, D. F., ISBN. 970654711 – 8, Pp. 107 – 134.
- Gutiérrez J.A. y A. D. González 2012. Determinación experimental de conductividad térmica de materiales aislantes naturales y de reciclado. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 16. Impreso en Argentina ISSN 0329 - 5184
[http:// www.construible.as/noticias](http://www.construible.as/noticias)
[http:// www.iso-floc.de/](http://www.iso-floc.de/)
<http://www.secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/viewfile/7559/7482>
<http://www.upc.edu/saladeprensa/al-dia/mes-noticia/Biprocel>
- Rivera L. E. 2013. *Materiales Alternativos para la elaboración de Tabiques ecológicos*. Tesis de Maestría en Ingeniería y Administración de la Construcción.
- Rodríguez Manzo, Fausto, 1998, *Control de ruido en las edificaciones, Tecnología y diseño en las edificaciones*, Ed. U. A. M. –A., México, D. F., ISBN. 970654711 – 8, Pp. 61 – 90
- Sartori I. and A. G. Hestnes 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low – energy buildings: a review article. *Energy Build.* 39, 249 - 257
- VASCO G. J. 1998. *Tableros prefabricados en hormigón aligerado con pulpa de celulosa*. [TDG] Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín,

Optimización del proceso de hidrólisis enzimática a partir de bagazo de sorgo dulce pre tratado

GUARNEROS-FLORES, Javier†, LOPEZ-ZAMORA, Leticia* y AGUILAR-USCANGA, María.

División de estudios de posgrado e investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente 9 No.582 Col. Emiliano Zapata C.P. 94320 Orizaba Veracruz

Recibido Octubre 14, 2016; Aceptado Noviembre 2, 2016

Resumen

El objetivo de la presente investigación consistió en optimizar el proceso de hidrólisis enzimática del bagazo de sorgo dulce a escala laboratorio, maximizando la obtención de glucosa. El bagazo fue sometido a pretratamiento ácido y alcalino con la finalidad de reducir la hemicelulosa y la lignina respectivamente. Finalmente se optimizó el proceso enzimático aplicando un diseño de experimentos Box Behnken, utilizando la enzima Cellic CTec3, se consideraron tres variables independientes (tiempo, % p/p de enzima y relación líquido-sólido) siendo la variable de respuesta la glucosa (g/L). El experimento se realizó en base húmeda (modo continuo) y base seca (implementando un periodo de secado después de cada etapa del proceso). El análisis estadístico de los datos obtenidos permitió determinar que las mejores condiciones son: 5 % p/p de enzima, tiempo de reacción de 51 h, y una relación líquido-sólido de 5:1, obteniendo valores superiores a los 120 g/L de glucosa. Es posible concluir que los pretratamientos aplicados son excelentes removedores de hemicelulosa (86 %) y lignina (85 %) facilitando la posterior degradación de la celulosa mediante el ataque enzimático, obteniendo de manera experimental hasta un 27.66 % más de glucosa respecto a lo predicho por el modelo óptimo obtenido.

Hidrólisis, bagazo sorgo dulce, glucosa, enzima

Abstract

The objective of this research was to optimize the enzymatic hydrolysis process from sweet sorghum bagasse in laboratory scale, maximizing the production of glucose. Bagasse was subjected to acid and alkaline pretreatment in order to reduce the hemicellulose and lignin respectively. Finally, the enzymatic process was optimized using an experimental design Box Behnken and using the enzyme Cellic CTec3, three independent variables (time, % w/w enzyme and liquid-solid ratio), being glucose (g/L) the response variable. The experiment was conducted on a wet basis (continuously) and dry basis (with a period of drying after each stage of the process). Statistical analysis of the data allowed to determine that the best conditions are: 5% w/w of enzyme, reaction time of 51 h, and liquid-solid ratio of 5:1, obtaining values higher than 120 g/L glucose. We conclude that the pretreatments applied are excellent removers hemicellulose (86%) and lignin (85%) facilitating subsequent degradation of cellulose by enzymatic attack, obtaining experimentally up to 27.66 % more glucose regarding predicted by the optimal model obtained.

Hydrolysis, sweet sorghum bagasse, glucose, enzyme

Citación: GUARNEROS-FLORES, Javier, LOPEZ-ZAMORA, Leticia y AGUILAR-USCANGA, María. Optimización del proceso de hidrólisis enzimática a partir de bagazo de sorgo dulce pre tratado. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 75-81

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: letylopezito@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La necesidad de soluciones ante los altos índices de contaminación así como el agotamiento de los combustibles fósiles obliga a investigar nuevas formas de reducir la generación de desechos y a tratar de producir energía más limpia. Una alternativa se encuentra en la producción de biocombustibles de segunda generación, es decir, aquellos que son generados a partir de los diferentes residuos lignocelulósicos existentes en diversos procesos, siendo el bioetanol uno de los más importantes y fáciles de obtener.

Dentro de las materias primas alternativas que están alcanzando importancia mundial para la producción de bioetanol se encuentra el sorgo dulce, definido como un cultivo bioenergético promisorio por su gran producción de masa verde, mínimos requerimientos generales y su tolerancia a sequías e inundaciones. La subespecie sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es una variedad azucarada de sorgo, que se desarrolla adecuadamente en terrenos alcalinos en presencia de carbonato cálcico, lo que aumenta el contenido en sacarosa en tallos y hojas. El sorgo dulce es un cultivo con un tallo rico en azúcares fermentables (16-23 °Brix), por lo que es comparable con la caña de azúcar (Montes et al. 2010).

Una de las características principales del sorgo dulce es el alto contenido energético comparable con el de la caña de azúcar, considerando hasta tres cosechas por año haciendo de esta planta un candidato ideal para la producción de biocombustibles a partir de fuentes renovables. Dicho cultivo prospera en condiciones mucho más secas y calurosas de lo que muchos otros cultivos pueden hacerlo y es por esta razón que ha sido llamado el “camello” de los cultivos de campo (Medina et al. 2011).

La biomasa lignocelulósica del sorgo dulce (bagazo) presenta una estructura compleja, compuesta de varias fracciones que deben ser procesadas por separado para asegurar una conversión eficiente de estos materiales a etanol. La fracción mayoritaria de la biomasa es la celulosa cuyas cadenas de glucosa se agrupan en estructuras superiores de gran cristalinidad, su íntima asociación con la lignina dificultan su hidrólisis para la obtención de azúcares fermentables (Viñals et al. 2012).

El efecto de los pretratamientos en materiales lignocelulósicos ha sido reconocido en el tiempo. El propósito de los pretratamientos es remover la lignina y la hemicelulosa, reducir la cristalinidad de la celulosa y aumentar la porosidad del material (Agbor et al. 2011).

Hidrólisis literalmente significa destrucción o descomposición de una sustancia, en el caso de la hidrólisis enzimática la descomposición se lleva a cabo mediante el uso de enzimas. El uso correcto del tipo de enzimas depende de los pretratamientos aplicados al bagazo de sorgo dulce (BSD), es decir si se aplica un tratamiento ácido automáticamente se estaría eliminando la hemicelulosa y posteriormente con un tratamiento alcalino se lograría romper la lignina quedando la celulosa libre para ser tratada enzimáticamente y con ello únicamente utilizar una celulosa capaz de desdoblar la mayor cantidad de azúcares potencialmente fermentables (Chuck et al. 2011).

El objetivo del estudio fue determinar las mejores condiciones de trabajo en la hidrólisis enzimática del BSD a fin de maximizar la generación de glucosa la cual es susceptible a una posterior fermentación y destilación.

Metodología

Se molieron 10 Kg de sorgo dulce, recuperándose 6.1 Kg de bagazo, posteriormente el BSD se sometió a secado solar durante 48 h con la finalidad de eliminar la mayor parte de agua presente. Tras el secado solar, se procedió a la reducción de tamaño mediante una cortadora manual, en virtud de que un menor tamaño de la materia prima, incrementa la eficiencia de los pretratamientos aplicados debido a que existe una mayor superficie de contacto, finalmente se determinó la humedad final del bagazo antes de proceder con la experimentación.

Una vez acondicionada la materia prima, el BSD se sometió a un pretratamiento ácido utilizando H_2SO_4 al 1.5 % en una relación líquido sólido (RLS) de 5:1, en matraces de 500 ml en un autoclave marca AESA modelo CV-250 a una presión de 15 psia (1.2 Kg/cm^2), durante 33 min, cuando el proceso estuvo completo, el bagazo fue prensado y lavado 2 veces con agua común en una RLS de 5:1, pesando el bagazo húmedo obtenido y secándolo por 48 h mediante radiación solar. Es importante considerar el tiempo de calentamiento y enfriamiento de la resistencia de la autoclave debido a que la exposición prolongada del hidrolizado ácido a altas temperaturas podría derivar en la degradación de los azúcares.

La deslignificación del bagazo se realizó mediante la acción de un pretratamiento alcalino utilizando H_2O_2 al 4 % en una RLS de 16:1, ajustando el pH a 11.5 utilizando NaOH 10 M. La reacción se llevó a cabo por 45 h para finalmente separar la fracción líquida de la sólida, mediante un prensado manual, y a esta última realizarle nuevamente 2 lavados con agua del grifo en una relación líquido sólido de 5:1 a fin de eliminar los rastros de lignina aun presentes. Nuevamente se aplicó un secado solar de 48 h para continuar con la siguiente etapa del proceso.

Para la etapa enzimática, se planteó un diseño experimental Box Behnken (tabla 1). Se consideraron como variables independientes: la carga enzimática en relación p/p (5, 6 y 7 %), la RLS (5:1, 7:1 y 9:1) y el tiempo de reacción (24, 48, y 72 h) y como variable de respuesta la concentración de glucosa (g/L) cuantificados mediante HPLC, usando una agitación constante de 250 rpm y una temperatura de 50 °C, (temperatura óptima de la Cellic CTec3).

Muestra	Enzima (% p/p)	Tiempo (h)	RLS
1	4	24	7:1
2	6	24	7:1
3	4	72	7:1
4	6	72	7:1
5	4	48	5:1
6	6	48	5:1
7	4	48	9:1
8	6	48	9:1
9	5	24	5:1
10	5	72	5:1
11	5	24	9:1
12	5	72	9:1
13	5	48	7:1
14	5	48	7:1
15	5	48	7:1

Tabla 1 Diseño Box-Behnken para la hidrólisis enzimática del bagazo de sorgo pretratado

Para preparar las muestras, se empleó CH_3COONa 0.05 molar como fase líquida inicial variando las cantidades de bagazo pretratado de acuerdo a las diferentes RLS, así mismo se ajustó el pH a 5.0, valor óptimo al que trabaja la enzima celulasa Cellic CTec3.

La inactivación de la enzima se realizó mediante un choque térmico exponiendo las muestras a baños de 10 min en agua hirviendo y 10 min en agua fría, finalmente se separó la fase Líquida de la sólida por centrifugación, la primera fue analizada en el HPLC introduciendo cada uno de los resultados al software NCSS 2007 para completar el diseño experimental y obtener las condiciones óptimas de trabajo del proceso enzimático.

La experimentación en base húmeda siguió la misma metodología realizada en base seca con la diferencia de que durante toda la experimentación no hubo ninguna etapa de secado, convirtiéndolo en un proceso continuo.

Resultados

Los resultados de la composición porcentual del bagazo se muestran en la tabla 2.

Bagazo	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Otros (%)
Crudo	39.54	29.83	22.21	8.42
Ácido	60.70	4.20	28.80	6.30
Alcalino	79.03	6.68	4.25	10.04

Tabla 2 Contenido de fibra del bagazo de sorgo dulce en sus diferentes etapas

El porcentaje de remoción de hemicelulosa fue calculado después del pretratamiento ácido mediante la ecuación 1, obteniendo un total del 86 % de remoción, 6.17 % superior a lo reportado por Chen et al. (2007).

$$\% \text{ Rem}_{\text{Hem}} = \left[\frac{\% \text{ Hem}_i - \% \text{ Hem}_f}{\% \text{ Hem}_i} \right] * 100 \quad (1)$$

Empleando la ecuación 2, se determinó el porcentaje de remoción de lignina, logrando eliminar hasta un 85 % de esta, resultado superior en un 17 % respecto a lo obtenido por Viveros et al. (2014).

$$\% \text{ Rem}_{\text{Lig}} = \left[\frac{\% \text{ Lignina}_i - \% \text{ Lignina}_f}{\% \text{ Lignina}_i} \right] * 100 \quad (2)$$

Las concentraciones de glucosa obtenidas a partir del diseño experimental se presentan en la tabla 3, oscilando entre los 55.42 y 99.60 g/L en base seca y 85.12 y 156.12 g/L en base húmeda, generando los mejores resultados en las pruebas 5 y 6 en base seca y 5 y 10 en base húmeda.

Muestra	Base Seca (g/L)	Base Húmeda (g/L)
1	63.7712	95.25
2	71.9412	113.25
3	86.3650	130.82
4	71.8150	117.52
5	95.1125	147.45
6	99.6062	112.85
7	62.1312	86.82
8	63.8662	96.65
9	88.5012	110.55
10	88.4687	156.125
11	55.4287	85.12
12	67.4553	92.86
13	77.0412	95.045
14	78.2412	120.87
15	75.4937	118.29

Tabla 3 Resultados obtenidos a partir del diseño experimental para la obtención de glucosa

El análisis estadístico realizado mediante el software NCSS generó el modelo matemático presentado en la ecuación 3, correspondiente a la experimentación en base seca con un ajuste del 95.05 % y una respuesta teórica de 97.07 g/L de glucosa, cumpliendo con las condiciones óptimas de trabajo de carga enzimática (CE) = 5 % p/p, tiempo (t) = 51 h y RLS = 5:1.

$$\text{Glucosa}_{(g/L)} = -28.34 - 26.14 * \text{CE} + 2.27 * t + 12.17 * \text{RLS} + 3.38 * \text{CE}^2 - 0.012 * t^2 - 0.33 * \text{RLS}^2 - 0.23 * \text{CE} * t + 0.26 * \text{CE} * \text{RLS} + 0.009 * t * \text{RLS} \quad (3)$$

Mientras que para la experimentación en base húmeda se generó el modelo presentado en la ecuación 4, con un ajuste del 92.62 % (ajuste inferior al obtenido en base seca) y una respuesta teórica de 130 g/L de glucosa, cumpliendo con las condiciones óptimas de trabajo de carga enzimática = 5 % p/p, tiempo = 48 h y RLS = 5:1.

$$\text{Glucosa}_{(g/L)} = -239.05 + 39.43 * \text{CE} + 0.526 * t + 7.49 * \text{RLS} + 1.293 * \text{CE}^2 + 0.003 * t^2 - 0.033 * \text{RLS}^2 - 0.32 * \text{CE} * t + 0.74 * \text{CE} * \text{RLS} + 0.025 * t * \text{RLS} \quad (4)$$

Las condiciones de trabajo óptimas obtenidas para ambos procesos (tiempo, RLS y Carga enzimática) fueron comprobadas de manera experimental, realizando una prueba con su respectiva replica para cada una. Las concentraciones de glucosa obtenidas en ambas hidrólisis se muestran a partir de la tabla 4.

Modalidad	Glucosa (g/L)
Base seca	125.20
Base Húmeda	148.64

Tabla 4 Concentraciones de glucosa (g/L) obtenidas mediante la comprobación de las condiciones óptimas en base seca y húmeda

La figura 1 muestra una superficie de respuesta generada a partir de los resultados obtenidos combinando los efectos del tiempo (h) vs RLS (mL/g) vs glucosa obtenida (g/L) para la línea en base seca en donde se observa que la mayor generación de glucosa ocurre con una RLS de 20 lo equivalente a 5 mL/g, además de que a partir de las 50 h ya no existe un incremento considerable de glucosa, corroborando las condiciones óptimas proporcionadas por el NCSS.

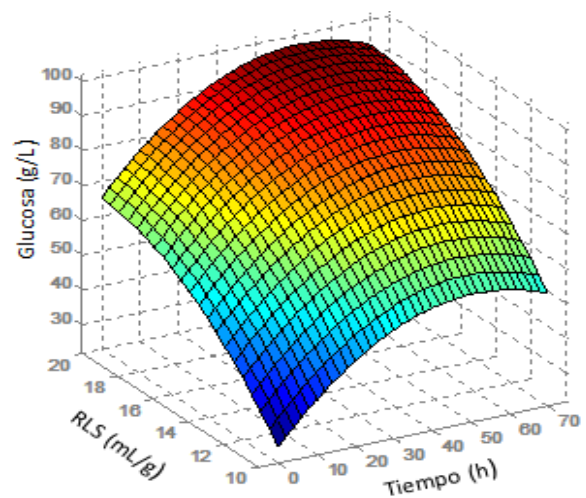


Gráfico 1 Superficie de respuesta del contenido de glucosa en la hidrólisis enzimática del efecto de Tiempo (h) vs RLS (mL/g)

Discusión

La cantidad de fibra determinada en el bagazo de sorgo dulce crudo presenta una composición similar a las obtenidas por otros autores (Prasad, 2007; Kim et al. 2007) en cuanto a celulosa, hemicelulosa y lignina tal como se observa en la tabla 5, además de estar dentro de lo obtenido por Montes et al. (2010).

Autores	Contenido de Fibra (%)			
Prasad (2007)	46	27	20	3 - 5
Kim et al. (2007)	44.8	25.9	20.1	9.2
Montes et al. (2010)	35 – 50	15 - 25	20 - 30	-----
Presente Trabajo	39.54	29.83	22.21	8.42

Tabla 5 Comparación del contenido de fibra del bagazo de sorgo dulce crudo

La mayor concentración de glucosa generada en base seca fue de 99.60 g/L, lo cual significa un incremento del 79.71 % en comparación a los resultados obtenidos por Nochebuena et al. (2012) a partir de bagazo de caña que fue de 55.42 g/L. Siendo las pruebas 5 y 6 las que mostraron la mayor conversión 95.11 y 99.60 g/L respectivamente ambas con un tiempo de reacción de 48 h.

La concentración de glucosa generada mediante la comprobación de las condiciones óptimas obtenidas para el proceso en base seca (125.20 g/L), resultó superior en un 27.66 % respecto a la respuesta teórica predicha por el modelo que fue de 97.07 g/L, mientras que la obtenida en base húmeda (148.64 g/L) representa un incremento del 18.71 % de glucosa en comparación con la concentración de 130 g/L establecida por su respectivo modelo matemático, además de la disminución del 6 % en el tiempo de reacción de 51 h en base seca a 48 h en base húmeda, dicho resultado puede ser atribuido a la presencia de agua dentro de la materia prima lo cual beneficia la actividad enzimática y su consiguiente penetración de la fase líquida dentro de la celulosa de acuerdo a lo observado en ambas líneas experimentales.

En ambos procesos es posible comprobar que los tiempos prolongados de reacción en la etapa enzimática son innecesarios, además de destacar que el ajuste presentado por ambos modelos matemáticos resultó superior al 90 %, lo cual garantiza la reproducibilidad de ambos procesos.

El proceso enzimático del BSD presenta una mayor eficiencia cuando se realiza en base húmeda (modo continuo), sin embargo se declina por llevarlo a cabo en base seca debido a la falta de espacios para el almacenamiento de la materia prima la cual es susceptible a la descomposición por el ataque de microorganismos los cuales proliferan en presencia de humedad y pueden causar la putrefacción del bagazo, caso contrario al proceso en base seca el cual alarga la vida útil de la materia prima sin representar una disminución drástica en la producción de glucosa y mucho menos un aumento considerable en el tiempo de reacción del proceso enzimático.

Agradecimientos

Se hace un agradecimiento especial al Instituto Tecnológico de Veracruz por permitir hacer uso de las instalaciones del laboratorio de Bioingeniería, así mismo se agradece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) el cual brindó la oportunidad de llevar a cabo los análisis lignocelulósicos de la materia prima dentro de sus instalaciones utilizando todo el material y equipo de trabajo necesario. Al TecNM, por el financiamiento otorgado a través del proyecto 5831.16-P

Conclusiones

Al término de esta investigación es posible afirmar que el bagazo de sorgo dulce es un excelente portador de azúcares potencialmente fermentables presentando concentraciones incluso superiores a las de la caña de azúcar, además de que los pretratamientos empleados ácido y alcalino son capaces de remover hasta un 86 % de hemicelulosa y un 85 % de lignina respectivamente, facilitando el posterior ataque enzimático.

Dentro de la hidrólisis enzimática, se comprobó que los procesos desarrollados tanto en base seca como en base húmeda, proporcionan concentraciones de glucosa similares y superiores a los 120 g/L. Finalmente se ratifica la eficiencia de la celulasa Cellic CTec3 de Novozymes empleada en la degradación de la celulosa tratada, favoreciendo los buenos resultados generados.

Referencias

- Agbor, B. V., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., & Levin D. (2011). *Biotechnology Advances. Biomass pretreatment: Fundamentals toward application.* 29, 675:685.
- Chen, Y., Sharma, R., & Chen, C. (2007). Potential of agricultural residues and hay for bioethanol production. *Applied Biochemistry and Biotechnology Part A: Enzyme engineering and biotechnology.* 142:276-290.
- Chuck, H. C., Carrillo, E. P., & Serna, H. S. (2011). Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química.* 10 (3):529-549.
- Kim, H. J., Kim, S. B., & Kim, C. J. (2007). The effects of nonionic surfactants on the pretreatment and enzymatic hydrolysis of recycled newspaper. *Biotechnology and Bioprocess engineering.* 12:147-151.
- Medina, M. M. A., Fernández, L. L., Aguilar, C. L., & De la Garza, H. (2011). Aprovechamiento de materiales lignocelulósicos para la producción de etanol como carburante. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila.* 3(6), 35-41.
- Montes, G. N., Quintero, P. V., López, C. M. E., & García, A. M. (2010). RB. Cañero: sorgo dulce [*sorghum bicolor (L.) Moench*] para la producción de etanol. Folleto técnico 43. ISBN: 978-607-425-355-9.
- Nochebuena, M. L. E., López, Z. L., Aguilar, U. M. G., & Dominguez, G. C. X. (2012). Optimización del tratamiento oxidativo sobre la hidrólisis enzimática de bagazo de caña de azúcar empleando superficie de respuesta. *Revista Latinoamericana de Química* ISSN 0370-5943.
- Prasad, S., Singh, A., Jain, N., & Joshi, H. C. (2007). Etanol Production from Sweet Sorghum Syrup for utilization as automotive fuel in India. *Energy fuels* 21 (4):2415-2420.
- Viñals, V. M., García, B. A., Álvarez, M. G., & Ramil, M. (2012). Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). 7-16.
- Viveros, R. I. P., López, Z. L., & Partida, S. G. (2014). Maximization of glucose production using hydrogen peroxide as an alkaline pretreatment of sweet sorghum bagasse. *Journal of chemical, Biological and Physical Sciences.* ISSN 2249-1929 (4) 3-2

Análisis paramétrico y evaluación estadística de las turbinas de gas comerciales empleadas para cogeneración hasta 50MW

SANTAMARIA-PADILLA, Adriana*†, ROMERO-PAREDES, Hernando y SEGURA-PACHECO, Norberto.

Universidad Autónoma Metropolitana, Prol. Canal de Miramontes 3855, Tlalpan, Ex Hacienda San Juan de Dios, 14387 Ciudad de México, CDMX, México

Recibido Octubre 21, 2016; Aceptado Noviembre 22, 2016

Resumen

El objetivo de este trabajo es generar una herramienta de trabajo para los desarrolladores de sistemas de cogeneración que permita hacer una selección idónea de tecnologías de turbina de gas. En este trabajo se realizó un estudio paramétrico a 38 turbinas comerciales, de distintas marcas y modelos, a partir de los datos que cada fabricante proporciona en sus fichas técnicas, en un intervalo de potencia de 1 MW hasta 50 MW. Las marcas estudiadas son: Hitachi, Kawasaki, Mitsubishi, Rolls-Royce, Solar Turbines y Siemens. La metodología empleada para la evaluación fue a partir de los modelos matemáticos convencionales para determinar el coeficiente de derrateo de cada turbina en función de las condiciones ambientales de presión y temperatura. Se estudió la dispersión de las eficiencias politrópicas, se evaluó el calor disponible para cogeneración en función de la potencia de cada turbina. Las simulaciones se realizaron con softwares comerciales (TermoGraf y Excel). No se consideró el factor de carga. Se encontró que la potencia disminuye en un 5.5% por cada 500 msnm y 1.7% por cada 5°C que aumenta la temperatura. Además se encontraron eficiencias politrópicas para el compresor y turbina que van de 50-98% y 79-85% respectivamente.

Turbinas de gas, coeficiente de derrateo, eficiencias politrópicas, calor útil, simulación

Abstract

The objective of this work is to create a tool for developers of CHP systems that could select the right gas turbine technologies. In this work a parametric study was conducted at 38 commercial turbines of a set of data base of the manufacturers specifications, in a power range of 1 MW to 50 MW. The brands studied were: Hitachi, Kawasaki, Mitsubishi, Rolls Royce, Solar Turbines and Siemens. The evaluation method was performed from conventional mathematical models to determine the coefficient of derating of each turbine as a function of the environmental temperature and pressure. Dispersions of polytropic efficiencies, cogeneration available heat, generated power and performance was assessed as a function of environment variables. The simulations were performed with commercial software (TermoGraf and Excel). Load factor was not considered. 38 commercial gas turbine were evaluated. The generated power was reduced by 5.5% for each 500 above sea level and 1.7% for each 5 ° C of ambient temperature. Compressors and turbines polytropic efficiencies range between 50-98% and 79-85% respectively.

Gas turbine, derating coefficient, polytropic efficiencies, useful heat, simulation

Citación: SANTAMARIA-PADILLA, Adriana, ROMERO-PAREDES, Hernando y SEGURA-PACHECO, Norberto. Análisis paramétrico y evaluación estadística de las turbinas de gas comerciales empleadas para cogeneración hasta 50MW. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 82-91

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: cbi2113009753@titlani.uam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

México cuenta con gran potencial para la cogeneración, el cual varía desde un mínimo de 849 MW a un máximo de 8,457 MW. La visión para el año 2030 es que el sector energético mexicano opere con políticas públicas y un marco fiscal, laboral y regulatorio que permita contar con una oferta diversificada, suficiente, continua, de alta calidad y a precios competitivos; así como maximizar la renta energética.

La cogeneración de alta eficiencia, al producir conjuntamente calor y electricidad en el centro de consumo térmico, aporta los siguientes beneficios energéticos, económicos y ecológicos:

- I. Disminución de los consumos de energía primaria.
- II. Disminución de las importaciones de combustible.
- III. Reducción de emisiones de GEI.
- IV. Disminución de pérdidas en el sistema eléctrico e inversiones en transporte y distribución.
- V. Aumento de la garantía de potencia y calidad del servicio eléctrico.
- VI. Aumento de la competitividad industrial y de la competencia en el sistema eléctrico.
- VII. Promoción de pequeñas y medianas empresas de construcción y operación de plantas de cogeneración.
- VIII. Adaptabilidad en zonas aisladas o ultraperiféricas.
- IX. Motivación por la investigación y desarrollo de sistemas energéticos eficientes.

En este trabajo se realizó un estudio paramétrico a 38 turbinas comerciales, de distintas marcas y modelos, a partir de los datos que cada fabricante proporciona en sus fichas técnicas, en un intervalo de potencia de 1 MW hasta 50 MW. Las marcas estudiadas son: Hitachi, Kawasaki, Mitsubishi, Rolls-Royce, Solar Turbines y Siemens.

Una turbina de gas es una turbomáquina capaz de generar potencia mecánica a partir de la combustión de una mezcla de combustible y aire en determinadas condiciones de presión y temperatura. Las condiciones ambientales juegan un papel importante en esa potencia generada. Éstas se variaron para obtener el coeficiente de derrateo para cada turbina, el calor útil en función de la potencia, la relación de variables con respecto al consumo de energía térmica suministrada y las eficiencias politrópicas para el compresor y turbina. La presión como función de la altura SNM se varió de 0 a 3500 msnm, con intervalos de 500 m y para la temperatura de 0 a 50°C, con intervalos de 5°C.

Este estudio tiene su importancia, pues permite contar con una herramienta de trabajo para los desarrolladores de sistemas de cogeneración que les permita hacer una selección idónea de tecnologías de turbina de gas. El valor agregado en este trabajo es que todo el estudio es con datos reales de turbinas comerciales y abarca un amplio abanico de marcas y modelos.

Nomenclatura

C_p	calor específico; [kJ/kgK],
CTU	consumo térmico unitario; [kJ/kWh],
E_c	energía; [kW],
h	altura; [m],
\dot{m}	flujo másico; [kg/s],
msnm	metros sobre nivel del mar; [m],
P	presión; [bar],

Q	calor para calentar el aire;
[kW],	
Qc	calor para calentar el combustible;
[kW],	
R	constante de los gases ideales;
[kJ/kmolK],	
RAC	relación aire combustible;
[kg _{aire} /kg _{comb}],	
RPM	revoluciones por minuto;
[min],	
s	entropía; [kJ/kg°C],
T	temperatura; [°C],
V	volumen específico; [m ³ /kg]
W	potencia; [MW, kW]

Sub índices

amb	ambiente,
aire	aire,
C	compresor,
comb	combustible,
comba	combustible-aire,
combtot	combustible total,
elec	eléctrica,
gc	gases de combustión,
m	motor,
mec	mecánica,
nom	nominal,
real	real
sic	isoentrópico del compresor
sit	isoentrópico de la turbina
st	estequiometrica,
sum	suministrado,
t	turbina,
th	térmica,
u	universal,

Letras griegas

Δ	diferencia
π	relación de compresión,
η	eficiencia; [%],
ρ	densidad; [kg/m ³],

Abreviaturas

CHP	término inglés de Cogeneración "Combined heat and power",
GE	generador eléctrico,
GEI	gases de efecto invernadero,
GN	gas natural,
ISO	condiciones estándar,
SEN	sistema eléctrico nacional,
PCI	poder calorífico inferior,
MM	masa molecular,

Metodología

En algunos modelos, el fabricante no proporciona la relación de presiones, para esos casos se realizó una aproximación con una línea de tendencia con los datos de las turbinas que si se tienen. Se puede observar en el Gráfico 1 el comportamiento de la relación de presiones en función de la potencia, encontrando que para potencias pequeñas se tiene un comportamiento lineal como se muestra en la Ec. (1), por otro lado, a potencias más grandes se tiene un comportamiento polinómico de tercer grado como se muestra en la Ec. (2).

Intervalo de 0 a 2 MW:

$$y = 3.0055x - 0.0372$$

(1)

Intervalo de 22 a 45 MW:

$$y = -0.0064x^3 + 0.6225x^2 - 19.072x + 205.05$$

(2)

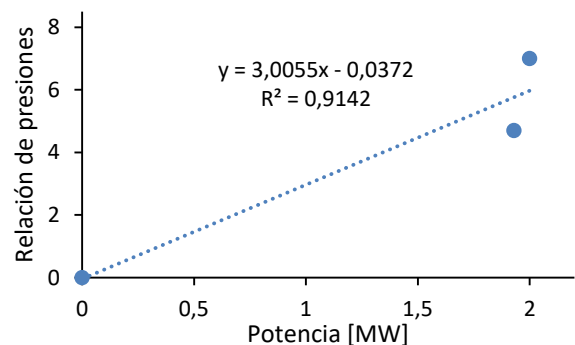


Gráfico 1 Relación de compresión en función de la potencia en un intervalo de 0 a 2 MW.

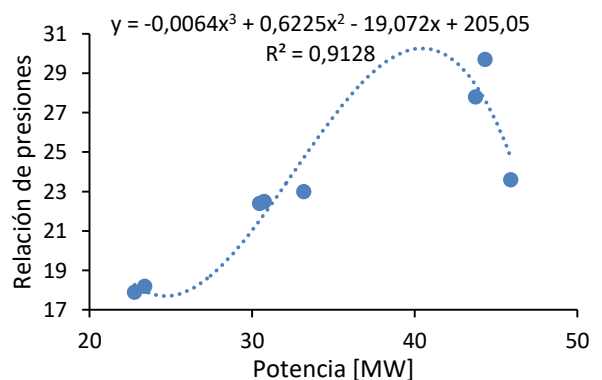


Gráfico 2. Relación de compresión en función de la potencia en un intervalo de 22 a 45 MW.

Una vez obtenidos los datos faltantes, se realizó la evaluación termodinámica para cada turbina. La composición del gas natural es igual para todas las turbinas como se muestra en la Tabla 1 obteniendo un PCI=38,563 kJ/m³.

Compuesto	Porcentaje [%]
CH ₄	90
C ₂ H ₆	3
CO ₂	1
N ₂	1
C ₃ H ₈	0.5
C ₄ H ₁₀	0.3
C ₅ H ₁₂	0.2

Tabla 1 Composición del GN

Con los datos del fabricante, se calculó el flujo de combustible con la siguiente ecuación:

$$Ec = \frac{\dot{W}}{\eta_{ele}} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{comb} PCI = Ec \quad (4)$$

$$\dot{m}_{comb} = \frac{Ec \rho}{PCI} = \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (5)$$

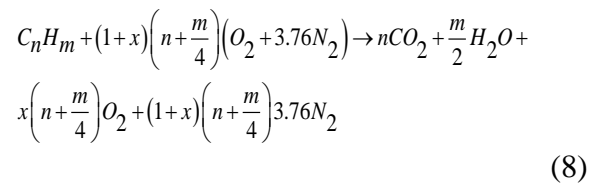
Una vez obtenido éste, se determina el flujo de aire de la siguiente, a partir del caudal de los gases de escape:

$$\dot{m}_{aire} = \dot{m}_{gc} - \dot{m}_{comb} \quad (6)$$

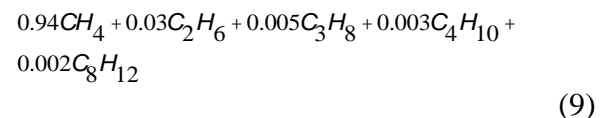
Una vez conocido ambos flujos se puede conocer el RAC_{real} :

$$RAC_{real} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\dot{m}_{comb}} \quad (7)$$

Para obtener el RAC se utiliza la ecuación de combustión con base en la composición del gas natural empleado como se mostró en la Tabla 1.



Donde n y m se obtienen a partir de la composición del gas natural como se muestra a continuación:



En la Tabla 2 se muestran los cálculos obtenidos para obtener la composición.

	C	H
	0.94	3.76
	0.06	0.18
	0.015	0.040
	0.012	0.03
	0.010	0.024
Total	1.037	4.034

Tabla 2 Calculo de n y m

Con lo anterior se tiene la forma compacta siguiente:



Donde su masa molecular es:

$$MM = 12n + m = 16.478 \frac{kg}{kmol} \quad (11)$$

Una vez conocido lo anterior el RAC_{st} se calcula de la siguiente manera:

$$RAC_{st} = \frac{\left(n + \frac{m}{4} \right) * 4.76 * 29}{MM} \quad (12)$$

$$RAC_{st} = 17.14 \frac{kg_{aire}}{kg_{comb}}$$

Para conocer el exceso de aire se obtiene a partir del RAC_{real} de la siguiente manera:

$$RAC_{real} = \frac{(1+x)\left(n + \frac{m}{4}\right) * 4.76 * 29}{n * 12 + m} \quad (13)$$

$$x = \frac{RAC_{real}}{RAC_{st}} - 1 \quad (14)$$

Para comprobar que el método es correcto se calcula la potencia de la turbina y se compara con la del fabricante. De tal forma que se aplica todo el proceso para las 38 turbinas estudiadas como se muestra en la Tabla 3.

Nº Turbina	Ec [Kw]	m _{compr} [kg/s]	m _{respo} [kg/s]	RACreal _{iso} [kg _{aire} /kg _{comb}]	RACst [kg _{aire} /kg _{comb}]	Exceso de aire _{iso} x [%]	Potencia [MW]	% de error
1	49291.67	0.8947	52.0053	58.12	17.14	239.194	16.900	0.000
2	6158.67	0.1118	7.9682	71.28	17.14	315.957	1.490	0.000
3	6220.75	0.1129	7.8871	69.85	17.14	307.613	1.490	0.000
4	6061.61	0.1100	7.8300	71.16	17.14	315.285	1.430	0.000
5	6360.97	0.1155	7.9645	68.98	17.14	302.542	1.690	0.000
6	6360.97	0.1155	7.9645	68.98	17.14	302.542	1.690	0.000
7	12189.72	0.2231	15.9569	71.44	17.14	316.904	2.930	0.000
8	12403.67	0.2252	15.7748	70.06	17.14	308.874	2.930	0.000
9	82169.08	1.4915	88.5085	59.34	17.14	246.298	28.100	0.000
10	82754.83	1.6937	94.3163	56.02	17.14	226.907	23.300	0.000
11	107452.44	1.9505	110.0495	56.42	17.14	229.265	27.800	0.000
12	112746.67	2.0466	108.9534	53.24	17.14	210.679	42.000	0.000
13	13417.64	0.2436	15.1564	62.23	17.14	263.158	3.938	0.000
14	16753.89	0.3041	20.7959	68.38	17.14	299.058	5.300	0.000
15	16115.98	0.2925	18.0075	61.56	17.14	259.228	6.420	0.000
16	72730.00	1.3202	90.8798	68.84	17.14	301.724	25.200	0.000
17	77741.67	1.4112	93.0888	65.97	17.14	284.962	28.500	0.000
18	78506.17	1.4251	94.5749	66.37	17.14	287.299	29.400	0.000
19	81902.22	1.4867	92.5133	62.23	17.14	263.147	32.000	0.000
20	31702.50	0.9385	76.0615	81.04	17.14	372.963	14.672	0.000
21	51752.22	0.9394	76.0606	80.97	17.14	372.503	15.131	0.000
22	15678.33	0.2846	18.7854	66.01	17.14	285.208	4.600	0.000
23	11947.22	0.2169	17.4731	80.57	17.14	370.195	4.600	0.000
24	18002.25	0.3268	21.4432	65.62	17.14	282.946	5.670	0.000
25	19153.75	0.3477	20.7523	59.69	17.14	248.327	6.300	0.000
26	23242.31	0.4219	26.4581	62.71	17.14	265.977	7.965	0.000
27	34475.63	0.6258	41.9442	67.02	17.14	291.141	11.350	0.000
28	42625.00	0.7737	49.0165	63.35	17.14	269.700	15.000	0.000
29	55932.97	1.0153	67.2247	66.21	17.14	286.398	21.745	0.000
30	17419.50	0.3162	20.3838	64.15	17.14	274.359	5.400	0.000
31	21547.50	0.3911	28.9089	73.91	17.14	331.329	6.750	0.000
32	25835.19	0.4690	29.7310	63.40	17.14	269.975	7.900	0.000
33	40514.09	0.7354	43.5646	59.24	17.14	245.702	14.330	0.000
34	56597.61	1.0274	66.8726	64.29	17.14	450.272	19.060	0.000
35	72896.00	1.3232	79.9768	60.44	17.14	252.723	24.480	0.000
36	88203.75	1.6011	93.3889	58.33	17.14	240.451	32.820	0.000
37	93809.33	1.7028	112.4972	66.06	17.14	285.540	37.030	0.000
38	131959.31	2.3953	131.8047	53.03	17.14	221.118	50.500	0.000

Tabla 3 Cálculo de datos ISO

Una vez conocidas las condiciones ISO se procede al cálculo de los estados termodinámicos del ciclo de la siguiente manera:

Estado 1.- Admisión de aire al compresor. Se toma como estado de referencia las siguientes condiciones atmosféricas: temperatura = 25°C y presión a nivel del mar = 1.013bar. Con esos valores y utilizando la ecuación de gas ideal se obtiene el volumen específico considerando una mol de aire.

$$PV = nRT \quad (15)$$

$$V = \frac{R_{aire} T}{P}$$

Donde:

$$R_{aire} = \frac{R_u}{MM_{aire}} = 286.66 \frac{J}{kgK} \quad (16)$$

Para calcular el volumen de aire específico de cada turbina se utiliza el flujo de aire a condiciones ISO de la Tabla 3, el cual se mantendrá constante en todas las variaciones del presente análisis puesto que la turbina está diseñada para ese volumen específico sin importar las condiciones atmosféricas. Sin embargo, si cambia el flujo másico, como se observará mas adelante.

$$V_{aire} = V_1 * \dot{m}_{aireISO} \quad (17)$$

Estado 2.- Salida del aire del compresor. Con base en la relación de presiones $\pi = \frac{P_2}{P_1}$ se obtiene P₂ y a partir de la eficiencia del compresor que se considera en primera instancia de $\eta_c = 0.8$ se obtiene la T₂.

$$\eta_{sic} = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \quad (18)$$

Despejando T₂ se tiene:

$$T_2 = T_1 \left[1 + \frac{1}{\eta_{sic}} (\pi^x - 1) \right] \quad (19)$$

Una vez conocido T_2 Y P_2 se puede obtener el volumen específico V_2 con la ecuación de gas ideal

Estado 4.- Salida de gases de la turbina. El fabricante nos proporciona la temperatura a la salida de los gases de escape, es decir, T_4 . El proceso del estado 4 a 1 es un proceso de rechazo de calor isobárico $P_4=P_1$. Por último con la ecuación de gas ideal se obtiene V_4 .

Estado 3.- Proceso de suministro de calor. Del estado 2 al 3 es un proceso isobárico: $P_2=P_3$ y T_3 se obtiene a partir de la potencia de la turbina:

$$\dot{W} = m_{gc} Cp (T_3 - T_4) \quad (20)$$

$$T_3 = \frac{\dot{W}}{m_{gc} Cp_{aire}} + T_4$$

Con P_3 y T_3 se obtiene V_3 de la ecuación de gas ideal.

Conocido lo anterior, se pueden calcular los flujos de combustible, aire y gases de combustión reales para cada turbina, para ello se realizan los siguientes procedimientos:

1. Se calcula el calor suministrado que se requiere para calentar el aire:

$$Q_{sum} = \dot{m}_{aire} Cp_{aire} (T_3 - T_4) \quad (21)$$

Donde:

$$\dot{m}_{aire} = \rho V_{aire} \quad (22)$$

2. Se calcula el flujo de combustible que se requiere para calentar el aire:

$$Q_{sum} = \dot{m}_{comba} PCI \quad (23)$$

$$\dot{m}_{comba} = \frac{Q_{sum}}{PCI}$$

3. Se calcula el calor que requiere el combustible para calentar el mismo combustible:

$$Q_c = \dot{m}_{comba} Cp_{comb} (T_3 - T_1) \quad (24)$$

4. Se calcula el flujo de combustible que se requiere para calentar el mismo combustible:

$$Q_c = \dot{m}_{comb} PCI \quad (25)$$

$$\dot{m}_{comb} = \frac{Q_c}{PCI}$$

5. Se calcula el flujo total de combustible que se requiere tanto para calentar el aire como el combustible:

$$\dot{m}_{combtot} = \dot{m}_{comb} + \dot{m}_{comba} \quad (26)$$

6. Se calcula el flujo de gases de combustión:

$$\dot{m}_{gc} = \dot{m}_{combtot} + \dot{m}_{aire} \quad (27)$$

Con los datos anteriores se calcula la potencia real de cada turbina:

$$\dot{W}_{real} = \frac{\dot{m}_{gc} Cp_{aire} (T_3)}{1000} [=] MW \quad (28)$$

Con esta nueva potencia se compara con la potencia ISO del fabricante y se obtiene una relación de potencias: coeficiente de derrateo a diferentes condiciones atmosféricas. Éstas se variaron con respecto a la altura de 0 a 3500 msnm con un $\Delta h = 500m$ y la temperatura ambiente de 0 a $50^\circ C$ con un $\Delta T = 5^\circ C$.

Para cada uno de los casos se llevan a cabo los seis pasos anteriores.

A partir de la Ec. (8) se obtienen las fracciones molares de cada uno de los componentes que se obtiene del proceso de combustión, para poder obtener el calor específico medio de los gases de combustión y posteriormente poder calcular el calor suministrado. En la Ec. (31) se muestra el cálculo del calor suministrado en función del calor específico medio de cada componente, tomando las constantes que se muestran en la Tabla 4.

$$\bar{C}_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (29)$$

$$\int \bar{C}_p dT = \left[aT + \frac{1}{2}bT^2 + \frac{1}{3}cT^3 + \frac{1}{4}dT^4 \right]_{T_1}^{T_2} \quad (30)$$

$$Q_{sum} = \left[\sum_i^n \int \bar{C}_{p_i} * x_i \right] * \dot{m}_{gc} \quad (31)$$

Com p.	M M	Constantes			
		a	b	c	d
	kg/kmol	kJ/kmolK			
CO ₂	44	22.26	0.05981	-3.50E-05	7.47E-09
O ₂	32	25.48	1.52E-02	-7.16E-06	1.31E-09
N ₂	28	28.9	-1.57E-03	8.08E-06	-2.87E-09
H ₂ O	18	32.24	1.92E-03	1.06E-05	-3.60E-09

Tabla 4 Valores de las constantes para el cálculo del calor suministrado.

Resultados

Una vez realizados los cálculos correspondientes con las distintas variables, se obtiene como resultado del Gráfico 3, en la cual se observa el comportamiento de cada turbina variando las condiciones atmosféricas (T, P), se observa que tiene un decremento en la potencia del 5.48% por cada 500 msnm y 1.7% por cada 5°C que aumenta la temperatura, lo cual coincide con que la potencia y el consumo de combustible disminuyen un 3,5% cada 304.8 m sobre el nivel del mar, la potencia disminuye en un 0.3 a 0.5% por cada °C de incremento en la temperatura ambiente y el régimen térmico se incrementa en 0.1 a 0.2% por cada °C de incremento de la temperatura de entrada (Energiza, 2014)

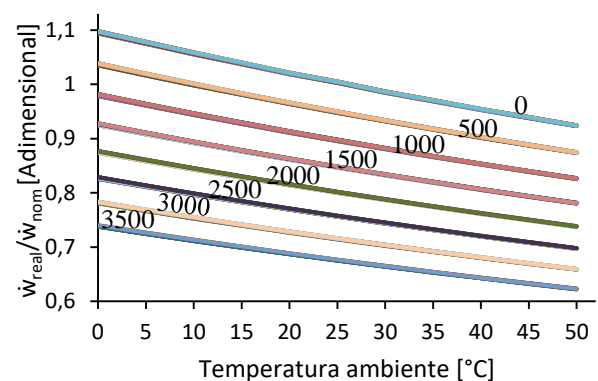


Gráfico 3 Derrateo de turbinas de gas a distintas condiciones atmosféricas.

El Gráfico 4 muestra el comportamiento del calor suministrado de cada turbina variando la temperatura ambiente a presión constante de 1.013 bar en función de la potencia. Se muestra que tiene un comportamiento polinómico de segundo orden, donde en color azul representa a una temperatura ambiente de 0 °C, la línea amarilla representa las condiciones ISO con una temperatura de 25 °C y la línea roja representa una temperatura ambiente de 50 °C.

También se muestra que, si los requerimientos que solicita el cliente son térmicos, todas las turbinas que están debajo de la línea roja no son las adecuadas puesto que estas tienen una eficiencia eléctrica alta (entre 39 y 45%). Las turbinas que están por arriba de la línea azul no sirven para satisfacer las necesidades térmicas ni eléctricas debido a su baja eficiencia. Por lo tanto, las turbinas que se encuentran entre la línea azul y amarilla satisfacen de manera más eficiente las demandas térmicas y las que están entre la amarilla y roja son más eficientes para satisfacer las necesidades eléctricas.

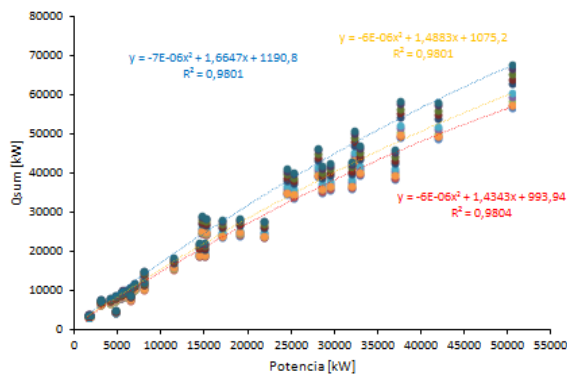


Gráfico 4 Calor suministrado en función de la potencia de cada turbina, a presión de 1 atm variando la temperatura ambiente

Para conocer cuánto calor del total fue consumido por el compresor, la turbina y el total para generar una cierta potencia, se realizó la relación de las variables a 25°C, obteniendo un comportamiento potencial de cuarto orden como se observa en el Gráfico 5, también se encontró el mismo comportamiento a las distintas alturas teniendo una variación del 5.48% por cada 500 msnm y por cada 5°C una variación promedio de 0.0858%.

En el caso del compresor realmente no consume calor, éste se genera a partir de la compresión de forma natural pero no es un consumo, por tal razón, se observa que la relación es baja.

La turbina da un trabajo promedio de 0.9226 kW por cada kW de calor suministrado. De forma global se tiene un consumo de calor promedio de 1.5320 kW por cada kW de potencia.

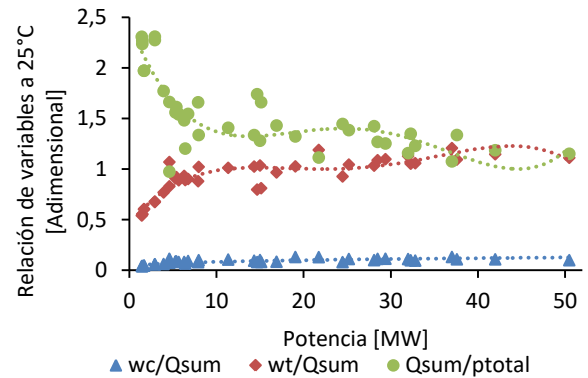


Gráfico 5 Relación de variables a 25°C en función de la potencia.

Para cada una de las turbinas se realizó un diagrama Temperatura-Entropía ideal a distinta altura como se muestra en el **Error! Reference source not found.**, donde se observa claramente la disminución del área bajo la curva, donde la potencia decrece en 5.48% por cada 500 msnm.

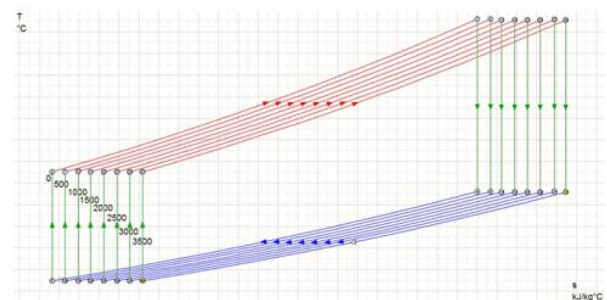


Gráfico 6 Diagrama Temperatura-Entropía ideal a distintas alturas snm

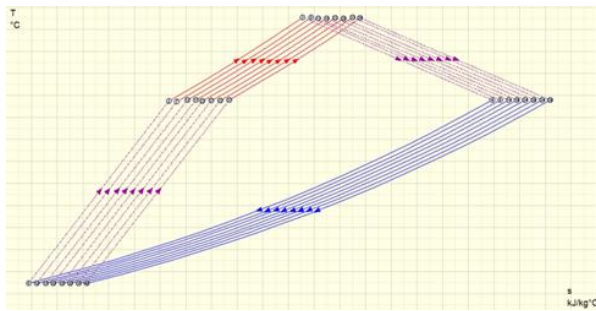


Gráfico 7 Diagrama Temperatura-Entropía real a distintos msnm

A partir de lo anterior se obtuvo la dispersión de las eficiencias politrópicas para el compresor y turbina como se muestra en el Gráfico 8. También se muestra que la dispersión de eficiencias politrópicas para los compresores tienen un comportamiento de forma potencial, teniendo eficiencias de entre 50-98%, lo cual indica que se tiene un déficit de desarrollo tecnológico en los compresores menores de 5MW; y para las turbinas se encontró un comportamiento casi lineal, con un rango de eficiencias del 79-85%.

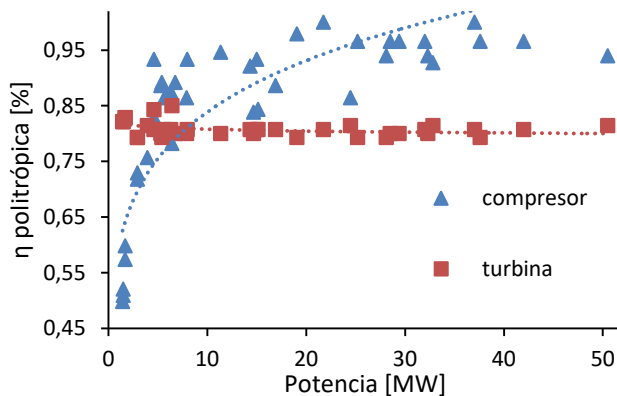


Gráfico 8 Dispersión de eficiencia politrópica del compresor y turbina.

Conclusiones

Por distintos métodos se comprobó que las turbinas de gas tienen un decremento de potencia del 5.48% por cada 500 msnm y 1.7% por cada 5 °C.

En cuanto al calor suministrado se tiene un trabajo promedio de la turbina de 0.9226 kW por cada kW de calor suministrado. De forma global se tiene un consumo de calor promedio de 1.5320 kW por cada kW de potencia.

Además se encontraron eficiencias politrópicas para el compresor y turbina que van de 50-98% y 79-85% respectivamente. Se encontró que hace falta desarrollo tecnológico en compresores menores a 5MW, debido a su baja eficiencia en ese intervalo de potencia.

Agradecimiento

Los autores agradecen el apoyo económico recibido a través del Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CeMIE-Sol), en el marco de la Convocatoria 2013-02, del Fondo SECTORIAL CONACYT-SENER-SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA, dentro del Proyecto Estratégico No. 10, con título: "COMBUSTIBLES SOLARES Y PROCESOS INDUSTRIALES", por medio del cual fue posible desarrollar la investigación y apoyar la formación de recursos humanos a nivel posgrado.

The authors acknowledge the financial support received through the Mexican Center for Innovation in Solar Energy (CeMIE-Sol), as part of the Call 2013-02, the SECTOR FUND CONACYT -SENER-ENERGY SUSTAINABILITY within Strategic Project No. 10, entitled: "SOLAR FUELS AND INDUSTRIAL PROCESSES", by which it was possible to develop research and support the training of human resources at the graduate level.

Referencias

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). Termodinámica (6 edición). España: Mc Grawll Gill.

CONUUE. (2009). Estudio sobre Cogeneración en el sector Industrial en México. México.

Energiza, R. (Marzo de 2014). Energiza. Obtenido de <http://www.energiza.org/tubinasgasmarcho14/124-especial-turbinas-de-gas/971-principio-de-operaci%C3%B3n-en-una-turbina-de-gas>. Consulta: 23 marzo 2016.

SENER. (2014). Balance nacional de energía 2014. México.

Unisolar. (s.f.). Cogeneración Micro-cogeneración y trigeneración . México.

Wiley, V. (2008). Fundamentos de termodinámica. México: Limusa.

Caracterización de los parámetros físico-químicos de los aceites comestibles usados para la generación de biodiesel en la planta piloto del IT Cancún

L-TORRES*†, BEN-YOUSSEF, D-EK y R-ESCALANTE.

Instituto Tecnológico de Cancún, Av. Kabah km 3, Cancún, Q. Roo, México

Recibido Octubre 18, 2016; Aceptado Noviembre 2, 2016

Resumen

En el presente artículo se presenta la caracterización de los parámetros físico-químicos de los aceites comestibles usados, en la elaboración de biodiesel para la puesta en marcha de la planta del ITCancún. En el proceso de la caracterización de los aceites comestibles usados recolectados del centro de acopio ubicado en el ITCancún, dichos aceites se caracterizaron por lotes, con el fin de optimizar los reactivos químicos empleados durante los procesos de esterificación y transesterificación, usando generalmente al metanol y catalizadores alcalinos y ácidos (hidróxido de sodio, ácido sulfúrico), se obtuvo una producción de biodiesel tiempo de reacción de 4 h, 8 hrs. 12 hrs., en un intervalo de relación molar de aceite: metanol: ácido de 6:1, 15:1, 20:1, 30:1.

Biodiesel, Parámetros físicos-químicos, etapas de producción, normas Internacionales, relación molar, experimentación

Abstract

This plant has a system of automated control of This article presents the characterization of physicochemical parameters of edible oils, in the for the start-up of the plant of the ItCancun. In the process of the characterization of them oils edible used collected of the center of gathering located in the Itcancun, such oils is characterized by lots, to optimize them reagents chemical employees during the processes of esterification and Transesterification, using usually to the methanol and catalysts alkaline and acids (hydroxide of sodium, acid sulfuric), is obtained a production of biodiesel time of reaction of 4 h , 8 hrs. 12 hrs., in a range of aceite: metanol- molar ratio: 6:1 acid, 15:1, 20:1, 30:1,

Biodiesel, parameters physical and chemical, stages of production, standards international, relationship molar, experimentation

Citación: L-TORRES, BEN-YOUSSEF, D-EK y R-ESCALANTE. Caracterización de los parámetros físico-químicos de los aceites comestibles usados para la generación de biodiesel en la planta piloto del IT Cancún. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 92-108

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: torlia@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

A nivel mundial, la energía de biomasa (material producido sobre la tierra por los procesos de crecimiento biológico) fue gradualmente sustituida después del descubrimiento de grandes cantidades de combustible fósil (económicamente factible), tales como el carbón, petróleo crudo, y gas natural, convirtiéndose no sólo en combustibles más baratos, si no también más convenientes para usarlos. Sin embargo, en la actualidad el uso excesivo de los combustibles fósiles ha generado una disminución significativa de la reserva mundial de estos recursos energéticos, provocando una crisis en este sector incrementando considerablemente su precio. Adicionalmente, el empleo de los combustibles fósiles a nivel mundial ha generado cambios significativos en el ambiente debido principalmente a la emisión de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono y el dióxido de azufre). De esta forma, es necesario incrementar el número de trabajos en ciencia aplicada relacionados con la generación de energías renovables a nivel mundial. En este contexto, el protocolo de Kyoto (Naciones Unidas 1998), así como la ley Mexicana sobre La Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos, contemplan el apoyo económico para llevar al cabo la producción de energías no convencionales que disminuyan la emisión de gases de efecto invernadero.

En México, son escasos los esfuerzos encaminados a la producción de energías no convencionales que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida. En particular, la transesterificación de aceite de vegetales y de grasa de animales (recursos renovables) para la producción de biodiesel, se presenta como una gran alternativa en el mejoramiento de las condiciones ambientales y en la generación de nuevas fuentes de empleo (Pahl 2008, Ranases et al 1999).

En esta reacción, el aceite vegetal o la grasa animal reacciona en presencia de un catalizador con un alcohol para dar el correspondiente alquiléster (metiléster en el caso del metanol) de la mezcla de ácidos grasos. La metanólisis alcalina se debe optimizar para obtener un biodiesel con un costo de producción bajo que lo haga competitivo con los precios del diésel de petróleo, pero que cumpla con las especificaciones internacionales de calidad, para su uso como combustible en motores diésel. Las principales materias primas para la producción de biodiesel son los aceites de soja, girasol, oliva, cártamo, aunque también tienen una gran demanda en el mercado de la alimentación. La instalación de plantas capaces de procesar este tipo de materia prima en la producción de bioenergéticos, no sólo beneficiaría al sector ecológico, sino a las amas de casa que en ocasiones almacenan el aceite usado y no saben dónde depositarlo y son vertidos a los desagües de las tarjas de la cocina. Al optar por un aceite comestible usado como materia prima para la producción de biodiesel, se puede pretender contribuir a la minimización de un problema de contaminación del medio ambiente.

Al estandarizar y caracterizar los parámetros físico-químicos en las determinaciones de los diferentes factores a analizar de los aceites vegetales usados, y contribuir a la solución del problema de contaminación de los mantos freáticos por aceites comestibles usados y promover la toma de consciencia social del problema de contaminación del medio ambiente.

Además, debido al carácter innovador de este trabajo, el estado de Quintana Roo podría ser considerado dentro de los pioneros a nivel nacional en la producción de biodiesel a partir de aceites comestibles usados, así los resultados que se obtuvieron se compararon con los límites máximos permisibles en los parámetros físico-químicos, con las normas europeas, colombianas, norteamericanas.

La zona Norte de Quintana Roo, específicamente los municipios de Benito Juárez, Solidaridad y Tulum, debido a su vocación turística, a su actividad restaurantera y a la cantidad significativa de establecimientos de comida rápida, de los cuales se obtiene una gran cantidad de residuos orgánicos tales como residuos de aceites de cocina y de grasas de animales, se vislumbra como una foco importante, a nivel nacional e internacional, para la producción de energías renovables tales como el biodiesel. Con este trabajo se está contribuyendo a la disminución de gases de efecto invernadero, así como la emisión de hidrocarburos aromáticos, impactando favorablemente de esta manera no sólo la calidad de vida de la sociedad quintanarroense, sino además económicamente debido a la generación de nuevas fuentes de trabajo. De esta manera, un proyecto relacionado sobre la producción de biodiesel a partir de los residuos de aceite comestible usado, es de gran importancia para promover la generación de este biocombustible en el estado de Quintana Roo.

Los residuos de aceite comestible procedentes de cocinas domesticas o industriales deben ser almacenados adecuadamente en contenedores para su posterior procesamiento. El depósito debe contener una malla metálica para evitar la acumulación de residuos sólidos y restos de comida.

El aceite comestible usado será la materia prima empleada en la planta piloto para la producción de biodiesel en el ITC. Su disponibilidad se encuentra asegurada gracias a la ubicación geográfica del municipio de Benito Juárez en el estado de Quintana Roo por ser un destino turístico internacional, así mismo contamos con una zona de acopio disponible en las instalaciones el ITCancún. La gran variedad de hoteles y restaurantes proveen de suficiente materia prima, para la planta de Biodiesel del ITCancun, a su inicio operara a baja capacidad debido a su diseño de prototipo (véase figura 1)



Figura 1 Aspecto final de la planta de producción de biodiesel del ITC.

- En general: siendo el biodiesel, una de las alternativas que reduce significativamente la contaminación por emisiones gaseosas y líquidas, con el beneficio ambiental de reducir las emisiones líquidas de vertido de aceites, a los desagües de la ciudad.

- En lo científico: la generación de conocimiento científico acerca de las condiciones óptimas de producción de biodiesel y de reciclaje de aceites comestibles usados.

- En lo económico: el aprovechamiento de los recursos ambientales y la reducción de los impactos negativos sobre estos, reduciendo el uso excesivo y el daño a los ecosistemas, que incrementa los costos de su protección y conservación.

- En lo social: a través de la difusión de los resultados del proyecto en congresos y talleres, la contribución para realizar concientización social acerca de los problemas relacionados con el tema de: contaminación de los mantos freáticos y cuerpos de agua por aceites usados, o vertido de aceites a los desagües de la ciudad que dificulta el tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales a nivel estatal, regional y nacional.

Normas y organismos que regulan la producción de biodiesel

En 1991, Austria fue el primer país a nivel mundial en introducir un estándar regulador para la calidad y propiedades del biodiesel, específicamente para esteres metílicos derivados de aceite de colza (ONORM C 1190). Posteriormente, la norma se fue modificando a lo largo de poco más de una década para generalizarse a esteres metílicos de diferentes materias primas (ONORM C 1191). De la misma manera, otros países del viejo continente fueron adoptando esta tendencia, con la finalidad de formar sus propios estándares de calidad para producir biocombustibles. Finalmente, en 2003 se concluyó un estándar para la Unión Europea contenido en la norma EN 14214, que además cubre las pruebas de laboratorio necesarias para evaluar la eficiencia y calidad, así como los procedimientos de producción del biodiesel destinado a motores diesel. Cabe aclarar que la norma europea hace exclusiva referencia al biodiesel obtenido a través del uso del reactivo químico metanol, ya sea, que se lleve a cabo por medio de transesterificación, esterificación o ambas (Benjumea et al., 2009).

De este modo, la proporción para la mezcla de biodiesel dependerá de la norma EN 590-04 en la que se indica cuando se puede emplear en un volumen de 100% (B100) en motores especiales o en una mezcla específica con petrodiesel. Actualmente, algunos países de Latinoamérica cuentan con sus propios estándares para la producción de biodiesel. Entre los que se encuentra Brasil, con la norma ANP N° 7/08; Argentina, con la norma Resolución SE 1283/06; y Colombia, con la norma NTC 5444. Por otro lado, EUA propone la norma ASTM D6751 para la calidad en la producción de biodiesel (Benjumea et al., 2009; ARPEL–IICA, 2009). En México, aún no se ha llegado a un acuerdo en cuestiones de normatividad o estándares para la producción del biodiesel. En tanto, las instituciones federales encargadas de la regulación de estos asuntos, realizan mesas de diálogo para evaluar las posibilidades de impulsar el sector de los biocombustibles con serias inversiones. Por su parte, la Secretaría de Energía lanzó en su portal el siguiente comunicado: “Los días 19 y 20 de abril de 2012, se llevó a cabo Taller para la definición de estándares de calidad del biodiesel en México, cuyo objetivo fue reunir a los actores más relevantes en la materia, para analizar los diferentes factores que deben de tomarse en cuenta para el establecimiento de las especificaciones de calidad a que deberá ajustarse el biodiesel producido y comercializado en México (SENER, 2012)”.

Metodología

Para la caracterización, se emplearon 6 tipos de aceite recolectados del centro de Acopio ubicado en un costado de la caseta de vigilancia del ITCancún, (Véase figura No. 2)



Figura 2 Centro de Acopio del ITCancún.

Pre tratamiento

La pureza del aceite empleado para la generación de biodiesel es fundamental en el proceso, debido a que permite disminuir la producción de subproductos como ácidos grasos, disminuye la humedad, facilita la separación de fases en el proceso disminuyendo el tiempo de reacción, elimina residuos, minimiza la cantidad de catalizador a usar, entre otros. (Véase figura No. 3)



Figura 3 Pretratamiento del Aceite.

Tipos de procesos de producción de biodiesel

El proceso para la producción de biodiesel es la transesterificación o alcoholisis, sin embargo, para elevar la calidad del producto final, se emplea una combinación de procesos adicionales o bien, alternativos.

La implementación de estos radica, principalmente, en la selección de la materia prima para la elaboración de biodiesel, así como de la previa evaluación económica de los reactivos que intervienen en el proceso. El biodiesel se elabora con diferentes métodos que se pueden clasificar a partir de dos tipos de agentes catalíticos principalmente, alcalino o ácido. De igual manera, se debe considerar el tipo de materia prima con la cual se pretende trabajar, pues de estos dos factores, dependerá el método más adecuado a emplear. Para entender mejor los procesos químicos a los que se somete la materia prima para la producción de biodiesel, se presenta una breve descripción de tres procesos distintos en seguida (Raneses et al., 1999; Zhang et al., 2003a; Zheng et al., 2006).

A) Catálisis por agente alcalino usando aceite virgen de origen vegetal. La materia prima para este método es el aceite virgen de origen vegetal, al cual se le aplica el proceso denominado transesterificación. La reacción ocurre con una proporción molar de 6:1 entre metanol como agente alcalino y el aceite respectivamente. Posteriormente a una temperatura de 60 °C y una presión de 400 kPa, se agrega 1% de hidróxido de sodio con relación al aceite. En este método la cantidad de aceite que entra al proceso y que finalmente se convierte en biodiesel es aproximadamente de 95%, con glicerina como subproducto (Zhanget al., 2003a).

B) Catálisis por agente alcalino usando residuos de aceite de cocina de origen vegetal. En este método la materia prima proviene de residuos de aceite comestible. Para aceite usado se requiere un pretratamiento, que le devuelve de cierta forma al aceite usado, su condición de aceite virgen.

C) El término FAME, de su acrónimo en inglés Fatty Acid Methyl Esters, son los esteres metílicos de ácidos grasos, los cuales se forman de los ácidos grasos libres con la adición de metanol, que posteriormente son llevados a una sección de lavado para remover el ácido sulfúrico y el agua, obteniendo además

Tratamiento para eliminar del aceite vegetal usado

Esta alternativa puede ser llevada a cabo de dos formas. 1.- El aceite es sometido a temperaturas de 40°C - 80 °C en la placa de calentamiento en un intervalo de 30 min a 1 hr para eliminar la humedad, factor perjudicial durante el proceso, debido a que disminuye el rendimiento de la reacción, ya que el agua reacciona con los catalizadores formando jabones (Véase figura No. 4)



Figura 4 Eliminación de presencia de agua.

Análisis físico del aceite:

Al aceite residual se harán los siguientes análisis para su identificación física, se detallan las normas que podríamos usar para cada determinación y adoptar la que esté acorde a nuestras condiciones:

- densidad, EN ISO 3675 ASTM D4052

- Humedad norma UNE-EN ISO 12937, Viscosidad, EN ISO 3104 ASTM D445, EN 14214, norma UNE EN ISO 3104

- Análisis químico del aceite:
- Acidez, EN 14104 ASTM D664, norma UNE-EN 14104

- Índice de Yodo, EN 14111,

- Índice de Peróxidos norma EN 14214

Las principales variables que afectan el rendimiento de la reacción de transesterificación son: la temperatura, la concentración del catalizador, la relación molar alcohol/aceite, la intensidad de mezclado y el tiempo de reacción (Marchetti et al., 2007; Demirbas, 2005).

Relación molar (Alcohol: Aceite)

Esta es la variable más influyente en el rendimiento de la reacción y en la viscosidad final del biodiesel. El metanol, debido a su polaridad, su estructura de cadena corta, es menos sensible a la contaminación con agua, posee mayor rapidez de reacción con los triglicéridos, además de disolver fácilmente el NaOH. Las relaciones molares alcohol /aceite son 6:1, 15:1, 20:1, 30:1

Tipo de catalizador y concentración

La transesterificación vía catálisis ácida y alcalina se realizaron en dos etapas, se utilizaron dos tipos de catalizadores:

Catálisis ácida por medio de ácido sulfúrico (H_2SO_4) para la esterificación, en concentraciones de [g de catalizador]/[g de aceite]: 35/100, 25/100, 15/100, 5/100.

Catálisis alcalina por medio de hidróxido de sodio (NaOH) para la transesterificación, en concentraciones [g de catalizador]/[g de aceite]: 35/100, 25/100, 15/100, 5/100.

Para la catálisis ácida, la reacción es un poco más lenta además de requerir grandes cantidades de alcohol y temperaturas altas. Los ácidos se ven afectados por la presencia de agua al disminuir el rendimiento en la reacción. Es importante la correcta manipulación de los reactivos.

En el caso de la catálisis alcalina, es muy importante que los catalizadores se mantengan en estado anhidro. Debe evitarse su contacto prologado con el aire, pues éste disminuye su efectividad debido a la interacción con la humedad y con el dióxido de carbono, de lo contrario se presentarán reacciones secundarias de saponificación. Los hidróxidos presentan altas conversiones a condiciones moderadas y tiempos de reacción cortos, además de ser menos corrosivos y requieren volúmenes pequeños de alcohol.

Temperatura

La reacción de transesterificación puede ocurrir a diferentes temperaturas. Puede llevarse a cabo a una temperatura de 25°C o bien la temperatura al punto de ebullición del alcohol, para este estudio fue de 60 °C, empezaba a hervir muy rápido, las temperaturas pueden variar desde 25°C a 250°C, ya que el rendimiento de la reacción es directamente proporcional a la temperatura. Las temperaturas experimentales fueron de 65°C a 100°C para los experimentos 48, 27, 36,22, 12, 13 se modificaron las temperaturas 73°C debido a que el aceite presentaba color muy oscuro debido al uso del mismo.

Tiempo de reacción

El tiempo de reacción al igual que la temperatura es proporcional para el rendimiento de la transesterificación, sin embargo pueden variar considerablemente dependiendo del método empleado al igual que la cantidad de catalizador que se utilice.

Por lo que se estableció para este estudio tiempos de reacción de 3 a 24 horas, sobre todo en aceites muy oscuros o con mucho sedimento.

Separación de fases

Después de haber llevado a cabo la reacción de esterificación y transesterificación tiene lugar una separación espontánea en cada reacción debido a su inmiscibilidad, permitiendo la separación de glicerina en la esterificación y cera en la transesterificación por medio de decantación. El tiempo de reposo de acuerdo a la relación molar será de 2 a 10 hr. (Véase figura No. 5)



Figura 5 proceso de separación glicerina-biodiesel.

Diseño Experimental

Con el propósito de estudiar el efecto de la relación molar alcohol/aceite, la concentración de catalizador y la temperatura en el rendimiento y la velocidad de reacción se realizó un diseño factorial (4^4) con replicas, el cual consiste de un arreglo de cuatro factores con tres niveles cada uno. La combinación de factores y niveles da un total de 108, pero por el tiempo ahorro de reactivos solo se realizaron 48 experimentos. Tabla 1 diseño experimental por factores

Factor	Nivel			
Relación molar (Alcohol: Aceite)	6:1	15:1	20:1	30:1
Concentración de catalizador	.35%	.25%	.15%	.05%
Temperatura	65°C	70°C	80°C	100°C
Tiempo de reacción	3 hr	8 hr	12 hr	24 hr

Tabla 1 Factores y niveles diseño experimental.

La tabla 1 muestra el diseño experimental para la obtención del biodiesel, para la planta piloto del ITCancún.

Número de factores experimentales: 5

Número de bloques: 4

Número de respuestas: 5

Número de corridas: 108

Grados de libertad para el error: 95

Por ahorro de consumible y de tiempo se procedió analizar un total de 48 experimentos elegidos de forma para 6 tipos de aceites comestibles usados, de procedencia del centro de acopio del ITCancún. (Véase figura No. 6)



Figura 6 Muestras de aceites.

Características físicas

Densidad:

La densidad se define como el cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

Se determinó por triplicado según la norma Adaptado de EN-14214, reportando los resultados en gramos/mililitros

Cálculos

$$\rho = R + 0.723 * (T^{\circ}M - 15) \quad (1)$$

Dónde:

ρ = Densidad (Kg/ m³)

R= Nivel del líquido del densímetro registrado (Kg/m³)

T°= Temperatura de la muestra (°C).

Viscosidad Cinemática

Este método consiste en medir el tiempo que toma un volumen dado del líquido en fluir por gravedad a través de un viscosímetro calibrado de tipo capilar de vidrio a una temperatura determinada, en este caso 40 °C, usando un baño termostato .La norma (ASTM D445)es el método más sencillo para medir viscosidades.

En este se utiliza un viscosímetro de Ostwald y el Cannon. (Véase figura No. 6)

Cálculos

Calcular cada uno de los valores de viscosidad cinemática determinados, v_1 y v_2 , a partir de los tiempos de flujo medidos, t_1 y t_2 , y la constante del viscosímetro, C, por medio de la ecuación siguiente:

$$V_{1,2} = C * t_{1,2} \quad (2)$$

Dónde:

$V_{1, 2}$ = Valores de viscosidad cinemática determinados para v_1 y v_2 (mm²/seg)

C=Constante de calibración del viscosímetro (mm²/seg)

t= Tiempo (S)



Figura 6 Viscosidades cinemática (viscosímetro Canon)

Colorimetría (ASTM D-1500-98)

Principio del método

Consiste en el uso de una fuente de luz estándar, una muestra líquida se coloca en el recipiente de ensayo y se compara con los discos de vidrio de colores que van en valor de 0,5 a 8,0. Algunos compuestos pueden no ser coloreados, pero son capaces de absorber luz en una región visible si son sometidos a una acción de un reactivo. (Véase figura No. 7)



Figura 7 A) Aceite virgen, B) Muestra de Biodiesel.

Características Químicas

Índice de acidez

Los parámetros de acidez y ácidos grasos, deben presentar un índice de acidez menor al 0.05%. las muestras de aceite fueron analizados norma EN-14214 y la norma NMX-F-475-1985, los aceites nuevos tienen un máximo permisible de 0.5%.

Cálculos

- Índice de acidez

$$IA = \frac{PM \text{ NaOH} * VM * Mm}{m} \quad (3)$$

Dónde:

IA: índice de acidez (mg KOH/ gr aceite)

PM KOH: Peso molecular del KOH (56.1 gr/mol)

VM: Volumen de solución valorada de NaOH utilizada (ml)

Mm: Molaridad de la solución de KOH o NaOH utilizada (mol/L)

M: Masa de la muestra (g)

Determinación del porcentaje de ácidos grasos libres

Se tituló los ácidos grasos libres con fenolftaleína como indicador con la solución anteriormente preparada, hasta alcanzar el punto de viraje de la fenolftaleína. El porcentaje de AGL se calculó con la ecuación:

$$\%AGL = \frac{(V * M * N)}{m \text{ (aceite)}} \quad (4)$$

Donde: V= volumen de NaOH usado para la titulación (ml)

M= peso molecular ácido oléico (g/mol)

n= Normalidad de la solución de NaOH

m= peso de la muestra de aceite (gr)

Determinación de índice de peróxidos norma EN 14214

Esta prueba se efectúa valorando el yodo liberado con una solución de tiosulfato de una cantidad de muestra conocida. El resultado se expresa como el número de miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de grasa. La metodología utilizada para este experimento fueron basadas en las normas internacionales ASTM 6751-11a para los límites máximos de peróxidos contenidos en biocombustibles al igual con la NMX-F-475-1985.

El índice de peróxidos (IP) se expresa en miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de muestra:

$$IP = \frac{(V - VB) * N * 1000}{m (\text{aceite})} \quad (5)$$

Índice de Yodo Norma EN 14111

Índice de Yodo es el número de gramos de yodo absorbido por 100 g de aceite o grasa y es una de las medidas más útiles para conocer el grado de saturación de estos. Los dobles enlaces presentes en los ácidos grasos no saturados reaccionan con el yodo, o algunos compuestos de Yodo, formando compuestos por adición. Por lo tanto, mientras más bajo es el Índice de Yodo, más alto es el grado de saturación de una grasa o aceites (véase figura 8)



Figura 8 Titulación método Wijs.

Resultados

Los resultados se analizan empleando el paquete de software StatGraphics Centurión XV, como hojas de cálculo de Excel 2010

Se recolectaron para este estudio 6 tipos diferentes de aceites del centro de acopio del ITCancún (véase figura 9), se procedió hacer un análisis físico de las condiciones de los aceite, características organolépticas, midiendo pH y temperatura (tabla 2). Posteriormente se midió el volumen de cada muestra, se filtró para eliminar los residuos del contenido de las muestras, se dejó decantar por 12 horas aproximadamente. Se tomó una muestra de 400ml de los aceites para determinar índice de acidez, índice de peróxido, humedad, índice de yodo.



Figura 9 Muestras de aceites.

Índice de acidez y ácidos grasos, estos deben presentar un índice de acidez menor al 0.05%. Siguiendo la metodología de Araujo 1995 y en base a la norma NMX-F-475-1985, los aceites nuevos tienen un máximo permisible de 0.5%. La tabla 2 nos muestra los resultados del índice de acidez y ácidos grasos libres en los aceites analizados.

ACEITE	ÍNDICE DE ACIDEZ (mg KOH/g aceite)	FFA% (m/m)
Aceite #1	3.19	22.56
Aceite #2	5.6	39.76
Aceite #3	3.66	25.83
Aceite #4	2.13	15.03
Aceite #5	13.71	96.7
Aceite #6	5.59	39.48

Tabla 2 Índice de acidez, ácidos grasos.

La técnica indica que se reporta en mg de KOH, y los resultados que se muestran en la tabla es en base a NaOH.

Se observas que los resultados del aceite 2, 5 y 6 nos arroja una acidez arriba de 5%, 1, 3 y 4, nos dan índice de acidez dentro de los parámetros de las ASTM 6751-11a el valor debe estar en 2.0 mgKOH/gr de aceite, para la calidad de biodiesel, los aceites con mayor índice a 5% indica una alta presencia de ácidos grasos libres que favorecen la formación de jabón dificultando la separación del biodiesel.

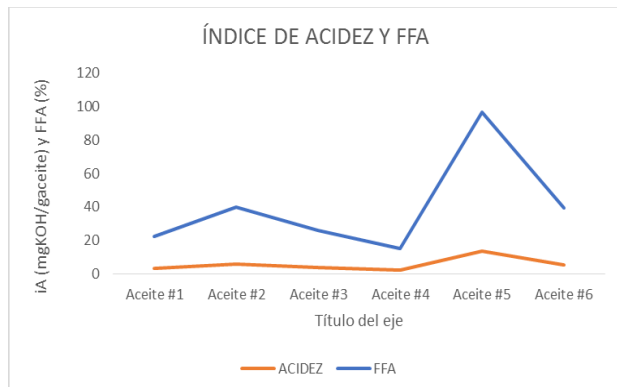


Gráfico 1 Resultados del índice de acidez y FFA en los aceites usados recolectados.

Índice de acidez final

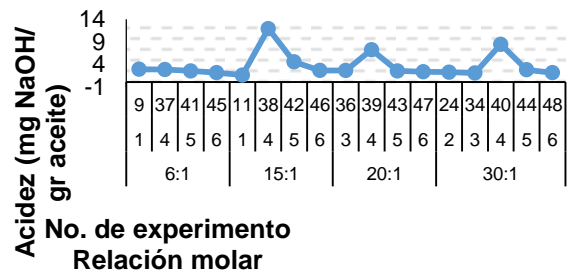


Gráfico 2 comportamiento de la acidez en base a la relación molar.

Se seleccionaron al azar pruebas de cada lote para realizar el índice de acidez de acuerdo a diferentes relaciones molares, propuestas en este estudio, se observan el IA final del biodiesel así como el número de experimentos elegidos y la relación molar al que pertenece, siendo la relación molar 6:1, la de menor % IA, de acuerdo a la bibliografía revisada, recomiendan trabajar con esta relación molar. Los resultados demuestran una disminución considerable de FFA.

1. Índice de acidez, ácidos grasos (FFA), índice de peróxido e índice de yodo.

La metodología que se utilizó para la obtención de los parámetros del índice de acidez, de peróxido y de yodo del aceite vegetal usado, tomando como base Araujo 1995, las normas mexicanas para aceites comestibles (NMX-F-223-1985 y la NMX-F-211-1987) así como las ASTM.

Índice de peróxido

Dicho parámetro se realizó con la metodología de Araujo 1995 comparando con la norma de calidad ASTM 6751-11a para los límites máximos de peróxidos contenidos en biocombustibles al igual con la NMX-F-475-1985. Se modificó la técnica en cuanto a las cantidades que indica la metodología de Araujo ya que no se obtenía la coloración indicada al adicionar el almidón en la titulación el proceso se hizo por triplicado.

Los rangos del índice de peróxidos de un aceite usado son 1 menores a 20 meq O₂/kg de aceite.

ACEITE	ÍNDICE DE PERÓXIDO (meq O ₂ /kg aceite)
Aceite #1	13.3
Aceite #2	13.46
Aceite #3	10.56
Aceite #4	11.23
Aceite #5	19.5
Aceite #6	14.3

Tabla 3 Índice de Peróxido

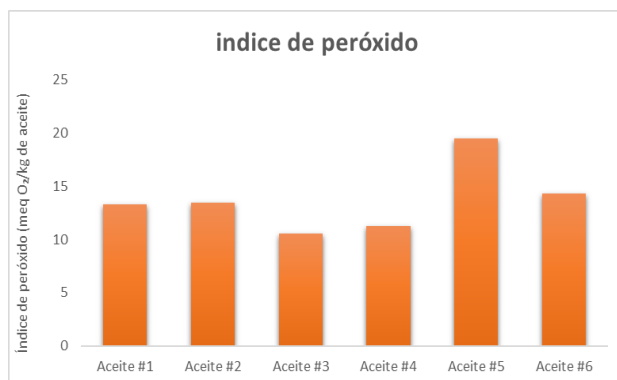


Gráfico 2 Resultados obtenidos del Índice de Peróxido.

Índice de Yodo

El índice de yodo es una propiedad química relacionada con la insaturación en los ácidos grasos, el índice de yodo del aceite residual fue menor a 0.5% esto se debe al tiempo de almacenamiento y al número de veces que usaron el aceite. (Véase tabla No.4)

Aceite	ÍNDICE DE YODO (g de I/100g de aceite)
Aceite #1	0.00093
Aceite #2	0.00853
Aceite #3	0.08979
Aceite #4	0.10181
Aceite #5	0.00067
Aceite #6	0.01194

Tabla 4 Índice de yodo de los aceites comestibles usados.

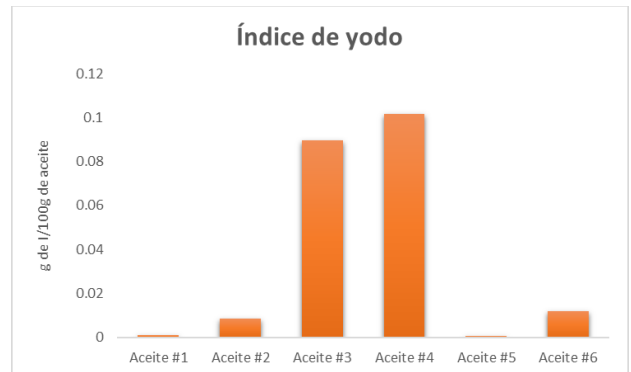


Gráfico 3 Índice de yodo de los aceites comestibles usados.

La norma NMX-F-475-1985 especifica un máximo de 130 g de I/g de aceite en aceites comestibles

Propiedades	Unidad	ASTM 6751	EN 14214	NTC 5444
Densidad (15°C)	g/mL	-----	0.860-0.900	0.860-0.900
Viscosidad a 40 °C	mm ² /s	1.9-6.0	3.5-5.0	1.9-6.0
Número ácido	mg KOH/g	0.8 máx.	0.5 máx.	máx. 0.5
Índice de yodo	g yodo/100 g	N.R	máx. 120	máx. 120
Índice de Peróxido	20 meq O ₂ /kg		20 meq O ₂ /kg	20 meq O ₂ /kg

Tabla 5 Normativa Colombiana para biodiesel.

Densidad

Fuente	Suma de Cuadrados	G l	Cuadrado Medio	Razó n-F	Valor -P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:relacion molar	3.09495E6	5	618990.	4.73	0.0016
RESIDUOS	5.49814E6	42	130908.		
TOTAL (CORREGIDO)	8.59309E6	47			

Tabla 6 Anova densidad & relación molar.

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de densidad en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre densidad con un 95.0% de nivel de confianza.

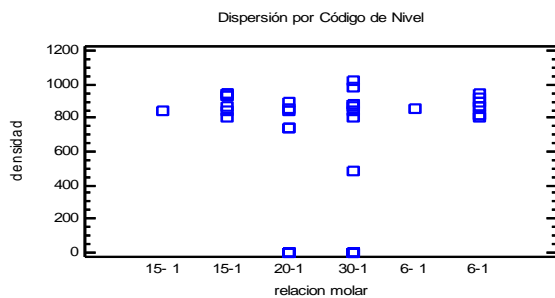


Gráfico 4 densidad relación molar

Los resultados indican que el biodiesel obtenido cumple con la norma mencionada, sin embargo, el 15% de los experimentos no cumplen con los límites permisible, ya que se saponificaron, por la calidad del aceite debido al uso o el número de veces que se utilizó en proceso de freído.

En la gráfica 6 se observa el efecto que tiene la temperatura sobre la densidad del Biodiesel, siendo la más óptima en 27°C, la técnica nos indica que debe ser a 15°C la lectura, nos encontramos en una zona geográfica en la que la temperatura es un factor determinante en los experimentos.

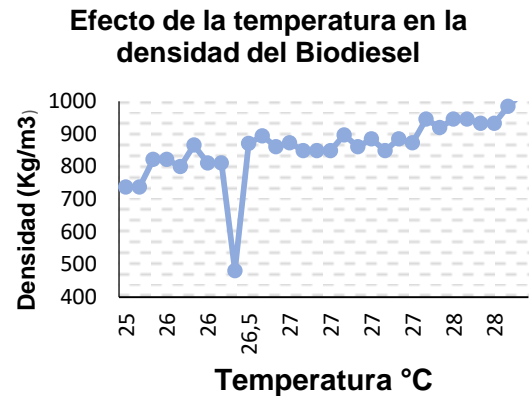


Gráfico 6 Comportamiento densidad & temperatura.

Se obtuvo una desviación estándar de índice de acidez de 4.18, de índice de yodo de 0.04 y de peróxido 3.16, los resultados de la desviación estándar fue por cada parámetro para tener una aproximación conforme a las normas ASTM para la calidad de biodiesel, estos rangos son aceptables para el uso del aceite usado comestible como materia prima para la elaboración de biodiesel.

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre viscosidad Otswald y temperatura. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Viscosidad Otswald} = 10.8383 - 0.0395773 * \text{temperatura}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.05, no hay una relación estadísticamente significativa entre viscosidad oswald y temperatura con un nivel de confianza del 95.0% ó más.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 8.47023% de la variabilidad en viscosidad oswald.

El coeficiente de correlación es igual a -0.291037, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 1.86676. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de

Pronósticos del menú de texto

El error absoluto medio (MAE) de 0.944464 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0.05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95.0%.

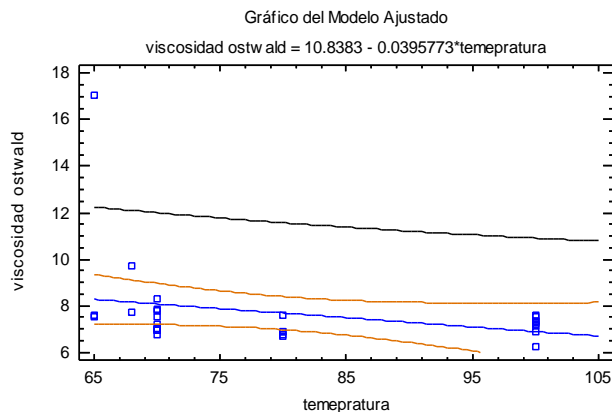


Gráfico 7 Relación ente viscosidad Ostwald versus temperatura.

La viscosidad del biodiesel fluye con una temperatura de 65-70°C.

Las viscosidades obtenidas con el viscosímetro Ostwald son mayores comparadas con la norma ASTM D445, los resultados con el viscosímetro Cannon cumplieron perfectamente los límites permisibles para viscosidad a 40°C.

En el caso del viscosímetro Cannon se consideró el rango calibración proporcionado por el manual del aparato.

Aceite	IA (mg KOH/g aceite)	FFA %	IY (g de I/100g de aceite)	IP (meq O /kg de aceite)	pH	T°C	Humedad y Materia Volatil %
aceite #1	3.19	22.56	0.00093	13.3	5	22	4.57
aceite#2	5.6	39.76	0.00853	13.46	5	22	5.48
aceite #3	3.66	25.83	0.08979	10.56	5	22	4.74
aceite #4	2.13	15.03	0.10181	11.23	5	22	4.43
aceite #5	13.71	96.7	0.00067	19.5	5	22	7.34
aceite #6	5.59	30.48	0.01194	14.3	5	22	7.87

Tabla 11 Resultados de los parámetros del aceite comestible usado para la elaboración de biodiesel.



Figura 10 Planta Piloto; 1 = Tanque de almacenamiento para aceite usado; 2 = Reactor de prelavado; 3 = Deposito de ácido sulfúrico; 4 = Reactor de esterificación; 5 = Deposito de metóxido; 6 = Reactor de transesterificación; 7 = Reactor de lavado; 8 = Reactor de secado; 9 = Tanque de almacenamiento para biodiesel. (Fuente Autores)

Los resultados de los parámetros que se midieron del aceite comestible usado se presentan a continuación:

pH, 5

Humedad 5.7%

Temperatura, 22°C

Índice de acidez, 4.18

Ácidos grasos libres 38%

Índice de yodo 0.04

Índice de peróxido 3.16

Estos resultados se obtuvieron por desviación estándar de acuerdo a las normas ASTM para la calidad de biodiesel y la NMX-F-475-1985 para aceites nuevos comestibles.

En general las características presentadas por el aceites obtenidos en el centro de acopio y comercial lo convierten en una adecuada materia prima para la elaboración de biodiesel.

Conclusiones

Las propiedades físico químicas del aceite comestible usado son apropiadas para realizar con éxito la transesterificación alcali catalizada y acidificada con H_2SO_4 .

Los resultados obtenidos durante el estudio de análisis de varianza de los factores, indican que el rendimiento transesterificación catalizada por NaOH son influenciados directamente por la relación molar alcohol/aceite y la interacción entre la concentración del catalizador y la temperatura de reacción.

Mediante el análisis de optimización se encuentra la combinación de factores y niveles más apropiada para realizar la transesterificación del aceite de ricino empleando metanol, las condiciones óptimas son: concentración de NaOH de 0.23%w/w, temperatura de reacción de 65°C y una relación volumétrica alcohol/aceite de 6.1, ya que en las relaciones 220:1 y 30:1, 10 de los 48 experimentos realizados no obtuvimos ningún resultado satisfactorio se generó grandes cantidades de cera, 0% de viscosidad y densidad, . Empleando las condiciones de reacción en el punto óptimo puede obtenerse una conversión de 98-99% en 12 a 24 hrs.

En la relación 20:1 se siguió todo lo que indica la técnica al añadirle el ácido sulfúrico cambio de coloración a verde, posteriormente al añadirle el Metóxido de sodio, después del tiempo de reacción se colocó en los embudos de separación en el transcurso de una hora ya está saponificado, para los experimentos 17, 18, 20, 21,25,26, 30, 32 con esto se concluye que la relación molar 20:1 no es la adecuada para utilizar en la obtención del biodiesel. Para la relación molar 30:1. CH_3OH a T: 70°C. Al añadir H_2SO_4 se torna color verde bajo. Presenta dos fases translúcidas casi iguales. Adición de METOXI provoca coloración blanco, se agita 1:30 con T y 1:30 sin T, los resultados no fueron satisfactorios, no se obtuvo nada del biodiesel.

Se calentó CH_3OH a T: 70°C, glicerina verde claro, la separación se logró a los 30 min, sin embargo se dejó reposando 1 hr, la segunda sedimentación con el metoxi, se hizo visible a los 30 min, o se dejó reposo 24 y lo único que se obtuvo fue una masa gelatinosa de color café, se concluye que pudo haber sido las condiciones de almacenaje del aceite, la degradación de los ácidos grasos o el número de freídas a la que fue sometido.

Se sugiere que en el centro de acopio se lleve un mejor control del tipo de empresas o particulares que depositan sus aceites usados comestibles, como es la cantidad, el tipo de contenedor, si está tapado, el color que presenta de donde procede.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico de Cancún, por las instalaciones de los laboratorios de química y de Biodiesel para realizar el presente trabajo. A la Dirección General de Institutos Tecnológicos, por el financiamiento otorgado el desarrollo el proyecto. (Actualmente cambio la razón social a Tecnológico Nacional de México).

Consolidar la Maestría en Ciencias Ambientales, en la Línea de investigación o de trabajo: Procesos y Tecnologías para Sistemas Ambientales

Referencias

Acosta, F., Castro, P., Cortijo, E. 2008. Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala. Lima, Perú.: Editorial Soluciones Prácticas-ITDG.

Alsop, W. G., N. J. Summit y I. J. Krems. 1963. Process for the preparation of higher fatty acid monoglycerides. US patent 3,083,216.

ARPEL – IICA 2009. Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe – Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Manual de Biocombustibles, Roma, Italia. ATSDR. 1997.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for benzene. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Barnwal, B. K. y Sharma, M. P. 2005.

Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 9:363-378. Benjumea, P., Agudelo, J., Ríos, L. 2009.

Biodiesel: Producción, calidad y caracterización. Colección Investigación/Ciencia y tecnología. [Libro en línea, formato .acsm para Adobe Digital Editions]. Medellín, Colombia, Universidad Antioquia.

Birnbaum, H. 1959. A fuel-contaminated aquifer. *Environ. Sci. Technol.* 32:1832-1840. Jutglar, L., Galán, M. 2012. *Termotecnia*. Barcelona, España: Marcombo. Kim, S. y Dale, B. E. 2005.

Lifecycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. *Biomass and Bioenergy*. 29:426-439. Kuhrt, N. H. (1953). Preparation of monoglycerides. US patent 2,634,279.

Marchetti, J. M., Miguel, V.U. y Errazu, A.F. Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. In press .

Meffert, A. 1984. Technical uses of fatty acid esters. *JAOCs*. 61:255-258. Miao, X., Wu, Q. 2005. Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. *Bioresource Technology*.

Mittelbach, M. y P. Tritthart. 1988. Diesel fuel derived from vegetable oils, III. Emission tests using methyl esters of used frying oils. *JAOCs*. 65:1185-1187. Montgomery, R. 2004. Development of bio-based products. *Bioresource Technology*. 91:1-29.

Noureddini, H., Dailey, W.R. y Hunt, B. A. 1998b. Production of ethers of glycerol from crude glycerol- the by-co-product of biodiesel production. *Advances in Environmental Research*. 2: 232-243. Noureddini, H., Gao, X. y Philkana, R. S. 2005. Immobilized *Pseudomonas cepacia* lipase for biodiesel fuel production from soybean oil. *Bioresource Technology*. 9: 769-777.

Glaser, L. K., Price, J. M. y Duffield, J. A. 1999. Potential biodiesel markets and their economic effects on the agricultural sector of the United States. *Industrial Crops and Products*. 9: 151-162.

Rheineck, A. E., R. Bergseth y B. Sreenivasan. 1968. Glycerolysis of linseed oil: a compositional study. *JAOCS*, 46:447-451. SAGARPA 2011. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Producción de biodiésel. [En línea, formato.html]. D. F., México: SAGARPA. Recuperado de <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/biodiésel/produccion-debiodiésel.html>

Salis, A., Pinna, M., Mondozi, M. y Solinas, V. 2005. Biodiesel production from triolein and short Caín alcohol through biocatalysis. *Journal of Biotechnology*. 119:291-299.

Sankaran, V. 1990. Transesterification of triglycerides. US patent 4,966,876. SENER 2012. Secretaría de Energía de México. Noticias. [En línea, formato .html]. D. F., México: SENER. Recuperado de <http://www.renovables.gob.mx/> Sonntag, N. O. V. (1982). Glycerolysis of fats and methylesters - status, review, and critique. *JAOCS*. 59: 795A-802A.

Tanaka, Y., A. Okabe y S. Ando. 1981. Method for the preparation of a lower alkylester or fatty acid. US patent 4:303-590. U. S. Environmental Protection Agency. 1986. Underground motor fuel storage tanks: a national survey, NTIS PB 86-216512. U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Determinación de la velocidad de corrosión de hierro gris en biodiesel de girasol

DECTOR, Andrés*†, MANRIQUEZ-REZA, Elizabeth', SOSA-DOMÍNGUEZ, Adrián'' y MARROQUIN, Ángel.

Universidad Tecnológica de San Juan del Río, Av. La Palma 125, Col. Vista Hermosa, San Juan del río, Qro., México.

' Universidad Politécnica de Querétaro, Carretera estatal 420 s/n, El Rosario, El Marqués, Qro., México.

'' Universidad Autónoma de Querétaro, C. U. Cerro de las Campanas s/n, Colonia Las Campanas, Qro., México

Recibido Octubre 21, 2016; Aceptado Noviembre 25, 2016

Resumen

Fue obtenida la velocidad de corrosión de piezas de hierro gris expuestas mediante pruebas de inmersión a diferentes mezclas de diésel / biodiesel (B0, B20, B50, B80 y B100) a temperatura ambiente y de 80 °C. Por otra parte, fue corroborado que la velocidad de corrosión se ve incrementada conforme aumenta el contenido de biodiesel en las mezclas. Adicionalmente, se determinó que la temperatura de 80 °C, que simula la temperatura alcanzada dentro de un motor de combustión, acelera la corrosión sobre las piezas de hierro gris en comparación a la velocidad de corrosión obtenidas en las pruebas a temperatura ambiente.

Velocidad de corrosión, hierro gris, mezclas diésel / biodiesel

Abstract

The corrosion rate of grey iron pieces was obtained through immersion tests of the pieces in different diesel/biodiesel mixtures (B0, B20, B40, B60, B80 y B100) at room temperature and 80 °C. On the other hand, the increasing of corrosion rate according to the raising of biodiesel present in mixtures was corroborated. In addition, it was determined that the temperature of 80 °C, that simulates the temperature reached in the combustion engine, accelerates the corrosion of grey cast iron compared with test carried out to room temperature.

Corrosion rate, gray iron, diésel / biodiesel blen

Citación: DECTOR, Andrés, MANRIQUEZ-REZA, Elizabeth SOSA-DOMÍNGUEZ, Adrián y MARROQUIN, Ángel. Determinación de la velocidad de corrosión de hierro gris en biodiesel de girasol. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 109-114

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: andres_dector@live.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Recientemente alrededor del mundo el biodiésel ha sido considerado como un biocombustible en energías alternativas [1]. El biodiésel es una sustancia orgánica la cual puede ser producida a partir de aceite de fuente animal o vegetal [2].

El uso de Biodiésel como combustible en sistemas automotrices tiene considerables ventajas en comparación al diésel, tales como su biodegradabilidad, cero toxicidad y cero emisiones contaminantes al medio ambiente [3-5], además puede ser mezclado según las normas ASTM D6751-08, D975-08a y D7467-08 [6-8] de manera eficiente con el diésel en mezclas desde 5% y no mayores al 20% (20 % de biodiesel y 80% diésel) y emplearse en motores de combustión. Mezclas mayores de 20% no han sido empleadas debido a la incertidumbre del daño que éstas podrían causar al motor. Lo anterior debido a que el biodiésel es considerado químicamente estable en forma pura [9] pero suele volverse corrosivo durante su uso, mostrando inestabilidad térmica y absorción de agua [10, 11], causando una serie de problemas de corrosión a los diferentes materiales que conforman el motor [12, 13]; tales como el hierro gris que es encontrado en diversas partes del motor como en la camisa de cilindro, pistón, anillos, válvulas, engranes, ejes y cigüeñal [14].

Algunos relevantes trabajos han reportado la obtención de la velocidad de corrosión provocada por mezclas de biodiesel sobre hierro gris. Geller et al., [15] investigaron la corrosión del hierro gris empleando mezclas de biodiesel proveniente de grasa en mezclas de 20% y 80%. Ellos desarrollaron pruebas de inmersión durante 10 meses a 38 °C y encontraron grandes pérdidas de material para la mezcla B80.

Una experimentación similar fue desarrollada por M. A. Fazal [16] quien investigo el efecto de la inhibición de la corrosión sobre el hierro empleando inhibidores como la etilendiamina, n-butilamina y t-butilamina en biodiesel al 100% a temperatura ambiente por 50 días. Aunque el estudio de la corrosión para el hierro ha sido investigado, aún hacen falta datos acerca de la velocidad de corrosión que proporcionen valores en mezclas mayores de 20% y a temperaturas reales de un motor con el objetivo de estudiar el comportamiento de la corrosión sobre el hierro.

El objetivo de este trabajo fue obtener la velocidad de corrosión y compararla para diferentes mezclas de diésel / biodiesel (B0, B20, B50, B80 y B100) provocadas por la corrosión de éstas sobre el hierro gris a temperatura ambiente de 27 °C y de 80 °C.

Metodología

Síntesis de biodiésel

El aceite vegetal seleccionado para la síntesis de biodiesel fue el aceite de girasol (Cristal, Aceites grasas y derivados S. A), esto debido a alta producción a nivel industrial.

La densidad y el pH del aceite vegetal del girasol fue determinada empleando un densímetro Ludwig Schneider tiras de papel pH, respectivamente.

Por otra parte, se realizó una reacción de transesterificación al hacer reaccionar el aceite vegetal con metanol (J. T. Baker 99.98% ACS) en presencia de hidróxido de sodio (J. T. Baker ACS) como catalizador. Esta reacción se llevó a cabo en un sistema de destilación a reflujo. La relación de las materias primas utilizadas fueron 5/1 aceite vegetal / metanol con el 0.035% de catalizador.

Posteriormente, la solución obtenida se dejó reposar 8 horas en un embudo de separación y se separó en las fases de **biodiesel y glicerol mediante lavados** del biodiesel. Estos últimos, consistieron en mezclar el biodiesel con agua en una relación 1/1 para eliminar los residuos de hidróxido de sodio. Posteriormente, la mezcla se dejó reposar por 8 horas en un embudo de separación. Finalmente, las fases fueron separadas y la operación fue repetida dos veces más.

Mezclas de diésel / biodiesel

La velocidad de corrosión para el hierro gris fue investigada sobre diferentes mezclas de diésel/biodiesel basándose en la norma ASTM D6751, D975-08a y D7467-08 para mezclas de 5% a 20% de biodiesel y sobrepasandolas cómo se muestra en la Tabla 1.

Nombre de muestra	% de diésel	% de biodiesel
B0	100	0
B20	80	20
B50	50	50
B80	20	80
B100	0	100

Tabla 1 Mezclas de diésel/biodiesel empleadas en la determinación de la velocidad de corrosión sobre el hierro gris

Preparación de probetas

Las probetas de hierro gris con dimensiones de 1.5 x 1.5 x 0.5 cm fueron pulidas, lijadas, limpiadas con agua y acetona (Sigma Aldrich).

Las pruebas de inmersión fueron hechas en 600 mL de la mezcla diésel/biodiesel correspondiente. Fueron desarrolladas dos pruebas con replica por cada mezcla mostrada en la tabla 1, una a temperatura ambiente y otra a 80 °C, en tiempos de 30 días.

Velocidad de corrosión

Para la obtención de la velocidad de corrosión fue empleada la siguiente ecuación:

$$velocidad\ de\ corrosión = \frac{(m_2 - m_1) \times 24 \times 365}{\rho t A \times 1000} = 8.76 \times \frac{\Delta m}{\rho t A} \quad (1)$$

Donde la velocidad de corrosión es calculada en milímetros por año (para este trabajo en $\mu\text{m año}^{-1}$), m_1 es el peso antes de la corrosión (g), m_2 es el peso después de la corrosión (g), ρ es la densidad del metal (g cm^{-3}), t es el tiempo de exposición y A el área expuesta (m^2).

Resultados

Velocidad de corrosión a 27 °C

El gráfico 1 muestra el valor de la velocidad de corrosión para el hierro gris en mezclas B0, B20, B50, B80 y B100 a temperatura ambiente. Es observado el incremento de la velocidad de corrosión conforme es aumentada la cantidad de biodiesel en la mezcla.

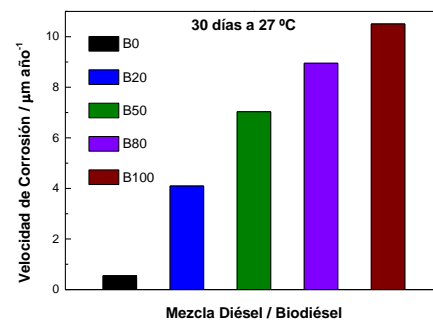


Gráfico 1 Velocidad de corrosión sobre el hierro gris en mezclas de diésel / biodiesel a temperatura ambiente

Es interesante resaltar el bajo valor de la velocidad de corrosión para el diésel al 100% (B0) de $0.55 \mu\text{m año}^{-1}$ y el aumento de la velocidad de corrosión casi 7.5 veces más para la mezcla con contenido de 20% Biodiesel (B20).

Del mismo modo, un aumento casi constante en la velocidad de corrosión conforme se aumenta la cantidad de biodiesel (de la mezcla B20 hasta la B100) es apreciado.

Las observaciones anteriores sobre el aumento de la velocidad de corrosión se deben al contenido de agua, metanol, glicerol y ácidos grasos libres que pudieran haber permanecido como remanentes después de la preparación del propio biodiesel.

Velocidad de corrosión a 80 °C.

Por otra parte, el gráfico 2 muestra los valores de la velocidad de corrosión para el hierro gris en mezclas B0, B20, B50, B80 y B100, cuando las pruebas de inmersión se llevan a cabo a 80 °C. Esta temperatura empleada es en relación a la temperatura alcanzada en un motor de combustión antes de que el sistema de enfriamiento lleve a cabo su función.

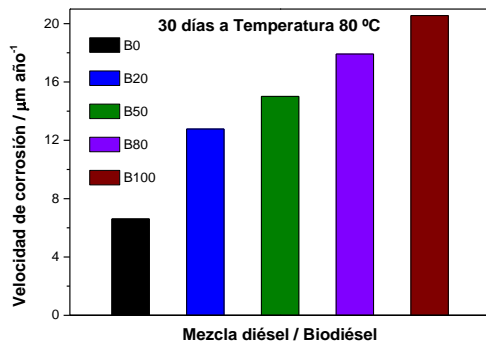


Gráfico 2 Velocidad de corrosión sobre el hierro gris en mezclas de diésel / biodiesel a temperatura de 80 °C

El valor de velocidad de corrosión obtenido para la prueba de diésel al 100% (B0) es aumentado al doble para la mezcla con 20% contenido de biodiesel. Mientras que un aumento casi constante es observado de la mezcla B20 hasta la mezcla B100.

Comparación de la velocidad de corrosión

Finalmente el gráfico 3 muestra una comparación de la velocidad de corrosión para las pruebas realizadas a 27 °C y 80 °C.

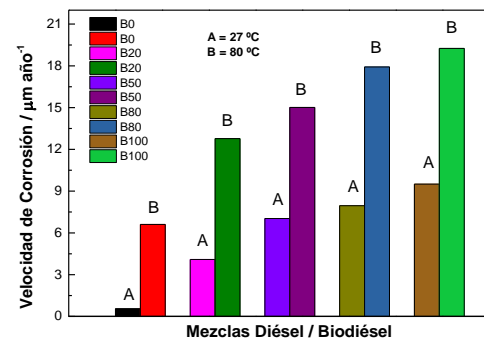


Gráfico 3 Comparación de la velocidad de corrosión sobre el hierro gris en mezclas de diésel / biodiesel a temperatura de 27° y 80 °C

La tendencia observada en el incremento de la velocidad de corrosión es notoria para ambos casos donde la temperatura es distinta. Sin embargo valores mayores a una temperatura de 80° son observados para cada caso.

Los valores obtenidos para la velocidad de corrosión en B100 (0.0095 y 0.020 mm $\text{a}\tilde{\text{a}}\text{o}^{-1}$ a 27 y 80 °C, respectivamente), son encontrados dentro de un rango menor a la unidad pero un poco menores a los reportados en la literatura (Fazal), aunque es importante destacar la naturaleza del biodiesel empleado para las pruebas.

Aunque es de esperar que exista un velocidad de corrosión considerable para las mezclas con contenido de Biodiésel, debe observarse el incremento tan alto cuando 100% de diésel es empleado a 80 °C, siendo casi del mismo valor que cuando es empleado 100 % biodiesel a temperatura ambiente.

El considerable aumento de la velocidad de corrosión sobre las piezas a 80 °C puede ser atribuido al movimiento de las partículas de agua, metanol, glicerol y ácidos grasos libres sobre el metal, por el calentamiento de las mismas [16].

Conclusiones

El hierro gris es susceptible a sufrir corrosión en presencia de diesel, biodiesel y mezclas de ambos. Aumentando la velocidad de corrosión sobre éste conforme aumenta el contenido de biodiesel en la mezcla.

Un factor importante es que con la simulación de una temperatura de motor de 80 °C para la realización de las pruebas, la velocidad de corrosión aumenta debido al movimiento de las partículas de agua, metanol, glicerol y ácidos grasos libres presentes como contaminantes en el biodiesel sobre las piezas de hierro.

Estudios fisicoquímicos sobre las mezclas para determinar su acidez, contenido de agua, etc., y sobre las piezas para determinar el tipo de oxidación y los elementos formados por ésta; podrían aportar más datos significativos a este estudio.

Referencias

Lapuerta, M., Armas, O., Ballesteros, R., & Fernandez, J. (2005). Diesel emissions from biofuels derived from Spanish potential vegetable oils. *Fuel*, 84(6), 773-780.

Apostolakou, A., Kookos, I., Marazioti, C., & Angelopoulos, K. (2009). Techno-economic analysis of a biodiesel production process from vegetable oils. *Fuel Processing Technology*, 90(7-8), 1023-1031.

Knothe, G. (2008). "Designer" Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties †. *Energy & Fuels*, 22(2), 1358-1364.

Fazal, M., Haseeb, A., & Masjuki, H. (2011). Biodiesel feasibility study: An evaluation of material compatibility; performance; emission and engine durability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1314-1324.

Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33(3), 233-271.

ASTM D6751-08, Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008 <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D6751>. DOI: 10.1520/D6751-08

ASTM D975-08a, Standard Specification for Diesel Fuel Oils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008. <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D975> DOI: 10.1520/D0975-08A

ASTM D7467-08, Standard Specification for Diesel Fuel Oil, Biodiesel Blend (B6 to B20), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.

Melero, J. A., Calleja, G., Garcia, A., Clavero, M., Hernandez, E. A., Miravalles, R., & Galindo, T. (2010). Storage stability and corrosion studies of renewable raw materials and petrol mixtures: A key issue for their co-processing in refinery units. *Fuel*, 89(3), 554-562.

Tao, Y. (1995) Operation of Cummins N14 Diesel on Biodiesel: Performance, Emissions and Durability, Report No. 95-E11-B004524 to National Biodiesel Board, submitted by Ortech Corporation

Monyem, A., & Gerpen, J. H. (2001). The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. *Biomass and Bioenergy*, 20(4), 317-325. doi:10.1016/s0961-9534(00)00095-7

Terry, B., McCormick, R. L., & Natarajan, M. (2006). Impact of Biodiesel Blends on Fuel System Component Durability. *SAE Technical Paper Series*. doi:10.4271/2006-01-3279

Haseeb, A., Fazal, M., Jahirul, M., & Masjuki, H. (2011). Compatibility of automotive materials in biodiesel: A review. *Fuel*, 90(3), 922-931. doi:10.1016/j.fuel.2010.10.042

Geller, D. P., Adams, T. T., Goodrum, J. W., & Pendergrass, J. (2008). Storage stability of poultry fat and diesel fuel mixtures: Specific gravity and viscosity. *Fuel*, 87(1), 92-102. doi:10.1016/j.fuel.2007.03.043

Fazal, M., Haseeb, A., & Masjuki, H. (2011). Effect of different corrosion inhibitors on the corrosion of cast iron in palm biodiesel. *Fuel Processing Technology*, 92(11), 2154-2159. doi:10.1016/j.fuproc.2011.06.012

Fazal, M., Haseeb, A., & Masjuki, H. (2010). Comparative corrosive characteristics of petroleum diesel and palm biodiesel for automotive materials. *Fuel Processing Technology*, 91(10), 1308-1315.

Estudio de las señales EEG generadas a partir de expresiones faciales

CHÁVEZ-SAENZ, Velia*†, JIMENEZ-GONZÁLEZ, Fernando, TORRES-RAMÍREZ, Dulce y PEREZ-KLAPEZ, Christian.

Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Av. Universidad Tecnológica No. 3051, Col. Lote Bravo II, 32695 Cd Juárez, CHIH, México

Recibido Octubre 20, 2016; Aceptado Noviembre 21, 2016

Resumen

En este artículo, se presenta un estudio de las señales electroencefalográficas (EEG) generadas cuando una persona realiza una expresión facial como: levantamiento de cejas, pestañeo, movimiento de los labios cerrados hacia la derecha o hacia la izquierda. La adquisición de la señal se realiza en tiempo real utilizando el dispositivo Emotiv EPOC+, recolectando lecturas de una muestra que considera hombres y mujeres de distintas edades. Como resultado, se muestran los electroencefalogramas obtenidos donde es posible observar el cambio de características de amplitud en las señales dependiendo de la expresión facial realizada por el sujeto a prueba. Finalmente, se detalla la selección de la señal con mayor actividad y el resultado obtenido en términos de amplitud para determinar diferencias cuantitativas entre la actividad de las señales para cada una de las expresiones.

Señales EEG, Expresión facial, Emotiv EPOC+, Electroencefalograma

Abstract

On this article, a study of the electroencephalographic signals (EEG) is addressed, such signals generated when a person performs certain facial expression, for instance: eyebrow lift, eye blinking and closed lips movement to left or right. The signal acquisition is performed on real time by using the commercial device EMOTIV EPOC+, gathering readings from a sample that considers mens and womens of different ages. As the results, electroencephalograms acquired are presented where is possible to observe the signal width change depending on each facial expression performed by the person under test. Finally, the selection of the signal with major effect is detailed, and the result obtained in terms of signal width to determine quantitative differences between signals performance depending on each facial expression.

EEG Signals, Facial expression, Emotiv EPOC+, Electroencephalogram

Citación: CHÁVEZ-SAENZ, Velia, JIMENEZ-GONZÁLEZ, Fernando, TORRES-RAMÍREZ, Dulce y PEREZ-KLAPEZ, Christian. Estudio de las señales EEG generadas a partir de expresiones faciales. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-6: 115-124

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: velia_chavez@utcj.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El desarrollo de interfaces cerebro computador (ICC) o *Brain computer Interfaces* (BCI) para adquirir electroencefalogramas dentro de un contexto científico, ha permitido que el estudio las señales cerebrales sea utilizado para el desarrollo de tecnología de soporte en distintas áreas, por ejemplo en control de dispositivos que brinden algún tipo de independencia a personas con algún tipo de discapacidad motriz.

El artículo presenta un estudio de las señales electroencefalográficas (EEG) adquiridas cuando una persona realiza distintas expresiones faciales, basándose en la problemática de pérdida total o parcial de la movilidad en una o más partes del cuerpo. Cuando la discapacidad sucede, comúnmente la persona puede continuar controlando sus músculos faciales sin problema alguno, por lo que surge la idea de que por medio de una ICC la persona controle algún dispositivo realizando alguna expresión facial.

La investigación se basa en determinar las características de magnitud y canal de activación en las señales encefalograficas, que se presentan en la actividad cerebral del usuario, cuando realiza una expresión facial como: levantamiento de cejas, parpadeo, movimiento de los labios hacia la derecha, hacia la izquierda y al sonreír. Para la comprobación de esta hipótesis, se realizó un estudio sobre una muestra de la población que esta compuesta por 10 sujetos de prueba, entre los cuales se contemplaron 5 sujetos de género femenino y 5 sujetos de género masculino, a los cuales se les solicitó realizar las 5 expresiones faciales antes mencionadas y así analizar el comportamiento de las señales en el electroencefalograma para posteriormente sesgar la señal con mayor actividad al realizar el movimiento y determinar el rango en μV que gráficamente es posible observar para cada expresión.

Este artículo se organizó iniciando con la investigación donde se presentan términos y proyectos relacionados con este trabajo, posteriormente se presenta la Metodología compuesta por la selección de sujetos de prueba, diseño y aplicación de pruebas, mostrando el proceso completo realizado y los electroencefalogramas obtenidos ante las distintas pruebas aplicadas. Para concluir se presentan los resultados obtenidos, los agradecimientos y las fuentes bibliográficas en las que esta investigación de apoyo.

Marco Teórico

Una señal EEG es una medida de la corriente que fluye durante la excitación sináptica de las dendritas de muchas neuronas piramidales en la corteza del cerebro. Para medir estas señales es necesario obtener un electroencefalograma (Sanei, 2013).

El electroencefalograma es una prueba que se usa para estudiar el funcionamiento del sistema nervioso central, concretamente de la actividad de la corteza del cerebro. Consiste esencialmente en registrar mediante electrodos especiales las corrientes eléctricas que se forman en las neuronas cerebrales, y que son la base del funcionamiento del sistema nervioso.

El dispositivo indicado dentro del ámbito médico para obtener los electroencefalogramas son los electroencefalógrafos, dentro del contexto científico pudiéramos llamarles: Interfaces cerebro computador (ICC), las cuales se definen como sistema de comunicación que monitoriza la actividad cerebral y traduce determinadas características, correspondientes a las intenciones del usuario, en comandos de control de un dispositivo.

Para la adquisición de las señales en este proyecto, luego de hacer una exhaustiva investigación, se seleccionó el dispositivo Emotiv EPOC+.

Este dispositivo (Figura 1), es un sistema de detección neuroeléctrica que capta y amplifica ondas cerebrales generadas por diferentes “acciones” mentales. Este dispositivo es capaz de obtener las señales de los 14 canales: AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4. Este dispositivo también maneja un filtro para frecuencias de 0.2 a 45 Hz, el cual puede tomar hasta 128 muestras por segundo en cada canal (EMOTIV, 2016).



Figura 1 Emotiv EPOC+ (EMOTIV, 2016).

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó el kit de desarrollo de *software* (SDK) Emotiv Xavier, con sus distribuciones:

1. Emotiv Xavier *Control Panel*, versión 3.3.2
2. Emotiv Xavier *Test Bench*, versión 3.1.20

El *control panel* permite visualizar al usuario el estatus de comunicación entre la diadema y la computadora y el *test bench* es la plataforma donde es posible visualizar en tiempo real las señales adquiridas.

La configuración de los canales para la adquisición de las señales de este dispositivo se basa en el sistema internacional 10-20, el cual es un método internacionalmente aprobado para describir la ubicación de electrodos en el cuero cabelludo, para el registro del EEG (Jurcak, Tsuzuki, & Ippeita, 2007), tal como se muestra en la Figura 2.

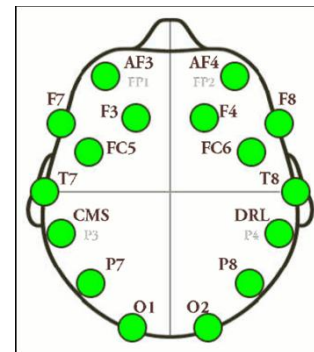


Figura 2 Sistema de posicionamiento 10-20 (Ekanayake, 2015).

Existen distintos trabajos que se han desarrollado dentro de este ámbito, en (Monge & Aracena, 2015) se presenta de la misma interfaz que se utiliza para este proyecto, Emotiv EPOC+, en donde se realizan reconocimientos de gestos faciales y pensamientos cognitivos, los cuales posteriormente traducen en movimientos que ejecuta un robot Lego Mindstorms, con la idea de verificar si realmente esta ICC realiza un adecuado reconocimiento de los gestos faciales para ser utilizado en el control de otros dispositivos.

Por otra parte se ha trabajado en el estudio de las señales EEG desde la perspectiva de las emociones como es el caso de (Carrillo, Meza, Morán, Galindo, & García, 2015), donde se presenta un estudio preliminar que busca identificar las emociones utilizando registros de la actividad eléctrica del cerebro en adultos mayores a través de la visualización de imágenes predefinidas que estimulan las emociones conocidas a priori.

Metodología

Selección de sujetos de prueba

Para la aplicación de pruebas se seleccionó un grupo de personas compuesto por 5 mujeres y 5 hombres de distintas edades. Esto se realizó con la finalidad de ampliar la muestra de la población en la medida de lo posible.

En la Tabla 1 se presenta la lista de los sujetos de prueba a utilizar organizados por género femenino (los primeros 5) y masculino (los últimos 5), su edad y ocupación.

Sujeto #	Edad (años)	Ocupación
1	12	Estudiante
2	19	Estudiante
3	21	Estudiante
4	30	Profesionista
5	48	Profesionista
6	9	Estudiante
7	17	Estudiante
8	23	Estudiante
9	35	Comerciante
10	61	Profesionista

Tabla 1 Datos de los Sujetos de prueba

Diseño de pruebas

Para llevar a cabo las pruebas fue necesario establecer las expresiones faciales que se utilizarían para analizar las señales EEG. Las expresiones seleccionadas fueron:

- Parpadear (lentamente)
- Levantar cejas
- Mover la boca hacia la izquierda
- Mover la boca hacia la derecha
- Sonreír

En la Figura 3 se presenta una muestra de las expresiones seleccionadas en algunos de los sujetos de prueba.

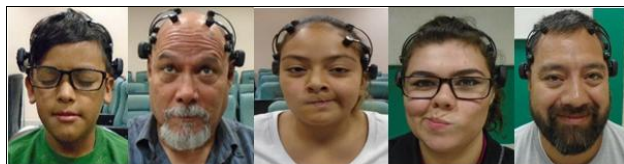


Figura 3 Expresiones faciales utilizadas para realizar las pruebas.

Una vez seleccionadas las expresiones se estableció solicitar al sujeto de prueba realizar la expresión facial cada vez que se le indicara. La indicación de realizar la expresión facial con cada sujeto de prueba se realizó 5 veces dejando reposar al sujeto después de realizarla 5 segundos, tiempo suficiente para visualizar el electroencefalograma y determinar si se presenta algún comportamiento distinto (pico) en alguna de las señales adquiridas y así sesgar esa señal para analizar gráficamente su comportamiento para determinar su rango en μV .

Aplicación de pruebas

La aplicación de pruebas se realizó en un espacio cerrado, sin ventanas y completamente en silencio. Esto con la finalidad de disminuir el ruido en las señales.

Prueba: Parpadear (lentamente)

A continuación se presentan resultados de las pruebas obtenidos al aplicar la prueba de parpadeo en la cual se solicitó se hiciera lentamente.

En la Figura 4 se muestra al sujeto de prueba #1 realizando el parpadeo, mientras tanto en la Figura 5 se presenta el electroencefalograma obtenido en tiempo real, donde es posible observar como las señales **AF3** y **F7** reaccionan con un pico en el momento en que se realizó el parpadeo.



Figura 4 Sujeto de prueba #1 parpadeando lentamente.

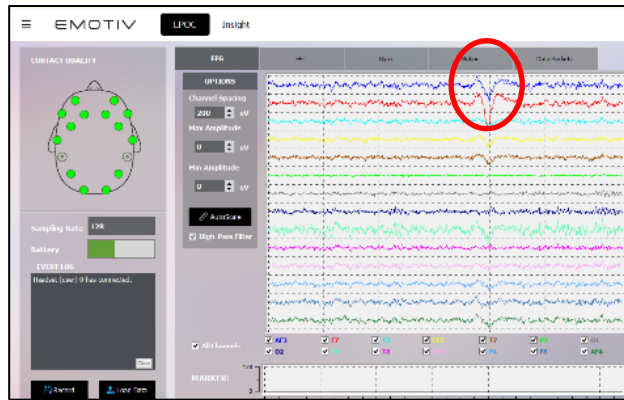


Figura 5 Muestra de electroencefalograma con evidencia de parpadeo en sujeto de prueba #1.

Debido a que en la mayoría de las muestras la señal que tuvo reacción fue la AF3, fue la seleccionada para determinar la amplitud como se muestra en la Figura 6 la cual varía entre los -160 y los 120 μ V.

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

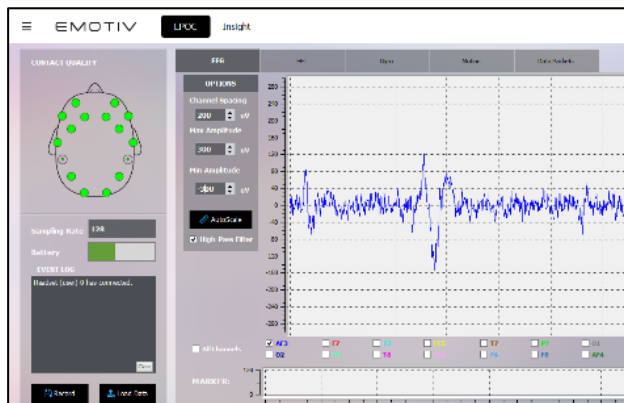


Figura 6 Muestra de la señal con mayor actividad por el parpadeo del sujeto de prueba #1.

Prueba: Levantar las cejas

A continuación se presentan resultados de las pruebas obtenidos al aplicar la prueba de levantamiento de cejas.

En la Figura 7 se muestra al sujeto de prueba realizando el levantamiento de cejas mientras tanto en la Figura 8 se presenta el electroencefalograma obtenido en tiempo real, donde es posible observar como en el momento de realizar la expresión, la mayoría de las señales generan una reacción.



Figura 7 Sujeto de prueba #3 levantando las cejas.

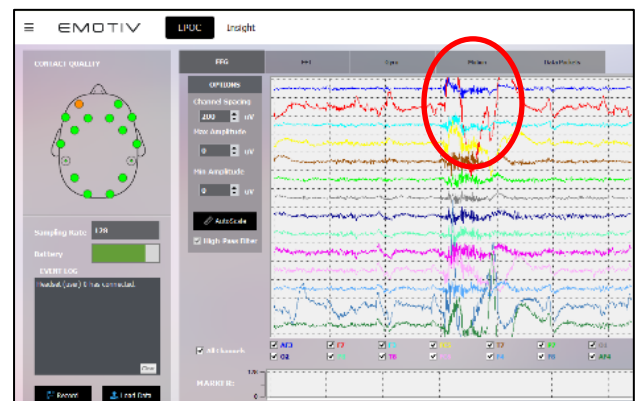


Figura 8 Muestra de electroencefalograma con evidencia de levantamiento de ceja en sujeto de prueba #3.

Al analizar detenidamente la Figura 8 es posible visualizar que la señal F7 tiene un pico mayormente marcado y esta reacción se presentó en las todas las muestras obtenidas, por lo tanto fue la seleccionada para sesgar como se muestra en la Figura 9, en la cual podemos observar que el rango del pico varía entre los -200 y los 200 μ V.

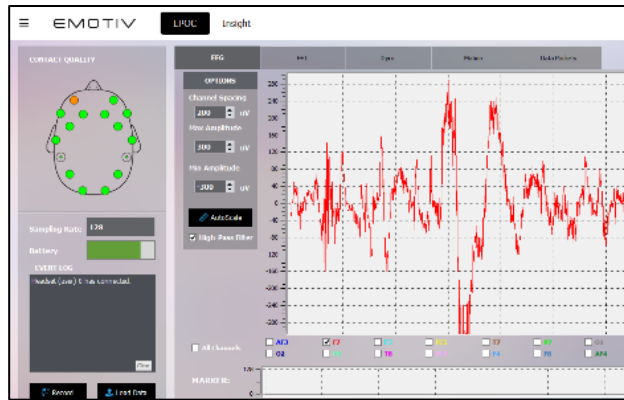


Figura 9 Muestra de la señal con mayor actividad por el levantamiento de cejas del sujeto de prueba #3.

Prueba: Mover la boca hacia la izquierda

A continuación se presentan resultados de las pruebas obtenidos al aplicar la prueba de mover la boca a la izquierda.

En la Figura 10 se muestra al sujeto de prueba #7 realizando el movimiento de la boca hacia la izquierda, mientras tanto en la Figura 11 se presenta el electroencefalograma obtenido en tiempo real y en la cual es posible observar que al realizar la expresión todas tienen algo de actividad sin embargo la señal T7 es la gráficamente muestra mayor amplitud en el pico.



Figura 10 Sujeto de prueba #7 moviendo la boca hacia la izquierda.



Figura 11 Muestra de electroencefalograma con evidencia de levantamiento de ceja en sujeto de prueba #7.

Al sesgar la señal T7 como se muestra en la Figura 12, se visualizó una amplitud de -200 a 280 μ V.

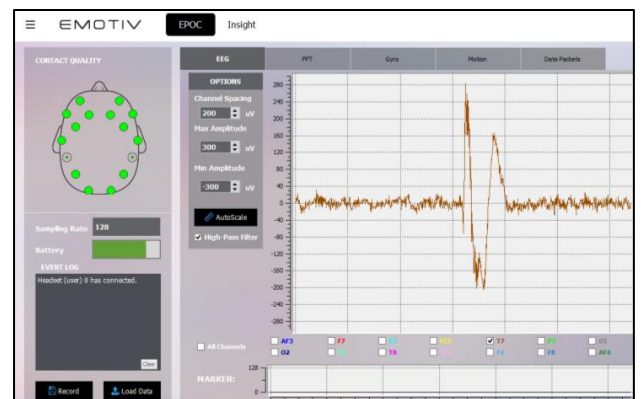


Figura 12 Muestra de la señal con mayor actividad por el movimiento de boca a la izquierda del sujeto de prueba #7.

Prueba: Mover la boca hacia la derecha

A continuación se presentan resultados de las pruebas obtenidos al aplicar la prueba de mover la boca a la derecha.

En la Figura 13 se muestra al sujeto de prueba #7 realizando el movimiento de la boca hacia la derecha, mientras tanto en la Figura 14 se presenta el electroencefalograma obtenido en tiempo real y en la cual es posible observar que al realizar la expresión todas tienen algo de actividad sin embargo la señal F7 es la gráficamente muestra mayor amplitud en el pico.



Figura 13 Sujeto de prueba #6 moviendo la boca hacia la derecha.



Figura 14 Muestra de electroencefalograma con evidencia de movimiento de la boca a la derecha en sujeto de prueba #6.

Al sesgar la señal F7 como se muestra en la Figura 15, se determina gráficamente que su amplitud es de menos de -300 a más de 300 μV .

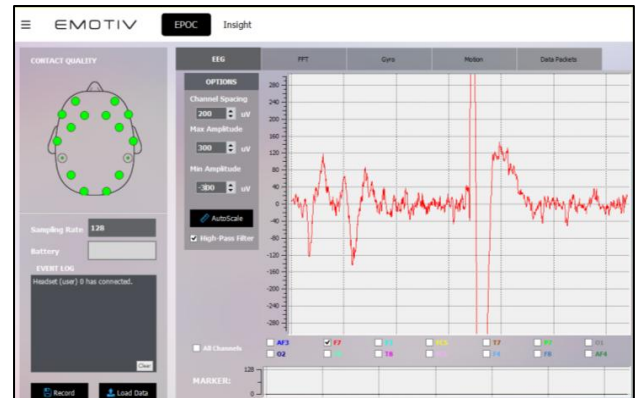


Figura 15 Muestra de la señal con mayor actividad por el movimiento de boca a la derecha del sujeto de prueba #6.

Prueba: Sonreír

A continuación se presentan resultados de las pruebas obtenidos al aplicar la prueba de Sonreír.

En la Figura 16 se muestra al sujeto de prueba #10 sonriendo, mientras tanto en la Figura 17 se presenta el electroencefalograma obtenido en tiempo real y en la cual es posible observar que al realizar la expresión todas tienen algo de actividad sin embargo la señal T7 es la que gráficamente muestra mayor amplitud en el pico.



Figura 16 Sujeto de prueba #10 sonriendo.

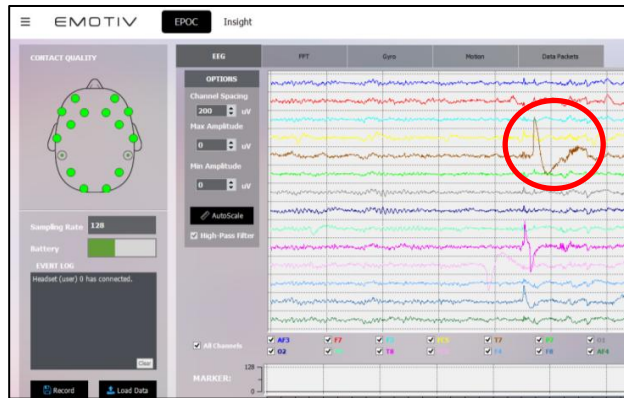


Figura 17 Muestra de electroencefalograma con evidencia de sonrisa en sujeto de prueba #10.

Al sesgar la señal T7 como se muestra en la Figura 18, se determina gráficamente que su amplitud es de menos de -200 a más de 300 μ V.

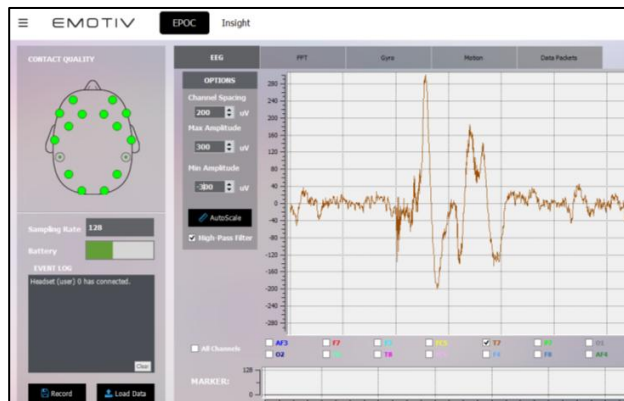


Figura 18 Muestra de la señal con mayor actividad por la sonrisa del sujeto de prueba #10.

Resultados

Una vez que se concluyó con la aplicación de pruebas, se generó un concentrado de los resultados de las mediciones por medio del análisis gráfico de las señales sesgadas cada vez que se generaba un pico al realizar la expresión facial. Con el objetivo de concentrar los resultados en la Tabla 2 y 3 se presenta el promedio en μ V obtenido de las 5 pruebas aplicadas a los 10 sujetos mostrando el canal de excitación.

Sujeto	Señal	Parpadeo		Señal	Levantar cejas	
1	AF3	+	128	F7	+	280
		-	156		-	300
2	AF3	+	106	F3	+	208
		-	94		-	202
3	AF3	+	136	F8	+	282.4
		-	156		-	282.4
4	AF3	+	92	FC5	+	208
		-	100		-	188
5	AF3	+	66	P8	+	272
		-	62		-	252
6	AF3	+	268	F7	+	300
		-	288		-	300
7	F7	+	156	T7	+	126
		-	176		-	202
8	AF3	+	58	0	+	0
		-	58		-	0
9	F7	+	98	AF4	+	300
		-	108		-	300
10	AF3	+	50	F8	+	300
		-	52		-	300

Tabla 2 Promedios obtenidos de los rangos en μ V obtenidos para las pruebas de parpadeo y levantamiento de cejas.

La Tabla 2 presenta únicamente los resultados de las pruebas de parpadeo y levantamiento de cejas. Como es posible observar, aunque un sujeto realizará la misma expresión facial, el rango en μ V varía bastante. Como punto de comparación, observar los resultados del Sujeto de prueba #6 en comparación con el sujeto de prueba #10, aunque ambos son de género masculino y es la misma señal la que se excita al momento de realizar el gesto, el rango promedio varía por la parte positiva con 218 μ V y en la parte negativa con -236 μ V.

Sujeto	Señal	Boca Izquierda		Señal	Boca Derecha		Señal	Sonrisa	
		+	-		+	-		+	-
1	F7	+	140	F8	+	184	T7	+	212
		-	140		-	188		-	200
2	FC 5	+	122	FC 5	+	74	0	+	0
		-	130		-	98		-	0
3	FC 5	+	76	T8	+	162	T7	+	228
		-	84		-	170		-	168
4	T7	+	88	T8	+	114	T7	+	96
		-	112		-	134		-	90
5	T8	+	194	T8	+	232	F7	+	152
		-	254		-	172		-	196
6	F7	+	312	FC 5	+	256	T7	+	228
		-	316		-	160		-	224
7	T7	+	272	T8	+	244	T7	+	98
		-	220		-	224		-	102
8	T7	+	300	F7	+	282	T7	+	145
		-	300		-	254		-	162
9	FC 5	+	270	FC 5	+	176	F7	+	232
		-	196		-	178		-	240
10	T7	+	300	F7,F C 5	+	234	T7	+	242
		-	300		-	182		-	238

Tabla 3 Promedios de los rangos en μV obtenidos, para las pruebas de movimiento de la boca a la izquierda, a la derecha y de sonrisa.

En la Tabla 3 se presentan los promedios de las pruebas de movimiento de la boca a la izquierda, movimiento de la boca a la derecha y sonrisa, en donde es posible observar una gran variación de rangos en los voltajes obtenidos a pesar de que la señal en algunos casos sea la misma. Un detalle en la Tabla 3, es el notorio incremento de voltaje de los picos dentro del grupo de los sujetos de género masculino (6 al 10).

Como medida de repetibilidad de las señales que generaron un pico al realizar cada una de pruebas, se presenta la Tabla 4. En esta es posible observar las expresiones faciales que generaron resultados más constantes en la mayoría de los usuarios son: el parpadeo en el canal AF3 y la sonrisa en el canal T7.

El porcentaje de total indica si es que la prueba género reacción en las señales en todos los usuarios indicándose con un 100% o no por ejemplo levantar cejas y sonrisa. De igual forma es posible observar que los canales P7, O1, O2, FC6 y F4 no presentaron actividad fuera de lo normal en ninguna de las pruebas.

Expresión	Parpadeo	Levantar cejas	Mover boca hacia la izquierda	Mover boca hacia la derecha	Sonrisa
AF3	80%				
F7	20%	20%	20%	10%	20%
F3		10%			
FC5		10%	30%	40%	
T7		10%	40%		70%
P7					
O1					
O2					
P8		10%			
T8			10%	40%	
FC6					
F4					
F8		20%		10%	
AF4		10%			
Total	100%	90%	100%	100%	90%

Tabla 4 Medición de la repetibilidad de cambio en las señales.

Agradecimiento

Se agradece a las personas que brindaron su tiempo y paciencia para formar parte del grupo de sujetos de prueba, así como al equipo de trabajo que contribuyó para llevar a cabo esta investigación. Un agradecimiento especial a los jóvenes Audiel Hernández Rodríguez y a Edgar Fernando Méndez Martínez. De igual forma se agradece al PRODEP por financiar este proyecto con número de oficio NÚM/SA-013/2016.

Conclusiones

Se ha presentado un estudio de señales electroencefalográficas cuando se realiza una expresión facial. Los resultados preliminares presentan evidencia de que hay canales a través de los cuales se obtienen señales de manera repetitiva independientemente del sujeto que esté realizando la expresión facial, sin embargo la amplitud del pico generado es lo que presenta variación con cada uno de los sujetos de prueba. Con esto, se comprueba la hipótesis planteada en un inicio debido a que al realizar una expresión facial hay actividad en una o más señales así como también hay variación en la amplitud del pico generado en el momento en que se realiza la expresión.

La presente investigación es un primer estudio que da la base para la siguiente etapa de este proyecto que consiste en establecer conexión del dispositivo Emotiv EPOC+ con un software que permita manipular las señales. Por otra parte, como trabajo futuro se propone la aplicación de métodos estadísticos a partir de los cuales sea posible realizar predicciones conforme a bases de datos generadas para sujetos de prueba.

Referencias

Carrillo, I., Meza, V., Morán, A., Galindo, G., & García, E. (2015). Emotions Identification to Measure User Experience Using Brain Biometric Signals. *Springer*, 15-25.

Ekanayake, H. (2015). *P300 and Emotiv EPOC: Does Emotiv EPOC capture real EEG?* Obtenido de <http://neurofeedback.visaduma.info/emotivresearch.htm>

EMOTIV. (16 de Julio de 2016). *Emotiv EPOC Specifications 2014*. Obtenido de EMOTIV: <https://www.emotiv.com/files/Emotiv-EPOC-Product-Sheet-2014.pdf>

Jurcak, V., Tsuzuki, D., & Ippeita, D. (2007). 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems. *NeuroImage*, 1600-1611.
Monge, S., & Aracena, D. (2015). Control de movimiento robótico con detección cognitiva y facial mediante Emotiv EEG. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 23 (4), 496-504.
Sanei, S. (2013). *Adaptive processing of brain signals*. Surrey: Wiley.

Instrucciones para Autores

[Título en Times New Roman y Negritas No.14]

Apellidos en Mayusculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor
Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva

(Indicar Fecha de Envío:Mes,Día, Año); Aceptado(Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen

Título

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keyword

Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.11

Cita: Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor. Título del Paper. Título de la Revista. 2015, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para Autores

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No.10 y Negrita]

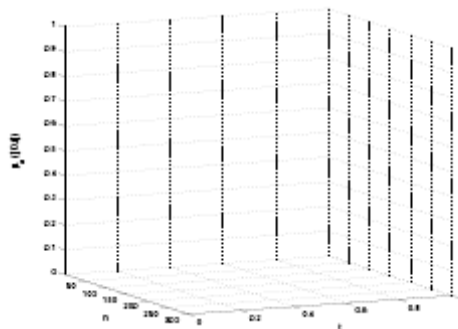


Gráfico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

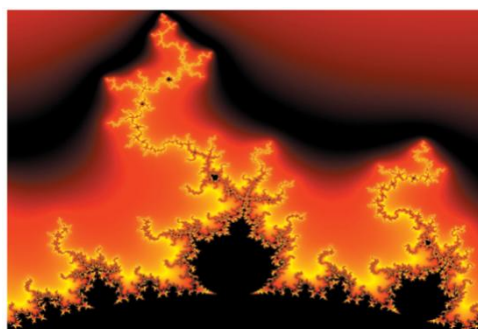


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Cada artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

Instrucciones para Autores

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del artículo.

Ficha Técnica

Cada artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencia

Formato de Originalidad



Madrid, España a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Madrid, España a ____ de ____ del 20____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Spain difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Spain to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Investigación y Desarrollo

