

Valoración del Calor Residual de Reactores de Pirólisis para la Producción Combinada de Carbón Vegetal y Combustible Torreficado

M.Heredia L. Tarelho A. Matos

Departamento de Ambiente y Ordenamiento, Universidad de Aveiro, Aveiro, Portugal.

†E-mail: heredia.mario@ua.pt; ltarelho@ua.pt

Resumen

La pirólisis normalmente no es considerada durante el diseño de sistemas energéticos. Sin embargo, esta puede ser una importante alternativa para la valorización de biomasa residual industrial debido a la versatilidad respecto de los productos que se pueden obtener. Se implementó un conjunto de balances de masa y energía para definir las características y rendimientos de los principales productos pirolíticos considerando un rango de temperaturas entre 250-650°C. Fue definido el consumo de energía térmica del reactor para ser descontado de la energía térmica generada durante la combustión del gas de pirolisis, estableciendo así el calor residual disponible. Finalmente se definió la capacidad operativa de un reactor de torrefacción que recurre a este calor. Se encontró que el rendimiento de carbón disminuye y el rendimiento de gas pirolítico aumenta cuando la temperatura del reactor aumenta. Además, la concentración de alquitranes y agua pirolítica es predominante en la composición del gas pirolítico. El calor residual está disponible a partir de los 420°C, cuando el reactor de pirolisis comienza a ser auto térmico. Sin embargo, debido a la integración del calor generado por la combustión del gas de torrefacción, existe calor disponible para torrefacción cuando la carbonización se realiza a partir de los 347°C.

Palabras clave— Reactores de pirólisis, torrefacción, biomasa residual, calor residual, carbón vegetal

Abstract

Pyrolysis is not normally considered when designing and planning energy systems, nevertheless due to the versatility regarding final products, pyrolysis reactors can be an important option for industrial residual biomass valorization instead the typical systems configuration for electricity production. A set of mass and energy balances were implemented in order to define the characteristics and yields of the main pyrolytic products for a temperature range of 250-650°C. The pyrolysis reactor thermal energy consumption was defined to be discounted from the thermal energy generated due to pyrolysis gas combustion, thus establishing the process waste heat. Finally, the operational capacity of a torrefaction reactor driven by the waste heat generated during charcoal production was modeled. It was found that the charcoal yield decreases and pyrolysis gas increases when pyrolysis reactor peak temperature increases. Furthermore, tar and water concentration in pyrolysis gas is predominant. The pyrolysis process starts to be auto thermal at 420°C thus waste heat is available from this reactor operational condition. Nevertheless, if torrefaction is considered for integration, waste heat for torrefied fuel production is available if carbonization is performed from 347°C due to the integration of heat generated from torr gas combustion.

Index terms— Pyrolysis reactors, torrefaction, residual biomass, waste heat, charcoal.

Recibido: 14-12-2015, Aprobado tras revisión: 24-12-2015.

Forma sugerida de citación: Heredia M.; Tarelho L. y Matos A. (2016). “Valoración del calor residual de reactores de pirólisis para la producción combinada de carbón vegetal y combustible torreficado”. Revista Técnica “energía”. N° 12, Pp. 396-404.

ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCION

En los últimos años, la caída en los precios del petróleo ha ocasionado impactos en todo el mercado de las energías renovables. El sector de los biocombustibles, a decir: los productores de etanol y biodiesel han sido particularmente afectados. El negocio de los biocombustibles es bastante complejo pues a diferencia de una agroindustria tradicional, además de las volatilidades asociadas al mercado energético, es influenciada por las oscilaciones típicas de los mercados agrícolas ocasionadas por sequías, plagas, heladas, etc.

Por lo tanto, se ha venido discutiendo que una de las opciones para equilibrar la plataforma del negocio agroindustrial pasa por la exploración de nuevos productos preferencialmente de alto valor en el mercado extendiendo de este modo el portafolio de productos agroindustrial más allá del mercado energético o alimenticio respectivamente. Por otro lado, la actividad agroindustrial genera grandes cantidades de biomasa residual, por lo tanto la diversificación del portafolio de productos podría estar basada en su uso optimizado.

Los sistemas energéticos que utilizan biomasa residual son típicamente diseñados para producir electricidad recurriendo a procesos de conversión termoquímica. En este sentido, los ingenios azucareros tradicionalmente utilizan la biomasa residual generada (bagazo de caña) para producir electricidad y calor para el propio proceso industrial [1], [2]. De acuerdo a [3], las extractoras de aceite de palma africana poseen también el potencial para utilizar la biomasa residual generada durante el proceso para producir electricidad para autoconsumo e inyectar los excedentes en el sistema nacional interconectado. Además de esto, los productores de carbón vegetal en Brasil han venido estudiando el potencial de producción de electricidad recurriendo al uso de los productos pirolíticos gaseosos [4]. Está claro entonces que la valorización de biomasa residual generada en la industria con el objetivo de producir electricidad ha sido extensamente estudiada. E este respecto, vale la pena puntualizar que la producción de electricidad en América Latina recurriendo a la construcción de plantas hidroeléctricas en lugar de plantas térmicas es una tendencia. Para el año 2020 Brasil tiene planes de incrementar 26.638MWe de potencia hidroeléctrica a su matriz energética, Perú mas de 20.000 MW_e, Colombia cerca de 5200 MW_e, Argentina 2600 MW_e, Ecuador 2929 MW_e y

Costa Rica 955 MW_e [5]. Esta tendencia se justifica por el alto potencial hidroeléctrico que posee la región. La Organización Latinoamericana para la Energía OLADE, estima que Latinoamérica y el Caribe como región tienen el potencial de producir 694 GW_e lo cual representa el 25% del potencial mundial de producción hidroeléctrica [6].

Generalmente, calderas de biomasa de lechos fijos o móviles, asociadas a ciclos Rankine son utilizadas para producir electricidad cuya eficiencia está atada a limitaciones de carácter termodinámico [7], [8]. La tasa de eficiencia de los sistemas que producen electricidad basados en ciclos termodinámicos es siempre más baja que la que se puede alcanzar en plantas hidroeléctricas. Por lo tanto, ambas coyunturas dejan claro que es importante explorar opciones más allá de la electricidad vista como principal producto para la diversificación del portafolio de productos agroindustrial.

A este respecto, los reactores de pirólisis constituyen una importante alternativa al compararlos con reactores de combustión e inclusive gasificación, una vez que la pirólisis ofrece una mayor versatilidad respecto de los productos finales que se pueden obtener. En los últimos años, la producción de carbón vegetal ha venido ganando relevancia más allá de su tradicional utilización como combustible para cocción de alimentos, especialmente en lo que tiene que ver con la producción de biochar. En términos generales, el biochar puede ser entendido como: i. Fertilizante orgánico [9], ii. Producto para remediación de suelos [10] and iii. Secuestro de carbono [11], siendo probado que su aplicación controlada en suelos incrementa el rendimiento de las cosechas y reduce el stress hídrico del suelo causado por sequías [12]. Por lo tanto, el biochar puede ser una importante alternativa para la valorización de la biomasa industrial, especialmente si se considera toda la cadena agroindustrial. Adicionalmente, el carbón vegetal, más allá de su utilización como combustible para cocción de alimentos, ha sido también estudiado y aplicado como aditivo en la dieta animal [13], [14], materia prima para la producción de carbón activado [15], [16] e inclusive salud humana [17].

La integración de reactores de pirolisis en la industria requiere el desarrollo de modelos precisos capaces de estimar los rendimientos de los productos pirolíticos y la eficiencia global del

proceso. Sin embargo, la descripción del proceso pirolítico es particularmente desafiante, debido a que este proceso envuelve una vasta cantidad de transformaciones físicas y químicas además de que produce un extenso número de especies. Debido a ello, los modelos existentes que pretenden pronosticar las tasas o rendimientos de los productos volátiles liberados todavía están siendo soportados por datos empíricos. Generalmente, la conversión de la partícula de combustible es tratada como una caja negra, una vez que los complejos procesos ocurriendo en ella durante la pirólisis no son considerados. Únicamente la estequiometría final del proceso pirolítico es pronosticada, siendo que normalmente se recurre a parámetros empíricos para determinar la composición de los productos volátiles en un número relevante de especies. Estos modelos de partícula simplificados son bastante útiles pues pueden ser directamente utilizados para el modelado de reactores [18].

Por lo tanto, se desarrolló una simulación por computadora con el objetivo de definir las características principales de los productos pirolíticos para un rango determinado de temperaturas pico del reactor. Como la eficiencia energética del proceso depende de la medida en la cual la energía térmica generada durante la producción de carbón vegetal es transferida para una aplicación útil, es de vital importancia calcular y estimar la energía térmica consumida por el reactor de pirólisis, definiendo de este modo la energía térmica disponible para integrar con otros procesos. A este respecto, la torrefacción puede ser uno de los procesos que susceptibles de ser integrados. La torrefacción es un tipo de pirólisis leve, que es normalmente utilizada para el pretratamiento de biomasa, logrando a través de ella incrementar su poder calorífico y tornarla hidrofóbica [19]. Todas estas definiciones permiten modelar un sistema energético basado en el aprovechamiento de biomasa residual, que pretende producir de forma combinada carbón vegetal y combustible torreficado.

2. METODOS

El presente trabajo considera un reactor de pirólisis que utiliza biomasa residual forestal como materia prima para la producción combinada de carbón vegetal y combustible torreficado. Todos los cálculos fueron basados en la composición

proximal y elemental que se muestra en la Tabla 1. Hay varias configuraciones de reactores de pirólisis para la producción de carbón vegetal. Generalmente, los procesos de producción tradicional (por ejemplo los hornos Missouri o los hornos del tipo beehive) no consideran la utilización del gas de pirólisis. El proceso pirolítico es realizado bajo atmosferas pobres en oxígeno y todos los productos pirolíticos gaseosos son liberados hacia el ambiente. Con el objeto de mejorar los rendimientos de carbonizado y debido a el establecimiento de límites máximos de emisiones [20], los actuales diseños de reactores de pirólisis generalmente realizan la carbonización en atmosferas inertes para luego capturar y quemar el gas de pirólisis en una cámara de combustión adicional para generar el calor necesario para el proceso.

De acuerdo a [21], en general, la pirólisis de hemicelulosa y lignina es exotérmica, en lugar de la pirólisis de celulosa que es endotérmica a bajas temperaturas (<400-450°C), siendo que, esta se vuelve exotérmica en altas temperaturas. Por esta razón un Sistema adecuadamente diseñado inicialmente requiere calor externo únicamente mientras la temperatura requerida es alcanzada. Por consiguiente, en la configuración propuesta en este trabajo el gas de pirólisis es quemado en una cámara de combustión adicional para generar el calor necesario para el proceso de pirólisis y además para operar un reactor de torrefacción. La Fig. 1 muestra un esquema general de la configuración del sistema propuesta. En la primera etapa de análisis, se utilizó un modelo empírico propuesto por [22] para definir el rendimiento y las características de los productos de ambos reactores y para realizar un balance de masa al reactor de pirólisis principalmente.

Este modelo calcula: i. Rendimiento de carbón vegetal, alquitranes y gas de pirólisis, ii. Composición C-H-O del carbón vegetal, alquitranes y gas de pirólisis, iii. Rendimientos de las especies volátiles resumidas en: C_xH_y , CH_4 , CO , CO_2 , H_2 y agua pirolítica (H_2O). A este modelo se lo complementó con el cálculo del poder calorífico superior PCS y el poder calorífico inferior PCI de los productos pirolíticos, resumidos como: carbón vegetal, alquitranes y gas de pirólisis. Con base en esta estructura se implementó un balance de energía definiendo de este modo el consumo de energía térmica del reactor.

Tabla 1: Análisis proximal y elemental de un tipo de biomasa residual forestal (eucalipto) en base seca, utilizado para la producción de carbón vegetal [23]

Eucalypt	
Proximate Analysis (wt% _{db})	
Moisture	13,42
Volatile	81,51
Ash	2,87
Fixed Carbon ^a	15,63
Elemental Analysis (wt% _{db})	
C	43,99
H	7,94
N	0,03
S	0,00
O ^a	45,18
Heating Value (MJ/kg db)	
HHV	19,98

^avalores obtenidos por diferencia.

En la segunda etapa de análisis, utilizando el pronóstico dado por el modelo para la composición C-H-O del gas de pirólisis, se desarrolló un balance de masa y energía en la cámara de combustión con el objetivo de valorar la energía térmica que puede ser generada al quemar el gas de pirólisis. Las ecuaciones y consideraciones generales del balance de masa y energía en la cámara de combustión pueden ser encontradas en [24]. Esta estructura permite valorar el calor residual disponible para subsecuentemente operar un reactor de torrefacción. El reactor de torrefacción fue modelado con base en consideraciones termodinámicas generales y asumiendo que este opera como un secador [25]. La energía consumida durante el proceso de torrefacción fue estimada como la suma de: i. La energía necesaria para evaporar la humedad de la biomasa forestal (calor latente), ii. El calor sensible aportado a la biomasa forestal y iii. Un porcentaje de pérdidas a lo largo del proceso.

Durante la torrefacción, la generación de gas de torrefacción fue estimada y su fracción fue integrada en el balance de masa y energía realizado a la cámara de combustión. Todas las ecuaciones fueron integradas en una rutina de MATLAB® para explorar las variantes del proceso en un rango de temperaturas típicamente utilizado en reactores de pirólisis (250-650°C). Respecto de la torrefacción, la temperatura del proceso se fijó en 260 °C (torrefacción leve).

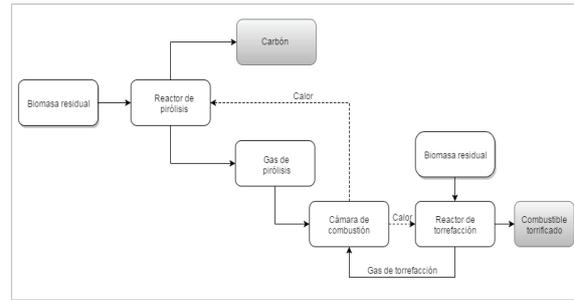


Figura 1: Esquema general de la configuración del sistema energético propuesto para la producción combinada de carbón vegetal y combustible torreficado

En cuanto al balance de energía del proceso pirolítico, el reactor de pirólisis fue definido como volumen de control. Posteriormente, el calor consumido por la reacción de pirólisis y la energía asociada a la biomasa alimentada al reactor en base seca fueron consideradas como entradas. La energía asociada a la biomasa que es alimentada al reactor fue dividida en tres porciones: i. Calor sensible, ii. Calor latente y iii. Poder calorífico inferior, considerando de este modo el consumo de energía durante el secado de la biomasa y la energía química contenida en ella.

Posteriormente, considerando el carbón vegetal en base seca y el gas de pirólisis como salidas, la energía asociada a ambos productos fue también dividida en tres porciones: i. Calor sensible, ii. Calor latente y iii. Poder calorífico inferior. Finalmente fue considerada una porción de pérdidas de energía en el reactor debido a transferencia de calor con el ambiente y considerando la presencia de inorgánicos asociados a la biomasa. Un esquema general del esquema propuesto para el balance de energía del reactor de pirólisis es mostrado en la Fig. 2.

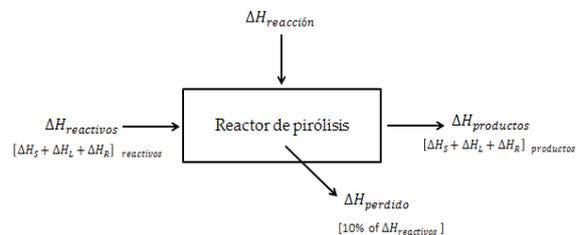


Figura 2: Esquema general de la propuesta de balance energético para un reactor de pirólisis

El balance energético puede ser representado por (1):

$$\Delta H_{\text{reactivos}} + \Delta H_{\text{reacción}} = \Delta H_{\text{productos}} + \Delta H_{\text{perdido}} \quad (1)$$

La energía asociada a los reactivos (en base seca) está dada por (2):

$$\Delta H_{\text{reactivos}} = (\Delta H_S + \Delta H_L + \Delta H_R)_{\text{reactivos}} \quad (2)$$

La energía asociada a los productos pirolíticos (en base seca) se puede calcular a través de (3):

$$\Delta H_{\text{productos}} = (\Delta H_S + \Delta H_L + \Delta H_R)_{\text{productos}} \quad (3)$$

Finalmente, para cerrar el balance energético se encontró razonable calcular la energía térmica consumida por el reactor de pirólisis por diferencia.

$$\Delta H_{\text{reacción}} = (\Delta H_{\text{productos}} + \Delta H_{\text{perdido}} - \Delta H_{\text{reactivos}}) \quad (4)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a las consideraciones presentadas en la sección 2, basado en la composición del eucalipto presentada en la Tabla 1 y un rango de temperaturas entre 250-650°C típicamente empleadas para la producción de carbón vegetal, se muestra en la Fig. 3 el pronóstico del modelo desarrollado respecto de los productos pirolíticos. Se puede notar que el rendimiento de carbón vegetal disminuye conforme la temperatura pico del reactor aumenta. De forma simultánea y como compensación se puede notar un incremento en el rendimiento de gas de pirólisis conforme la temperatura pico del reactor aumenta. Para este caso se considera el gas de pirólisis como la suma de las fracciones correspondientes a: alquitranes, gases permanentes y agua pirolítica (vapor de agua). A pesar del incremento en el rendimiento de la fracción correspondiente a los gases permanentes conforme aumenta la temperatura pico del reactor, se puede notar que la concentración de alquitranes en el gas de pirólisis es predominante, por lo tanto, el valor calorífico asociado al gas de pirólisis se puede atribuir mayormente a los vapores de alquitrán. Además, es importante notar el alto contenido de vapor de agua en el gas de pirólisis lo que degrada la calidad del gas de pirólisis por efectos de dilución.

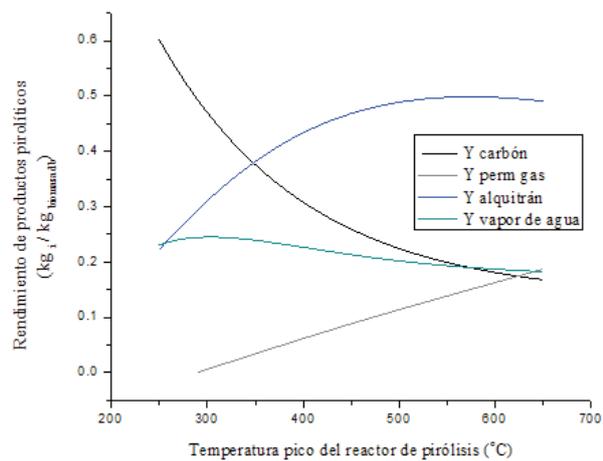


Figura 3: Rendimiento teórico de los productos pirolíticos resumidos a carbón vegetal y gas de pirólisis (alquitranes, gases permanentes y vapor de agua) en función de la temperatura pico del reactor. Reactor de pirólisis operando bajo atmósfera inerte en un rango de temperaturas típicamente empleadas durante la producción de carbón vegetal (250-650°C). Biomasa utilizada: eucalipto de acuerdo a la composición proximal y elemental presentada en la Tabla 1

Considerando la configuración del reactor de pirólisis presentada en la Fig. 1, donde se considera que el gas de pirólisis es combustionado para generar el calor necesario durante el proceso de carbonización, la Fig. 4 (a) muestra la energía térmica que puede ser generada recurriendo al uso del gas de pirólisis en conjunto con el consumo estimado de energía térmica del reactor de pirólisis. Adicionalmente, descontando el consumo de calor del reactor de pirólisis, la Fig. 4 (b) muestra la energía térmica disponible para alimentar un reactor de torrefacción o para integrarla a otro tipo de procesos.

La Fig. 4 (a) muestra que el proceso pirolítico comienza a ser auto térmico a partir de los 420°C, lo que indica que por debajo de este punto la energía generada debido a la combustión del gas de pirólisis no abastece el consumo de energía del reactor. Por lo tanto, para este rango de temperaturas es necesaria la adición de calor recurriendo una fuente externa. A partir de los 420°C en adelante, se puede notar una diferencia entre la energía térmica generada por la combustión del gas de pirólisis y el consumo de energía térmica del reactor. Esto muestra que existe calor residual disponible para recuperar. En la Fig. 4 (b), se puede notar que el calor residual se incrementa conforme incrementa la temperatura pico del reactor. En general, altas temperaturas y tasas de calentamiento promueven la formación de productos gaseosos, incrementado

subsecuentemente la energía térmica que es generada debido a su combustión. Para el rango de temperaturas pico analizadas en el reactor, la cantidad promedio de energía térmica consumida por el reactor de pirólisis es de $7 \text{ MJ/kg}_{\text{biomass db}}$. Es de notar que el contenido de humedad de la biomasa considerada es bajo (13,42 p/p % de acuerdo a la Tabla 1). En la práctica, el empleo de biomasa con contenidos de humedad más altos provocaría un incremento del consumo de energía térmica del reactor, disminuyendo al mismo tiempo el calor disponible para alimentar el reactor de torrefacción lo que acarrearía consecuencias graves en la eficiencia global del sistema.

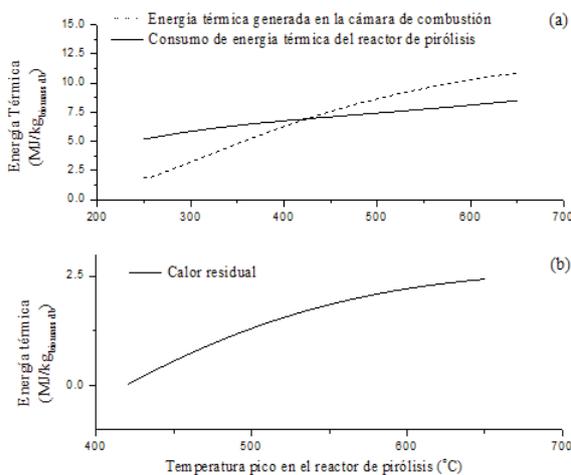


Figura 4: (a) Valoración teórica de la energía térmica generada durante la combustión del gas de pirólisis (alquitranes y gas permanente) graficada en conjunto con el consumo de energía térmica del reactor de pirólisis, ambas en función de la temperatura pico del reactor. (b) Energía térmica disponible para alimentar el reactor de torrefacción en función de la temperatura pico del reactor de pirólisis. Resultados presentados en mega joules por kilogramo de eucalipto en base seca. Composición elemental y proximal de la biomasa empleada de acuerdo a la Tabla 1

Considerando el calor disponible para recuperar mostrado en la Fig. 4 (b), la cantidad de biomasa que puede ser procesada en el reactor de torrefacción es presentada en la Fig. 5. Los resultados del proceso de torrefacción son presentados en kilogramos de biomasa que puede ser alimentada al reactor de torrefacción por kilogramos de biomasa alimentada al reactor de pirólisis, ambas en base seca. Adicionalmente y en lo que respecta al proceso de torrefacción: el rendimiento estimado de combustible torreficado es de $0,57 \text{ kg}_{\text{torrfuel db}}/\text{kg}_{\text{biomass db}}$. Este rendimiento fue calculado considerando una composición de biomasa según la Tabla 1 y fijando la temperatura de torrefacción en 260°C . El PCI pronosticado por este modelo para una biomasa torreficada bajo estas

condiciones (atmosfera inerte y 260°C) es de $23,9 \text{ MJ/kg}$.

Se puede notar que conforme aumenta la temperatura pico del reactor de pirólisis, la capacidad operacional (masa procesada) en el reactor de torrefacción incrementa. Según se muestra en la Fig.4 (b), la disponibilidad de calor residual aumenta conforme aumenta la temperatura pico del reactor de pirólisis; esto último se debe al incremento en el rendimiento del gas de pirólisis y por lo tanto a la energía que se genera al combustionarlo. Es importante recalcar que, a pesar de que en la Fig. 4 (a) se muestra que la disponibilidad de calor residual empieza a ser notoria a partir de los 420°C , en la Fig. 5 se muestra que la producción de combustible torreficado comienza a partir de los 347°C . Esto encuentra su explicación en el hecho de que la energía generada debido a la combustión del gas de torrefacción es también contabilizada en el balance másico y energético a la cámara de combustión, por lo tanto tal contribución permite compensar el déficit de energía generado por el consumo del reactor de pirólisis para el rango de temperaturas desde de $347\text{-}420^\circ\text{C}$.

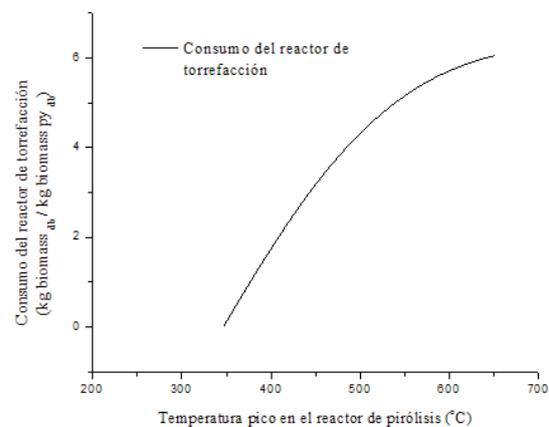


Figura 5: Valoración teórica de la cantidad de biomasa en base seca que puede ser procesada en un reactor de torrefacción operado a 260°C , recurriendo al calor residual de un reactor de pirólisis (la energía térmica generada debido a la combustión del gas de torrefacción está incluida). Los resultados son presentados en kilogramos de biomasa procesada en el reactor de torrefacción en base seca por kilogramos de biomasa alimentada al reactor de pirólisis en base seca

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través del modelo presentado se puede establecer que el rendimiento de carbón vegetal disminuye conforme aumenta la temperatura de

pico del reactor. En general, altas temperaturas en el reactor de pirólisis promueven la formación de productos gaseosos. La concentración de alquitranes y vapor de agua es predominante en la composición del gas de pirólisis, siendo que ambos tienen una gran influencia en el PCI del mismo. El balance energético realizado al reactor de pirólisis establece que para las condiciones operativas consideradas y según la composición proximal y elemental de biomasa utilizada, el proceso comienza a ser auto térmico a partir de los 420°C. El consumo de energía térmica del reactor de pirólisis está fuertemente relacionado con el contenido de humedad de la biomasa utilizada como materia prima, siendo que este es más alto cuanto más alta es la humedad de biomasa, por lo tanto, es importante dar atención al pretratamiento de la misma, una vez que ello aseguraría un bajo consumo de energía térmica del reactor y por ende maximizando la cantidad de energía térmica que se puede recuperar de la cámara de combustión. La disponibilidad de calor residual aumenta conforme aumenta la temperatura del reactor de pirólisis, debido al incremento en el rendimiento del gas de pirólisis y su subsecuente combustión. Respecto de la configuración del sistema energético propuesto (producción combinada de carbón vegetal y combustible torreficado), se puede notar que la cantidad de biomasa consumida por el reactor de torrefacción es más alta que la cantidad de biomasa consumida por el reactor de pirólisis.

Una vez que la eficiencia del proceso pirolítico está relacionada con la cantidad de energía que puede ser recuperada de la cámara de combustión, es importante explorar diversas opciones y procesos industriales susceptibles de ser integrados. A este respecto, el análisis exergético puede ofrecer importantes directrices para incrementar el rendimiento del proceso en general. Además, considerando que la concentración de vapor de agua en el gas de pirólisis es alta y que está se verá incrementada debido a la combustión del gas de pirólisis y la formación subsecuente de vapor de agua, es de gran importancia estimar la disponibilidad de calor latente en el gas efluente de la cámara de combustión para evaluar la conveniencia de la instalación de una caldera de condensación para recuperar este calor.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor de este trabajo fue financiado por una beca correspondiente a la Convocatoria abierta 2013. El referido programa es respaldado por el Instituto de Fomento al Talento Humano-IFTH, República del Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] D. Khatiwada, J. Seabra, S. Silveira, and A. Walter, "Power generation from sugarcane biomass – A complementary option to hydroelectricity in Nepal and Brazil," *Energy*, vol. 48, no. 1, pp. 241–254, Dec. 2012.
- [2] M. O. S. Dias, T. L. Junqueira, O. Cavalett, M. P. Cunha, C. D. F. Jesus, P. E. Mantelatto, C. E. V. Rossell, R. Maciel Filho, and A. Bonomi, "Cogeneration in integrated first and second generation ethanol from sugarcane," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 91, no. 8, pp. 1411–1417, 2013.
- [3] M. Salomón, "On the optimal use of industrial-generated biomass residues for polygeneration," KTH School of industrial Engineering and Management, 2014.
- [4] A. de Oliveira Vilela, E. S. Lora, Q. R. Quintero, R. A. Vicintin, and T. Pacceli da Silva e Souza, "A new technology for the combined production of charcoal and electricity through cogeneration," *Biomass and Bioenergy*, vol. 69, pp. 222–240, 2014.
- [5] J. M. Pedraza, "The current and future role of renewable energy sources for the production of electricity in Latin America and the Caribbean," *UEEE*, vol. 20, no. 5, 2012.
- [6] R. Garcia, F., Gracés, P., Atiaja, "Panorama General del Sector Eléctrico en América Latina y el Caribe," Quito - Ecuador, 2012.
- [7] S. C. Kamate and P. B. Gangavati, "Exergy analysis of cogeneration power plants in sugar industries," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 29, pp. 1187–1194, 2009.

- [8] C. Lythcke-Jørgensen, F. Haglind, and L. R. Clausen, "Exergy analysis of a combined heat and power plant with integrated lignocellulosic ethanol production," *Energy Convers. Manag.*, vol. 85, pp. 817–827, Sep. 2014.
- [9] D. A. Laird, "The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality," *Agron. J.*, vol. 100, no. 1, pp. 178–181, 2008.
- [10] S. Joseph and P. Taylor, *The production and application of biochar in soils (Advances in Biorefineries)*. 2014.
- [11] N. Kauffman, J. Dumortier, D. J. Hayes, R. C. Brown, and D. A. Laird, "Producing energy while sequestering carbon? The relationship between biochar and agricultural productivity," *Biomass and Bioenergy*, vol. 3, no. 63, pp. 167–176, 2014.
- [12] C. I. Kammann, S. Linsel, J. W. Gößling, and H. W. Koyro, "Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil-plant relations," *Plant Soil*, vol. 345, pp. 195–210, 2011.
- [13] H. Kutlu, "Effects of providing dietary wood (oak) charcoal to broiler chicks and laying hens," *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol. 90, no. 3–4, pp. 213–226, 2001.
- [14] D. T. T. Van, N. T. Mui, and I. Ledin, "Effect of method of processing foliage of *Acacia mangium* and inclusion of bamboo charcoal in the diet on performance of growing goats," *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol. 130, no. 3–4, pp. 242–256, 2006.
- [15] A. M. Abioye and F. N. Ani, "Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 1282–1293, 2015.
- [16] R. F. L. Ribeiro, V. C. Soares, L. M. Costa, and C. C. Nascentes, "Production of activated carbon from biodiesel solid residues: An alternative for hazardous metal sorption from aqueous solution," *J. Environ. Manage.*, vol. 162, pp. 123–131, 2015.
- [17] E. J. Scharman, H. A. Cloonan, and L. F. Durback-morris, "Home administration of charcoal: can mothers administer a therapeutic dose?," *J. Emerg. Med.*, vol. 21, no. 4, pp. 357–361, 2001.
- [18] D. Neves, "Evaluation of thermochemical conversion in fluidized bed," University of Aveiro, 2013.
- [19] W.-H. Chen, J. Peng, and X. T. Bi, "A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 44, pp. 847–866, 2015.
- [20] E. N. Chidumayo and D. J. Gumbo, "The environmental impacts of charcoal production in tropical ecosystems of the world: A synthesis," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 17, no. 2, pp. 86–94, 2013.
- [21] P. Basu, *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Burlington, MA 0183, USA: Elsevier Inc, 2010.
- [22] D. Neves, H. Thunman, A. Matos, L. Tarelho, and A. Gómez-Barea, "Characterization and prediction of biomass pyrolysis products," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 37, no. 5, pp. 611–630, Sep. 2011.
- [23] R. Teixeira, "Efeito das propriedades da biomassa na conversão em leito fluidizado," Master thesis. Universidade de Aveiro, 2013.
- [24] M. Heredia, "Sewage sludge drying and combustion," Universidade de Aveiro, 2013.
- [25] P. Stasta, J. Boran, L. Bebar, P. Stehlik, and J. Oral, "Thermal processing of sewage sludge," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 26, no. 13, pp. 1420–1426, Sep. 2006.



Mario A. Heredia Salgado.- Ingeniero en Mecánica Automotriz, MSc en Sistemas Energéticos Sustentables, candidato a PhD en Sistemas Energéticos y Alteraciones Climáticas por la Universidad de Aveiro. En

el área industrial cuenta con experiencia, formación y entrenamiento específico por escuelas técnicas como: Ingersollrand, Doosan Infracore, Bobcat y Furukawa. En el ámbito de innovación y desarrollo de tecnología sus proyectos han sido reconocidos por instituciones como GALP energía y Singularity University. Principalmente interesado en procesos de conversión termoquímica de biomasa (combustión, pirólisis y gasificación) integrados en instalaciones industriales, eficiencia energética en la industria, open source hardware&software, data mining e innovación y disrupción tecnológica.



Arlindo M. Matos.- Ingeniero en Ambiente, MSc en Transferencia y Conversión de Energía, PhD en Ciencias Aplicadas al Ambiente. Profesor auxiliar e investigador de la Universidad de Aveiro. Coordinador de la

línea de investigación: Manejo y Tratamiento de Residuos. Miembro de la Sociedad Internacional de Residuos Sólidos (ISWA). Principalmente interesado en tecnologías de lecho fluidizado, métodos termoquímicos aplicados al tratamiento de residuos y biomasa, análisis del ciclo de vida, control e instrumentación. Ha publicado más de 60 artículos en revistas y conferencias nacionales e internacionales, 11 reportes y 6 textos de soporte a la enseñanza.



Luís A.C. Tarelho.- Ingeniero en Ambiente, PhD en Ciencias Aplicadas. Profesor auxiliar e investigador de la Universidad de Aveiro. Catedrático encargado de las disciplinas: Control de Efluentes Gaseosos,

Termodinámica, Conversión de Energías Renovables y Convencionales. Principalmente interesado en conversión termoquímica de sólidos carbonáceos (biomasa, carbón, residuos sólidos), tecnologías para el monitoreo, control y tratamiento de emisiones gaseosas y evaluación del impacto ambiental durante la conversión de energía y el tratamiento de residuos. Cuenta con más de 30 artículos publicados en revistas internacionales, 3 reportes además de ser coautor del libro “Impactos de la cadena Biomasa-Energía, en la calidad del aire y la política climática portuguesa”.

Guía para la Preparación y Envío de los Trabajos Técnicos de la Revista Técnica “energía”

A.V. Peterchev¹

G.F. Handel²

¹*St. Thomas School, Leipzig University, Leipzig, Germany*

E-mail: peterchev@uni-leipzig.de

²*Royal Academy of Power Systems, University of London, London NW1 5HT, United Kingdom*

E-mail: handel@ram.ac.uk

Resumen

El objeto de este documento es instruir a los autores para la preparación y envío de los Trabajos Técnicos para su publicación en la Revista Técnica “energía” de CENACE. El presente archivo puede ser utilizado como plantilla para la escritura de los Trabajos Técnicos a ser presentados. El resumen debe establecer los propósitos del estudio, sus procedimientos o métodos, sus descubrimientos o resultados y sus conclusiones. No debe exceder las 200 palabras. Finalmente, tener en cuenta que el resumen también tiene que estar escrito en idioma inglés.

Palabras clave-- Deben proveerse al menos cuatro palabras clave que se relacionen con el Trabajo Técnico para fines de catalogación.

Abstract

The purpose of this document is to instruct the authors for the preparation and submission of Technical Papers for publication in the Technical Journal “energía” edited by CENACE. This file can be used as a template for structuring the Technical Paper to be presented. The abstract should set the purposes of the study, procedures or methods, their results and conclusions. This should not exceed 200 words. Finally, note that the Abstract must also be written in English.

Index terms-- At least four key words (index terms) must be provided that relate to the Technical Paper for indexing purposes.

Las imágenes de las figuras deben ser de alta resolución, mínimo 300dpi y en el caso de utilizar colores, éstos deben ser suaves. El texto de las figuras debe tener un tamaño de letra de 8 puntos. Todas las figuras deben tener sus leyendas centradas.

Tablas: Las tablas deben ser hechas en aplicaciones compatibles con Microsoft Word o Excel, con sus textos escritos en un tamaño de letra de 8 puntos (como mínimo) y centrados para todas sus columnas como se muestra en la Tabla 1. Se debe considerar el siguiente formato para las tablas:

- En cada columna debe constar la unidad de medida que le corresponde.
- Los valores mostrados en cada una de las columnas deben tener la misma cantidad de decimales. Si la cantidad de decimales es alta se debe utilizar los respectivos múltiplos de las unidades. El título de la tabla debe tener un tamaño de letra de 8 puntos y debe estar centrado sobre ésta.
- Deben designarse con la palabra “Tabla” seguida de un número arábigo y dos puntos, respetando el orden en que aparecen (ver Tabla 1).

Tabla 1: Eficiencia y Costos de Inversión en Centrales

Año	Eficiencia			Costo de Inversión (Euro/kW)*		
	HC	CCGT	GT	HC	CCGT	GT
1960	0,369	0,38	0,260	-	-	-
1970	0,391	0,40	0,280	778	-	-
1980	0,413	0,42	0,290	1 126	981	490
1990	0,435	0,50	0,305	1 335	790	350
1995	0,446	0,56	0,302	1 202	645	320
2000	0,455	0,60	0,350	1 150	600	315
2005	0,465	0,62	0,380	1 110	556	300
2010	0,475	0,63	0,395	1 072	516	285
2015	0,485	0,64	0,405	1 035	479	271

* Expresado en Euros constantes del año 2000

2.2.4 De las ecuaciones o fórmulas

Preferentemente toda fórmula debe ser realizada utilizando el editor de ecuaciones de Microsoft Word o Mathtype. El tamaño del texto de las ecuaciones deber ser de 9 puntos.

El número de las ecuaciones debe estar aliñado a la derecha del margen. Como se muestra en (1):

$$x = f_1(x_1, t) + \alpha x_2 \sin(\theta). \quad (1)$$

Las ecuaciones se deben ajustar al ancho de la columna, pudiendo requerirse para esto expresarlas en dos o más líneas. Todas las ecuaciones deben estar centradas. Para la notación de vectores y matrices se deberá resaltar la variable en negrita con fuente normal, (no cursiva), como se indica en (2):

$$x = \int_{t_1}^{t_2} \left(h^2 \cdot \frac{\mathbf{w} \cdot \mathbf{v}}{\sqrt[3]{\Delta\psi}} \right) dt. \quad (2)$$

donde h y $\Delta\psi$ son constantes; \mathbf{w} es una matriz $n \times m$; \mathbf{x} y \mathbf{v} , vectores de dimensión $n \times 1$ y $m \times 1$, respectivamente.

2.2.5 De las secciones

El texto del trabajo debe estar dividido en secciones (primaria, secundaria y terciaria). Estas secciones deben ser identificadas secuencialmente, con números arábigos, en negrilla, respetando espacios entre la numeración y el título de la sección.

El título de una sección primaria debe estar en letras mayúsculas. Una sección secundaria tendrá solo la primera letra de cada palabra en mayúscula, mientras que una sección terciaria utilizará letra cursiva.

2.2.6 Notas de pie de página

Las notas de pie de página son de carácter informativo y se utilizan para hacer aclaraciones, justificaciones, deducciones, demostraciones, explicaciones, llamados de atención hacia alguna peculiaridad o para hacer referencia a una prescripción de otra sección.

Estas notas deben hacerse mediante números arábigos, en un orden creciente, según como aparezcan en el texto, utilizando un tamaño de letra de 7 puntos. En el texto del trabajo deben indicarse como un superíndice junto a la palabra u oración a la que hacen referencia.

2.2.7 Normas generales

La palabra “Figura” debe ser contraída a “Fig.” siempre que se encuentren dentro de una oración. Todas las ecuaciones, figuras y tablas deben estar numeradas.

Para nombrar una ecuación dentro de una oración se deberá hacer referencia a su numeración, por ejemplo: los modelos de ecuaciones para el presente trabajo se muestran en (1) y (2).

Pueden utilizarse notas relativas a una figura, tabla o sección del texto con las características de las notas de pie de página. Estas notas relativas contribuyen a tener una mayor claridad en el Trabajo Técnico. La longitud de su texto no puede exceder el espacio ocupado por la figura, tabla o sección a la que se hace referencia. Cuando exista una sola figura o tabla en el artículo, también deberán numerarse.

Si se utilizan palabras en otro idioma, estas deberán ser escritas en cursiva. Las páginas del trabajo no deben estar numeradas, pues se les asignará una numeración al momento de la edición de la revista.

Los apéndices, cuando sean necesarios, deben situarse antes de los agradecimientos.

3. ENVÍO DE TRABAJOS

El Autor del Trabajo Técnico deberá enviar por correo electrónico **tres** archivos digitales correspondientes a:

- 1) El **Trabajo Técnico** en formato compatible con Microsoft Word o comprimido (extensión ZIP o RAR),
- 2) Una **Certificación** firmada en la que se de fe de que el trabajo presentado es **original e inédito** y en la que además, se deje constancia de que el(los) autor(es) de dicho artículo cede(n) sus derechos a la Revista Técnica “energía” de CENACE para que éste sea publicado en la respectiva edición impresa de la Revista, y además sea publicado en las bases de datos de “EBSCO Information Services” (<http://www.ebscohost.com>).

La certificación deberá ser escaneada y enviada en forma digital conjuntamente con

los otros archivos requeridos. El modelo de certificación se encuentra al final de esta Guía.

- 3) Todas las **figuras, imágenes y tablas** en formato original, comprimidas en un solo archivo (extensión ZIP o RAR) y según las instrucciones dadas en esta Guía.

La dirección electrónica para el envío de los Trabajos Técnicos es: revistatecnica@cenace.org.ec.

Los tres archivos electrónicos deben estar claramente identificados, por ejemplo: el uno puede llamarse “Trabajo Técnico”, el otro “Certificación”, y el otro “Figuras y Tablas”.

Los archivos a enviarse no deberán tener un tamaño superior a 2.0MB. Si esto no se cumple, el archivo deberá subdividirse en tantas partes como sea necesario para no sobrepasar este límite.

Cualquier duda o comentario debe ser dirigido al Consejo Editorial de la Revista Técnica “energía”, a la dirección electrónica indicada anteriormente o a los teléfonos: 02 2992 005, 02 2992 001.

4. INFORMACIÓN ADICIONAL

CENACE creó la Revista Técnica “energía”, con el afán de patrocinar la investigación y fomentar el intercambio de ideas encaminadas al beneficio y desarrollo del Sector Eléctrico, mediante trabajos de **alta calidad**. Con este fin se ha conformado un Grupo de Evaluación de Trabajos Técnicos.

El Grupo de Evaluación de Trabajos Técnicos está conformado por profesionales de distintas universidades tanto nacionales como internacionales, estos evaluadores serán externos y no tendrán relación alguna con CENACE.

Una vez que un Trabajo Técnico haya sido recibido por el Consejo Editorial, pasará a ser evaluado por **dos** miembros del Grupo de Evaluación, los cuales emitirán los comentarios y las sugerencias necesarias para consolidar al Trabajo Técnico presentado.

Los comentarios y sugerencias serán remitidos a los Autores para su consideración. Una vez que los Autores hayan respondido a las respectivas indicaciones de los evaluadores en sus trabajos,

deberán enviar nuevamente el Trabajo Técnico definitivo a la dirección electrónica revistatecnica@cenace.org.ec, tal como se ha indicado en la sección 3 de esta Guía. El Grupo de Evaluación revisará las respuestas de cada uno de los Autores.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es importante que el Trabajo Técnico posea como parte final del mismo, las conclusiones y recomendaciones más importantes que se han establecido durante la realización del estudio o investigación presentados. Las conclusiones deben resaltar las aportaciones importantes comparándolas con otras metodologías o con su estado actual y las deficiencias que hubiere sugiriendo ampliaciones que las reduzcan. Deben también proponer aplicaciones. Se debe evitar repetir lo dicho en el resumen.

Importante: Los Trabajos Técnicos que no atiendan las instrucciones establecidas en la presente Guía serán devueltos a los Autores para que realicen las debidas correcciones, respetando los plazos vigentes. El incumplimiento de los plazos podrá dar lugar a la devolución del trabajo. El Consejo Editorial de la Revista Técnica “energía” no asume ninguna responsabilidad con respecto a las correcciones necesarias o al contenido de los Trabajos Técnicos para que estén conformes a las exigencias establecidas.

AGRADECIMIENTOS

Se puede incluir una sección de agradecimientos luego de las conclusiones y recomendaciones para indicar las personas, instituciones o empresas que han hecho posible la realización del Trabajo Técnico o que han apoyado de forma parcial o total el desarrollo de la investigación presentada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Las referencias son importantes para el lector, por lo que cada cita debe ser correcta y completa. Dentro del texto, las referencias deben ser citadas con números encerrados entre corchetes.

A continuación se presenta varios formatos correctos para diferentes tipos de referencia, de acuerdo al estilo IEEE. En el artículo que se presente no se debe separar las referencias según el tipo, en el presente se las separa solo con fines didácticos. Las referencias se deben numerar de

acuerdo a su apareamiento en el texto y todas deben constar en el Trabajo Técnico.

Publicaciones periódicas:

- [1] R. E. Kalman, “New results in linear filtering and prediction theory,” *J. Basic Eng.*, ser. D, vol. 83, pp. 95-108, Mar., 1961.

Libros:

- [2] B. Klaus and P. Horn, *Robot Vision*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- [3] L. Stein, “Random patterns,” in *Computers and You*, J. S. Brake, Ed. New York: Wiley, 1994, pp. 55-70.

Informes:

- [4] E. E. Reber, R. L. Michell, and C. J. Carter, “Oxygen absorption in the earth’s atmosphere,” Aerospace Corp., Los Angeles, CA, Tech. Rep. TR-0200 (4230-46)-3, Nov. 1988.
- [5] J. H. Davis and J. R. Cogdell, “Calibration program for the 16-foot antenna,” *Elect. Eng. Res. Lab.*, Univ. Texas, Austin, Tech. Memo. NGL-006-69-3, Nov. 15, 1987.

Memorias Publicadas de Conferencias:

Se puede omitir el año si el mismo está incluido en el nombre.

- [6] G. R. Faulhaber, “Design of service systems with priority reservation,” in *Conf. Rec. 1995 IEEE Int. Conf. Communications*, pp. 3–8.
- [7] S. P. Bingulac, “On the compatibility of adaptive controllers,” in *Proc. 4th Annu. Allerton Conf. Circuit and System Theory*, New York, 1994, pp. 8–16.

Artículos presentados a Conferencias:

- [8] J. G. Kreifeldt, “An analysis of surface-detected EMG as an amplitude-modulated noise,” presented at the 1989 Int. Conf. Medicine and Biological Engineering, Chicago, IL.
- [9] G. W. Juette and L. E. Zeffanella, “Radio noise currents on short sections on bundle conductors,” presented at the IEEE Summer Power Meeting, Dallas, TX, June 22-27, 1990, Paper 90 SM 690-0 PWRS.

Tesis de Maestría y Doctorado (MSc y PhD):

- [10] N. Kawasaki, "Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow," M.S. thesis, Dept. Electron. Eng., Osaka Univ., Osaka, Japan, 1993.
- [11] J. O. Williams, "Narrow-band analyzer," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA, 1993.

Standards:

- [12] IEEE Criteria for Class IE Electric Systems, IEEE Standard 308, 1969.
- [13] Letter Symbols for Quantities, ANSI Standard Y10.5-1968.



Angel Velasco Peterchev.-

Nació en Sofía, Bulgaria en 1963. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad de Harvard en 1987; de Master en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Berkeley, California en 1990; y su título de Doctor en la Universidad Leipzig, en la St. Thomas School, de Alemania. Sus campos de investigación están relacionados con el Desarrollo de Microprocesadores para la Incorporación de Módulos de Regulación de Voltaje en Convertidores de Potencia y las Energías Alternativas.



Gabriela Fernanda Handel.-

Nació en Manabí en 1979. Recibió su título de Ingeniera Electrónica de la Universidad de Hannover en 2002. Actualmente, se encuentra cursando sus estudios de Doctorado en la Universidad de Londres, en la Royal Academy of Power Systems, y su campo de investigación se encuentra relacionado con la Seguridad Intrínseca de los Sistemas de Potencia.