

Energía de la basura

Energy from garbage

MARCO PÉREZ

Ingeniero Mecánico y Especialista en Docencia para la Computación. Docente Asistente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. mperez@udistrital.edu.co

JAMES VALENCIA

Ingeniero Electricista y Magister en Alta Tensión. Docente Asistente de la Universidad Antonio Nariño. Bogotá, Colombia. james.valencia@uan.edu.co

JOSÉ RUBIANO

Ingeniero Mecánico y Magister en Materiales y Procesos. Docente de la Universidad Antonio Nariño. Bogotá, Colombia. jose.rubiano@uan.edu.co

DANIEL FEO

Ingeniero Electromecánico. Gerente de Electro Industrial Ltda. Bogotá, Colombia. dfeo@uan.edu.co

EDWIN CUELLAR

Ingeniero Electromecánico. Investigador del grupo REM (Research in Energy and Materials) de la Universidad Antonio Nariño. Bogotá, Colombia. mcuellar@uan.edu.co

Clasificación del artículo: investigación (Recreaciones)

Fecha de recepción: agosto 27 de 2009

Fecha de aceptación: febrero 2 de 2010

Palabras clave: Energía Térmica, Poder Calorífico, Residuos Sólidos, Termólisis.

Key words: Thermal energy, Calorific value, Solid wastes, Thermolysis.

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados de un estudio técnico económico realizado para establecer las posibilidades de utilización de los residuos sólidos urbanos (RSU) como fuente de energía térmica, utilizando la termólisis como tecnología básica del proceso. Se tomó como grupo de control al municipio de Facatativá (Cundinamarca). Se hicieron proyecciones hasta el año 2020 y se caracte-

terizaron los RSU producidos por sector, actividad económica, topología del municipio y estrato socio económico de la población. Se obtuvo el poder calorífico inferior medio de los RSU.

ABSTRACT

In this article, we present the results of a technical and economic study, conducted to establish the potential uses of urban solid waste (USW) as a

thermal energy source, using the thermolysis as basic technology of the process. It took as a control group to the Facatativá (Cundinamarca) town. Were projected to the year 2020. They were characterized

USW produced by industry, economic activity, topology of the municipality and socio-economic strata of the population. It won the USW calorific lower half.

* * *

1. Introducción

La biomasa, sustancia orgánica renovable de origen animal o vegetal, se ha convertido actualmente – debido al incremento del costo de los combustibles fósiles– en una fuente alternativa de energía. Esta visión de la biomasa, y en particular de los residuos sólidos urbanos, hace que su impacto en el ambiente sea bajo, debido a que deja de ser una fuente contaminante para convertirse en una fuente de energía y de empleo, ya que estos requieren de una preparación, conversión y manipulación de los productos, para que puedan tener utilidad para el ser humano. La preparación involucra la separación de los elementos que pueden reutilizarse, de aquellos que son aptos para la obtención de productos energéticos. Un método de obtención de estos productos es la termólisis, que en principio consiste en un proceso de gasificación de residuos sólidos por medio de su calentamiento en ausencia de oxígeno [1].

En Colombia, ciudades como Medellín, Cali, Cartagena, Ibagué, Santa Marta, Armenia, Yopal, Sincelejo y San Andrés tienen problemas medio-ambientales por los malos manejos de sus rellenos sanitarios. La mayoría de ellas no tienen soluciones a la vista para definir nuevos sitios de disposición final de basuras ni de otras formas de manejo a las actualmente realizadas, pese a la alerta que les dio la Superintendencia de Servicios Públicos.

El problema de los residuos domiciliarios, que en otros países ha sido afrontado desde varios años atrás, apenas empieza a ser una “novedosa” preocupación en las últimas dos décadas en Colombia [2]. La falta de planificación adecuada y oportuna

ha determinado que el estado actual de la situación alcance unos niveles críticos. Un ejemplo de ello lo constituyó la crisis generada por el colapso de uno de los rellenos sanitarios más grandes del país: Doña Juana, en Bogotá.

El uso de la termólisis como alternativa de obtención de energía a partir de residuos sólidos urbanos (RSU) no tiene precedentes en Colombia, pues no se conoce de planta alguna funcionando en el país. Este hecho se convierte en una oportunidad para un estudio técnico económico que permita determinar la viabilidad de implementar y desarrollar esta clase de tecnología, para lo cual se hace un estudio en una pequeña población (100.000 a 200.000 habitantes) que sirve de referencia para otro tipo de poblaciones.

Aparentemente es evidente la posibilidad de utilizar los RSU como fuente de energía térmica desde el punto de vista técnico, a cualquier población, sin tener en cuenta el número de habitantes. Esta apariencia empieza a difuminarse cuando se detalla la composición de las basuras y su poder calorífico. Desde el punto de vista económico, las posibilidades se van disminuyendo en la medida en que las poblaciones cuentan con un menor número de habitantes [3], debido al volumen de RSU requerido para satisfacer las necesidades energéticas por habitante. El límite de la viabilidad económica está dado por el costo de producir 1 KW-h, comparado con la producción de ese mismo KW-h cuando se utiliza diesel como combustible primario [4].

2. Metodología

Se ha tomado como grupo de control del estudio al municipio de Facatativá (departamento de Cundinamarca). Se ubica en el extremo occidental de la Sabana de Bogotá a una distancia media de 36 Km, en altitudes que oscilan entre los 2.600 m.s.n.m. en su parte plana y los 3.200 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son de 4°48'46" latitud norte y 74°21'00" longitud oeste (ver Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Con sus 108.717 habitantes en el año 2006 (ver DANE), genera diariamente un promedio aproximado de 75 toneladas de residuos sólidos, es decir, alrededor de 2250 toneladas mensuales. La totalidad de estos residuos es desechada de manera indiscriminada a pesar de que se ha encontrado que el 62% de ellos son reciclables y cerca del 38% son reaprovechables. Sólo el 5% de ellos debería ser desechado definitivamente, pero no es así debido a que la separación en la fuente no existe y en los carros recolectores esto está prohibido por la ley. El resultado es una pérdida total del potencial reutilizable de los residuos sólidos.

Hay que tener en cuenta además que el botadero¹ de Mondoñedo, donde se depositaban los RSU del municipio, fue cerrado a partir del mes de octubre del 2005 debido al agotamiento de su capacidad y a que los municipios que hacían uso de él tendrían que haber creado una adecuada estructura de recolección y clasificación de los residuos para el posterior reciclaje y aprovechamiento.

Todo esto sumado a los beneficios que pueden resultar de la generación de empleo, disminución de agentes y vectores contaminantes. Lo anterior reclama con urgencia una solución del nivel educativo y tecnológico para el problema.

¹ Lugar de vertimiento de los residuos sólidos urbanos a cielo abierto.

3. Resultados

La caracterización de los RSU parte de la identificación de quienes los producen; un indicador es el crecimiento de la población. Una manera sencilla de modelar la dinámica de una población parte de la hipótesis de que esta aumenta o disminuye en proporción al número de individuos [5]. Si Y representa la población en un momento dado, la tasa de crecimiento en el tiempo que se representa por dy/dt , se postula que es directamente proporcional a un porcentaje de la población. Por lo tanto

$$\frac{dy}{dt} = y'(t)$$

$$\frac{dy}{dt} = k * y \tag{1}$$

La solución a esta ecuación diferencial, con la condición inicial $y(t_0) = c$, es: $y(t) = ce^{kt}$.

Tomando como referente los censos poblacionales efectuados por el DANE en los años 1995 y 2005.

$$y(t) = 69552e^{0.03517t} y \tag{2}$$

La ecuación anterior permite proyectar el crecimiento poblacional del municipio hasta el año 2030 (figura 1).

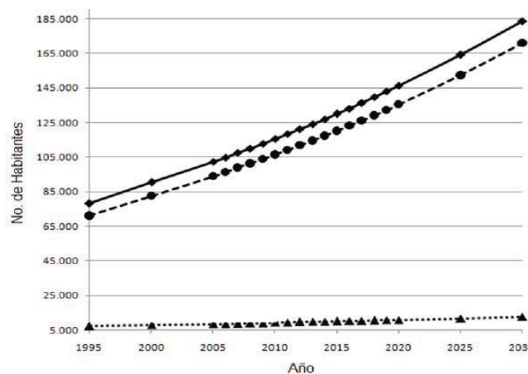


Figura 1. Proyección de la población del municipio de Facatativá. Fuente DANE.

3.1. Residuos verdes

Los residuos verdes, aquellos originados por la agroindustria, por la actividad de poda y corte de césped, son generados en el municipio en una cantidad aproximada de 197 m³/mes. Este volumen es generado por 15 industrias (crecimiento del 1.4 % anual), cuya producción promedio es de 11.163 m³/empresa-mes.

Con el fin de determinar la cantidad de residuos verdes que harán parte del proyecto, se trabaja sobre dos escenarios probables. El primero considera que del total de residuos entregados por las 15 agroindustrias, el 85% será de tipo verde (escenario alto), y el segundo escenario considera que solo el 50% será de este origen (escenario bajo), lo cual depende de la adecuada segregación en la fuente que realicen las industrias a su interior [6].

Los resultados de aplicar los criterios enunciados a la curva de proyección, para los escenarios bajo y alto, se ilustran en la figura 2.

Es de mencionar que algunas de las industrias localizadas en el municipio realizan una gestión independiente para sus residuos verdes, ya sea gestión interna o externa en proyectos de alimento para animales o de compostaje; por lo tanto, dichos residuos no se incluyen en las proyecciones anteriores.

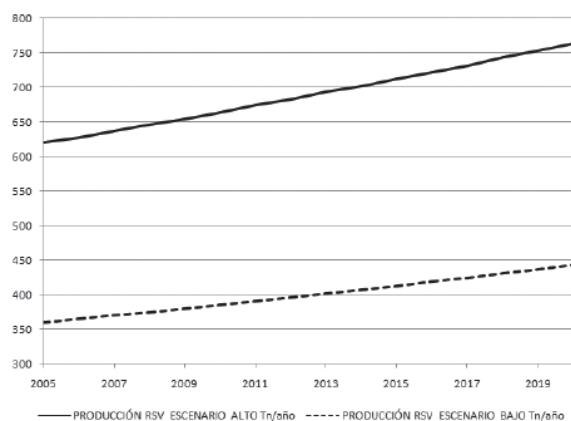


Figura 2. Proyección de residuos sólidos verdes del municipio de Facatativá para el año 2020.

3.2. Residuos generados por grandes productores

En la actualidad existen 551 establecimientos en el municipio catalogados como grandes generadores de RSU, es decir, que entregan al servicio más de 1 m³ mensual de residuos sólidos.

La cantidad de residuos producidos por estos usuarios en el año 2004, descontando los de la agroindustria ya analizados, es de 1.044m³ al mes, equivalentes a 209 Tn/mes.

A estos residuos se debe reintegrar la parte de la agroindustria que no corresponde a residuos verdes ni ingresa al flujo de material reciclable. Considerando que para el cálculo de los residuos verdes se trabajaron dos escenarios, uno alto y otro bajo, para incluir las cantidades diferentes de verdes se ha trabajado con la media de los dos escenarios; valor que se incorporará a las cantidades de los grandes generadores, como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Proyección de RSU, grandes productores de basura.

AÑO	RS GPB m ³ /mes	PRODUCCIÓN GPB Tn/año	RS NO VERDE AGROINDUSTRIAL Tn/año	PRODUCCIÓN TOTAL Tn/año
2005	1.068	2.562	234	2.797
2006	1.083	2.599	238	2.837
2007	1.098	2.636	241	2.877
2008	1.114	2.673	244	2.918
2009	1.130	2.711	248	2.959
2010	1.146	2.750	251	3.001
2011	1.162	2.789	255	3.044
2012	1.178	2.828	258	3.087
2013	1.195	2.868	262	3.131
2014	1.212	2.909	266	3.175
2015	1.229	2.951	269	3.220
2016	1.247	2.992	273	3.266
2017	1.265	3.035	277	3.312
2018	1.282	3.078	281	3.359
2019	1.301	3.122	285	3.407
2020	1.319	3.166	289	3.455

3.3. Porcentaje de desechos orgánicos e inorgánicos de las basuras recolectadas. Cantidad y composición de los residuos sólidos

Según reporte de la ESVAF (Empresas de Servicios Varios de Facatativá), en el año 2002 se recolectaban 1.300 toneladas mensuales de residuos sólidos por parte de la ESVAF, más 111 Tn/mes de residuos inorgánicos recolectados por los recicladores informales, y se obtenía una producción de 1.411 (relación recolección/reciclaje: 12/1) Tn/mes generadas por 17.540 usuarios del servicio. Para ese año se estima la producción por usuario total (PPU) en 0.080 Tn/usuario-mes.

Para el 2004, y con base en datos reales de pesaje, se recolectaron 1.590 toneladas mensuales. Dado que en el municipio no se ha organizado ningún tipo de programa orientado a promover la disminución de los residuos generados ni a fomentar el reciclaje, se mantiene la relación entre recolección y reciclaje de 12/1. Para el año 2004 se recuperaron 136 Tn/mes y la producción total sería de 1.726 Tn/mes. Con 18.334 usuarios (incluidos los no facturados), el PPU total es de 0.094 Tn/usuario/mes, que equivale a una producción per cápita (PPC) de 0,57 kg/hab-día.

Según la norma RAS2000, para sistemas con nivel de complejidad medio-alto el valor esperado de la PPC es de 0.53 (entre 0.3 y 1.0) y para nivel alto la PPC se ubica alrededor de 0.79 (de 0.44 a 1.10). Para municipios de 50.000 a 200.000 habitantes es normal una PPC de 0.51 Kg./hab-día. Por ejemplo, en Bogotá en 1998 el PPU residencial era de 0.58 Kg/hab-día.

Desde el año 2002 la ESVAF ha contratado la realización del estudio de la composición de residuos sólidos de usuarios residenciales, comerciales y rurales, incluida la plaza de mercado. Las muestras se tomaron para las rutas establecidas de recolección en los sectores residenciales de los barrios, el sector comercial en el centro de la ciudad y en la zona rural. En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos sobre la composición relativa de los residuos sólidos en estos sectores y en la tabla 3 se

encuentran los datos de la composición relativa de las basuras para los años 2004 y 2005.

Tabla 2. Caracterización de residuos sólidos. Fuente: ESVAF.

TIPO	RESIDENCIAL	COMERCIAL	RURAL
materia orgánica	65.72%	64.34%	50%
papel o cartón	4.15%	5.49%	5%
plástico	6.97%	7.45%	7%
vidrio	2.07%	3.27%	2%
metal	0.87%	1.33%	1%
madera	0.81%	0.23%	0%
textil	1.78%	2.55%	0%
caucho o cuero	1.28%	0.97%	0%
inerte	3.13%	0.25%	0%
otros	13.24%	14.11%	34%

Tabla 3. Caracterización de residuos sólidos 2004. Fuente: ESVAF.

TIPO	2004	2005	DIF
materia orgánica	65.5%	65.4%	-0.1%
papel y cartón	4.6%	4.5%	-0.1%
plástico	6.2%	7.1%	0.9%
vidrio	2.4%	2.4%	-0.1%
metales	0.9%	1.0%	0.1%
otros	20.4%	19.6%	-0.8%

De los datos de la tabla 3 se puede observar una tendencia de comportamiento constante en la composición de los residuos sólidos.

Habitualmente el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o de los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento [7].

Para el análisis del aporte energético de los RSU, con base en el poder calorífico, se tienen en cuenta el papel y cartón, la materia orgánica y los materiales plásticos [8]. La tabla 4 muestra el poder calorífico inferior (PCI) de cada tipo de material.

Con el total de RSU producido, el poder calorífico de cada uno de sus componente y el porcentaje de aporte de cada uno de estos se estimó la cantidad de energía

disponible mensualmente, lo que permite determinar las posibilidades de uso de los RSU en la población de Facatativá para generación de energía térmica.

Tabla 4. Densidad y poder calorífico de los componentes de los RSU.

Fuente: Viñas, 1987.

Material	Densidad kg/m ³	PCI kcal/kg
Polietileno	803	16152
Grasas animales	963	9456
Espuma de poliuretano	32	7248
Plásticos	1170-1700	4800
PVC rígido	1170-1700	4800
Serrín	193	4728
Tropos	241	4700
Periodicos	112	4440
Cuero	321	4032
Madera	900	3800
Papel	700-1200	3300
Revistas	562	2928

La tabla 5 muestra la relación porcentual dentro del total de los residuos sólidos y el poder calorífico inferior (PCI) promedio de estos, teniendo presente que cada uno de estos ítems está conformado por diferentes tipos de compuestos, según datos del año 2005 (ver tabla 3).

Tabla 5. PCI de algunos RSU.

Tipo	%	PCI Kcal/Kg.
Materia orgánica	65.4	5343
Papel y cartón	4.5	3556
Plástico	7.1	8250

Con base en la proyección de RSU (tabla 1), el estimado de generación de energía disponible de algunos de los principales elementos que componen los RSU bajo análisis se da en la tabla 6.

Tabla 6. Producción estimada de algunos RSU de 2005 a 2020.

Año	Materia orgánica Tn/año	Materia orgánica PCI estimado Kcal/año (x108)	Papel y cartón Tn/año	Papel y cartón PCI estimado Kcal/año (x106)	Plástico Tn/año	Plástico PCI estimado Kcal/año (x106)
2005	1829,2	97,2	125,9	448,056	198,6	1641,8
2006	1855,4	98,6	127,7	455,168	201,4	1658,3
2007	1881,6	100	129,5	458,724	204,3	1683,0
2008	1908,4	101,4	131,3	465,836	207,2	1707,8
2009	1935,2	102,8	133,2	472,948	210,1	1732,5
2010	1962,7	104,3	135,0	480,06	213,1	1757,3
2011	1990,8	105,8	137,0	487,172	216,1	1782,0
2012	2018,9	107,3	138,9	494,284	219,2	1806,8
2013	2047,7	108,8	140,9	501,396	222,3	1831,5
2014	2076,5	110,3	142,9	508,508	225,4	1856,3
2015	2105,9	111,9	144,9	515,62	228,6	1881,0
2016	2136,0	113,5	147,0	522,732	231,9	1905,8
2017	2166,0	115,1	149,0	529,844	235,2	1930,5
2018	2196,8	116,7	151,2	536,956	238,5	1955,3
2019	2228,2	118,4	153,3	544,068	241,9	1980,0
2020	2259,6	120,1	155,5	551,18	245,3	2021,3

Tabla 7. Proyección media de PCI de los RSU.

Año	Materia aprovechable Tn/año	PCI disponible Kcal/año (x106)	PCI disponible Kcal/Kg
2005	2154	11,9	5506,6
2006	2184	12,0	5506,6
2007	2214	12,2	5506,6
2008	2246	12,4	5506,6
2009	2278	12,5	5506,6
2010	2311	12,7	5506,6
2011	2344	12,9	5506,6
2012	2377	13,1	5506,6
2013	2411	13,3	5506,6
2014	2444	13,5	5506,6
2015	2479	13,7	5506,6
2016	2514	13,8	5506,6
2017	2549	14,0	5506,6
2018	2585	14,2	5506,6
2019	2621	14,4	5506,6
2020	2660	14,6	5506,6

Totalizando los elementos de RSU y su PCI de la tabla 6, resulta en las columnas 2 y 3 de la tabla 7. Además, se encuentra que el estimado medio de PCI disponible es de 5506.6 Kcal/Kg.

La tabla 8 muestra el poder calorífico de algunos de los combustibles fósiles más utilizados como fuente de energía térmica.

El PCI estimado de los RSU se encuentra muy cerca del poder calorífico del carbón mineral, lo que los convierte en una fuente de energía atractiva. La cantidad de PCI disponible cada año se incrementa con el aumento de la población de acuerdo con la proyección realizada, de forma que se tiene una fuente confiable de energía que crece con el paso de los años, a diferencia de los hidrocarburos provenientes de los combustibles fósiles, que en nuestro país se hacen más escasos.

Tabla 8. Poder calorífico de algunos de los combustibles fósiles utilizados como fuente de energía térmica.

Fuente: Máquinas térmicas Motoras. Jesús Florez.

Combustible	PC (Kcal/Kg)
ACPM	10800
Gas Propano	11250 a 16500
Gas Natural	8400 a 10200
Carbon Mineral	6000 a 7000
Bagazo de caña	1700 a 2200

4. Conclusiones

Se ha realizado un estudio para determinar la viabilidad de utilizar la energía térmica contenida en los residuos sólidos urbanos producidos en una ciudad típica con un número de habitantes entre 100.000 y 200.000. Se concluyó que, en promedio, los residuos sólidos urbanos producidos poseen un poder calorífico inferior de 5506,6 Kcal/Kg. Comparando el crecimiento poblacional con el crecimiento de los residuos sólidos urbanos y la parte de estos que puede ser aprovechada, se observa que los RSU constituyen una fuente con tendencia creciente de energía térmica primaria.

Comparando el poder calorífico inferior disponible de los residuos sólidos urbanos con el poder calorífico de algunos combustibles fósiles, se observa que desde el punto de vista energético los residuos sólidos urbanos pueden ser utilizados para producir energía térmica útil, comparable con la utilización de carbón mineral.

Por lo general, los combustibles primarios se encuentran distantes de los centros de consumo; los residuos sólidos urbanos están disponibles en las cercanías de estos centros, lo que se refleja en la reducción de los costos de transporte.

Las empresas que disponen en sus propias instalaciones de biomasa residual son las que, con mayor facilidad, pueden plantearse la posibilidad de un aprovechamiento energético ya que los residuos sólidos urbanos se constituyen en un recurso con valor de mercado muy bajo, y puede suponerse incluso un costo el deshacerse de ellos. Las empresas que no disponen de biomasa residual propia pueden adquirirla en el mercado.

Con los residuos sólidos urbanos se puede generar energía térmica (agua o aire caliente y vapor), energía eléctrica e incluso mecánica mediante el uso de biocombustibles en motores de combustión interna mediante el procedimiento apropiado de transformación.

5. Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento a los funcionarios de la Empresa de Servicios Varios del municipio de Facatativá por la información proporcionada; así mismo, a los funcionarios que permitieron el acceso al botadero de Mondoñedo y al relleno sanitario de Doña Juana.

Referencias bibliográficas

- [1] M. Pates, K.Ridder, “Biogas to kilowatts”, *Tribune Business News*, Jul. 2007.
- [2] M. Potter, S.Elaine, “Thermodynamic, Michigan State University”, *Thomson Learning*, pp.185-210, 2006.
- [3] B. Gillette, “Strategic Biomass Initiative working on commercialization”, *The Mississippi Business Journal*. vol. 29, iss. 30, p. 19, Jul. 2007.
- [4] C. Ossa. “Simulación Básica”, Universidad Tecnológica de Pereira, pp. 87- 9, Feb. 2002.
- [5] P. García, *Tecnologías Energéticas e Impacto Ambiental*, Madrid: Mcgraw-hill, 2001.
- [6] J. Murai, *Aprovechamiento Energético de la biomasa residual como factor de protección Ambiental*, Madrid: Enadinsa, 2003.
- [7] Seminario Energías Alternativas en Colombia, “Generación de Energía Eléctrica por Consumo de Biomasa”, Universidad Nacional, Termólisis y Reciclaje de Colombia ESP. SCA, May. 2004.
- [8] S. Powers, “Fueling the futureon biomass industries bio cycle”. [En línea]. Disponible: http://www.jgpress.com/archives/2006_09.html