

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	David Leonardo	
Apellido (s):	Mayorga Céspedes	
Código:	20112375031	
E-mail:	dlmayorc@correo.udistrital.edu.com	
Teléfono fijo:	7612794	
Celular:	3142858640	
Ejecutor 2		
Nombre (s):	Carlos Andrés	
Apellido (s):	Romero Ariza	
Código:	20112375078	
E-mail:	caaromeroa@correo.udistrital.com	
Teléfono fijo:	3668300	
Celular:	3105733692	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	Evaluación de la energía eléctrica generada por un micro CHP* que utiliza como combustible los desperdicios alimentarios de un hogar.	
Duración (estimada):	10 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Investigación	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Energías Alternativas en Ingeniería Mecánica	
Grupo de Investigación:	SEA-GIEAUD	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Energías Alternativas, Transferencia de Calor, Termodinámica y Diseño.	
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	Camilo Arias Henao	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Héctor Pinilla	

* CHP (Combinated Heat and Power)

Tabla de contenido

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO.....	3
1.1 Contexto Mundial-Regional.....	3
1.2 Contexto Nacional	6
1.3 Contexto Local	7
1.4 Problema.....	8
2. ESTADO DEL ARTE	8
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVOS	19
4.1 Objetivo General.....	19
4.2 Objetivos Especificos	19
5. MARCO TEÓRICO	19
6. METODOLOGÍA.....	23
7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	26
8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	27
BIBLIOGRAFÍA	30

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO

1.1 Contexto Mundial-Regional

Los residuos sólidos son un tema de interés para cualquier área urbana del mundo, ya que su manejo inadecuado tiene impactos negativos y grandes riesgos, que afectan el bienestar de los ciudadanos; entre los riesgos e impactos más relevantes se encuentran: la proliferación de vectores y enfermedades, contaminación del agua, la emisión de gases con efecto invernadero, y problemas paisajísticos. Por otro lado, el manejo adecuado de los residuos sólidos trae muchos beneficios como: la reutilización de los residuos al convertirlos en materia prima y la obtención de beneficios energéticos como el biogás.

En cuanto al manejo adecuado de los residuos sólidos, se dispone de técnicas, que están orientadas al aprovechamiento de los desechos orgánicos, debido a que éstos tienen el más alto porcentaje de participación en las ciudades del mundo, en cuanto al contenido de los residuos sólidos se refiere. En la ilustración 1 se observa la composición de los residuos sólidos en porcentaje de algunas ciudades del mundo, y en esta se puede observar, que los desechos orgánicos tienen un alto porcentaje de participación, alcanzando hasta el 75% en algunas ciudades como Sousse en Túnez y Moshi en Tanzania

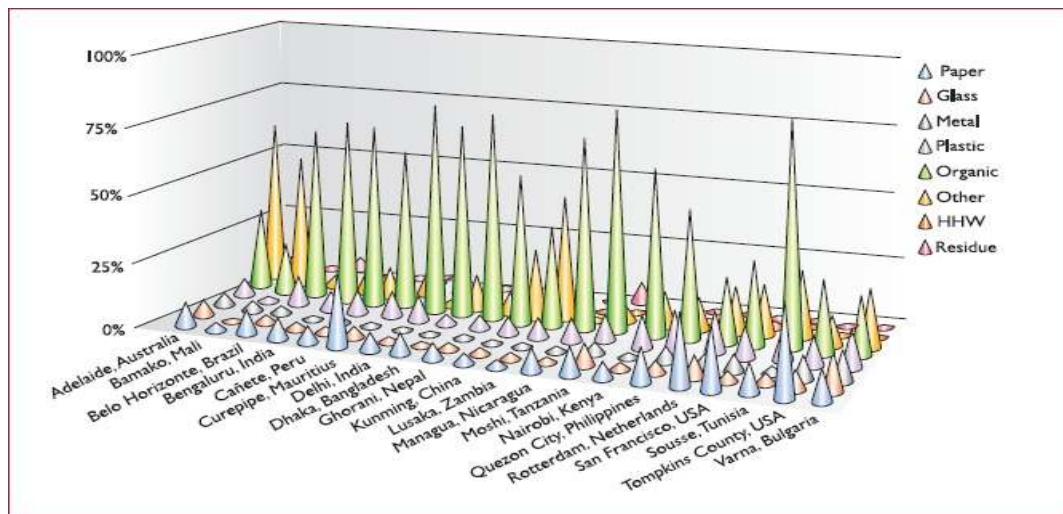


Ilustración 1. Composición de los MSW (Municipal Solid Waste) en algunas ciudades del mundo.¹

Los tratamientos térmicos como la pirolisis y gasificación, y los procedimientos biológicos como la digestión anaeróbica, son técnicas muy utilizadas en los rellenos sanitarios de las grandes ciudades del mundo para aprovechar el potencial energético de los desechos orgánicos. Lo que se ve reflejado en países como EEUU, que hasta el 28 de Junio de 2012 generaban 1813MW en 594 proyectos de generación de energía en rellenos sanitarios (Ilustración 2).

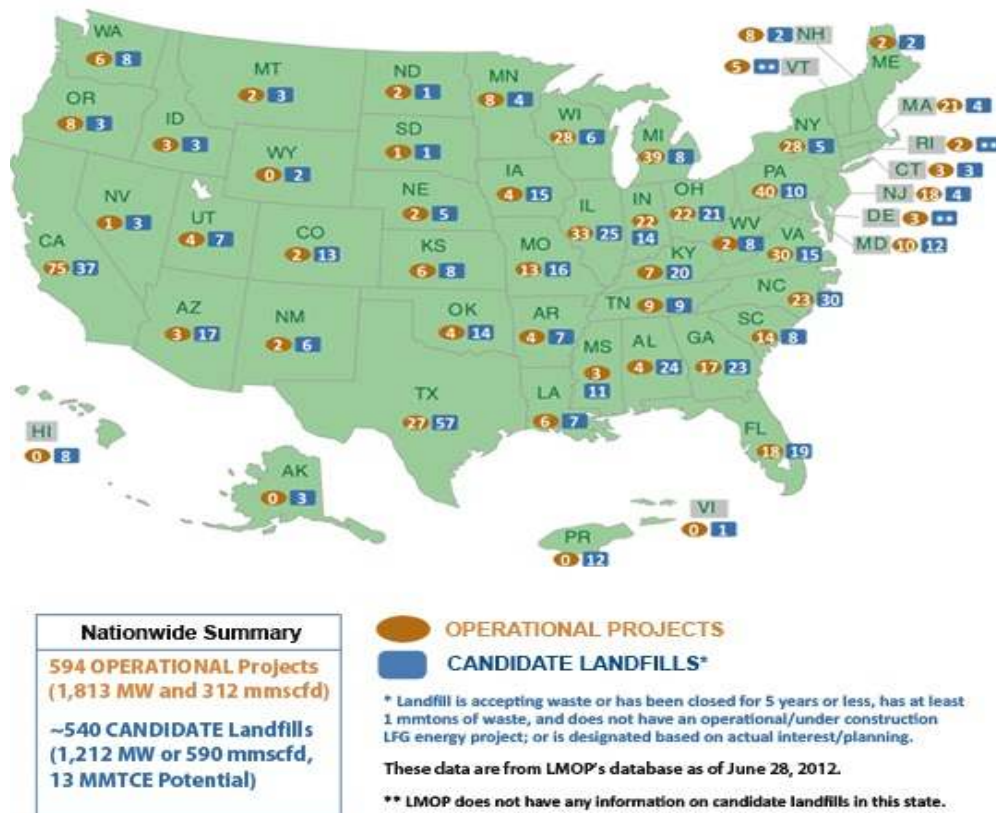


Ilustración 2. Proyectos energéticos en operación y candidatos en rellenos sanitarios de los Estados Unidos²

¹ UNITED NATIONS HABITAT. Solid waste management in the world's cities, water and sanitation in the world's cities 2010. London, Washington D.C. pagina. 12

La implementación de estas tecnologías en los rellenos sanitarios es una alternativa que disminuye los riesgos e impactos que genera el manejo inadecuado de los desechos orgánicos, pero una de las grandes desventajas de estas técnicas es la etapa en la que se implementan, ya que este tipo de residuos puede ser aprovechado energéticamente hablando en la etapa de generación evitando los impactos ambientales que trae el manejo y transporte de los mismos, desde el lugar de generación hasta los rellenos sanitarios.

Los micro CHP (Combinated Heat and Power) que usan biomasa como combustible, son tecnologías que pueden aprovechar los desechos orgánicos en el sitio de generación para obtener beneficios energéticos. El diseño de estas tecnologías depende principalmente de la fase en que se encuentre la biomasa; para el caso del aprovechamiento de los desperdicios alimentarios, se conocen los micros CHP que funcionan con biogás, como el módulo de cogeneración estadounidense G-box³ que tiene una eficiencia energética del 98% y produce hasta 152kW/h; la desventaja de estos dispositivos, es que carecen de algún dispositivo que prepare el biogás, a partir de los desperdicios alimentarios, y su desarrollo aumentaría el tamaño del CHP y la complejidad del mismo. Pero, ¿qué pasaría si se quema directamente la biomasa para generar energía?; se han planteado varios estudios para caracterizar los desperdicios alimentarios en fase sólida como combustible, pero no se han implementado en los micro CHP, ya que el uso de biomasa en fase sólida, aun es un tema de investigación y desarrollo a nivel mundial. Según la Bioenergy 2020+ en el Progetto Fuoco realizado en Febrero 26 de 2010 en Verona, Italia, para el 2020 los micros CHP en fase

² EPA (UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY). Energy Projects and Candidate Landfills [En línea] <<http://www.epa.gov/lmop/projects-candidates/index.html>>. [citado 10 de Octubre de 2012]

³ CENERGY (ADVANCED CLEAN ENERGY TECHNOLOGYES). CHP (Combinated Heat and Power) Cogeneration Module G-Box. [En línea]. <http://www.2g-cenergy.com/SpecsandData/2G-G-BOX-NG-60Hz-Specs.pdf>. [citado 10 de Octubre de 2012].

solida serán desarrollados completamente y adicionalmente mostraron el último avance desarrollado hasta el momento, en el tema. Un termo generador de energía que usa como fuente, el calor liberado al quemar pellets de madera⁴.

1.2 Contexto Nacional

Hasta el año 2008 Colombia contaba con 5 sistemas de disposición final para los residuos sólidos: enterramiento, quema, cuerpo de agua, botaderos, planta integral y los rellenos sanitarios. Este último es el más utilizado en el país con el 88,56% como se puede observar en la Ilustración 3.

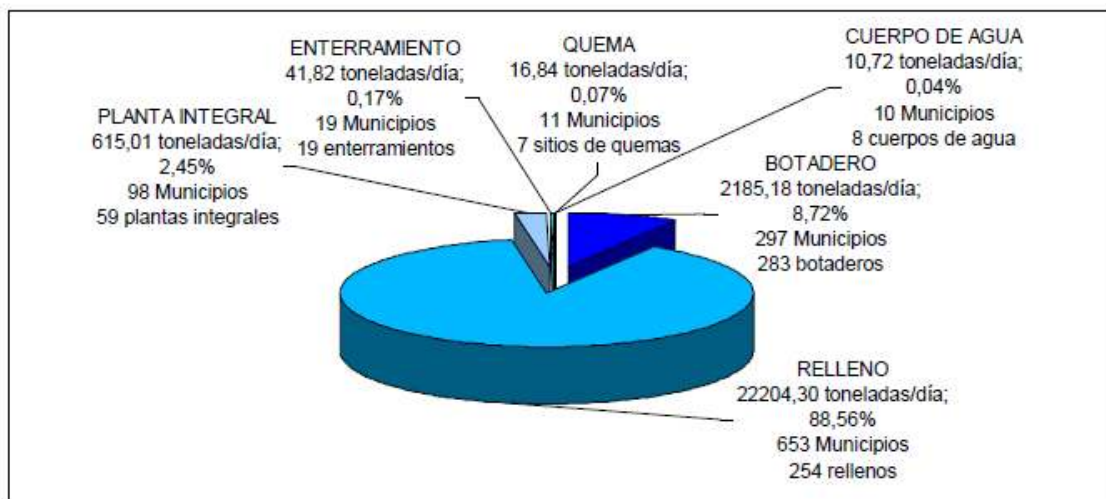


Ilustración 3. Sistemas de disposición final en Colombia. Año 2008⁵.

⁴ MICRO-CHP – EXPERIENCES WITH THERMOELECTRIC GENERATORS INTEGRATED IN A WOOD PELLET COMBUSTION UNIT. Bioenergy 2020+. [En línea] <<http://www.bioenergy2020.eu/files/publications/pdf/11-1570.pdf>>. [citado 10 de Octubre de 2012]

⁵ SITUACION DE LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS EN COLOMBIA. Superintendencia de Servicios Públicos. [En línea] <http://www.superservicios.gov.co/c/document_library/get_file?p_l_id=25030&folderId=25192&name=DLFE-8354.pdf> [Citado el 12 de Octubre de 2012]

De la gráfica 3 también se puede inferir que Colombia aprovecha muy poco los residuos sólidos, ya que solo el 2.45% son tratados para compostaje en plantas integrales. Por otro lado en la fase heurística del anteproyecto se encontró que el aprovechamiento energético de los desperdicios es muy bajo en comparación con otros países ya que los rellenos sanitarios: “La Esmeralda”, “Guayabal”, “El Carrasco”, y “El Combeima” son los únicos entre los 58 rellenos sanitarios del país que aprovechan los residuos sólidos energéticamente hablando⁶. Mientras que en la ciudad de Bogotá como el lugar más grande donde se podría aprovechar este tipo de recursos solo se planteado un proyecto de aprovechamiento energético del biogás del relleno sanitario Doña Juana.

1.3 Contexto Local

Dentro del *Programa para la Gestión de Residuos Sólidos Orgánicos para la Ciudad de Bogotá D.C.*, la UASP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos de Bogotá, D. C.), plantea alternativas que funcionen como disposición final de los residuos sólidos, entre las que se encuentran: el Compostaje, la Biometanización y el Tratamiento Térmico⁷, pero ¿cuántos costos y efectos ambientales no se ahorraría, en cuanto a transporte y manejo de residuos sólidos se refiere, si se aprovecharan en el sitio de generación (los hogares), los desechos orgánicos?. En cuanto a la Biometanización y el Tratamiento Térmico, el desarrollo de estas tecnologías no es del todo viable ambientalmente hablando, ya que está comprobado que estos procesos producen agentes contaminantes como las dioxinas y

⁶ EVALUACION DE LA GENERACION DE BIOGAS EN RELLENOS SANITARIOS EN COLOMBIA EN EL MARCO DEL PROTOCOLO DE KYOTO. María del Carmen Ordoñez Ordoñez. [En línea] < <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/363728O65.pdf>>. página 9. [Citado el 12 de Octubre de 2012]

⁷ PROGRAMA PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGANICOS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D. C. Versión 2. Marzo 2010. UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS BOGOTÁ, D. C. [En línea] < http://www.uesp.gov.co/uaesp_jo/images/documentos/programaorganicos.pdf > pagina 122. [Citado el 12 de Octubre de 2012]

los furanos⁸. En el caso de la combustión directa de desperdicios alimenticios, también es probable que se generen agentes contaminantes debido a su alto contenido de humedad, razón por la cual se propone usar la energía térmica generada por el micro CHP, no para darle una aplicación externa, como el calentamiento de agua para la ducha, sino para retirar el agua contenida en los desperdicios y así garantizar la no emisión de agentes contaminantes al ambiente, que tanto daño le hacen a nuestro planeta y, adicionalmente, a la alta calidad, en cuanto a combustión se refiere, ya que el agua influye negativamente durante el proceso de combustión.

En la fase heurística del anteproyecto no se encontraron registros por parte de educaciones educativas donde se esté investigando sobre la utilización y el aprovechamiento de desperdicios alimenticios o residuos orgánicos como combustible sólido para la generación de energía.

1.4 Problema

El manejo de los desperdicios alimentarios en la ciudad de Bogotá es inadecuado, ya que presenta muchos problemas relacionados con la disposición final, para lo cual la UESP ha planteado un programa que propone el aprovechamiento de los RSU usando tratamientos térmicos y procesos biológicos. Ninguna de las alternativas propuestas aprovecha el potencial energético de los desperdicios alimentarios en el lugar de generación, lo que lleva a plantear ¿Si es posible utilizar los desperdicios alimentarios en los hogares para la generación de energía eléctrica? Es posible utilizar los desperdicios alimentarios como combustible en el sitio de generación usando micro CHP (Combustion Heat and Power).

2. ESTADO DEL ARTE

En el análisis de la diferente información recolectada para el estado del arte se encuentran varios tipos de fuentes, de las cuales se van a trabajar las de tipo académicas, tales como papers, artículos, trabajos de grado, tesis, informes de investigación, entre otras. La búsqueda de fuentes se realizó

⁸ PIROLISIS UNA TECNICA DE TRATAMIENTO TERMICO NO TRADICIONAL. Salud sin daño. [En línea]< <http://noalaincineracion.org/wp-content/uploads/hojainformativapirolisiscastellano.pdf> >[Citado el 12 de Octubre de 2012]

entre el período de 1995 y 2012, debido a que en los años 90 se realizaron importantes investigaciones sobre combustión; la mayor cantidad de fuentes analizadas se encontraron en el idioma inglés. Las diferentes fuentes de estudio se encuentran localizadas en China, Estados Unidos y países del norte de Europa como Alemania, Suecia, Inglaterra y Noruega.

Las fuentes seleccionadas fueron de acuerdo a diferentes criterios, como la caracterización de biomasa para combustible, caracterización de los residuos municipales como fuente potencial de energía y sistemas donde se utilice biomasa sólida para cogeneración.

A nivel mundial la preocupación por la búsqueda de fuentes limpias de energía y el aprovechamiento de los recursos ha llevado a plantear diferentes estudios a lo largo del planeta en base de los recursos que tenemos más a disposición como la biomasa, la energía solar, energía eólica e hidráulica. También no solamente se evalúa que nuevos recursos podemos utilizar sino también como reutilizar los que desechamos para el caso de esta investigación los residuos orgánicos.

El estudio de la biomasa para procesos de combustión se centra en primera instancia en el análisis de qué tipo de biomasa se va utilizar para la combustión, la primera clasificación que se puede hacer dependiendo de su lugar de procedencia⁹.

- Recursos y residuos Forestales
- Residuos Agrícolas
- Residuos Municipales (MSW)¹⁰

En la actualidad los estudios de la biomasa como combustible sólido se centran en las dos primeras, debido a que su porcentaje de humedad es menor en comparación a los residuos municipales, lo cual hace más fácil su utilización. La mayoría de las investigaciones acerca de desperdicios alimentarios se encuentran enfocadas a la producción de Biogás por medio

⁹ CENTRO DE ENERGIAS RENOVABLES. Proyectos de biomasa [En línea].
< <http://cer.gob.cl/archivos/GuiaBiomasa.pdf> > [Citado el 10 de octubre 2012] .Página 18.

¹⁰ MSW (Municipal Solid Waste)

de la descomposición a través de la digestión anaeróbica¹¹, pero también se encuentra algunos casos donde se analiza la utilización de estos directamente como combustible sólido.

Los estudios sobre la combustión de biomasa se han venido desarrollando desde 1989 y organizaciones mundiales como la Agencia Internacional de Energía (IEA)¹² la cual integran países como Alemania, Suecia, Dinamarca, Estados Unidos, Finlandia entre otros. Han venido sumando esfuerzos para ampliar las investigaciones sobre la combustión, debido a que permite ampliar la utilización de este proceso para la generación de energía, mejorar su eficiencia energética y reducir los riesgos ambientales que se generan. Dentro de las principales investigaciones realizadas por la IEA, está la caracterización de diferentes tipos de biomasa como maderas, pajas y forrajes. Otras investigaciones van centradas hacia el análisis de combustión observando los porcentajes de gases contaminantes generados y su posterior análisis para determinar medidas que posibiliten su reducción. Por último se plantean estudios en los cuales se evalúan los sistemas para la generación de energía como lo son sistemas de pirolisis y CHP.

La caracterización de biomasa como combustible es uno de los objetivos principales por parte de las investigaciones, en donde se evalúa principalmente dos características importantes: la composición química del combustible y HHV por sus siglas en ingles o el valor máximo del calor de combustión, el cual como su nombre lo indica es el valor máximo de energía en forma de calor que aporta el proceso. En la investigación de Thomas J. Buckley¹³ se evalúa el HHV para la biomasa y residuos municipales, donde se utilizó la formula de Vondracek, la cual arrojó resultados positivos debido

¹¹ CENTRO DE ENERGÍAS RENOVABLES. Biomasa [En línea]. <
<http://ebookbrowse.com/libro-biomasa-pdf-d328213721>> [Citado el 10 de octubre de 2012].
Página 4.

¹² JE Hustad, Ø Skreiberg, OK Sønju. Biomass combustion research and utilisation in IEA countries. Biomass and Bioenergy, Volume 9, Issues 1–5, 1995, Pages 235-255

¹³ BUCKLEY, Thomas J. Calculation of higher heating values of biomass materials and waste components from elemental analyses. Resources, Conservation and Recycling, Volume 5, Issue 4, August 1991, Pages 329-341

a que realiza una buena aproximación entre el valor real del HHV y el valor teórico calculado con un porcentaje de error aceptables.

Se encontraron investigaciones acerca de la caracterización de residuos municipales como combustible, los cuales están compuestos por gran cantidad de elementos como plásticos, desperdicios alimenticios, desperdicios de poda, y textiles, las investigaciones acerca de los residuos municipales es de principal interés por muchos países porque representa un opción para la disposición final de estos elementos que a diario generamos en las ciudades y una fuente de energía eléctrica y calórica. El principal objetivo de estos estudios es analizar los compuestos químicos que hacen parte de la combustión y poder definir las cantidades de los diferentes compuestos. En la investigación realizada por Lawrence A. Ruth¹⁴ se lleva a cabo un estudio sobre la comparación de energía entre el carbón y los desperdicios municipales. El objetivo de este estudio es el observar los puntos favorables de la combustión de los residuos municipales a partir de la comparación con la combustión del carbón para lo cual el autor tiene en cuenta lo siguiente:

- Descripción la combustión tanto para carbón como para MSW.
- Descripción y comparación entre los equipos que realizan la combustión para carbón y para MSW
- Análisis de los productos de combustión para cada uno donde se analizan principalmente la cantidad de los gases contaminantes de la combustión como lo son óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos y los metales pesados.
- Evaluación de co-combustión entre carbón y MSW
- Finalmente se analizan las prioridades a tener en cuenta para la incineración de MSW

De este estudio se puede rescatar que cuando se pretende hacer un análisis con un combustible no caracterizado se compara química y energéticamente

¹⁴ LAWRENCE, A. Ruth. Energy from municipal solid waste: A comparison with coal combustion technology. Progress in Energy and Combustion Science, Volume 24, Issue 6, 1998, Pages 545-564

con combustibles tradicionales para este caso carbón pero en otro estudio que se abordara más adelante el cual se compara con la madera.

De este estudio se concluye que la co-combustión entre carbón y MSW es una buena alternativa para la reducción de elementos contaminantes. Liang Lu, Tomoaki Namioka, y Kunio Yoshikawa¹⁵ también investigan acerca de un procedimiento para adecuar los MSW para una óptima co-combustión con carbón por medio de un tratamiento hidrotérmico que permite una homogenización del tamaño de las partículas de los residuos.

La combustión o incineración de residuos sólidos municipales necesita de controles de sustancias contaminantes como las mencionadas anteriormente y por lo general este proceso se realiza a gran escala en plantas de combustión macro que dan la disposición final a los residuos generados por poblaciones grandes.

También se encuentran investigaciones que especifican en uno de los componentes de los residuos sólidos municipales los cuales son los desperdicios alimentarios que constituyen una gran parte de estos.

Una investigación realizada por la Marina de Estados Unidos¹⁶, desarrolla el estudio del potencial energético de los desperdicios alimenticios generados en una academia. Los autores realizaron una estimación de la generación de desperdicios dentro de la academia, donde se tiene que se reparten 3 comidas diarias para un total de 4400 estudiantes. Como los desperdicios alimentarios poseen altos contenidos de humedad se vuelve necesario realizar un proceso de secado que permita al momento del análisis, una combustión completa con reducción de agentes contaminantes en los

¹⁵ LU, Liang. NAMIOKA, Tomoaki. YOSHIKAWA, Kunio. Effects of hydrothermal treatment on characteristics and combustion behaviors of municipal solid wastes .Applied Energy, Volume 88, Issue 11, November 2011, Pages 3659-3664

¹⁶ P.A. Caton, M.A. Carr, S.S. Kim, M.J. Beautyman Energy recovery from waste food by combustion or gasification with the potential for regenerative dehydration: A case study Energy Conversion and Management, Volume 51, Issue 6, June 2010, Pages 1157-1169

productos. Para esta investigación se realizó una comparación del rendimiento energético de los desperdicios alimenticios y la madera, obteniendo resultados satisfactorios para los desperdicios como una fuente potencial de combustible sólido.

Uno de los puntos importantes que se vieron en la investigación fue la importancia en la remoción de humedad de los desperdicios para lo cual se hace necesario tomar en cuenta el HHV que permite determinar la energía necesaria para retirar el agua.

Luego de caracterizar la biomasa como combustible se selecciona el sistema que va a transformar el potencial energético del combustible dependiendo del estado en que se encuentre la biomasa, las propiedades termodinámicas y sus características fisicoquímicas. Cabe resaltar que en la gran mayoría de los documentos encontrados durante la fase heurística del anteproyecto se plantearon procesos de gasificación previos al proceso de transformación energética del combustible, debido a la alta calidad, en cuanto a combustión se refiere, pero una mala relación entre residuos sólidos y combustible generado¹⁷.

El biogás es un combustible muy usado en la industria, ya que puede ser usado como combustible en motores de cuatro tiempos, motores Stirling, turbinas de gas, micro turbinas de gas y células de combustible. Por otro lado una alternativa muy interesante que está siendo implementada en muchos procesos, en cuanto a transformación energética con biogás se refiere, es la cogeneración¹⁸. El concepto de cogeneración junto con el aprovechamiento de residuos trae muchos beneficios, como el uso de energías renovables y mejoras medioambientales, entre otras. Razones que han llevado al desarrollo de proyectos que implementen tecnologías basadas en la cogeneración (CHP) que usen biomasa; como es el caso del diseño de

¹⁷ FANG LOU, Xian. NAIR Jaya, HO, Goen. Field performance of small scale anaerobic digesters treating food waste. Energy for sustainable development. Junio de 2012.

¹⁸ AMIN SALEHI, Farnaz. COTTON, David Edward. ABDOLI, Mohammad Ali. REZAPOR, Kambiz. The necessity of Biomass Application for Developing Combined Heat and Power (CHP) with Biogas Fuel: Case Study. World Academy of Science, Engineering Technology 44 2010.

una planta de cogeneración mediante gasificación de biomasa residual¹⁹. En este proyecto los autores inicialmente caracterizaron madera y restos de poda, determinando la composición química, a partir de un análisis último y los contenidos de humedad, fijo de carbono, volátiles y ceniza, y el HHV (High heating value) y LHV (Low Heating Value). De ahí se plantaron tres técnicas que permiten aprovechar el potencial energético de la biomasa: pirolisis, combustión y gasificación. La pirolisis es un proceso termoquímico que produce carbón vegetal y otros componentes aprovechables. La combustión es una reacción exotérmica que libera energía en forma de calor. La gasificación consta de un conjunto de reacciones termoquímicas que dan como resultado la generación de gases que son usados como combustible para aportar energía a un ciclo, en la mayoría de los casos termodinámico para generar energía. Los autores proponen la gasificación argumentando eficiencias del 70% al 80%, pero posteriormente indican que el proceso para preparar la biomasa como combustible consta de tres etapas:

1. Secado de la biomasa a 375K y al mismo tiempo la absorción de calor sensible por parte del combustible para aumentar su temperatura.
2. Descomposición térmica de la biomasa a una temperatura que oscila entre 575K y 875K en ausencia de Oxígeno.
3. Oxidación parcial de la fracción más pesada de la biomasa a una temperatura entre 900K y 1400K.

Las tecnologías comerciales de gasificación tienen la desventaja de no poder manejar la biomasa con una densidad mínima de 200 kg/m³, además los procesos usados para su preparación son de alta complejidad.

Los dispositivos más usados para gasificar los residuos sólidos son los clasificadores de lecho fluidizado, que tiene por objetivo transportar el combustible pequeñas partículas para luego someterlo a una elevación de temperatura que alcanza hasta los 1200K; proceso térmico que gasifica la biomasa.

¹⁹ DEL VAL GENTO, Verónica. ANTOLÍN GIRALDO, Gregorio. Planta de Cogeneración mediante Gasificación de Biomasa Residual.

Para el caso de la investigación se modeló matemáticamente a partir de un conjunto de conceptos termoquímicos como el balance de masa y la primera ley de la Termodinámica.

La quema de residuos sólidos para su posterior aprovechamiento energético también se ha planteado como proyecto de investigación y desarrollo, en algunas partes del mundo, como es el caso del departamento de energía de la Universidad de Sao Paulo²⁰, que estudió la viabilidad de desarrollar proyectos de cogeneración usando los residuos sólidos para generar energía o aumentar la eficiencia de un proceso cuyo combustible principal es el gas.

Para el caso del aprovechamiento de los residuos sólidos de un MSW (Municipal Solid Waste), se propuso ciclo Rankine de vapor que aprovechaba la energía térmica liberada al quemar los residuos sólidos para cambiar el estado del fluido de trabajo, de agua a vapor húmedo para usarlo como fuente motriz de una turbina que genera energía. Cuando el vapor entrega parte de su energía a la turbina, se propone usar la energía en forma de calor que resta para un proceso de planta externo al ciclo de vapor. Cabe resaltar que en el artículo se propone un proceso muy interesante ya que en vez de usar un condensador, un dispositivo típico de estos cíclicos que se encarga de retirar el calor latente del fluido para cambiar su fase de gaseosa a líquida y poder continuar el ciclo, ya no se desecha ese calor latente, sino que se aprovecha como calor de proceso, cumpliendo con las condiciones que requiere el ciclo.

Otra alternativa muy interesante es aumentar la eficiencia de un ciclo a gas, aprovechando el calor que rechaza este ciclo para precalentar el agua que a continuación absorberá la energía liberada por los residuos sólidos al quemarse, y así cambiar el estado del fluido de trabajo para generar energía eléctrica y a su vez aprovechar el calor generado en este segundo ciclo para un proceso externo al ciclo.

Como se puede observar la cogeneración es un concepto termodinámico que busca aprovechar al máximo la energía potencial de un combustible, y adicionalmente tiene la posibilidad de usar residuos sólidos como

²⁰ R. de HOLANDA, Marcelo. PERRELLA BALESTIERI, José A. Cogeneration in a solids waste power station: a case study. Applied Energy 63 (1999)125-139

combustible, en especial los residuos sólidos. Pero, ¿qué pasaría si se aprovechara el potencial energético de los residuos sólidos en el lugar de generación, es decir en los hogares, fabricas, plazas de mercado, entre otros? Esta pregunta ha encontrado solución en el desarrollo del micro CHP que usan como fuente de generación la biomasa²¹.

El desarrollo de los micro CHP tiene por objetivo aprovechar al máximo los recursos utilizados en su proceso de transformación energética, reducir el costo del combustible en el lugar de generación, y en gran medida, garantizar la seguridad energética de una región; beneficios que influyen en el desarrollo económico de un país y la sostenibilidad ambiental del planeta. Es así como lo plantearon muchas empresas líderes en la industria de cogeneración en la CHP Conference realizada el 5 de Octubre de 2011 en Houston, Texas²². En ésta conferencia se habló, acerca de, muchos temas relacionados con los CHP, y adicionalmente se establecieron alianzas económicas entre empresas, redes de comunicación, incentivos para el desarrollo de éstas tecnologías, y oportunidades de proyectos relacionados con el tema.

Estados unidos, no es el único país que realiza éstas actividades, durante el Progetto Fuoco realizado en Febrero 26 de 2010 en Verona, Italia, la Bioenergy 2020+ resaltó los avances tecnológicos que se habían desarrollado hasta el momento y el enfoque que se le debería dar a las investigaciones y desarrollos relacionados con el tema²³; lo que se ve reflejado en la proyección, que hicieron al mencionar que para el 2020, ya se iba a contar con micro CHP a partir de biomasa completamente desarrolladas.

En esta feria se mostraron los avances que se tenían hasta el momento, en cuanto al desarrollo de micro CHP de biomasa en fase solida se refiere, y se

²¹ H.I. Onovwiona. V.I. Ugursal. Residential Cogeneration systems: review of the current technology. Renewable and sustainable energy reviews 10 (2006) 389-431

²² CHP 2011 Conference: Grid Strain Solution Cuts Energy Waste and Business Costs. 5 de Octubre de 2011.

²³ HASLINGER, Walter. FRIEDL, Gunther. Biomass micro scale CHP. [En línea] <<http://www.bioenergy2020.eu/files/publications/pdf/11-1690.pdf> >[Citado el 12 de noviembre de 2012]

encontró que actualmente se conocen cuatro principios que pueden ser usados para construir dichas tecnologías: los ciclos a vapor, el ciclo Stirling, el ORC (The Organic Rankine Cycle) y las celdas de combustible, pero aún son tema de investigación y desarrollo. Cabe resaltar que las investigaciones actuales están centradas en desarrollar y optimizar tecnologías que usan la madera como biocombustible, un ejemplo es la implementación de termo generadoras de energía que usan como fuente de energía el calor liberado al quemar pellets de madera²⁴.

Los ciclos de vapor dentro del desarrollo de micro CHP siguen siendo una opción a tener en cuenta, por las ventajas que trae, así como se vio en el estudio desarrollado por la Universidad de Sao Paulo. En la propuesta que hicieron el calor producido durante el ciclo era usado para fines externos al funcionamiento del dispositivo pero, si adicionalmente tenemos en cuenta el proceso de preparación de la biomasa como combustible, una etapa era la del secado del combustible a 373K aproximadamente, se podría utilizar ese calor generado para secar el desperdicio; alternativa, que en la fase heurística del anteproyecto, se ha encontrado que no ha sido tenida en cuenta como propuesta de desarrollo en los micro CHP que usan biomasa como combustible.

3. JUSTIFICACIÓN

Los desperdicios causan graves impactos ambientales al producir lixiviados que dañan el subsuelo dejándolo inutilizable por largos periodos de tiempo y la contaminación de fuentes hídricas como los ríos, que terminan por afectar la salud de la sociedad en general. La mayoría de los residuos sólidos en nuestro país se depositan en rellenos sanitarios y en especial en la ciudad de Bogotá en el relleno sanitario Doña Juana, donde los RSU (Residuos Sólidos Urbanos) son enterrados sin ningún aprovechamiento.

²⁴ MOSERM, Wilhelm. Next generation pellet combustion with thermoelectric power generation. [En línea]< <http://www.bioenergy2020.eu/files/publications/pdf/C11-29.pdf>>[Citado el 12 de noviembre de 2012]

Por efecto de los altos contenidos de carbón los desperdicios alimentarios se pueden categorizar como fuentes potenciales de combustible, tanto como biogás, que es el proceso más utilizado en otros países como Estados Unidos y China o como combustible sólido. Los cuales están enfocados hacia la generación de energía eléctrica y energía en forma de calor en dichos países.

El propósito de orientar el proyecto de investigación hacia el aprovechamiento de los desperdicios alimentarios como combustible sólido, va enfocado a buscar su utilidad dentro de los espacios de generación, en otras palabras los hogares. Los beneficios que se pueden obtener son: eliminación del coste de transporte de los desperdicios alimentarios a los rellenos sanitarios, generación de energía eléctrica y de calor que pueden ser utilizados en el mismo hogar y finalmente se contribuya a garantizar el uso de energías renovables.

Para usar los desperdicios alimentarios como combustible en el lugar de generación, se puede hacer uso de los micros CHP, ya que su tecnología ya ha sido implementada para generar energía eléctrica y térmica, a partir de biomasa. Cabe resaltar que la biomasa que se ha utilizado en estos desarrollos, en cuanto a desechos orgánicos se refiere, ha sido biogás, es decir biomasa en fase gaseosa, adicionalmente la energía térmica generada por estos micro CHP se utiliza para procesos externos al ciclo de cogeneración como el calentamiento de agua. Lo que lleva a investigar si es posible usar residuos alimenticios en fase sólida como combustible de un micro CHP, que a su vez va entregue la energía térmica que genere al mismo combustible para secarlo y así llevarlo a unas condiciones óptimas de combustión.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar el uso de desperdicios alimentarios como combustible para la generación de energía eléctrica orientado un sistema micro CHP (Combinated Heat and Power)

4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los desperdicios alimentarios obtenidos del proceso de cocina.
- Determinar las propiedades termodinámicas de los desperdicios.
- Determinar las características de entrada del combustible para quema.
- Especificar el sistema de cogeneración para cubrir la demanda de calor necesario para la preparación del combustible.
- Realizar el cálculo del sistema en estado estable.
- Realizar el cálculo del sistema en estado transitorio.
- Evaluar el desempeño del micro CHP propuesto en función de la potencia generada respecto a la variación de parámetros de trabajo.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Combustión de los desperdicios alimenticios.

Un micro CHP se diseña a partir del combustible (Cualquier cosa que pueda quemarse para liberar energía) a utilizar, ya que de la fase en que se encuentre, su composición química y potencial energético, se diseña el sistema y los dispositivos que van a ser parte del mismo.

En este proyecto se propone usar los desperdicios alimenticios en fase sólida usando la combustión. La combustión es una técnica que permite aprovechar el potencial energético del combustible al oxidarlos, liberando así una cantidad de energía en forma de calor²⁵. En esta reacción exotérmica el

²⁵ CENGEL, Yunus A. BOLES Michael. Termodinámica. Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill 2009. Pag.769.

combustible actúa como un reductor, es decir, es el agente que suministra los electrones durante el proceso, pero a su vez, hay otro agente denominado oxidante, que para este caso, es el Oxígeno contenido en el aire, el cual tiende a captar los electrones liberados por los desperdicios alimenticios. Cabe resaltar, que los desperdicios alimenticios y el aire, en el marco de la combustión se denominan Reactivos y los componentes presentes después de la reacción Productos. Para determinar el flujo másico de combustible a reaccionar se debe conocer el contenido energético del combustible, que está caracterizado por el HHV (High Heating Value) y el LHV (Low Heating Value)²⁶. Estos valores indican, cuanta energía puede liberar el combustible por unidad de masa, si el agua está en forma líquida para el HHV o si el agua está en forma de vapor para LHV. Para el caso específico de los desperdicios alimentarios la humedad que contiene dificulta la combustión, porque parte de la energía de activación se perdería en forma de calor latente para evaporar el agua contenida en los desperdicios que alcanza valores hasta del 76%²⁷, de ese modo es necesario retirar la humedad contenida en los desperdicios. Para secar los desperdicios es necesario la magnitud del calor que se le debe añadir y el modo de transmisión del mismo, que para el caso se va a usar la convección ya que dentro de los tres modos de transferencia de calor conocido es el más eficiente, en cuanto a la magnitud, se puede determinar usando el concepto de calor específico ya que a través de este se puede hallar la energía necesaria para elevar hasta la temperatura de saturación el agua, para que así cambie su fase a vapor, para el objeto de este proyecto es necesario determinar la cantidad de masa a secar para así abrir una demanda de calor dentro del sistema.

La mezcla del combustible y el comburente debe realizarse de manera controlada, ya que de sus proporciones, depende si la combustión es completa o incompleta, se dice que es incompleta cuando en los productos

²⁶ CENGEL, Yunus A. BOLES Michael. Termodinámica. Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill 2009. Pag.780.

²⁷ FRANCISCO, Alfredo Abel. RODRIGUEZ, Yokasta. Caracterización de residuos sólidos de mercados en Santo Domingo Oeste, Provincia de Santo Domingo. [En línea]<
<http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=87019755006>>[Citado el 13 de Noviembre de 2012]]

hay presencia de combustible o componentes no quemados; por lo general este fenómeno es causado por la baja cantidad de comburente en los reactivos. Para determinar la cantidad adecuada de comburente que se necesita en los reactivos, garantizando una combustión completa, hay que realizar un balance de masa de la ecuación química referente a la reacción exotérmica. Lo que lleva a determinar la composición química de los desperdicios alimenticios que se generan los hogares.

Pero no basta solo con poner en contacto los reactivos para dar inicio a la combustión, se necesita elevar la temperatura de la mezcla hasta cierto valor, denominado Flash Point y/o Fire Point. Cuando se habla de Flash Point se refiere al valor de temperatura que debe experimentar la mezcla para inflamarse, pero que al descender su valor la llama se apaga, mientras que el Fire Point indica el valor de la temperatura a la cual los reactivos son capaces de sostener la llama, así el valor de la temperatura disminuya.

TIPOS DE CHP

Para realizar cogeneración por medio de un CHIP (Combinated Heat and Power) que use biomasa sólida y tenga combustión externa, se tienen las siguientes posibilidades:

- Ciclo de Vapor
- Ciclo orgánico Rankine
- Ciclo Stirling
- Generadores Termoeléctricos.

CICLO DE VAPOR

El ciclo con que se pretende trabajar en el proyecto es el ciclo de vapor debido a que es un ciclo simple y se adecua a los objetivos que se quieren alcanzar.

El ciclo de potencia de vapor utilizado para las plantas de vapor es el ciclo Rankine debido a que es una modificación del ciclo de Carnot, la cual elimina los aspectos imprácticos que este posee como son la irreversibilidad y las pérdidas por calor.

Cuando se habla de ciclo Rankine se tiene cuatro procesos:

1. Comprensión isoentrópica en una bomba.
2. Adición de calor a presión constante en una caldera.
3. Expansión isoentrópica en una turbina.
4. Rechazo de calor a presión constante en un condensador.

El proceso comienza cuando la bomba le entrega presión al agua hasta la presión de operación de la caldera. El agua entra a la caldera como líquido comprimido y sale de la caldera como vapor sobrecalentado. La caldera funciona como un intercambiador de calor donde la energía que se obtiene a partir de un combustible es otorgada al agua a presión. El nombre que se le da a la caldera y a sección donde se sobre calienta el vapor se le conoce con el nombre de generador de vapor.

El vapor sobre calentado un vez sale de la turbina entra en un turbina donde se expande isoentrópicamente y produce trabajo al hacer girar el eje conectado a un generador eléctrico. La temperatura y la presión del vapor disminuyen a causa de la entrega de energía a la turbina, en un ciclo de vapor corriente (sin cogeneración) el proceso a seguir es la entrada del vapor al condensador para condesar el vapor y volver el agua al estado líquido.

Lo que se pretende en el proyecto es aprovechar la energía de calor que posee el vapor al salir de la turbina y por medio de un proceso de transferencia de calor de convección, donde el calor del vapor se transfiera a los residuos orgánicos húmedos por medio de un flujo de aire continuo, que tiene como objetivo secar los residuos sólidos y poder usar estos luego como combustible en la caldera. Para poder lograr que los residuos orgánicos logren el porcentaje de humedad adecuado para que puedan ser usados dentro de un proceso de combustión completa, es necesario conocer la magnitud del calor específico necesario para retirar la humedad de los alimentos.

Al reemplazar el condensador por el proceso de transferencia de calor por convección se cumple el mismo propósito que tiene este retirar el calor para volver a condesar el agua y poder volver a comenzar el ciclo. Los beneficios obtenidos son que se obtiene energía eléctrica gracias al trabajo que se entrega a la turbina y la energía en forma de calor para secar los alimentos, que luego se utilizarían como combustible. En otras palabras estaríamos realizando cogeneración en este caso generación de energía eléctrica y calor para un hogar donde se aprovechan los residuos sólidos para llevar a cabo la generación de energía.

6. METODOLOGÍA

1. Búsqueda de información relacionada con el tema. Se debe realizar una búsqueda extensa de bibliografía y referencias sobre las temáticas que permitan abarcar de manera amplia y suficiente los temas de interés para el desarrollo del trabajo, para ello se van a utilizar bases de datos, como ProQuest, Science Direct, Engineering Village, y a nivel nacional Scienti.
2. Recolección de desperdicios alimentarios. El acopio de desperdicios alimentarios es de gran importancia, ya que se deben analizar muestras representativas de los hogares en la ciudad de Bogotá, teniendo cuenta el número de integrantes por hogar y el estrato socioeconómico del sector.
3. Establecer las características de entrada del combustible para quema. Un combustible debe tener un contenido de humedad bajo y exponerlo a un valor de temperatura que le permita mantener la llama, lo que lleva a plantear unas características previas que deben tener los desperdicios alimentarios antes de iniciar el ciclo de cogeneración.
4. Realización de las pruebas de laboratorio. Para aprovechar los desperdicios alimentarios como combustible, se deben conocer propiedades físico-químicas como: su composición química y contenido de humedad. Por otro lado es necesario determinar el HHV y el LHV, ya que estos valores representan el potencial energético de cualquier materia o sustancia.
5. Análisis e interpretación de los resultados del laboratorio. La viabilidad de usar los desperdicios alimentarios como combustible y sus posibles aplicaciones en cuanto a transformación energética se refiere, dependen principalmente del análisis elaborado a partir de las magnitudes encontradas en los laboratorios.
6. Determinación del sistema en estado estable. El potencial energético del combustible puede ser aprovechado a través de procesos que

permitan transformar la energía de los desperdicios en algún tipo de energía útil; para el objeto de esta investigación se propone, obtener calor para retirar la humedad de los desperdicios y energía eléctrica útil. Lo que lleva a plantear un sistema que cubra esas necesidades, inicialmente suponiendo que las propiedades como: la entalpía y el flujo másico entre otras, se mantienen constantes en el tiempo.

7. Determinación del sistema en estado transitorio. Cuando se modela un sistema en estado transitorio todas las propiedades del sistema varían con respecto al tiempo, lo que lleva a desarrollar un análisis más complejo del sistema en estado estable, propuesto inicialmente.
8. Diseño y selección de los dispositivos que hacen parte del sistema. Cada uno de los procesos que conforman el sistema planteado, es llevado a cabo por un dispositivo, que se diseña y/o selecciona dependiendo de las necesidades del sistema y las propiedades, tanto del combustible, como del fluido de trabajo.
9. Simulación del sistema en el software TRNSYS. TRNSYS es un software que permite simular sistemas termodinámicos de alta complejidad, como el que se propone desarrollar en este proyecto.
10. Análisis e interpretación de los resultados de la simulación. A partir de la simulación realizada en TRNSYS se puede evaluar la viabilidad del sistema planteado, en cuanto a eficiencia energética se refiere.
11. Redacción del trabajo (Borrador): La última etapa del proceso consiste en comunicar los resultados mediante un texto escrito, de esta manera lo que el investigador realiza puede servir para otras personas. La redacción del borrador constituye la primera exposición organizada de los hechos e ideas que presentará el escrito definitivo, tanto la introducción como el índice se preparan al final del trabajo, conviene dejarlo un buen tiempo sin leer ya que después se puede releer con cabeza fría y con autocrítica para encontrar organización y consistencia.

12.Redacción del trabajo (Redacción final): Una vez terminado el borrador procedemos a la redacción final. El objetivo es claro, comunicar con la mayor claridad y coherencia posibles, los resultados, comprobaciones o reflexiones logrados a través del proceso de investigación

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 1. Cronograma de actividades

FASE	ACTIVIDAD	DURACIÓN (meses)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Fase Inicial	Búsqueda de información relacionada con el tema	■							
Fase de Prácticas de laboratorio	Recolección de desperdicios alimenticios y secado.	■							
	Establecer las características de entrada del combustible para su quema		■						
	Realización de la pruebas de laboratorio.		■						
Fase de análisis	Análisis e interpretación de los resultados de laboratorio.			■					
Fase de cálculos	Determinar el sistema en espacio de estado estable			■	■				
	Determinar el sistema en espacio de estado transitorio				■	■			
Fase de Diseño	Diseño y selección de las partes del CHP						■		
Fase de Simulación	Simular el sistema en el software TRNSYS							■	
Fase de interpretación de Resultados	Análisis e interpretación de los resultados de la simulación.							■	
Fase Final	Redacción del borrador del trabajo								■
	Redacción final del trabajo								■

8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

Tabla 2. Presupuesto General.

Presupuesto General Proyecto			
Duración estimada en meses		8	
Semanas		32	
Descripción		Costo asociado	Fuentes de financiación
Recurso Humano Asociado		\$ 22.400.000	
2	Autores del proyecto	\$ 12.800.000	Personal
1	Director o tutor (interno)	\$ 9.600.000	Institucional
0	Director o tutor (externo)	\$ -	
0	Profesor (responsable interno)	\$ -	
0	Apoyo técnico	\$ -	
0	Apoyo administrativo	\$ -	
0	Asesor	\$ -	
Software o equipo de apoyo		\$ 2.990.400	Presupuesto del proyecto
Pruebas de Laboratorio		\$ 1.250.000	Presupuesto del proyecto
Gastos Generales		\$ 1.002.500	Presupuesto del proyecto
Condiciones específicas		\$ -	Empresarial
Subtotal		\$ 27.642.900	
2%	Imprevistos	\$ 552.858	
Total presupuestado		\$ 28.195.758	

Tabla 3. Presupuesto Recurso Humano

Descripción	Cantidad de personas	Dedicación semanal	Valor Hora	Costo personal
	Número	Horas	Pesos	Pesos
Autores del proyecto	2	10	\$ 20.000	\$ 12.800.000
Director o tutor (interno)	1	3	\$ 100.000	\$ 9.600.000
Director o tutor (externo)				\$ 0
Profesor (responsable interno)				\$ 0
Apoyo técnico				\$ 0
Apoyo administrativo				\$ 0
Asesor				\$ 0
				\$ 22.400.000
Carga Prestacional			51,30%	\$ 11.491.200
				\$ 33.891.200

Tabla 4. Recurso de Materiales.

Generales	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Fotocopias	Hoja	500	\$ 50	\$ 25.000
Libros	Libros	12	\$ 60.000	\$ 720.000
Impresión documentos	Hoja	300	\$ 100	\$ 30.000
Suministros de oficina	kW/h	650	\$ 350	\$ 227.500
Gastos Generales asociados al proyecto				\$ 1.002.500
Software	Costo referencia	Cantidad	Costo Uso	Total
Digitación 1	\$ 1.800	84	\$ 151.200	\$ 907.200
Digitación 2	\$ 1.800	84	\$ 151.200	\$ 907.200
Computador	\$ 1.500	160	\$ 240.000	\$ 240.000
Internet	\$ 867	180	\$ 156.000	\$ 936.000
Costos de licencias, conexión y computador				\$ 2.990.400

Tabla 5. Ensayos de Laboratorio.

Descripción del Ensayo	Cantidad de Pruebas	Valor por prueba	Costo total
	Numero	Pesos	Pesos
Poder calorífico	5	\$ 150.000	\$ 750.000
Ensayo Ultimo	5	\$ 100.000	\$ 500.000
Total			\$ 1.250.000

BIBLIOGRAFÍA

- CENTRO DE ENERGÍAS RENOVABLES. Biomasa [En línea]. < <http://ebookbrowse.com/libro-biomasa-pdf-d328213721>> [Citado el 10 de octubre de 2012].
- CENTRO DE ENERGIAS RENOVABLES. Proyectos de biomasa [En línea]. < <http://cer.gob.cl/archivos/GuiaBiomasa.pdf>> [Citado el 10 de octubre 2012].
- LAWRENCE, A. Ruth. Energy from municipal solid waste: A comparison with coal combustion technology. *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 24, Issue 6, 1998, Pages 545-564
- LU, Liang. NAMIOKA, Tomoaki. YOSHIKAWA, Kunio. Effects of hydrothermal treatment on characteristics and combustion behaviors of municipal solid wastes. *Applied Energy*, Volume 88, Issue 11, November 2011, Pages 3659-3664
- BUCKLEY, Thomas J. Calculation of higher heating values of biomass materials and waste components from elemental analyses. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 5, Issue 4, August 1991, Pages 329-341
- ZHANG, Dong-Qing. HE, Pin-Jing He. SHAO, Li-Ming. Potential gases emissions from the combustion of municipal solid waste by bio-drying. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 168, Issues 2–3, 15 September 2009, Pages 1497-1503
- LAI, Chao-Ming. KE, Guang-Ruei, CHUNG Meng-Yu. Potentials of food wastes for power generation and energy conservation in Taiwan *Renewable Energy*, Volume 34, Issue 8, August 2009, Pages 1913-1915
- P.A. Caton, M.A. Carr, S.S. Kim, M.J. Beautyman Energy recovery from waste food by combustion or gasification with the potential for regenerative dehydration: A case study *Energy Conversion and Management*, Volume 51, Issue 6, June 2010, Pages 1157-1169

- YANG, Na. ZHANG, Hua. CHEN, Miao. SHAO, Li-Ming. HE, Pin-Jing. Greenhouse gas emissions from MSW incineration in China: Impacts of waste characteristics and energy recovery. Waste Management, In Press, Corrected Proof, Available online 12 July 2012
 - LEBERSORGER, S. SCHNEIDER, F. Discussion on the methodology for determining food waste in household waste composition studies. Waste Management, Volume 31, Issues 9–10, September–October 2011, Pages 1924–1933
 - JE Hustad, Ø Skreiberg, OK Sønju. Biomass combustion research and utilisation in IEA countries. Biomass and Bioenergy, Volume 9, Issues 1–5, 1995, Pages 235-255
 - UNITED NATIONS HABITAT. Solid waste management in the world's cities, water and sanitation in the world's cities 2010. London, Washington D.C. pagina. 12
 - EPA (UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY). Energy Projects and Candidate Landfills [En línea] <<http://www.epa.gov/lmop/projects-candidates/index.html>>. [citado 10 de Octubre de 2012]
 - CENERGY (ADVANCED CLEAN ENERGY TECHNOLOGIES). CHP (Combinated Heat and Power) Cogeneration Module G-Box. [En línea]. <http://www.2g-cenergy.com/SpecsandData/2G-G-BOX-NG-60Hz-Specs.pdf>. [citado 10 de Octubre de 2012].
 - MICRO-CHP – EXPERIENCES WITH THERMOELECTRIC GENERATORS INTEGRATED IN A WOOD PELLET COMBUSTION UNIT. Bioenergy 2020+. [En línea] <<http://www.bioenergy2020.eu/files/publications/pdf/11-1570.pdf>>. [citado 10 de Octubre de 2012]
- MICRO-CHP – EXPERIENCES WITH THERMOELECTRIC GENERATORS INTEGRATED IN A WOOD PELLET COMBUSTION UNIT. Bioenergy 2020+. [En línea] <<http://www.bioenergy2020.eu/files/publications/pdf/11-1570.pdf>>. [citado 10 de Octubre de 2012]

- SITUACION DE LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS EN COLOMBIA. Superintendencia de Servicios Publicos. [En línea] <http://www.superservicios.gov.co/c/document_library/get_file?p_l_id=25030&folderId=25192&name=DLFE-8354.pdf> [Citado el 12 de Octubre de 2012]
- EVALUACION DE LA GENERACION DE BIOGAS EN RELLENOS SANITARIOS EN COLOMBIA EN EL MARCO DEL PROTOCOLO DE KYOTO. María del Carmen Ordoñez Ordoñez. [En línea] <<http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/363728O65.pdf>>. página 9. [Citado el 12 de Octubre de 2012]
- PROGRAMA PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGANICOS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D. C. Versión 2. Marzo 2010. UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS BOGOTÁ, D. C. [En línea] <http://www.uesp.gov.co/uaesp_jo/images/documentos/programaorganicos.pdf> pagina 122. [Citado el 12 de Octubre de 2012]
- PIROLISIS UNA TECNICA DE TRATAMIENTO TERMICO NO TRADICIONAL. Salud sin daño. [En línea]<<http://noalaincineracion.org/wp-content/uploads/hojainformativapirolisiscastellano.pdf>>[Citado el 12 de Octubre de 2012]
- ¹ FANG LOU, Xian. NAIR Jaya, HO, Goen. Field performance of small scale anaerobic digesters trating food waste. Energy for sustainable development. Junio de 2012.
- AMIN SALEHI, Farnaz. COTTON, David Edward.ABDOLI, Mohammad Ali. REZAPOR, Kambiz. The necessity of Biomass Application for Depeloping Combinated Heat and Power (CHP) with Biogas Fuel: Case Study. World Academy of Science, Engineering Technology 44 2010.
- DEL VAL GENTO, Veronica. ANTOLÍN GIRALDO, Gregorio. Planta de Cogeneración mediante Gasificación de Biomasa Residual.
- H.I. Onovwiona. V.I. Ugursal. Residential Cogeneration systems: review of the current tecgnology. Renewable and sustainable energy reviews 10 (2006) 389-431
- R. de HOLANDA, Marcelo. PERRELLA BALESTIERI, José A. Cogeneration in a solids waste power station: a case study. Applied Energy 63 (1999)125-139

- ¹ H.I. Onowwiona. V.I. Ugursal. Residential Cogeneration systems: review of the current technology. Renewable and sustainable energy reviews 10 (2006) 389-431
- CHP 2011 Conference: Grid Strain Solution Cuts Energy Waste and Business Costs. 5 de Octubre de 2011
- HASLINGER, Walter. FRIEDL, Gunther. Biomass micro scale CHP. [En línea] <
<http://www.bioenergy2020.eu/files/publications/pdf/I1-1690.pdf> >[Citado el 12 de noviembre de 2012]
- MOSERM, Wilhelm. Next generation pellet combustion with thermoelectric power generation. [En línea]<
<http://www.bioenergy2020.eu/files/publications/pdf/CI1-29.pdf>>[Citado el 12 de noviembre de 2012]
- CENGEL, Yunus A. BOLES Michael. Termodinámica. Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill 2009
- FRANCISCO, Alfredo Abel. RODRIGUEZ, Yokasta. Caracterización de residuos sólidos de mercados en Santo Domingo Oeste, Provincia de Santo Domingo. [En línea]<
<http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=87019755006>>[Citado el 13 de Noviembre de 2012]]