

**DISEÑO DE INGENIERIA BASICA PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE
ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA CASCARILLA DE CAFÉ COMO
COMBUSTIBLE PARA LA VEREDA DEL DIVISO DEL MUNICIPIO DE URIBE
EN EL DEPARTAMENTO DEL META.**

**HERNAN ALONSO LEON MONROY
JEISON EDUARDO ARDILA DURAN**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
MECÁNICA INDUSTRIAL
PROGRAMA SEMINARIO
BOGOTÁ, D.C.
AÑO
2016**

**DISEÑO DE INGENIERIA BASICA PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE
ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA CASCARILLA DE CAFÉ COMO
COMBUSTIBLE PARA LA VEREDA EL DIVISO DEL MUNICIPIO DE URIBE EN
EL DEPARTAMENTO DEL META.**

**HERNAN ALONSO LEON MONROY
JEISON EDUARDO ARDILA DURAN**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA DERECHO DE GRADO DE
TECNOLOGÍA EN MECÁNICA INDUSTRIAL**

ING. VLADIMIR SILVA LEAL

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
MECÁNICA INDUSTRIAL
PROGRAMA SEMINARIO
BOGOTÁ, D.C.
AÑO
2016**

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1. RESUMEN.....	10
2. INTRODUCCIÓN.....	11
3. CAPITULO I.....	12
3.1. BIOMASA.....	12
3.1.1. CLASIFICACIÓN DE BIOMASA.....	12
3.1.2. DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN COLOMBIA.....	14
3.1.3. SECTOR AGRÍCOLA.....	14
3.2. EL CAFÉ.....	17
3.2.1. DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS DE CAFÉ EN COLOMBIA.....	18
3.2.2. PRODUCCIÓN DEL CAFÉ.....	20
3.2.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE FRUTOS DE CAFÉ.....	22
3.2.4. CASCARILLA DEL CAFÉ.....	23
3.2.5. PODER CALORIFICO DE LA CASCARILLA DE CAFÉ.....	23
3.2.6. PROPIEDADES DE LA CASCARILLA DE CAFÉ.....	25
3.2.7. CÁSCARILLA DE CAFÉ COMO COMBUSTIBLE.....	26
4. CAPITULO II.....	27
4.1. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA.....	27
4.1.1. GASIFICACIÓN:.....	28
4.1.2. TRATAMIENTOS COMPLEMENTARIOS PARA TRATAMIENTO DE GAS. 30	
4.1.3. TURBINA DE GAS.....	30
4.1.4. GENERADOR ELECTRICO.....	33
4.1.4.1. TIPOS DE GENERADORES.....	33
5. CAPITULO III.....	36
5.1. POBLACIÓN A INTERVENIR.....	36
6. CONCLUSIONES.....	42
7. REFERENCIAS.....	43

GRAFICAS

Gráfica 1: Ciclo Generación de biomasa, Fuente: OPEXenergy¹

Gráfica 2: Tipos de biomasa residual, fuente: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa residual en Colombia.

Gráfica 3: Biomasa residuo Agrícola, fuente: UPME, ACOLGEN: Taller teórico-práctico “Generación de energía a partir de biomasa”

Gráfica 4: Parte del grano de Café, fuente: PROCAFE

Gráfica 5: Mapa de la producción cafetera en Colombia. Fuente: Federación Nacional de cafeteros.

Gráfica 6: Producción de café en Colombia. Fuente: Federación Nacional de Cafeteros.

Gráfica 7: Lecho móvil, Fuente: Energías Renovables para el desarrollo, José de Juana, Clara De la Fuente Rojo, 2008.

Gráfica 8: Lecho Fijo, Fuente: Gasificación de la Biomasa, Juan Fernando Pérez, Universidad de Antioquia, 2009.

Gráfica 9: Ciclo Brayton, Universidad de Sevilla.

Gráfica 10: Biomasa Definición y Características, Darío Huelmo 2015.

Gráfica 11: Potencias de Turbinas, Fuente: Siemens

Gráfica 12: Esquema de un Generador, Fuente Tecnología e informática 2014.

Gráfica 13: sistema de refrigeración por hidrogeno Fuente: Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado².

Gráfica 15: Hogares según número de personas, Fuente: boletín censo general 2005, DANE.

Gráfica 16: servicios públicos con los que cuenta las viviendas, Fuente, boletín censo general 2005, DANE.

¹ OPEXenergy empresa dedicada a la asistencia técnica y mantenimiento en instalaciones energéticas, <http://opex-energy.com/biomasa/index.html>

² Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado, Santiago García Garrido, Díaz de Santos, 2011

Gráfica 13: Consumo promedio de electrodomésticos, Fuente; Autores.

Gráfica 14: Ubicación municipio Uribe, fuente: Divipola-DANE.

Gráfica 15: Hogares según número de personas, Fuente: boletín censo general 2005, DANE.

Gráfica 16: servicios públicos con los que cuenta las viviendas, Fuente, boletín censo general 2005, DANE.

Gráfica 17: Consumo promedio de electrodomésticos, Fuente; Autores.

Gráfica 18: Curva de demanda energetica, Fuente, Autores.

Gráfica 19: Referencia de Calculos, Fuente: Tratamiento anaerobico de los residuos del café, PROMECAFE.

Gráfica 20: Producción requerida de café, Fuente: Autores

Gráfica 21: Consumo energía por día de una vivienda, Fuente: Autores

TABLAS

Tabla 1: Potencial Energético Agrícola en Colombia, Fuente: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia.

Tabla 2: Potencial de cultivos en Colombia Fuente: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia.'

Tabla 3: Composición del grano de café en base húmeda. Fuente: INCAP, 1978³.

Tabla 4: Composición del grano de café en base Seca. Fuente: INCAP, 1978⁴.

Tabla 5: Capacidad Calorífica de los principales subproductos del Café, Fuente: Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / marzo de 2010 Fondo Nacional del Café.

Tabla: 6, Utilización de Gas Pobre en Maquinas Térmicas Fuente: Gas Pobre, Facultad de Ingeniería-UBA.

Tabla 7: Energia a partir del café,Fuente:Autores.

³ Instituto Nacional de Nutrición de Centro América y Panamá

⁴ Instituto Nacional de Nutrición de Centro América y Panamá

GLOSARIO

- **Autogeneración:** Aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente, para atender sus propias necesidades. Siempre y cuando no se salga de los términos que establece la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para tal fin.
- **Autogeneración a gran escala:** Autogeneración cuya potencia máxima supera el límite establecido por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).
- **Autogeneración a pequeña escala:** Autogeneración cuya potencia máxima no supera el límite establecido por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).
- **Cogeneración:** Producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, que hace parte integrante de una actividad productiva.
- **Contador Bidireccional:** Contador que acumula la diferencia entre los pulsos recibidos por sus entradas de cuenta ascendente y cuenta descendente.
- **Desarrollo Sostenible:** Aquel desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el ambiente.
- **Eficiencia Energética:** Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o

sustitución de combustibles o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía.

- **Energía de la BIOMASA:** Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que se basa en la degradación espontánea o inducida de cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos, y que no contiene o hayan estado en contacto con trazas de elementos que confieren algún grado de peligrosidad.
- **Fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER).** Son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, se consideran FNCER a la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCER según lo determine la UPME.
- **Zonas No Interconectadas (ZNI).** Se entiende por Zonas No Interconectadas a los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN).
- **Contenido de humedad (H.R.):** El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%.

- **Porcentaje de cenizas:** El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada.
- **Poder calórico:** El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.
- **Densidad aparente:** Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas.

1. RESUMEN

El presente trabajo trata de la búsqueda de sistemas de generación de energía que se podrían utilizar en Colombia a partir de la utilización de los recursos generados por **biomasa** específicamente en el sector agroindustrial, con el fin de proporcionar energía eléctrica, a un municipio que ha sido afectado por su ubicación demográfica y un estado socioeconómico y que no le ha permitido integrarse a un sistema de conexión energética.

2. INTRODUCCIÓN

La producción de energía eléctrica en el mundo se ha convertido en todo un reto tanto para las potencias como para los países con menor avance tecnológico, esto porque la fuente primaria para el crecimiento de cualquier país proviene del abastecimiento de energía eléctrica del mismo. En los últimos años la generación de energía eléctrica mediante la utilización de combustibles fósiles ha dado cobertura a la gran parte de la demanda energética mundial, esta demanda ha conllevado que el planeta haya incrementado los gases de efecto invernadero entre otros efectos secundarios; en la actualidad una de las fuentes de generación de energía para regiones o corregimientos aislados de países en estado de desarrollo es mediante métodos no convencionales como la biomasa, la cual por las condiciones geográficas de la zona es la más apropiada para este tipo de población además es una de las fuentes con menores emisiones tóxicas para el medio ambiente y su obtención es de fácil acceso debido a que se reutilizan los recursos de la región.

La producción en el sector agroindustrial es una de las fuentes que genera un alto porcentaje de desperdicio de materia prima, esto se debe a que los procesos no se encuentran acondicionados a la utilización de algunos de sus subproductos generados en la industria, estos desperdicios si no se tratan de manera idónea pueden llegar a generar residuos contaminantes por las emisiones generadas por la mala disposición y almacenamiento, una de las razones es la falta de recursos tecnológicos para el tratamiento adecuado de los residuos generados por la industria, lo cual ha llevado a que se generen nuevas estrategias que suplan la falta de tecnología para poder utilizar todos los desperdicios generados en el proceso agroindustrial, una de estas tecnologías a utilizar en esta propuesta es la generación de energía a partir de las propiedades energéticas de la cascarilla de café como recurso obtenido del proceso de trillado del café, esto con el fin de proporcionar energía a un zona fuera del sistema no interconectado del país.

3. CAPITULO I

3.1. BIOMASA

“La biomasa se entiende como el conjunto de materias orgánicas renovables de origen vegetal, animal o procedente de la transformación artificial o natural de la misma materia”⁵, incluyendo los residuos y desechos orgánicos.

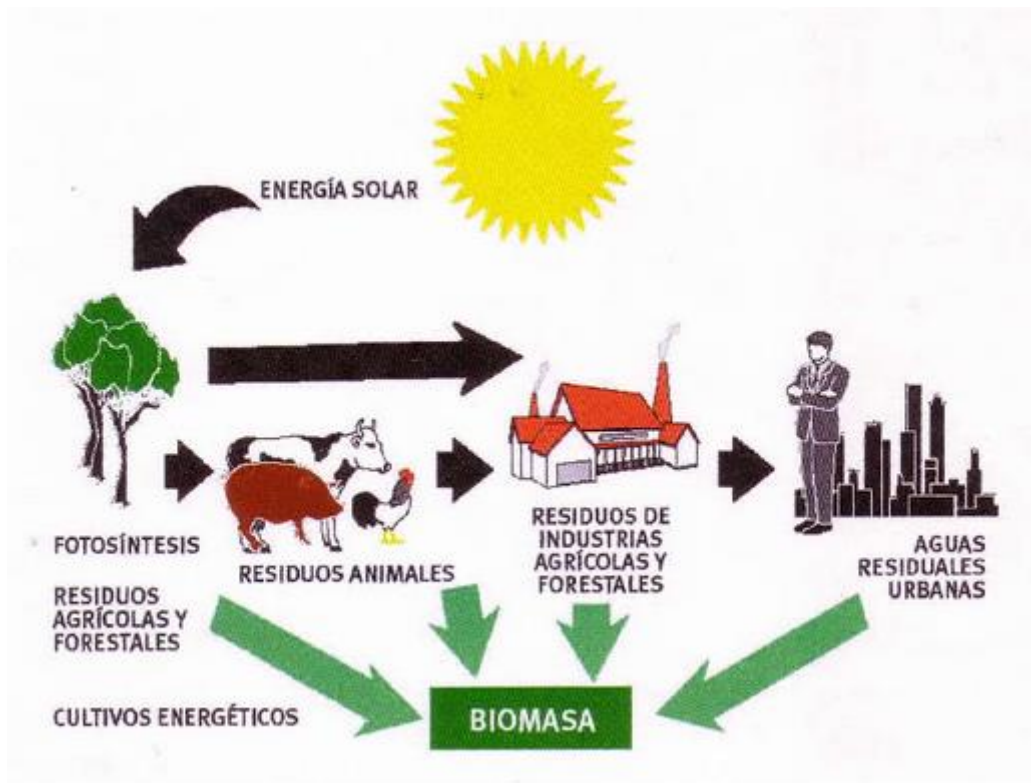
La mayoría de residuos que se utilizarían para este medio de obtención de energía no están siendo aprovechados y si son residuos que están afectan negativamente al medio ambiente.

3.1.1. CLASIFICACIÓN DE BIOMASA

- Natural: Producida en ecosistemas Naturales
- Residual:
 - Residuos Forestales. Residuos Silvícola y madera
 - Residuos Agrícolas: Restos de podas, cultivos
 - Residuos Industrias agrícolas: Bagazos, cascaras, huesos
 - Residuos Biodegradables: Purines, estiércol
- Cultivos Energéticos
 - Especies leñosas
 - Especies Herbáceas
 - Cultivos de etanol
 - Cultivos de Biodiesel
- Excedentes agrícolas: Sustituyentes de biocarburantes y combustibles fósiles

⁵ Energías renovables 2008, energía biomasa, secretaria de energía

La biomasa es una fuente renovable de energía que permite si se aprovecha adecuadamente sin generar más de lo que es capaz de soportar, es decir no utilizar combustibles fósiles para el desarrollo de energía, permite utilizar todos los residuos que pueden estar ocasionando daños al ecosistema porque están generando emanaciones en la capa de ozono con residuos químicos, cada tipo de biomasa posee características físicas que podrían determinar el funcionamiento en el momento de generar energía, cuando se genera la conversión térmica las características más importantes son el contenido de humedad, contenido de ceniza, contenido de materia volátil, poder calorífico y la densidad de la misma.



Grafica 1- Ciclo Generación de biomasa, Fuente: OPEXenergy⁶

⁶ OPEXenergy empresa dedicada a la asistencia técnica y mantenimiento en instalaciones energéticas, <http://opex-energy.com/biomasa/index.html>

3.1.2. DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN COLOMBIA

Por la distribución geográfica del país, sumado al contexto industrial se pueden encontrar diferentes fuentes de biomasa residual como se observa en la gráfica 2, adicional a esto el alto índice de cultivos y residuos generados por cosechas y residuos agroindustriales se convierten en productos de alta demanda para la utilización como fuentes de energía alternas.

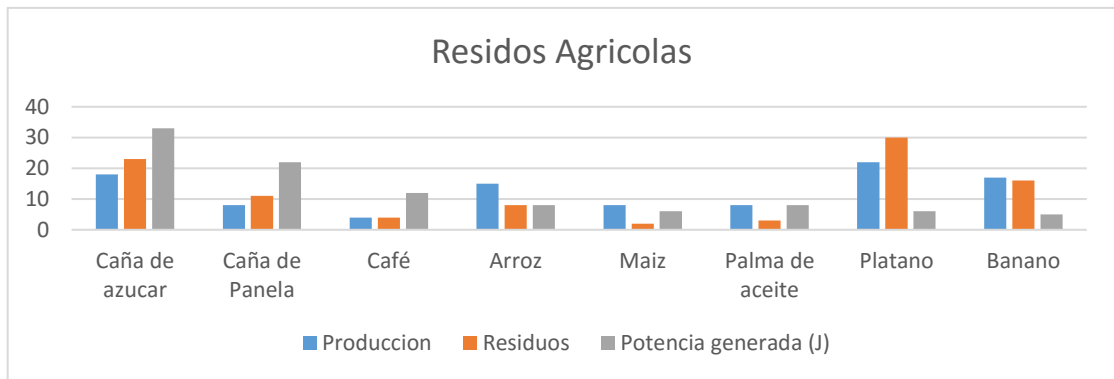


Grafica 2- Tipos de biomasa residual, fuente: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia

3.1.3. SECTOR AGRÍCOLA

La biomasa obtenida a partir del sector agrícola se clasifica en cultivos transitorios como lo son el Arroz y el Maíz, y los cultivos permanentes entre los que se destacan el Banano, el café, la caña de azúcar, la caña de panela, la palma de aceite y el plátano.⁷

⁷ Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia,



Grafica 3- Biomasa residuo Agrícola, fuente: UPME, ACOLGEN: Taller teórico-práctico “Generación de energía a partir de biomasa”

En el Atlas de la biomasa en Colombia se describe la cadena Agrícola como Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC) y los Residuos Agrícolas Industriales (RAI),” el 75% del total de la Biomasa producida en el campo corresponde a RAC, y el restante del RAI”⁸ estos residuos se pueden utilizar para la generación de energía a gran escala y para poder sustituir los combustibles fósiles, dependiendo la disposición de tecnología y recursos, pero es claro que para aprovechar la biomasa residual depende de la facilidad de recolección y transporte donde es claro que el factor de la disposición geográfica del recurso tiene un alto impacto en la utilización del recurso.

⁸ Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia,

Departamento	Área sembrada	Producción	Cantidad de residuo	Potencial energético
	[ha]	[t producto/año]	[t/año]	[TJ/año]
Antioquia	325.738	13.184.130	26.673,30	2.063,92
Atlántico	11.726	38.761	307,76	6,09
Bolívar	125.453	819.524	4.607,56	114,35
Boyacá	45.363	1.340.143	9.736,35	121,06
Caldas	121.189	2.404.498	11.507,22	641,65
Caquetá	29.469	645.889	1.565,73	284,83
Cauca	129.520	4.079.220	26.589,72	457,41
Cesar	141.734	1.097.522	7.388,11	72,69
Córdoba	132.212	2.261.839	5.328,11	970,16
Cundinamarca	124.894	2.582.374	16.752,95	261,75
Choco	42.864	930.695	2.795,97	359,11
Huila	193.236	3.000.148	18.170,08	409,43
La Guajira	22.090	195.808	670,76	48,76
Magdalena	93.548	3.235.501	4.951,41	52,81
Meta	189.145	2.993.602	10.585,44	859,52
Nariño	116.737	2.258.319	12.207,05	501,72
Norte de Santander	88.398	1.273.347	5.705,87	258,85
Quindío	77.388	2.505.708	4.709,84	1.161,94
Risaralda	80.286	2.191.034	8.116,64	683,55
Santander	124.290	2.153.833	15.398,77	206,13
Sucre	62.676	587.155	2.829,64	26,83
Tolima	272.111	5.245.271	23.518,70	965,15
Valle del Cauca	306.202	14.859.256	105.486,90	516,50
Arauca	31.111	557.614	1.092,20	258,66
Casanare	74.413	963.838	3.869,42	112,26
Putumayo	26.991	350.428	749,72	148,02
Amazonas	877	12.735	10,58	7,05
Guainía	156	5.171	3,95	2,90
Guaviare	11.538	147.177	243,33	74,60
Vaupés	932	10.589	14,69	5,52
Vichada	779	12.033	50,99	3,83
TOTAL	3.003.064	71.943.162	331.638,72	11.657,07

Tabla 1, Potencial Energético Agrícola en Colombia, Fuente: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia

3.2. EL CAFÉ

Café de Colombia define el árbol de café como “cafeto o planta productora de café a un arbusto que se da en la región tropical de la tierra perteneciente a la familia de las rubiáceas. Abarca 500 géneros y 8.000 especies. Uno de esos géneros es el *Coffea*, que lo constituyen árboles, arbustos, y bejucos, y comprende unas 10 especies civilizadas, es decir, cultivadas por el hombre y 50 especies silvestres.”⁹

El fruto del cafeto cuyas semillas tostadas y molidas se utilizan para el consumo humano está compuesto por:

- Una cubierta exterior llamada pulpa.
- Una sustancia gelatinosa azucarada que recibe el nombre de mucílago.
- Una cubierta dura que se denomina pergamino o cáscara.
- Una cubierta más delgada y fina llamada película.
- El grano que es la parte del fruto que una vez tostada y molida se utiliza para la producción del café bebida



Grafica 4- Parte del grano de Café, fuente: PROCAFE

⁹El árbol y el entorno, Café de Colombia

3.2.1. DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS DE CAFÉ EN COLOMBIA

Los factores establecidos por los ingenieros agrónomos Melvin Alvarado Soto y Gilberto Rojas Cubero en el libro El cultivo y beneficiado del CAFE que se deben considerar antes de establecer una plantación o cultivo son:

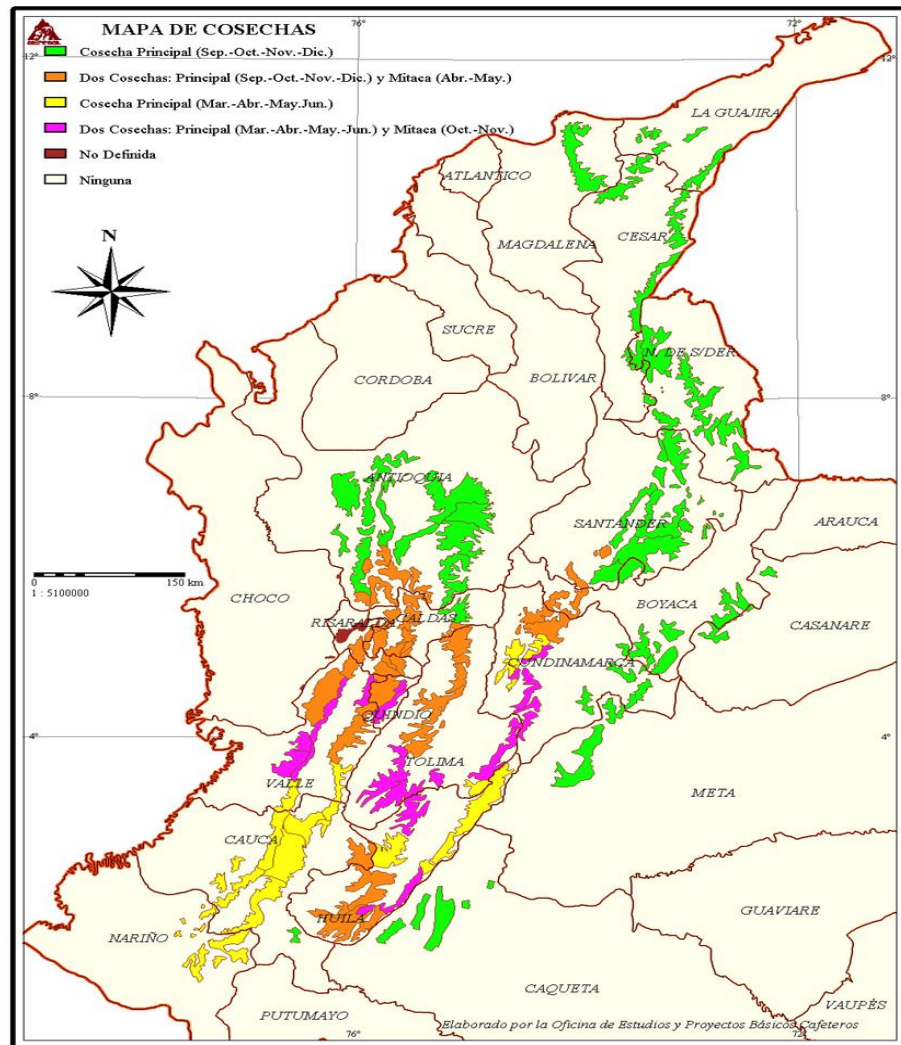
- La altitud
- La precipitación
- La temperatura
- La luminosidad
- El tipo de Suelo

El tipo de Suelo para determinar cuál son las regiones y condiciones ideales para la plantación de árbol en la página de Café de Colombia define a “Las condiciones ideales para el cultivo de café se encuentran entre los 1.200 y 1.800 metros de altura sobre el nivel del mar, con temperaturas templadas que oscilan entre los 17 y los 23 grados centígrados y con precipitaciones cercanas a los 2.000 milímetros anuales, distribuidas a lo largo del año. Si bien estas condiciones son las más comunes, también es posible producir un café sobresaliente a alturas marginalmente superiores o con niveles o frecuencia de precipitación diferentes.”¹⁰

“La ubicación geográfica específica de cada región cafetera colombiana determina entonces unas condiciones particulares de disponibilidad de agua, temperatura, radiación solar y régimen de vientos para el cultivo de grano. Por ejemplo, las zonas cafeteras centrales del país presentan periodos secos y lluviosos intercalados a lo largo de diferentes meses, lo que permite cosechar

¹⁰ Nuestras Regiones Cafeteras, Café de Colombia

café fresco regularmente durante todo el año. En la mayoría de las regiones cafeteras del país existe un período de floración que va de enero a marzo, y otro que va de julio a septiembre. La cosecha principal en estas zonas se realiza entre septiembre y diciembre, y hay una cosecha secundaria entre abril y junio que se denomina "de mitaca". La cosecha principal y la de mitaca pueden alternarse en otras regiones de acuerdo con su latitud (ver mapa).”¹¹

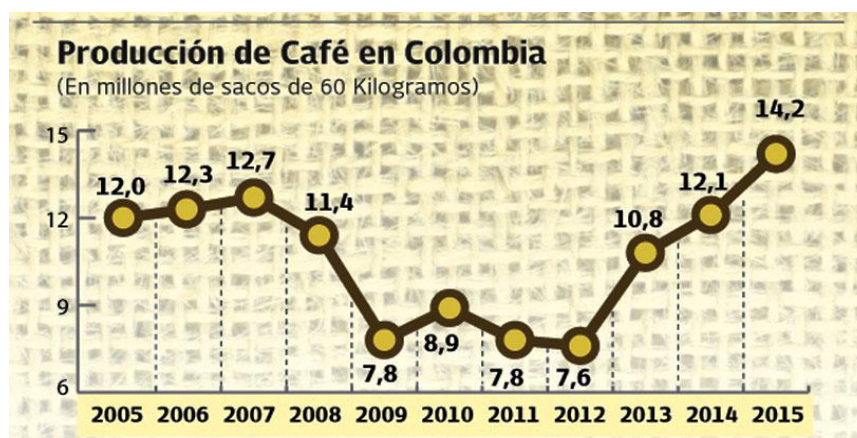


Grafica 5: Mapa de la producción cafetera en Colombia. Fuente: Federación Nacional de Cafeteros.

¹¹ Nuestras Regiones Cafeteras, Café de Colombia

3.2.2. PRODUCCIÓN DEL CAFÉ

“En Colombia el cultivo de café cubre en la actualidad un área de 874.000 ha(hectáreas) distribuidas en 590 municipios ubicados principalmente en los departamentos de Quindío, Risaralda, Caldas y Antioquia”¹² Cuando se realiza un cultivo permanente como el proceso de producción del café, lo primero es establecer la plantación que por lo general es el primer año de la actividad, las labores de sostenimiento que se generan después del segundo año del cultivo, y según la federación Nacional de Cafeteros los cultivos alcanzan su máxima producción entre los 10 y los 12 años del cultivo.



Gráfica 6: Producción de café en Colombia. Fuente: Federación Nacional de Cafeteros.

“En el 2015, la producción cafetera nacional superó los inconvenientes del pasado y llegó a un nivel récord de 14,2 millones de sacos, a la vez que se exportaron 12,7 millones de sacos, algo que no se lograba desde los años 90. Y dentro del actual marco positivo, el Valle del Cauca ha sido una de las regiones beneficiadas ya que logró una cosecha de 836.000 sacos y aportó 750.000 sacos a las exportaciones en 2015, para un incremento del 17 % frente al 2014”.¹³

¹² Gasificación de Biomasa residual de procesamiento agroindustrial, Sonia Rincón, Alexander Gómez, Wolfgang Klose, 2011

¹³ Artículo Cosecha Cafetera, El País

En el artículo el “café renglón subutilizado en el Meta afirma a nivel departamental sólo se cultiva café en los municipios de Cubarral, El dorado, El Castillo, Lejanías, Mesetas, San Juan de Arama y Guamal, cuya producción en conjunto se estima en cerca de 16 millones de kilos anuales con una siembra de 15.320 hectáreas. Así mismo, son pocos los productores que viven únicamente del cultivo del café, pese a que su producción es permanente.”¹⁴

Cultivo	Producción ¹ [t/año]	Tipo de residuo	Origen del residuo	Factor de residuo ² [$\frac{t_{residuo}}{t_{producto\ principal}}$]	Masa de residuo	Potencial energético
					[t / año]	[TJ / año]
Palma de Aceite	872.117	Cuesco	RAI	0,22	189.074	2.627,44
		Fibra		0,63	546.381	6.778,89
		Raquis de Palma		1,06	924.618	6.607,31
Caña de Azúcar	2.615.251	Hojas - Cogollo	RAC	3,26	8.525.718	41.707,22
		Bagazo	RAI	2,68	7.008.873	76.871,65
Caña Panelera	1.514.878	Bagazo	RAC	2,53	5.680.790	62.305,56
		Hojas - Cogollo	RAI	3,75	3.832.640	18.749,01
Café	942.327	Pulpa	RAI	2,13	2.008.192	7.206,79
		Cisco		0,21	193.460	3.338,57
		Tallos	RAC	3,02	2.849.596	38.561,52
Maíz	1.368.996	Rastrojo	RAC	0,93	1.278.642	12.573,18
		Tusa		0,27	369.629	3.845,88
		Capacho		0,21	288.858	4.383,73
Arroz	2.463.689	Tamo	RAC	2,35	5.789.669	20.699,41
		Cascarilla	RAI	0,2	492.738	7.136,53
Banano	1.878.194	Raquis de banano	RAC	1	1.878.194	806,31
		Vástago de banano		5	9.390.968	5.294,27
		Banano de rechazo	RAI	0,15	281.729	495,34
Plátano	3.319.357	Raquis de plátano	RAC	1	3.319.357	1.425,00
		Vástago de plátano		5	16.596.783	9.356,64
		Plátano de rechazo	RAI	0,15	497.903	875,43
TOTAL	14.974.807				71.943.813	331.645,71

RAC: Residuo agrícola de Cosecha

RAI: Residuo agrícola Industrial

Tabla 2, Potencial de cultivos en Colombia Fuente: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia.

¹⁴ Artículo el café renglón subutilizado en el Meta, El Tiempo

3.2.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE FRUTOS DE CAFÉ

En las tablas adjuntas se observa la cantidad de porcentaje por cada gramo de café

Etapa del grano	Composición	% del grano en base húmeda
Café Cereza	Pulpa	43.20%
	Mucílago	11.80%
Café Pergamino	Cascarilla	6.10%
Café Oro	Grano	38.90%

Tabla 3: Composición del grano de café en base húmeda. Fuente: INCAP, 1978¹⁵.

Etapa del grano	composición	% del grano en base seca
Café Cereza	Pulpa Seca	29%
	Mucílago	4%
Café Pergamino	Cascarilla	12%
Café Oro	Agua y volátiles	16%
	Grano	39%

Tabla 4: Composición del grano de café en base Seca. Fuente: INCAP, 1978¹⁶.

¹⁵ Instituto Nacional de Nutrición de Centro América y Panamá

¹⁶ Instituto Nacional de Nutrición de Centro América y Panamá

3.2.4. CASCARILLA DEL CAFÉ

La cascarilla de café es el residuo de cuando se procesa el fruto del café y es también llamado “cisco y es una envoltura cartilaginosa de color blanco amarillento de aproximadamente 100 micrómetros de espesor y que corresponde al endocarpio (pergamino) del fruto, la semilla se encuentra en una forma suelta dentro de esta. Esta se extrae mediante el proceso de trillado donde ocurre una separación, a continuación, se presentan las características físicas y químicas”.¹⁷

3.2.5. PODER CALORIFICO DE LA CASCARILLA DE CAFÉ

Para aprovechar de manera eficiente este residuo y someter el mismo a un sinnúmero de tratamientos con la finalidad de obtener productos orgánicos, es necesario conocer las propiedades tanto químicas como físicas de la cascarilla del café, ya que dichas características determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar.

Según la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) el potencial energético de los residuos del procesamiento del café en Colombia presenta 49.106,88 TJ/año para el año 2010(14,7% pulpa, 6,8% cisco y el 78,5% tallos.

En la tabla 06 se muestran los valores del poder calorífico obtenidos en los procesos de cultivo y en la industrialización del café, cuando estos son utilizados como combustibles directos o biocombustibles generados con los subproductos.

¹⁷ Marco teórico para medición del calor específico superior de la cascarilla del café, Michel Díaz Jaramillo, Nicolás Noreña Tor

Subproducto	Poder calorífico	Producción	Referencia
Pulpa	15,88 MJ/kg pulpa seca. Combustible sólido (Pulpa seca)	2.258 kg/ha-año (28)	Porres et al. (23)
	0,54 MJ/kg pulpa fresca. Combustible gaseoso (Biogás)		Adaptado de Arcila (2)
	0,53 MJ/kg pulpa fresca. Combustible líquido (Bioetanol)		Rodríguez (27, 28)
Mucílago	2,00 MJ/kg mucílago fresco. Combustible gaseoso (Biogás)	768 kg/ha-año (28)	Adaptado de Zambrano (34)
	1,23 MJ/kg mucílago fresco. Combustible líquido (Bioetanol)		Rodríguez (27, 28)
Cisco	17,90MJ/kg. Combustible sólido	227 kg/ha-año (28)	Roa et al.(25)
Borra	29,01 MJ/kg borra seca. Combustible sólido	22.300 t/año (1)	Federacafé (13)
	5,90 MJ/kg borra seca. Combustible gaseoso (Biogás)		Adaptado de Kostenberg et al. (16)
	4,38 MJ/kg borra seca. Combustible líquido (Bioetanol)		Adaptado de Agudelo (1)
	5,76 MJ/kg borra seca. Combustible líquido (Biodiésel)		Adaptado de Kondamudi et al. (15)
Ripios	15,60 MJ/kg ripio. Combustible sólido	Sin datos	Rodríguez (27, 28)
	3,46 MJ/kg ripio. Combustible líquido (Biodiésel)		Adaptado de Oliveira et al. (20)
Tallos	19,75 MJ/kg tallo seco. Combustible sólido	3.200 kg/ha-año (28)	Roa (24)

Tabla 5, Capacidad Calorífica de los principales subproductos del Café, Fuente: Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / marzo de 2010
Fondo Nacional del Café.

3.2.6. PROPIEDADES DE LA CASCARILLA DE CAFÉ

Para aprovechar de manera eficiente este residuo y someter el mismo a un sinnúmero de tratamientos con la finalidad de obtener productos orgánicos, es necesario conocer las propiedades tanto químicas como físicas de la cascarilla del café, ya que dichas características determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar.

De acuerdo a la página de tecnologías limpias la composición física y química de la cascarilla de café es la siguiente:¹⁸

Propiedades químicas.

- Contenido de humedad de 11,.45%
- Lignina 41,86%, cenizas 0,95%
- Grasas 5,83%
- Pentosas 25,5%
- Furfural 14,76%.

Propiedades físicas.

- Densidad a 26°C de 1,323 gr/cm³
- Densidad bruta de 0,323 gr/cm³
- Calor de combustión es de 4500 cal/°C gr.

¹⁸ Cascarilla de Café, Red institucional de tecnologías limpias, <http://www.tecnologiaslimpias.org/>

3.2.7. CÁSCARILLA DE CAFÉ COMO COMBUSTIBLE

“La cáscara del café es prácticamente pura lignocelulosa y no tiene ningún valor como fertilizante. Se quema habitualmente en hornos toscos para secar el café en pergamino. Si la mayor parte del pergamino se seca parcialmente al sol por motivos de calidad, es aún posible tener un excedente de combustible después de una operación de acabado del secado incluso con los toscos secadores de aire caliente de un paso de hoy en día. Puede quemarse la cáscara en un generador de gas pobre y después accionar un motor sobre ese gas pobre para producir electricidad. Al igual que con el biogás, el calor residual procedente del generador de gas y del motor puede usarse para calentar una corriente de aire limpio, y eso puede todavía usarse para secar aún más café.”¹⁹

¹⁹ Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café, Organización internacional del café, 2005

4. CAPITULO II

4.1. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

Para la selección de la tecnología a aplicar para la central de generación de energía en el departamento del Meta, y tomando de referencia la información recolectada de la Biomasa a Trabajar (cascarilla de café), se seleccionó un proceso de gasificación para la generación de gas pobre y después de ser acondicionado alimentara a una turbina de gas que a su vez estará conectada a un alternador que producirá electricidad para el municipio o región clasificada, para lograr este proceso es necesario realizar un diseño adecuado de una Hoja de Ruta para la inclusión del proceso o la filosofía de operación donde se muestren los equipos a utilizar en la estructura de la planta.

Las tecnologías más utilizadas para el tratamiento de la Biomasa son la Gasificación y la combustión como lo afirma Juan Fernando Pérez ²⁰ a través de la utilización de estos procesos puede ser transformada la biomasa en energía térmica o eléctrica. Los factores para escoger el proceso y el gasificador a utilizar para la cascarilla de café cuanto mejor este cuantificada y se tengan los conocimientos sobre sus características físicas y químicas a utilizar son:

- Recursos biomásicos del Sector
- Condiciones de Humedad de la Biomasa
- Sistemas de generación de Potencia
- Eficiencia en la generación de energía eléctrica del sistema.

²⁰ Gasificación de la Biomasa, Juan Fernando Pérez, Universidad de Antioquia, 2009

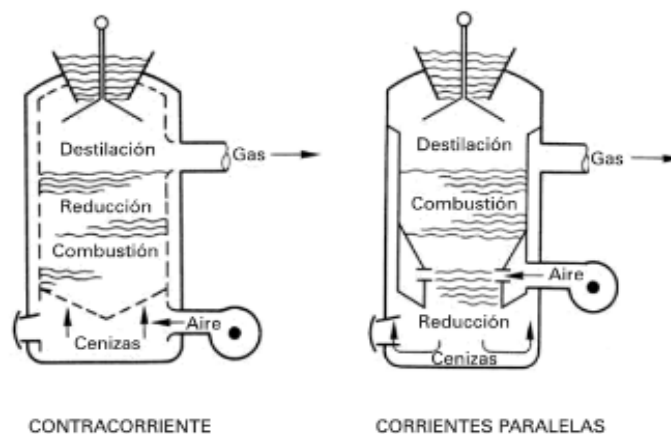
4.1.1. GASIFICACIÓN:

El proceso de Gasificación puede definirse “como el proceso mediante el cual se degrada la biomasa con reacciones térmicas en presencia de cantidades limitadas de agente oxidante por hidrogeno y trazas de hidrocarburos pesados (alquitranes)”²¹. En el Artículo de IDAE²² existen 2 principales tecnologías para las etapas de gasificación: Lecho Móvil y Lecho Fluidizado, pero aclaran que independiente de que el lecho sea Fluidizado o móvil las variantes de la biomasa están determinadas por:

Zonas características de un gasificador

1. Zona de secado: Calentamiento hasta 100°C, genera el secado de la biomasa por evaporación del agua contenida en la misma.
2. Zona de Pirolisis o Destilación: Absorber Calor a través de pirolisis (ruptura de calor), en la que se rompen las moléculas para pasar a la fase gaseosa.
3. Zona de Oxidación: Generación de Calor $1200^{\circ}\text{C} < T < 1500^{\circ}\text{C}$
4. Zona de Reducción: Reducción de Gases de Oxidación, Formación de Gas Pobre

Gasógeno de tiro directo

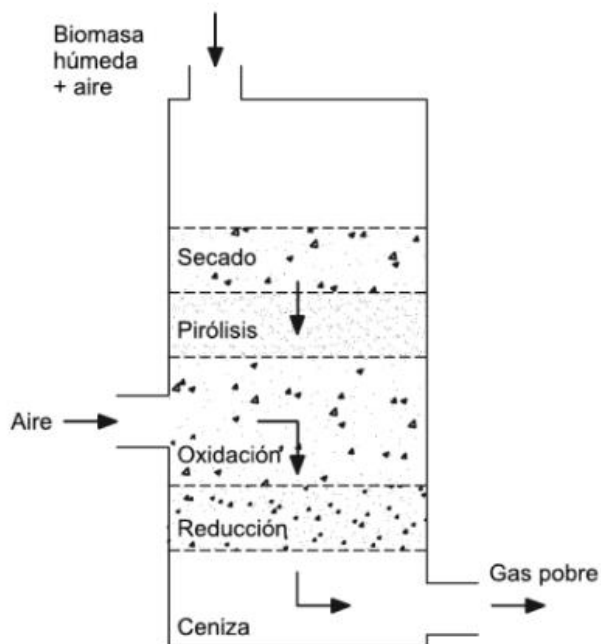


Grafica 7, Lecho móvil, Fuente: Energías Renovables para el desarrollo, José de Juana, Clara De la Fuente Rojo, 2008

²¹ Gasificación de la Biomasa, Juan Fernando Pérez, Universidad de Antioquia, 2009

²² Biomasa Gasificación, Energías renovables, IDEA Instituto para la diversificación y ahorro de energía, 2007

Gasógeno de lecho Fluidizado



Grafica 8 Lecho Fijo, Fuente: Gasificación de la Biomasa, Juan Fernando Pérez, Universidad de Antioquia, 2009

EQUIPOS	DESCRIPCION
Motores a Chispa	Gas pobre solamente
Motores Diésel	Gas pobre + gasoil
Turbinas de Gas	Gas pobre (alta calidad del Gas)
Motores Stirling	Gas pobre solamente

Tabla: 6, Utilización de Gas Pobre en Maquinas Térmicas Fuente: Gas Pobre, Facultad de Ingeniería-UBA

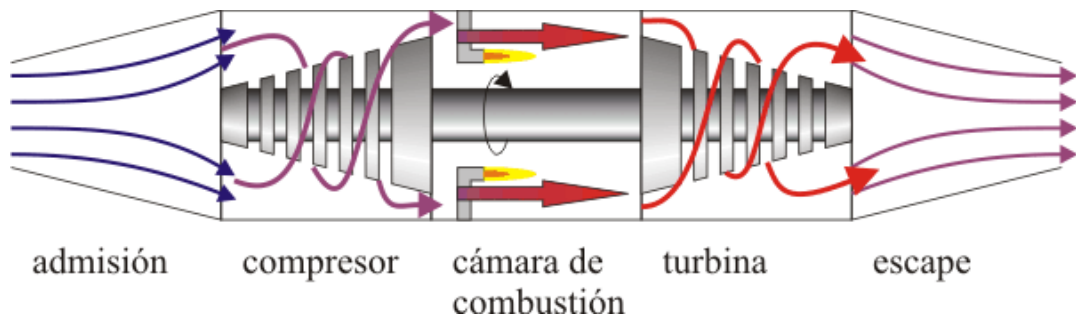
4.1.2. TRATAMIENTOS COMPLEMENTARIOS PARA TRATAMIENTO DE GAS.

En ocasiones el gas producido requiere un sistema de purificación del gas resultante que reduzca su temperatura y elimine impurezas.²³

- Separador ciclónico (retiene PM grosero)
- Lavador de gases (enfría y retira impurezas)
- Soplador (tiro inducido), por lo general con lluvia de agua
- Cámara separadora gravitacional de agua
- Intercambiador de calor (enfriamiento indirecto para condensar humedad presente)
- Filtros en serie (por lo general, dos unidades, medio filtrante, aserrín, a renovar periódicamente)
- Filtro de celulosa (actúa como control de seguridad antes de ingresar a los generadores de potencia).

4.1.3. TURBINA DE GAS

Son máquinas térmicas rotativas de combustión interna a flujo continuo que utilizan como ciclo de potencia el CICLO BRAYTON como se ve en la gráfica 09, El fluido de trabajo son los GASES DE COMBUSTIÓN.



Graica 9: Ciclo Brayton, Universidad de Sevilla

²³ Biomasa Definición y Características, Darío Huelmo 2015

Descripción del ciclo:

CICLO	DESCRIPCIÓN
Admisión	Ingreso de Aire frío a presión atmosférica
Compresor	Aire comprimido y dirigido a la cámara de combustión
Cámara de Combustión	Aire calentado por la combustión
Turbina	Aire caliente pasa por la turbina, la cual mueve
Escape	Expulsión de gases

Las turbinas tienen dos etapas de control diferenciadas, una durante el rodaje hasta alcanzar la velocidad de sincronismo, y la otra durante el proceso de variación de carga.²⁴

La máquina está compuesta de los siguientes elementos:

1. Un compresor de flujo axial
2. Una o varias cámaras de combustión (según el fabricante)
3. La turbina a gas
4. Sistemas auxiliares para su operación: a) Sistemas de lubricación b) Sistema de alimentación de combustible c) Sistema de regulación de velocidad d) Sistema de puesta en marcha y parada e) Sistemas de protección de máquina f) Sistema de acoplamiento hidráulico g) Sistema de virado (virador)
5. Motor de lanzamiento (motor Diésel, o motor eléctrico)

Los factores a tener en cuenta en el momento de escoger una turbina de gas partiendo del diseño del ciclo son:

- Características de la carga y consumo de combustible.
- Temperatura de gases de escape
- Estudio de condiciones de servicio fuera de diseño original

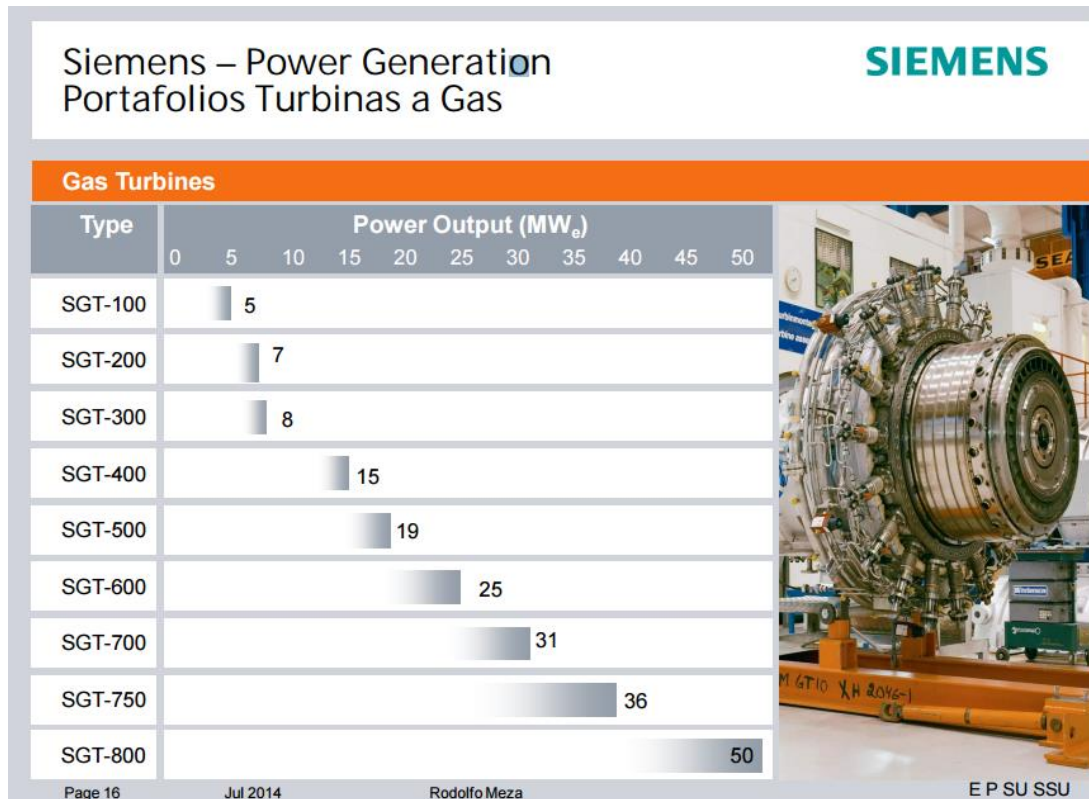
²⁴ Centrales Térmicas de ciclo combinado, Santiago Sabogal, Florentino Gómez, Edensa

- Efectos de la presión de escape en la generación y en la temperatura de salida.

A continuación, se muestra la eficiencia eléctrica de algunas de la tecnología de cogeneración para la generación d energía

Tecnología de cogeneración	Eficiencia eléctrica (%)	Eficiencia térmica (%)	Eficiencia global (%)
Turbina de vapor	33	52	85
Turbina de gas sin post-combustión	38	47	85
Turbina de gas con post-combustión	38	42	80
Ciclo combinado	57	33	90
Motor recíprocante (aprovechando calor de gases de combustión y calor del sistema de enfriamiento)	40	30	70

Grafica 10, Biomasa Definición y Características, Darío Huelmo 2015

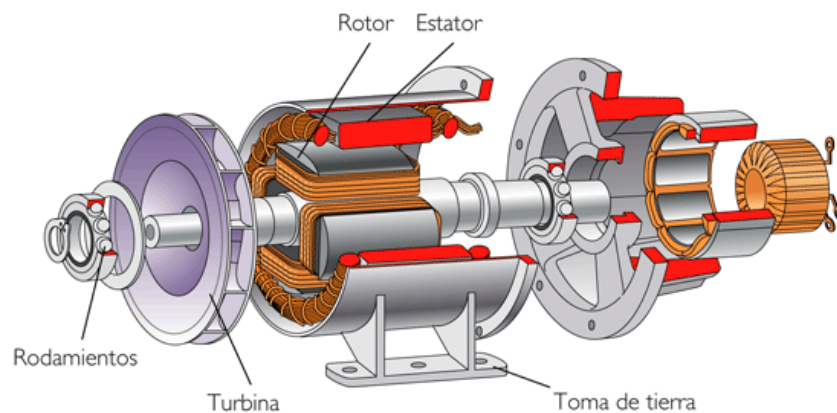


Grafica 11 Potencias de Turbinas, Fuente: Siemens

4.1.4. GENERADOR ELECTRICO

Un generador es una **máquina eléctrica rotativa** que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator.

El generador puede ser considerado como una de las partes fundamentales en la generación de energía en una central eléctrica y en este proceso es el encargado de transformar la energía mecánica producida por las turbinas, en energía eléctrica.



Grafica 12 Esquema de un Generador, Fuente Tecnología e informática 2014

4.1.4.1. TIPOS DE GENERADORES

Los generadores se pueden clasificar según su principio de funcionamiento o según la refrigeración requerida, según su funcionamiento pueden ser síncronos o de inducción y según su tipo de refrigeración se puede clasificar de aire, hidrogeno, o agua-hidrogeno²⁵

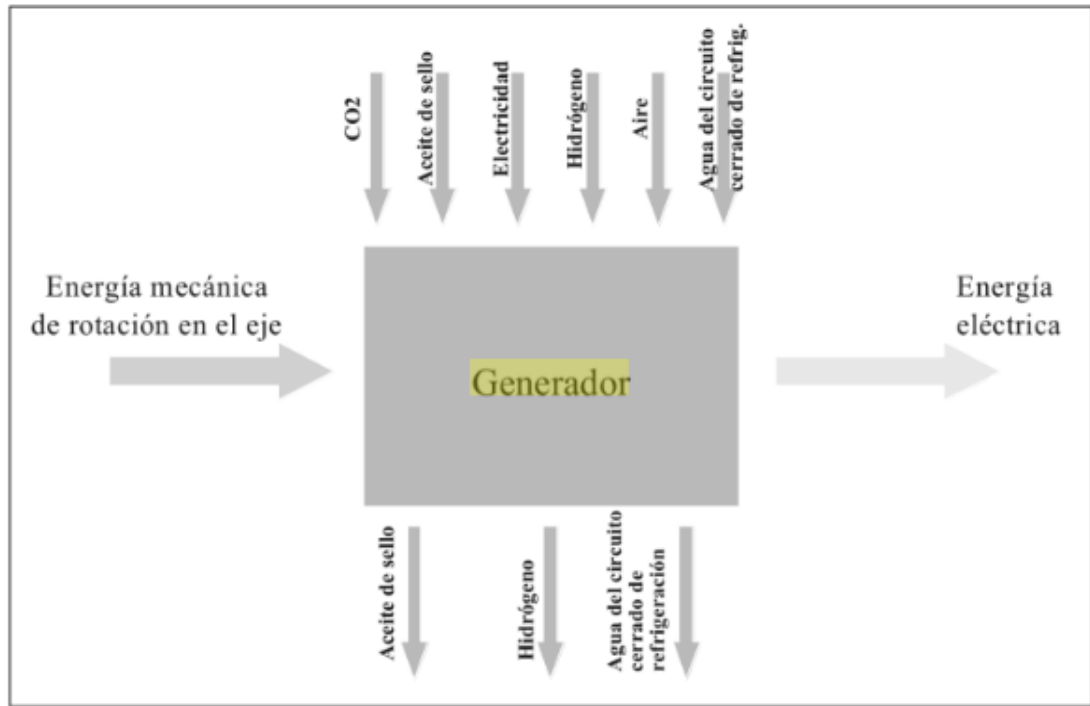
²⁵ Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado, Santiago García Garrido, Díaz de Santos, 2011

GENERADOR	DESCRIPCION
Síncronos	<ul style="list-style-type: none"> • Habituales en las centrales de ciclo combinado • Sistema Inductor se alimenta con corriente continua • Frecuencia 50/60 HZ • Velocidad 3000/3600rpm
Inducción	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema Inductor no hay generación • Regulado por la Velocidad • Sistema no Autoexcitante • Utilizados en acoples para turbinas

Descripción del Generador a utilizar

Los generadores habituales para este tipo de centrales de energía son de tipo síncrono refrigerado por hidrogeno, y los elementos que constituyen el generador son:

- Sistema de excitación
- Sistema de arranque
- Sistema d Refrigeración de bobinados
- Sistema de Lubricación de cojinetes



Grafica 13 sistema de refrigeración por hidrogeno Fuente: Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado²⁶

²⁶ Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado, Santiago García Garrido, Díaz de Santos, 2011

5. CAPITULO III

5.1. POBLACIÓN A INTERVENIR

El municipio de Uribe es uno de los pueblos más antiguos del departamento del meta junto con San Martín y San Juan de Arama, la población se remonta a 1886 y es elevado a municipio en 1921. Dicho municipio se encuentra ubicado a 191 Km de Villavicencio y según la página web de la alcaldía municipal de Uribe la geografía del municipio posee la siguiente descripción:

“Descripción Física: relieve se presenta en tres formas: montañas en las estribaciones de la Cordillera Oriental que surca al Municipio en su parte norte y occidental el sistema periférico se encuentra en la parte media del Municipio y está formado por dos alturas que son: La sierra de la Chamuza y el alto de la Ahuyama, se caracteriza por ser abundantes sus aguas y por sus valles y llanuras en la parte plana del Municipio ubicada entre la Sierra de La Chamuza y el Río Duda, la topografía del terreno le permite a la región contar con casi todos los pisos térmicos por lo tanto hay diversidad de climas que se encuentran entre los 16°C y 28°C. Esto repercute en la variedad de cultivos.

Extensión total: 7640 Km²

Temperatura Media: 22 ° C

Altitud: 528 m s n m

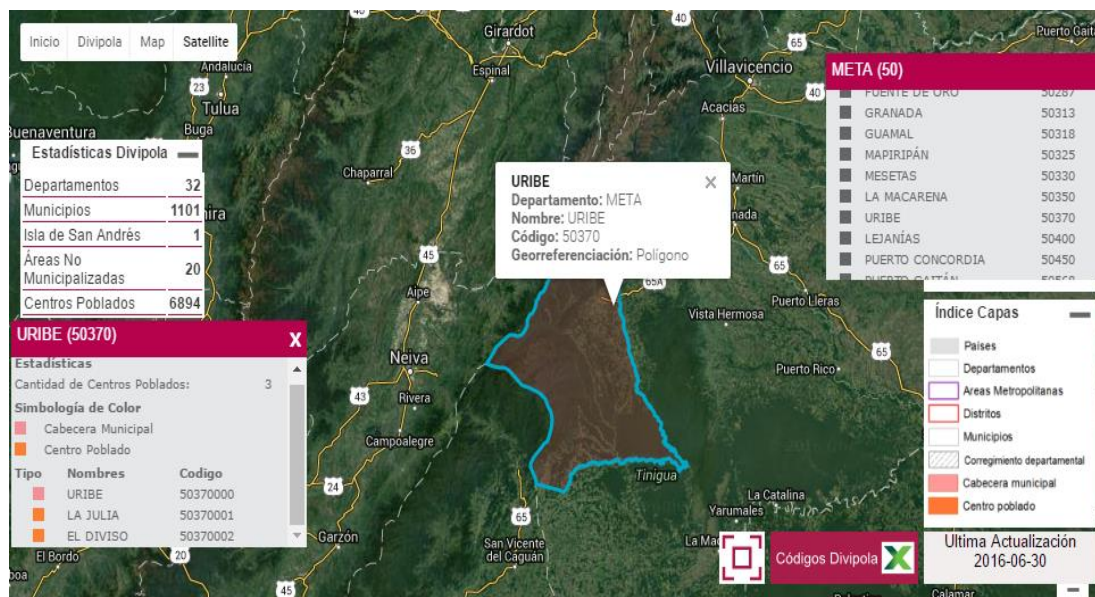
Población: 16539 al año 2016

Población Beneficiada: 9 mil habitantes aproximadamente.

Límites del municipio: hacia el Norte se limita Con el Municipio del Cubarral y Lejanías, en el Noroccidente Con Cabrera Cundinamarca, por el Oriente Con los municipios de Lejanías, Mesetas y Vista hermosa y por el Occidente Con los

Departamentos de Caquetá y Huila. En la gráfica 10 mostrada en vista satélite podemos observar algunas de las características antes mencionadas.”²⁷

La Hidrografía en el territorio Municipal, pertenece en su totalidad a la cuenca del río Guayabero. A su vez se encuentran las siguientes subcuencas: Subcuenca del río Duda que lo integran los ríos Guape, Quebrada, la sonora, la miel, el pedregal, el Riachon Sinaí, dulzura y la Subcuenca del río Losada,²⁸



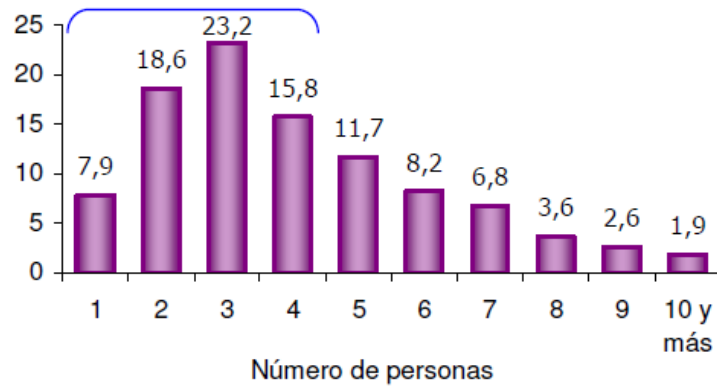
Gráfica 14: Ubicación municipio Uribe, fuente: Divipola-DANE

En la gráfica 15 podemos observar el porcentaje de viviendas que hay en el municipio de Uribe por el número de personas que la habitan, así mismo podemos inferir que aproximadamente el 65.4% de los hogares de Uribe tienen 4 o menos personas por hogar.

²⁷ (Alcaldía de URIBE - META, 2015), URL http://www.uribe-meta.gov.co/informacion_general.shtml

²⁸ Plan de desarrollo municipal, Marcelo Chacón Guevara, 2012

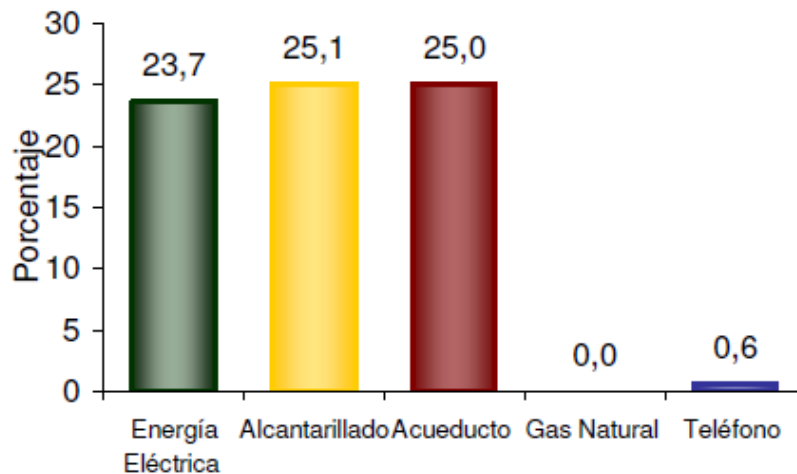
Hogares según número de personas



Grafica 15: Hogares según número de personas, Fuente: boletín censo general 2005, DANE.

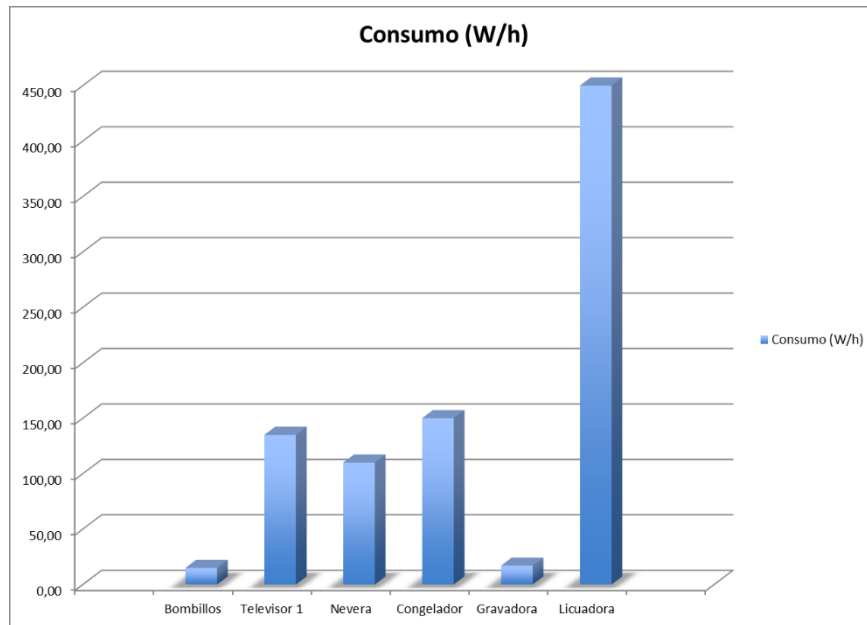
Cuando se revisó los porcentajes de los servicios públicos con los que cuentan los hogares de este corregimiento se encontró que solo el 23.7% de las viviendas posee energía eléctrica y ninguna vivienda cuenta con gas natural, como se observa en la gráfica 16.

Servicios con que cuenta la vivienda



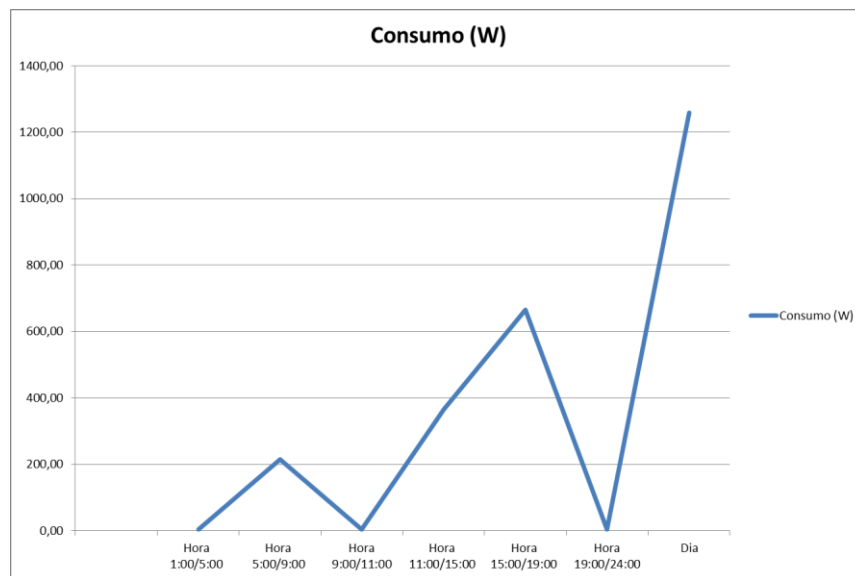
Grafica 16: Servicios públicos con los que cuenta las viviendas, Fuente, boletín censo general 2005, DANE.

En la gráfica 17 se referencia el consumo energético de algunos electrodomésticos que tendría un hogar.



Grafica 17: Consumo promedio de electrodomésticos, Fuente; Autores

Curva de la demanda energética por algunos electrodomésticos mostrados en la gráfica 17 estimados en un periodo de 24 horas en una vivienda del municipio



Grafica 18: Curva de demanda energetica, Fuente, Autores.

En la grafica 19 se toma solo de referencia en el proceso para calcular la energia eficiente producida por la cascarilla de café.

<u>Datos básicos</u>	
Beneficio	CISA-AGRO Matagalpa, Nicaragua
Capacidad	35,000 QQ _{oro} /año
Café secado en guardiolas	70%
Capacidad de secadoras	120 QQ _{perg} c/u 75 QQ _{oro} c/u
Trayecto de secado	45 - 12% Humedad
Tiempo de secado	30 horas
Consumo de cascarilla	90 kg/hora
Valor calorífico	8 kWh/kg cascarilla
Eficiencia de combustión (aprox.)	40%
Producción de cascarilla	aprox. 1 QQ/ QQ _{oro}
<u>Cálculos</u>	
Uso de cascarilla/ciclo	30 h x 90 kg/h = 2,700 kg cascarilla = 2,700 + 45,4 = 60 QQ cascarilla
Energía generada	2,700 x 8 = 21,600 kWh
Energía eficiente	21,700 x 40% = 8,600 kWh
Cantidad de café secado/cosecha	35,000 x 70% = 24,500 QQ _{oro}
Requerimiento cascarilla/cosecha	24,500 + 75 x 60 = 19,600 QQ
Cascarilla generada/cosecha	35,000 x 1 QQ/ QQ _{oro} = 35,000 QQ
En conclusión se genera más que suficiente cascarilla para secar el 70% del café en guardiola.	

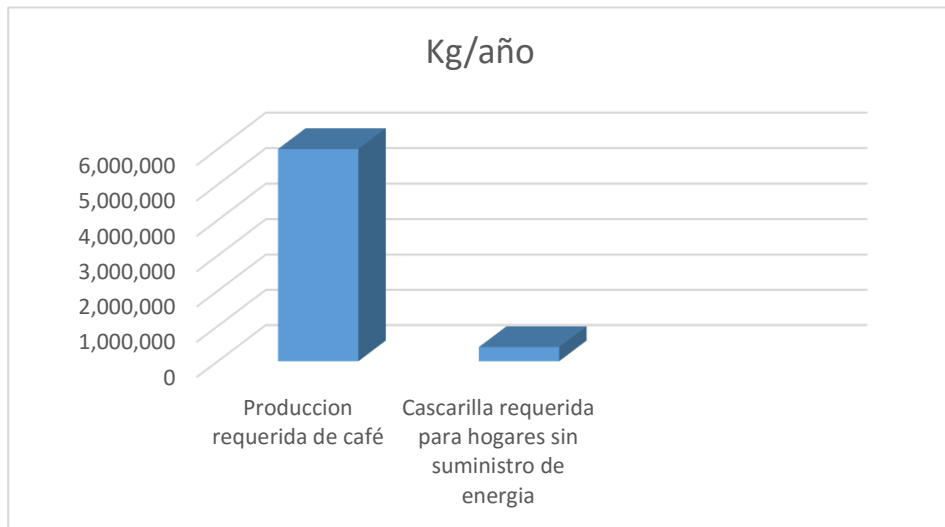
Ejemplo 1 Uso de cascarilla como combustible

Grafica 19, Referencia de Calculos, Fuente: Tratamiento anaerobico de los residuos del café, PROMECAFE

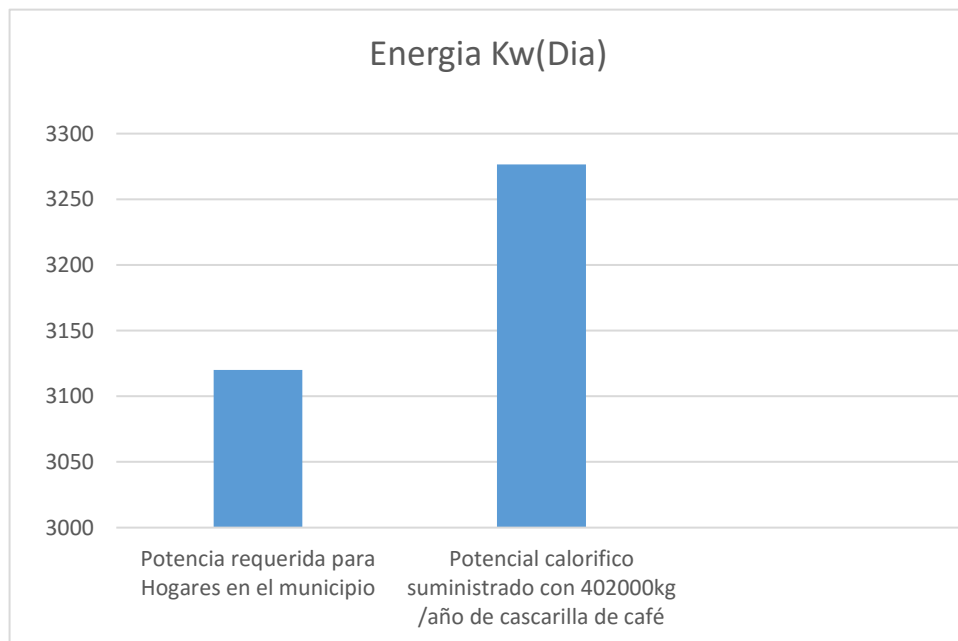
La energía eficiente generada a partir de la cascarilla de café en el departamento del meta con una producción aproximada de 6000000 Kg/año

Área Sembrada (Ha)	15320
Producción de café Kg/h	1826,484018
Cascarilla de café Kg/h	122,3744292
Potencial Calorífico cascarilla (MJ/h)	2190,502283
Potencial Calorífico cascarilla 100% (Kw/h)	606,7691324
Energía eficiente -40%	364,0614795

Tabla 7: Energía a partir del café, Fuente: Autores



Grafica 20: Producción requerida de café, Fuente: Autores



Grafica 21: Consumo energía por día de una vivienda, Fuente: Autores

6. CONCLUSIONES

La biomasa es una de las fuentes que pueden ser transformada en diferentes tipos de combustibles como gaseoso, líquidos o sólidos mediante algunos procesos termoquímicos, cuando se revisa el potencial de energía que produce a detalle un residuo biomásico, se puede determinar que es uno de los grandes benefactores de energía que tenemos a futuro debido a su baja emisión de dióxido de carbono ya que su fuente sería obtenida de la producción interna del departamento a tratar o lugares cercanos si fuese necesario.

Es importante tener claro y llevar conciencia de que si se empiezan a tratar todos los residuos generados por el hombre de los cuales se pueden obtener generación de energía eléctrica se disminuirán los índices de contaminación global evitando una crisis ambiental, es por esta razón que el aprovechamiento de los recursos actuales y el estímulo a la inversión, investigación y desarrollo tecnológico para la producción de generación de energía mediante métodos no convencionales podrían lograr que nuestras generaciones futuras vivan un espacio digno y limpio, con la cultura para reconocer que el medio que nos rodea es un préstamo a corto plazo y debe ser cuidado.

Se determinó que en el municipio de Uribe una vivienda posee aproximadamente 4 integrantes para la cual se realizó un cálculo hipotético donde observamos que el consumo al día por vivienda podría ser 1,2 KW/Día creando así una demanda aproximada de 3120 Kw/Día, proyectando así un diseño de una planta de generación de energía eléctrica a partir de cisco del café con la producción agroindustrial de los municipios de Lejanías, Cubarral y Mesetas del departamento del meta y algunos municipios del departamento del Huila. Dicha planta tendrá la capacidad de abastecer aproximadamente 2600 viviendas con 402000 Kg/año de cascarilla de café.

7. REFERENCIAS

- Alcaldía de URIBE - META. (15 de 12 de 2015). Recuperado el 07 de 07 de 2016, de http://www.uribe-meta.gov.co/informacion_general.shtml#geografia
- Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia
- Biomasa, Producción Eléctrica y cogeneración, IDEA (Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía).
- Biomasa, manual sobre energía renovable, 1º ed., 2002, BUN-CA (fundación red de energía en costa rica)
- Cadena del petróleo 2013, UPME
- Energía de la Biomasa, Evolución de Costos ERNC, Energías renovables de Andalucía
- Fundaion de Energia BUN-CA. (n.d.). *OPEX energy*. Retrieved Julio 5, 2016, from Plantas de biomasa: <http://opex-energy.com/biomasa/index.html>
- Gasificación de Biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de Potencia y Calor, Scientia et Technica Año X, No 25, agosto 2004
- Generación de energía eléctrica a partir de biomasa, ENCE (Energía y Celulosa). Ramón Neila Jerónimo, 2015

- La investigación Científica, (2004), Mario Bunge, (3ª. ed.), siglo veintiuno editores.
- Los Métodos de investigación, José Cegarra Sánchez, editorial Díaz de Santos, madrid,2012
- Metodología de la investigación, Cesar Augusto Bernal Torres, Universidad de la Sabana, Colombia, 2006.
- RESIDUOS OBTENIDOS EN EL PROCESO INDUSTRIAL DEL CAFÉ 1000GR Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / marzo de 2010, Fondo Nacional del Café.
- OPEXenergy empresa dedicada a la asistencia técnica y mantenimiento en instalaciones energéticas, <http://opex-energy.com/biomasa/index.html>
- Proyección municipal de población por área, DANE
- Secretaria de Energia. (2008). Energia Biomasa. *Energias Renovables* , 04-08