

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA INSTALAR UN SISTEMA DE  
COGENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA PLANTA DE COLCAFÉ MEDELLÍN**

**CARLOS ANDRÉS OROZCO TRUJILLO**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS  
ÉNFASIS EN GERENCIA DE PROYECTOS  
Medellín  
2009**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA INSTALAR UN SISTEMA DE  
COGENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA PLANTA DE COLCAFÉ MEDELLÍN**

**CARLOS ANDRÉS OROZCO TRUJILLO**

**Asesor:  
John Miguel Díez**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS  
ÉNFASIS EN GERENCIA DE PROYECTOS  
Medellín  
2009**

Para Ana Carolina, con quien voy por la vida.

## **CONTENIDO**

	<b>PAG.</b>
<b>1. PRESENTACIÓN</b>	<b>10</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN CLARA Y CONCRETA DEL PROBLEMA</b>	<b>12</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>13</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
4.1. Objetivo general	
4.2. Objetivos específicos	
<b>5. ESTUDIO Y CONCEPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>15</b>
<b>6. ESTUDIO SECTORIAL</b>	<b>16</b>
6.1. Reseña histórica de Colcafé S.A.	
6.2. Misión y Visión	
6.3. Plan estratégico de la compañía.	
6.4. Modelo de las cinco fuerzas.	
6.5. Dimensión tecnológica	
6.6. Dimensión sectorial	
6.7. Dimensión económica	
6.8. Dimensión política y legal	
6.9. Dimensión ambiental	

6.10. Análisis del entorno específico

**7. EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO** **33**

7.1. Proceso de producción del café soluble

7.2. Tecnologías para la cogeneración de energía eléctrica

7.3. Dimensionamiento del sistema de cogeneración de energía eléctrica

7.4. Análisis técnico de los resultados

7.5. Factores ambientales

7.6. Seguridad

7.7. Costos

7.8. Listado de equipos requeridos

**8. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL** **58**

8.1. Legislación ambiental aplicable.

8.2. Mecanismos de control ambiental.

8.3. Plan de control ambiental.

8.4. Emisión de bonos ambientales.

**9. ESTUDIO FINANCIERO** **63**

9.1. Información base para del estudio financiero

9.2. Dimensionamiento de la inversión

9.3. Elaboración del flujo de caja del proyecto

9.4. Análisis de riesgo y sensibilidad

**10. CONCLUSIONES** **76**

<b>11. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES</b>	<b>77</b>
<b>12. GLOSARIO</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO 1. FLUJOS DE CAJA DEL PROYECTO</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO 2. RESUMEN</b>	<b>86</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>PAG.</b>
Figura 1. Modelo de las cinco fuerzas.	19
Figura 2. Energía promedio horaria por recurso energético.	26
Figura 3. Potencial de cogeneración en los diferentes sectores productivos colombianos.	27
Figura 4. Proceso productivo del café soluble.	34
Figura 5. Ciclos de funcionamiento del motor ciclo Otto.	38
Figura 6. Ciclos de funcionamiento del motor ciclo Diesel.	39
Figura 7. Esquema de un turbogenerador a gas.	40
Figura 8. Ciclo Bryton para turbinas a gas.	40
Figura 9. Componentes básicos de la generación de potencia con vapor.	41
Figura 10. Ciclo Ranking para generación de potencia con vapor.	42
Figura 11. Comparación de tipos de calderas.	43
Figura 12. Diagrama de bloques del sistema de cogeneración propuesto.	45
Figura 13. Diagrama de bloques del sistema de cogeneración, caso 1.	50
Figura 14. Diagrama de bloques del sistema de cogeneración, caso 2.	52



## LISTA DE TABLAS

	<b>PAG.</b>
Tabla 1. Proyecciones macroeconómicas.	28
Tabla 2. Consumos históricos de vapor.	47
Tabla 3. Consumos históricos de energía eléctrica.	49
Tabla 4. Niveles de emisión admisibles en calderas.	60
Tabla 5. Inversiones requeridas.	69
Tabla 6. Depreciaciones.	70
Tabla 7. Consumo y costos de servicios públicos.	70
Tabla 8. Costos de operación del proyecto.	71

## 1. PRESENTACIÓN

Actualmente, vivimos en una sociedad hambrienta de energía. Toda nuestra civilización y el mundo que conocemos, depende de algún tipo de ella.

Sería imposible pensar en vivir en un mundo sin luces artificiales, ¿cómo serían nuestras noches?, sería imposible pensar en nuestro mundo sin los medios de transporte modernos, ¿cómo cubriríamos las grandes distancias de nuestras ciudades? y ¿cómo podríamos transportar los bienes producidos a través de los océanos y comerciar con sociedades ubicadas a miles de kilómetros?

Si miramos los diferentes elementos que tenemos en nuestros hogares, pocos de ellos no requieren de algún suministro de energía y los pocos que aún son manuales se consideran obsoletos y pensamos en reemplazarlos por alguno que pueda generar su propia fuerza motriz, para hacer más cómodo su uso.

En un caso más extremo, la inmensa mayoría de los bienes producidos por nuestra sociedad, son manufacturados a través de procesos mecanizados y automatizados, porque sólo de esta manera se alcanzan grandes volúmenes y eficiencias que nos permiten ofrecerlos a miles de compradores, con el fin de cerrar el ciclo económico del que depende el mundo, tal y como lo conocemos.

La energía entonces se ha convertido en el cimiento de la sociedad moderna, es esta la que nos diferencia del mundo antes de la revolución industrial. Fue precisamente esta la que permitió la aparición de una clase media que con su consumo impulsó el desarrollo económico del mundo y mejoró la calidad de vida de millones de personas y de las generaciones posteriores.

¿Por qué es importante la energía? Porque según la física, es la capacidad que tiene un cuerpo de realizar un trabajo. Y ¿cómo se relaciona con las actividades productivas?, cómo dicen los economistas, tierra, capital y trabajo.

La energía entonces es aquello que nos permite producir y generar riqueza. Nuestra sociedad se ha convertido en una consumidora voraz de energía y la necesita como nosotros necesitamos el aire para vivir.

La Inglaterra del siglo XVII quemó millones de toneladas de carbón para impulsar la máquina de vapor de James Watts, los Estados Unidos encontraron en el petróleo y derivados una fuente confiable de energía, de la mano de Rockefeller, para luego, con los desarrollos geniales de Einstein y Fermi generar energía eléctrica a partir del poder del átomo. También se recurrió al poder del agua para generar inmensas cantidades de electricidad. Fue así como las sociedades esclavistas de antaño dejaron libres a sus siervos y esclavizaron a las moléculas de agua, a los hidrocarburos y a los electrones, los cuales ahora hacen el trabajo duro, impulsando la maquinaria productiva.

Estas máquinas entonces, como principio de ingeniería, no crean su propia energía, sino que la transforman y se ha desarrollado toda una industria encargada de suministrarles su insumo básico, sea a través de hidrocarburos, electricidad, etc, convirtiéndose en el más importante *commodity*, transable a nivel internacional y cuyo precio impacta la cadena productiva mundial, siendo parte importante de los costos de producción de los diferentes bienes y servicios ofrecidos por los países.

Finalmente, el presente trabajo de grado se realiza dentro de un contexto industrial y pretende, a la luz de todo lo anterior, determinar si una propuesta de cogeneración de energía eléctrica y vapor puede ser viable para la compañía Colcafé S.A. y hacer parte de una estrategia de crecimiento rentable, que le permita aprovechar hasta el último centavo que paga en energía, con el fin de tener menores costos de producción y poder competir en los diferentes mercados.

## **2. DESCRIPCIÓN CLARA Y CONCRETA DEL PROBLEMA**

Colcafé es una compañía que utiliza una cantidad muy importante de recursos energéticos, los cuales indudablemente tienen un peso muy importante dentro de sus costos de producción, además, genera un impacto ambiental importante, no sólo en los recursos demandados sino también en los alrededores de su planta de Medellín.

Dentro de las proyecciones macroeconómicas y políticas que constantemente debe hacer, se ha encontrado que el mercado de energía, dígase electricidad y gas natural, está cambiando de manera radical, por los desarrollos tecnológicos y por la paridad que el gobierno quiere implementar en lo que a precios se refiere, entre nuestro mercado y el internacional. Desde hace alrededor de 10 años se viene hablando de que los precios internos de la gasolina, gas natural y diesel deben igualarse con los precios internacionales, ya que esto representa un tremendo costo de oportunidad para ECOPETROL y por tanto para el estado, que no puede vender el mismo barril de petróleo o derivados a un precio en Colombia y a otro precio en los mercados internacionales.

Lo anterior tiene un impacto directo en el proceso productivo de Colcafé, ya que el costo de estos insumos hoy en día es importante y de igualar los precios con los de los mercados internacionales, muy seguramente se harán más altos.

Es a partir de este punto que se debe hacer el mejor uso posible de estos recursos, exprimiendo hasta el último centavo lo que se paga por ellos. Una manera de hacerlo es a través de los sistemas de cogeneración de energía, los cuales han sido ampliamente usados por la industria en general, ya que permiten obtener energía eléctrica a un costo inferior al definido por los operadores de red, de manera paralela a otros procesos industriales.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Como decíamos anteriormente, para Colcafé es estratégico asegurarse el suministro de los insumos energéticos y la cogeneración le permitiría disminuir su dependencia de compañías como EPM (que le suministra electricidad y gas natural) e incluso disminuir sus costos de producción.

Adicionalmente, tendría un impacto ambiental muy importante, ya que disminuiría la presión sobre estos recursos al hacer un uso más eficiente de ellos.

Se justifica la investigación, como un trabajo mediante el cual se podrá identificar la viabilidad de la cogeneración como parte de una estrategia de crecimiento rentable y sostenible para la compañía.

Adicionalmente, esta clase de proyecto involucra tecnologías potencialmente útiles para el aparato productivo del país, que lo harían más eficiente y rentable, además, está presente un proceso de transferencia tecnológica, que tiene un gran impacto en nuestra sociedad, ya que el personal técnico de la compañía sería el responsable de desarrollar el proyecto, ponerlo en funcionamiento y después, mantenerlo en operación durante su vida útil, todo esto, acompañados por compañías con trayectoria en el campo.

La evaluación y su posible factibilidad financiera, dará pie a la explotación de una tecnología que puede generar ventajas competitivas para nuestra industria y a nuestra sociedad, como receptora del conocimiento.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Determinar la viabilidad financiera de generar energía eléctrica en la planta de Colcafé Medellín, haciendo un uso más eficiente de los recursos energéticos y analizar el impacto ambiental de dicho proceso de cogeneración.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Realizar un estudio sectorial, referente a los sistemas de cogeneración de energía eléctrica en la industria colombiana, tomando como énfasis, la industria de alimentos y bebidas.
- Analizar los factores económicos que podrían impulsar al alza el costo de la energía en Colombia.

## 5. ESTUDIO Y CONCEPCIÓN DEL PROYECTO

En esta etapa del estudio de factibilidad debemos hacer especial énfasis en la definición del problema a estudiar y su posible solución por medio de un proyecto de cogeneración de energía eléctrica.

Recordemos entonces que un proyecto no es más que una solución propuesta para un problema identificado.

El estudio del presente proyecto, lo haremos entonces bajo la metodología de la ONUDI, como sigue:

- Estudio sectorial y de mercados.
- Estudio técnico y ambiental.
- Estudio administrativo y organizacional.
- Estudio legal.
- Estudio financiero.

Tal como lo define la ONUDI, todos estos estudios se realizan en tres diferentes niveles de detalle.

- Nivel de oportunidades.
- Nivel de prefactibilidad.
- Nivel de factibilidad.

El presente trabajo de grado se concentrará en la última etapa, ya las dos primeras han sido ampliamente estudiadas por el aspirante al título, como tarea cotidiana en su trabajo en la compañía.

## **6. ESTUDIO SECTORIAL**

### **6.1. Reseña histórica de Colcafé S.A.**

Colcafé es una compañía hija de la Compañía Nacional de Chocolates S.A. En los años 50, la CNCH identificó un potencial de negocio en la industrialización del café, producto agrícola que venía cobrando gran fuerza en la sociedad colombiana y que se convertía en producto de exportación. Con miras a generar valor agregado al café colombiano, se decidió crear la Industria Colombiana de Café S.A. y fue Fabio Rico el encargado de crearla. En ese momento se decidió ubicar la nueva empresa en la ciudad de Medellín, por su cercanía con los cultivos de café y para aprovechar la infraestructura logística de CNCH.

Su primer producto fue el café tostado y molido, dirigido al mercado nacional, luego, en los años 60, a raíz de visitas hechas a plantas en Norteamérica y Europa, se decidió entrar en el negocio del café soluble. Fue este nuevo producto el que permitió comenzar a exportar. A finales de los años 60 se concretó la primera exportación de la compañía. El cliente fue Mitsubishi Foods en Japón, que desde entonces ha sido compradores de los diferentes productos de la compañía. También en los años 60 construyó una nueva planta en la ciudad de Bogotá, con el fin de atender este gran mercado nacional.

De la mano de estas exportaciones y del mercado nacional, la compañía creció hasta convertirse en la mayor procesadora privada del país y ha llegado a infinidad de clientes en Norteamérica, Europa, Asia y América latina. En los años 80 no fue ajena a los intentos de tomas hostiles por parte de los grandes grupos económicos del país y entró a hacer parte del llamado Sindicato Antioqueño, construyendo fuertes lazos con otras compañías antioqueñas como Noel y Zenú.

En los años 90, como parte de su proceso de crecimiento, construyó una nueva planta en la ciudad de Santa Marta, pensada como plataforma de exportación. Además, participa en la compañía Industrias Aliadas, ubicada en la ciudad de Ibagué, asociada con Mitsubishi Foods e inversionistas locales. Esta última compañía ha sido un excelente socio para Colcafé, al compartir parte de la carga productiva. En el siglo XXI, la compañía hace parte del ahora llamado Grupo Nacional de Chocolates y está en un proceso de expansión hacia el exterior, aprovechando las sinergias con el resto de compañías, en lo referente a logística, compra de maquinaria, tesorería, etc. Actualmente cuenta con más 1,000 empleados directos, 3 plantas propias y ventas anuales superiores al medio billón de pesos. Toda la información anterior fue suministrada por Colcafé S.A. @Colcafé.

## **6.2. Misión y Visión**

### **Misión.**

Somos una empresa especializada en la industrialización y comercialización de café y productos relacionados, que:

Busca la creciente creación de valor y el crecimiento rentable, con el posicionamiento de nuestras marcas líderes, destacado servicio, eficiencia operacional y una excelente distribución nacional e internacional. Garantiza a los clientes y consumidores nacionales e internacionales, la satisfacción de sus necesidades, con un amplio portafolio de productos de alta calidad y sobresaliente innovación. Desarrolla sus actividades con el mejor talento humano, un comportamiento empresarial ejemplar, buscando siempre el bienestar de nuestros colaboradores y la comunidad. @Colcafé.

## **Visión.**

Ser una Compañía altamente reconocida en el mundo del café industrializado por nuestras marcas, el portafolio de productos, servicio, calidad e innovación sobresaliente. @Colcafé.

### **6.3. Plan estratégico de la compañía.**

Como parte del GNCH, Colcafé sigue un plan estratégico basados en los siguientes objetivos:

- Crecimiento Rentable.
- Responsabilidad Social y Ambiental.
- Calidad.
- Bienestar de nuestra gente.
- Innovación.

Nuestro proyecto apunta a los objetivos de crecimiento rentable y responsabilidad social y ambiental.

Desde el modelo de Porter, podemos decir que en los últimos años la compañía se ha enfocado en una estrategia de diferenciación con productos de alto valor agregado, que no son fácilmente copiables por parte de los competidores y dirigidos a un mercado dispuesto a pagar un poco más por un café de calidad superior e inigualable, como es el colombiano. La concentración en bajo costo no es la mejor estrategia para comercializar el café colombiano, ya que países como Vietnam cuentan con producciones similares a un costo mucho menor y Brasil ofrece unos volúmenes de producción mucho mayores. @Colcafé.

#### 6.4. Modelo de las cinco fuerzas.

A continuación haremos un breve análisis del modelo de las 5 fuerzas para la compañía.

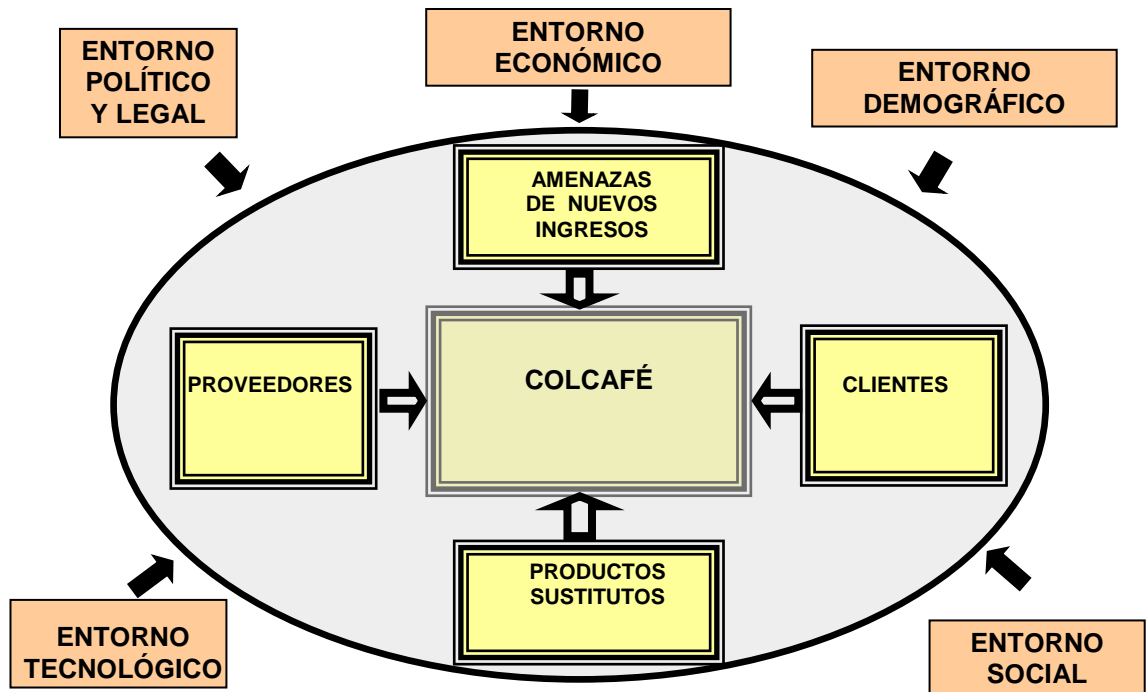


Figura 1. Modelo de las cinco fuerzas. @Eafit.

- Frente a los proveedores.

Dentro del sector cafetero colombiano, es uno de los mayores consumidores de café verde y tiene un gran poder de negociación frente a los productores del mismo. Frente a los productores de café de otros países es un cliente potencial, ya que ofrecer productos basados en café de otras variedades es un paso a seguir en el mediano plazo. Demanda también recursos energéticos, como electricidad y gas natural, tradicionalmente suministrados por EPM. Otros insumos como material de empaque y

envase son suministrados por Cartón de Colombia, Peldar, Microplast, entre otros.

- Frente a los clientes.

Frente a los clientes, Colcafé ha sido uno de los mayores procesadores y como parte del GNCH a sido muy competitivo en cuanto precio y calidad. También ha logrado mantener una posición sólida frente al gran poder de negociación de las grandes superficies y ha impulsado el desarrollo del llamado canal tradicional (tiendas de barrio).

- Frente a productos sustitutos.

El café es un producto casi de primera necesidad en todo el mundo, por lo cual tiene una posición firme. Sin embargo, las nuevas generaciones han comenzado a optar por productos con mejor reputación, como por ejemplo el té. La innovación permanente es entonces el camino a seguir para mantener los clientes.

- Frente a nuevos ingresos.

El negocio del café es común a las grandes compañías de alimentos, como Kraft Foods, General Foods, Procter & Gamble, etc, sin embargo, son los pequeños procesadores con productos gourmet los que han entrado de manera agresiva en los últimos años. El desarrollo de nuevos productos de alto valor agregado ha sido la clave para contener a estos competidores.

En el entorno económico, Colcafé es entonces la mayor procesadora privada de café del país y dentro del sector alimentos, como parte del GNCH se constituye en la mayor compañía de alimentos del país y la número dos de América Latina, sólo detrás de Bimbo S.A. de México. La acción de GNCH se transa en la bolsa de valores de Colombia, siendo una de las de mayor

bursatilidad y demanda. La compañía es responsable de alrededor del 25% del café verde consumido en Colombia. También es un gran consumidor de energía eléctrica y gas natural.

En el ámbito comercial, tiene una participación superior al 50% en la categoría de café tostado y molido, en donde sus mayores competidores son Águila Roja y Casa Lúker. En café soluble participa con el 38%, sólo detrás de Nestlé. A nivel internacional atiende clientes como Mitsubishi Foods, Kraft Foods, General Foods, marcas propias como Carrefour y Walmart y cadenas como Starbuck's, entre otros.

En el entorno político y legal, Colcafé hace parte del gremio cafetero, que es uno de los renglones más importantes del país, con gran capacidad de *lobby* frente al estado.

En el entorno demográfico, nuestro mercado tiende a crecer con la población, aún cuando las nuevas generaciones muestran un menor consumo de café.

En el entorno social, la compañía tiene una gran importancia, siendo responsable indirecto de gran cantidad de empleos en el campo por el tema de la caficultura y en cuanto a sus empleados, ya que genera más de 1,000 empleos directos y 10,000 indirectos al demandar diferentes bienes y servicios. Como parte del GNCH, participa en la Fundación GNCH, con un trabajo relacionado a la nutrición de los niños menos favorecidos.

En el entorno tecnológico, como empresa manufacturera no depende de una gran renovación en sus equipos, pero sí hace un uso medio de las nuevas tecnologías de IT. La mayoría de los equipos de producción proviene del extranjero, pero otros, como servicios técnicos y maquinaria de empaque, cada vez son suministrados en mayor proporción por firmas nacionales. La compañía cuenta con una gran variedad de equipos que datan de diferentes épocas, por ejemplo, algunos fueron comprados en los años 50 con la

fundación de la compañía y han recibido constantes actualizaciones tecnológicas. También se cuenta con equipos de última generación en lo que se refiere a maquinaria de empaque y sistemas electrónicos de control. Como aspecto a resaltar, la compañía, como parte de su proceso de innovación permanente, ha desarrollado algunos equipos de proceso en su interior, generando una diferenciación importante con respecto a sus competidores.

## **6.5. Dimensión tecnológica**

La cogeneración de energía eléctrica es el aprovechamiento de energías residuales del proceso productivo o bien, el aprovechamiento de energías iniciales. En el caso de la cogeneración de energía eléctrica a base de plantas térmicas, se busca aprovechar la energía remanente en el vapor usado para calentamiento en el proceso industrial.

Si queremos tener una definición más técnica y oficial, el Decreto 3683 de 2003, expedido por el Ministerio de Minas y Energía, define la cogeneración como el proceso mediante el cual a partir de una misma fuente energética se produce en forma combinada energía térmica y eléctrica, en procesos productivos industriales y/o comerciales para el consumo propio o de terceros y cuyos excedentes pueden ser vendidos o entregados en la red.

La Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG), entidad adscrita al Ministerio de Minas y Energía define también el proceso de cogeneración mediante el Art. 1 CREG 085-1996 como el proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, que hace parte integrante de una actividad productiva, destinadas ambas al consumo propio o de terceros y destinadas a procesos industriales o comerciales.

La cogeneración, puede ser entonces una excelente herramienta para la reducción de los costos asociados al uso de energía eléctrica en los procesos

productivos industriales y por lo tanto, puede ser parte de una estrategia de crecimiento rentable. Dentro del entorno económico, técnico y ambiental, podemos, tal como definimos en la presentación del trabajo de grado, hacernos la siguiente pregunta: ¿por qué cogenerar?

Las respuestas son múltiples, entre las cuales tenemos:

- Reducción del impacto ambiental (Desarrollo Sostenible).
- Posibilidad de negocio en el mercado eléctrico.
- Beneficios económicos con la posibilidad de venta bonos CRE (Certificado de reducción de emisiones) y CDM (Executive Board of the Clean Development Mechanism CDM).
- Reducción del consumo energético (mayor competitividad).
- Independencia de la red eléctrica, mejora en la continuidad (Autonomía).
- Aprovechamiento de residuos o recursos disponibles.
- Mejora en la calidad de la potencia eléctrica (frecuencia y nivel de tensión). Es especialmente interesante para industrias ubicadas en las colas del Sistema Interconectado Nacional.
- Por que por medio de la Ley 1215 de julio 16 de 2008 se establece que: “los Cogeneradores estarán exentos del pago del factor del 20% por Contribución de Solidaridad, sobre su propio consumo de energía proveniente de su proceso de cogeneración”.

Otra pregunta que podrían formular los interesados en la cogeneración sería: ¿cuándo cogenerar?

Las respuestas, una vez más, son múltiples:

- La cogeneración se hace posible para compañías industriales con altos consumos energéticos, especialmente en lo referente a energía térmica (vapor).
- También puede justificarse si el proceso es sensible a fallas en el suministro del fluido eléctrico o si el operador de red no puede garantizar la calidad del mismo.
- Puede ser una alternativa para la disposición de residuos.
- Cuando se cuenta con un recurso hídrico cercano.

Finalmente, una pregunta de interés sería: ¿quiénes cogeneran?

La mayoría de compañías industriales que han adelantado procesos de cogeneración tienen en común el hecho de que sus procesos productivos son intensivos en el uso de energía térmica y eléctrica, como es el caso de la industria de pulpa y papel, cemento y refinación de hidrocarburos, entre otros. La industria de alimentos y bebidas no es intensiva en el uso de energía, pero aún así, los proyectos de cogeneración son viables técnica y económicamente. Las tecnologías de cogeneración se encuentran en un nivel de desarrollo bastante alto, por lo cual, desde este punto de vista, el proyecto parte de una base segura. Las compañías fabricantes de los equipos requeridos también tienen presencia directa en Colombia, además, hay firmas de ingeniería con experiencia en el tema. De esta manera, se tiene un parte positivo para el proyecto. Dado que la tecnología a escoger debe adaptarse al proceso productivo existente de Colcafé, el abanico de opciones se reduce bastante, tal como mostraremos en el estudio técnico.

## 6.6. Dimensión sectorial

La cogeneración de energía es una realidad en diferentes compañías industriales en nuestro país, siendo parte integral e imprescindible de su proceso productivo. Lo anterior es también un parte de tranquilidad para el desarrollo de nuestro proyecto, ya que podremos encontrar compañías locales con conocimiento en estos temas y que puedan prestar servicios técnicos requeridos para la implementación, puesta en marcha y mantenimiento del sistema.

A continuación, presentamos algunos ejemplos de casos exitosos en operación:

- Smurfit Cartón de Colombia. Esta compañía genera 25MW a partir de gas natural, carbón y lignina (sustancia de desecho del proceso de producción de pulpa de madera).
- Cementos Argos. Es el mayor cogenerador del país, con más de 50 MW. Tiene plantas de generación hidráulicas (PCH's) y térmicas a base de carbón (las cenizas del carbón son útiles para el proceso productivo del klinker).
- Ecopetrol. En sus refinerías cuenta con plantas térmicas, combinando la disponibilidad de hidrocarburos y la necesidad de vapor en sus procesos productivos.
- Coltejer. Tiene una capacidad de generación del orden de 15MW, a base de carbón y vende sus excedentes de energía eléctrica a EPM.
- Fabricato. Cuenta con una PCH, aprovechando la quebrada "La García".

A futuro, el potencial de cogeneración de energía eléctrica es interesante, tal como lo ha identificado la UPME (unidad de planeación minero energética). En el 2007, esta entidad definió que la cogeneración aportó al sistema un 0.18% de la energía eléctrica total generada. La figura 2 muestra su participación en el total de energía generada.

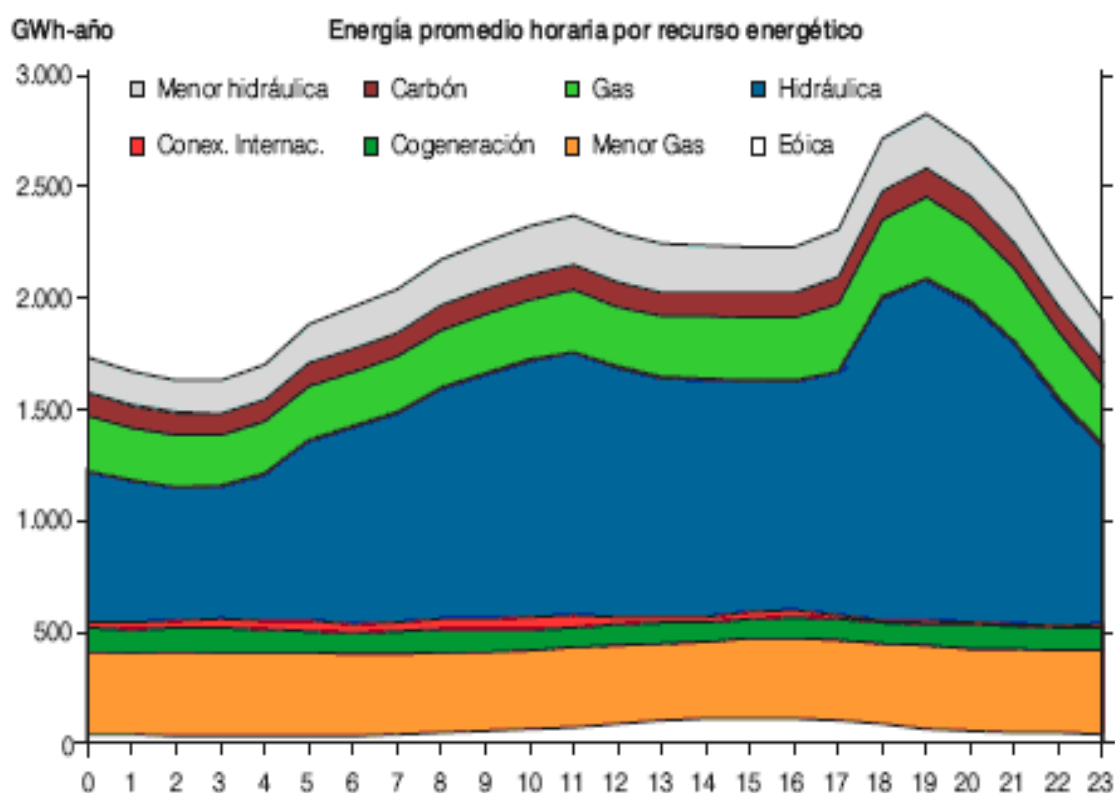


Figura 2. Energía promedio horaria por recurso energético. @UPME.

Si bien es un porcentaje muy bajo del total, la UPME también ha identificado el potencial de diferentes sectores industriales, concluyendo que se tiene un potencial de cogeneración de 423 MW para todo el país (sin incluir azúcar).

En la figura 3 podemos ver el resultado del estudio de la UPME.

423 MW equivalen aproximadamente al 5% de la capacidad instalada de generación de energía eléctrica de Colombia.

Es importante aclarar que el sector azucarero se excluye del estudio ya que sus residuos de biomasa (bagazo de caña) son materia prima para la producción de papel, por lo cual, estas compañías prefieren venderlos que usarlos en proyectos de cogeneración.

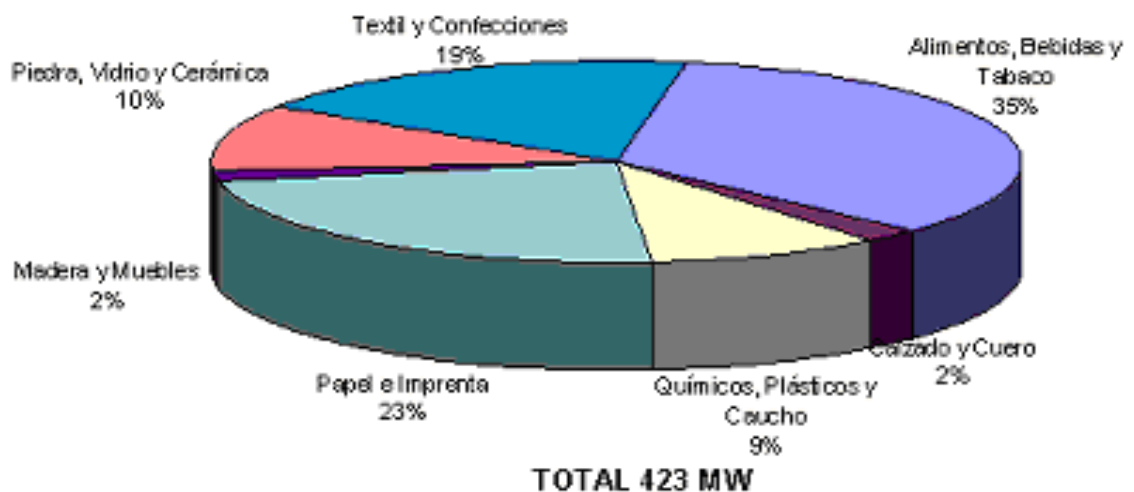


Figura 3. Potencial de cogeneración en los diferentes sectores productivos colombianos.

423 MW equivalen aproximadamente al 5% de la capacidad instalada de generación de energía eléctrica de Colombia. Vemos que el sector de alimentos, bebidas y tabaco, al que pertenece nuestra compañía, participa con un 35% del potencial identificado, lo cual equivale a 148 MW. En el estudio técnico presentaremos los cálculos de la potencia que podría generarse con las condiciones actuales del proceso productivo de Colcafé.

## 6.7. Dimensión económica

A continuación presentamos los indicadores macroeconómicos que se utilizarán para la estimación de los costos e inversiones que harán parte del flujo de caja.

Dado que la inmensa mayoría de los equipos requeridos se comprarán en dólares, se llevará todo a pesos colombianos, usando la TRM proyectada.

### RESUMEN DE PROYECCIONES MACROECONÓMICAS

Cifras proyectadas:	2007	2008 py	2009 py	2010 py	2011 py	2012 py	2013 py
Inflación (IPC variación anual)	5,69%	7,15%	5,57%	4,53%	3,84%	3,68%	3,53%
Precios al Productor (IPP variación anual)	1,27%	8,96%	5,65%	4,45%	3,63%	3,52%	3,57%
PIB (variación anual)	7,52%	4,60%	4,10%	5,00%	4,50%	4,50%	4,50%
Déficit GNC (%PIB)	3,30%	-2,80%	-2,90%	-3,00%	-3,00%	-3,00%	-3,00%
Déficit cuenta corriente (%PIB)	3,40%	-1,26%	-2,50%	-2,50%	-2,50%	-2,50%	-2,50%
Tasa de desempleo (total nacional)	11,20%	11,80%	11,00%	10,50%	10,00%	10,00%	10,00%
Devaluación (TRM Fin de año)	-10,01%	-2,92%	3,00%	4,00%	-1,50%	1,50%	2,00%
Devaluación (Promedio anual)	-11,86%	-10,36%	5,00%	3,00%	-1,00%	2,00%	2,50%
Precio del dólar (\$ TRM fin de año)	2.014,76	1.956,00	2.014,68	2.095,27	2.063,84	2.094,80	2.136,69
Precio del dólar (\$ promedio anual)	2.078,35	1.863,00	1.956,15	2.014,83	1.994,69	2.034,58	2.085,44
Euro (USD/EUR, fin de año)	1,45	1,46	1,38	1,29	1,26	1,22	1,22
DTF (E.A. fin de año)	8,98%	10,23%	9,43%	8,33%	7,43%	6,93%	6,53%
DTF (Promedio anual)	8,01%	9,75%	9,67%	8,72%	7,74%	7,09%	6,68%

Tabla 1. Proyecciones macroeconómicas. @Bancolombia.

## 6.8. Dimensión política y legal

Los equipos a comprar se clasificarán como activos fijos en su gran mayoría, por lo cual, se podría aplicar el Artículo 158-3. Modificado. Ley 1111/2006, art.

8. Deducción por inversión en activos fijos. Para una evaluación más exigente, no se tendrá en cuenta este estímulo tributario.

Según este artículo, a partir del 1° de enero de 2007, las personas naturales y jurídicas contribuyentes del impuesto sobre la renta, podrán deducir el cuarenta por ciento (40%) del valor de las inversiones efectivas realizadas sólo en activos fijos reales productivos adquiridos, aún bajo la modalidad de leasing financiero con opción de compra, de acuerdo con la reglamentación expedida por el gobierno nacional. Los contribuyentes que hagan uso de esta deducción no podrán acogerse al beneficio previsto en el artículo 689-1 de este estatuto. Los equipos a comprar harán parte de las inversiones CAPEX de la compañía, por lo cual, generalmente se compran con recursos propios, sin recurrir a la modalidad de Leasing o al endeudamiento comercial. (Industria Colombiana de Café S.A. 2009.). La normatividad de servicios públicos también deberá ser considerada dentro del desarrollo del proyecto, ya que el Ministerio de Minas y Energía tiene gran interés en este tema.

Por lo anterior, se tiene definido por medio de la Ley 1215 de julio 16 de 2008 que los cogeneradores estarán exentos del pago del factor del 20% por contribución de solidaridad, sobre su propio consumo de energía proveniente de su proceso de cogeneración. Este estímulo fiscal pudiera ser tenido en cuenta en la evaluación financiera del proyecto.

Como marco legal debemos tomar como referencia dos leyes, la ley 697 del año 2001 y la Ley 1215 de julio 16 de 2008, ambas referentes a servicios públicos. Esta ley define la manera en que los usuarios industriales pueden comprar energía y gas natural y la clase de derechos y deberes que tienen.

## **6.9. Dimensión ambiental**

Indudablemente los proyectos de cogeneración tienen como premisa el óptimo y completo uso de los recursos energéticos, aprovechando energías

remanentes que tradicionalmente no se usan. Lo anterior, presenta un impacto positivo desde la dimensión ambiental. Sin embargo, al incluir procesos térmicos (combustión de gas natural o biomasa), debe adherirse a las normativas existentes, con el fin de minimizar el impacto sobre el entorno y la presión sobre los recursos energéticos disponibles.

En el tema de la evaluación ambiental, el marco de referencia sería la legislación actual, que define que para la construcción de centrales generadoras de energía (en donde se podría clasificar un proyecto de cogeneración) se debe solicitar un Licencia Ambiental (Decreto 1220 de 2005 que reglamenta el título VII de la Ley 99 de 1993). Artículo 3 determina el alcance de la licencia ambiental.

Artículo 8: Centrales de generación con capacidad mayor a 100MW la licencia la otorgará el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Artículo 9: Centrales con capacidad de generación entre 10 y 100MW la licencia la otorgará la autoridad ambiental correspondiente (de acuerdo a la ubicación del proyecto)

La licencia no exime de otras responsabilidades legales como permisos, concesiones, etc. Por lo tanto si el proyecto utilizará un proceso de combustión para la cogeneración, deberá solicitar un Permiso de emisiones atmosféricas (Decreto 948 de 1995, artículo 75), adicionalmente deberá cumplir con los parámetros de emisión de contaminantes para plantas de cogeneración nuevas. Si la central es menor de 20MW aplica el artículo 14, Resolución 909 de 2008, donde se regula emisión de material particulado, óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y % de oxígeno en la combustión. Si la central es menor de 20MW y utiliza una turbina a gas, aplica el artículo 15, Resolución 909 de 2008, donde se regula emisión de material particulado, óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Deben cumplirse las demás normas

y requerimientos ambientales que apliquen a la actividad industrial en particular (aguas, manejo de residuos, consumos de combustibles, ruido, etc).

#### **6.10. Análisis del entorno específico**

Al estudiar el entorno del proyecto en su nivel macro, buscamos identificar de manera general las variables que pueden afectar el proyecto en su ejecución oportuna y eficaz. De esta manera, encontramos que hay dos variables en particular que pueden tener el peso suficiente para hacer que el proyecto sea o no viable, como son, el precio de la energía eléctrica (\$/kWh) y el precio del gas natural. Como indicaremos con más detalle en el estudio técnico, en los proyectos de cogeneración térmica, se consume gas natural para generar energía térmica y energía eléctrica, es decir, se cambia un insumo energético (electricidad) por otro (gas natural o algún energético similar).

De esta manera, para que el proyecto sea viable se requiere que la electricidad tenga un precio “alto” y el gas natural tenga un precio “bajo”. La tendencia en los últimos años ha sido ascendente para ambos insumos y las predicciones apuntan a que así seguirá siendo.

Desde el punto de vista de generación de energía eléctrica, nuestro país tiene un potencial inmenso, sólo superado en la región por Brasil y el desabastecimiento, tal como lo vivimos en el racionamiento del año 1992 es poco probable. Además, el estado, avanza en el desarrollo de importantes proyectos como Pescadero – Ituango, que garantizarán la atención de la demanda proyectada en las décadas venideras. En el caso del gas natural, el país tiene una producción importante, con excedentes exportables y unas reservas comprobadas importantes, si bien no comparables con la de algunos países como Venezuela o Bolivia. Es bien conocido que el estado avanza en una política muy agresiva en la exploración de hidrocarburos que ha permitido un optimismo moderado en cuanto a la autosuficiencia del país.

Según lo anterior, ¿qué sentido tiene quemar gas natural para generar electricidad?, la electricidad es abundante en nuestro país y el gas natural no lo es.

La respuesta debe buscarse en los escenarios futuros. Dado el gran potencial en generación de electricidad y los desarrollos tecnológicos recientes que permiten transmitirla a distancias de miles de kilómetros, traspasando las fronteras de nuestro país (anteriormente sólo podía transportarse por cientos de kilómetros), las empresas del sector, como EPM e ISA, han descubierto una gran oportunidad de negocio al vender energía eléctrica, de hecho ya hay una conexión permanente con Ecuador y con Venezuela, a quienes les resulta más barata y confiable la electricidad colombiana que la suya.

Estas compañías avanzan también en el estudio de interconexiones con Centro América y el sur de México. En Centro América la energía eléctrica es muy costosa y en México, además de costosa, la demanda es mucho mayor que en Colombia. Lo anterior es una mina de oro para las compañías colombianas. De esta manera, podemos pensar en que en alrededor de 10 años, estaremos hablando de una región interconectada y de unas exportaciones de electricidad muy importantes para el país, pero también del establecimiento de un precio regional para este servicio, muy seguramente que se nivelará por lo alto. Es altamente probable que en ese momento el gobierno comience a hablar de un costo de oportunidad y de subsidios no sostenibles en la venta de energía, tal como viene haciéndolo con la gasolina.

En resumen, la electricidad se convertirá en un bien transable y como consumidores, las compañías como Colcafé deberán pagar más por el mismo. Lo anterior se convierte en una amenaza para los industriales colombianos, ya que parte de la competitividad del país en la fabricación de productos básicos y con valor agregado es el costo moderado de este insumo, que permite mantener unos costos de producción en niveles razonables.

## **7. EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO**

La evaluación técnica del proyecto tiene como finalidad definir el potencial de cogeneración de energía eléctrica en el proceso productivo de Colcafé, pasando por las necesidades de vapor y de energía.

Tal como se mostró en el estudio sectorial, la cogeneración parte de la base de aprovechar al máximo la energía contenida por el vapor de agua, haciendo que impulse un generador eléctrico y luego, que entregue su calor a otros sistemas, como lo es, el sistema productivo.

Queremos comenzar el estudio técnico del proyecto, presentando de manera rápida el proceso productivo de la compañía. De esta manera, podremos identificar claramente las necesidades de energía térmica y eléctrica, con lo cual se justificará de manera contundente la tecnología de cogeneración a escoger.

### **7.1. Proceso de producción del café soluble**

El proceso para la producción del café soluble fue desarrollado por la compañía Nestlé a principios del siglo XX. En un principio se le consideraba un producto de calidad inferior y tuvo poca acogida por los consumidores.

Durante la segunda guerra mundial, los ejércitos aliados lo escogieron como parte de los suministros de sus tropas ya que podía prepararse fácilmente en los campos de batalla y así fue como Nestlé y otras compañías como Kraft lograron por fin masificar su consumo y aceptación.

Este proceso básicamente se compone de las siguientes etapas:

- Limpieza del café verde.
- Torrefacción.
- Extracción de sólidos solubles.
- Concentración.
- Deshidratación (congelación y liofilizado).
- Empaque.

En la figura 4 podemos visualizar rápidamente el proceso productivo.

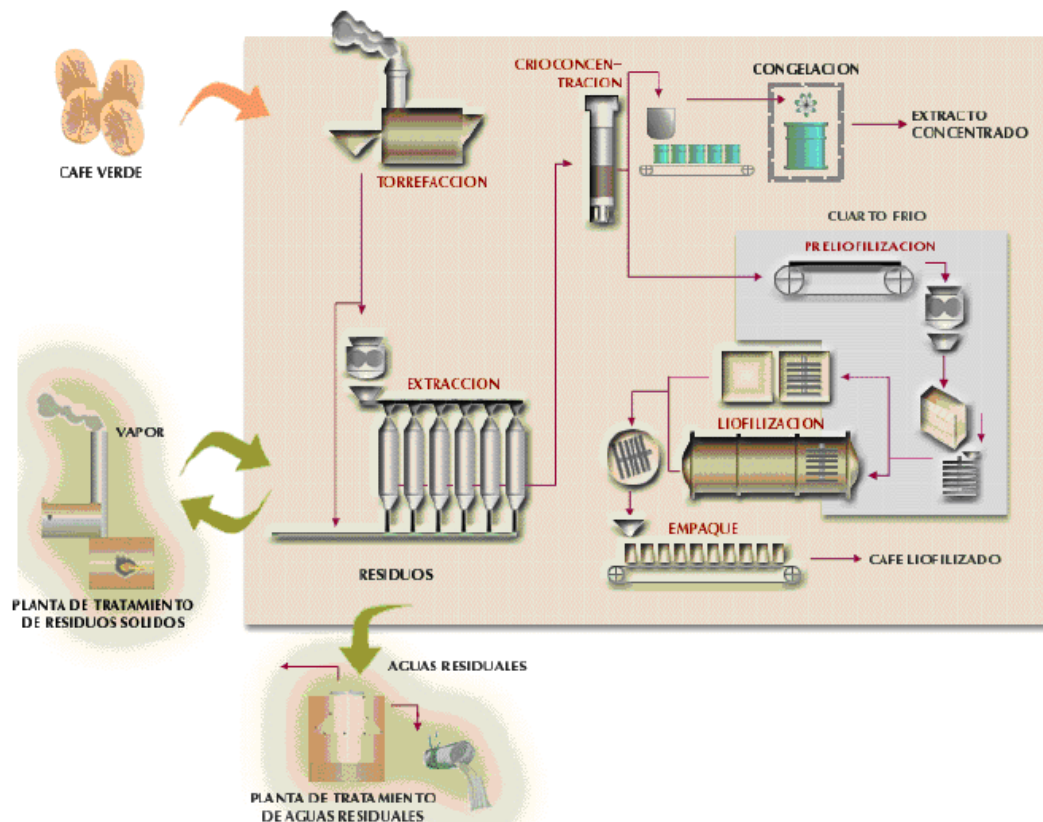


Figura 4. Proceso productivo del café soluble. @Ilustramos.

Como se observa en la figura 4, el proceso de extracción requiere vapor para su operación. Este vapor debe tener una presión del orden de 220 PSI (libras

por pulgada cuadrada). Aquí comenzamos a ver las necesidades de energía térmica que tiene el proceso. La extracción del café soluble no puede realizarse sin vapor y obviamente sin energía eléctrica para impulsar los motores de las máquinas asociadas.

A su vez, el proceso de extracción entrega un residuo sólido, ripio o borra de café o "*spent ground*", que por ser un residuo de origen orgánico es fácilmente tratable. La borra puede usarse para la producción de abonos orgánicos o también puede descomponerse aeróbicamente para producir gas metano, que es combustible.

Sin embargo, la industria del café soluble ha encontrado una mejor manera de disponer de este residuo, de una manera económica y ambientalmente amigable y es usarlo como un biocombustible en una caldera para producir vapor.

Resulta que la borra de café tiene un poder calorífico de alrededor de 18000 BTU / kg, lo cual es casi el poder calorífico del carbón mineral. De esta manera, un residuo se convierte en un combustible, que es gratuito para la compañía.

Adicional a su aprovechamiento, resulta que por ser biomasa, es neutro en lo que a emisiones de gases de efecto invernadero se refiere, ya que el dióxido de carbono que se emite durante su combustión es el mismo que absorbieron las plantas de café durante su crecimiento.

Este es un efecto ambiental muy positivo de nuestro proyecto, ya que al generar el vapor, en parte con biomasa, minimiza las emisiones de nuevos gases de efecto invernadero.

A partir de este punto es que podemos entonces apreciar las verdaderas dimensiones del proyecto de cogeneración, ya que encaja en un proceso productivo de alto valor agregado (industrialización del café), reaprovecha un

residuo que de otra manera requeriría un manejo diferente (por ejemplo llevarlo a un relleno sanitario) y permitirá hacer a la compañía más competitiva al tener una energía eléctrica más económica, por medio del completo uso de la energía térmica, generada en parte por el residuo ya mencionado.

Los demás procesos, como limpieza de café verde, torrefacción, concentración, deshidratación y empaque, tienen consumos de vapor insignificantes o nulos, por lo cual no son tenidos en cuenta. Sin embargo, sí tienen un consumo importante de energía eléctrica.

Con esto, vamos definiendo las necesidades del proceso productivo.

## **7.2. Tecnologías para la cogeneración de energía eléctrica**

Tal como dijimos anteriormente, la cogeneración de energía, consiste en generar de manera combinada y con una fuente común, energía térmica (por ejemplo vapor) y energía eléctrica.

Lo primero que se debe tener entonces es una máquina que pueda generar potencia a partir de un combustible, mas comúnmente conocido como "*prime mover*".

A continuación, mostraremos las diferentes alternativas tecnológicas disponibles en la actualidad y que se consideran como el estado del arte.

- Motores recíprocos de combustión interna.
- Turbogeneradores a gas.
- Turbinas a vapor.

La tecnología escogida para el proyecto en análisis será la de turbinas a vapor, ya que encaja de manera apropiada en el proceso productivo de Colcafé, tal como explicaremos en la descripción del proceso productivo.

### **7.2.1. Motores reciprocantes de combustión interna**

Un motor de combustión interna es un generador de potencia en el cual se transforma la energía contenida en un combustible en energía mecánica. Los motores funcionan mediante el movimiento reciprocante de pistones con la expansión de un gas. El funcionamiento de un motor reciprocante se puede representar por medio de un ciclo termodinámico, que puede ser Otto para el caso de motores a gasolina o Diesel para el caso de motores con combustible diesel.

Esta clase de motores pueden ser usados en proyectos de cogeneración ya que son tecnologías muy maduras y confiables. Su importancia radica en que al quemar un combustible producen potencia mecánica (que puede impulsar un generador eléctrico y por lo tanto producir energía eléctrica) y con los gases de escape puede calentarse algún fluido (por ejemplo agua) que posteriormente puede usarse en el proceso productivo.

#### **7.2.1.1. Motor ciclo Otto**

Son motores a gasolina o a gas dedicado que tienen chispa para la combustión. Se distinguen básicamente cuatro etapas del ciclo (ver figura 5):

- Etapa 1. Admisión. Aspiración de mezcla de aire y combustible (en motores de carros es graduada por el acelerador).

- Etapa 2. Compresión. Se incrementa la presión de la mezcla en la cámara de combustión.
- Etapa 3. Combustión. Se produce la ignición mediante una chispa.
- Etapa 4. Escape. Salen los productos de la combustión.

Para este tipo de motores se define la relación de compresión  $R_c$ , la cual es la relación entre el volumen del punto muerto inferior del pistón respecto al volumen del punto muerto superior del mismo.  $R_c = V_{PMI}/V_{PMS}$ . Existen relaciones de compresión entre 6:1 hasta 11:1, donde el primer número se refiere a la presión interna y el segundo a la presión de admisión atmosférica. Para una misma potencia, a mayor relación de compresión, más grande y costoso el motor.

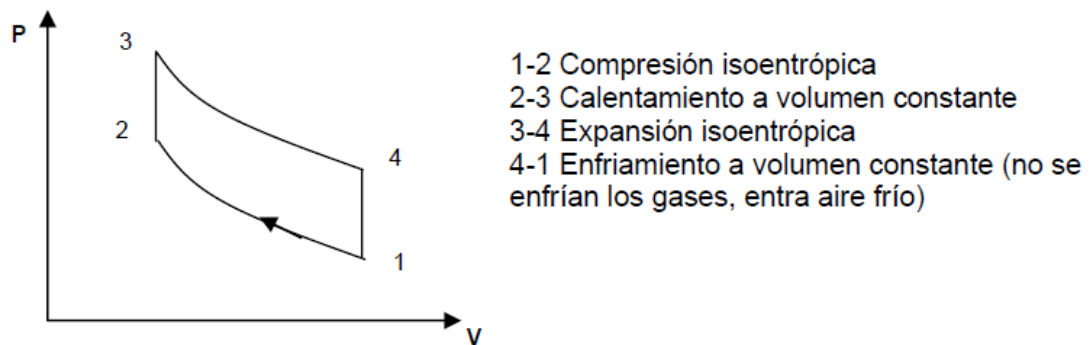


Figura 5. Ciclos de funcionamiento del motor ciclo Otto. @Termaltec.

### 7.2.1.2. Motor ciclo Diesel

Son motores con combustible diesel-oil o ACPM que no tienen chispa para la combustión ya que producen ignición al aumentar su presión. Son motores de alta relación de compresión. Se distinguen básicamente cuatro etapas del ciclo.

- Etapa 1. Admisión. Aspiración y llenado del cilindro de aire.

- Etapa 2. Compresión. Se incrementa la presión de aire.
- Etapa 3. Combustión. Inyección del combustible en cantidad graduada por el acelerador. Funcionan con auto ignición y la combustión se da a medida que entra el combustible.
- Etapa 4. Escape. Salen los productos de la combustión.

Para este tipo de motores existen relaciones de compresión entre 12:1 hasta 24:1.

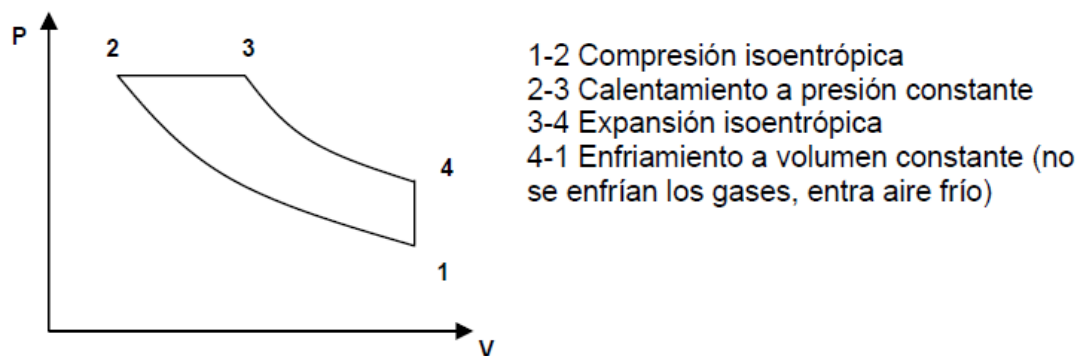


Figura 6. Ciclos de funcionamiento del motor ciclo Diesel. @Termaltec

### 7.2.1.3. Turbogeneradores a gas

Los turbogeneradores a gas o comúnmente conocidos como turbinas a gas funcionan en un ciclo abierto, los gases no se enfrían para continuar con el ciclo, en cambio se está renovando permanentemente el fluido de trabajo. Los turbogeneradores pueden ser para generación de energía eléctrica o para propulsión en aeronaves. Los componentes básicos de un turbogenerador son el compresor, la cámara de combustión y la turbina.

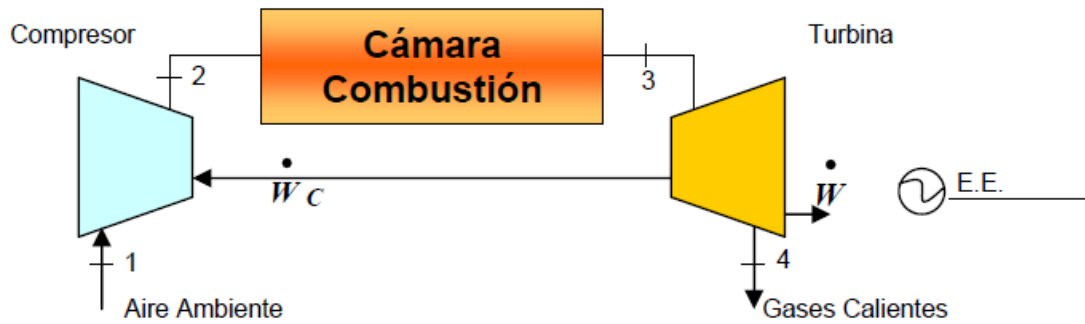


Figura 7. Esquema de un turbogenerador a gas. @Termaltec

Un turbogenerador funciona bajo el ciclo termodinámico de Bryton, el cual se ilustra en la figura 8.

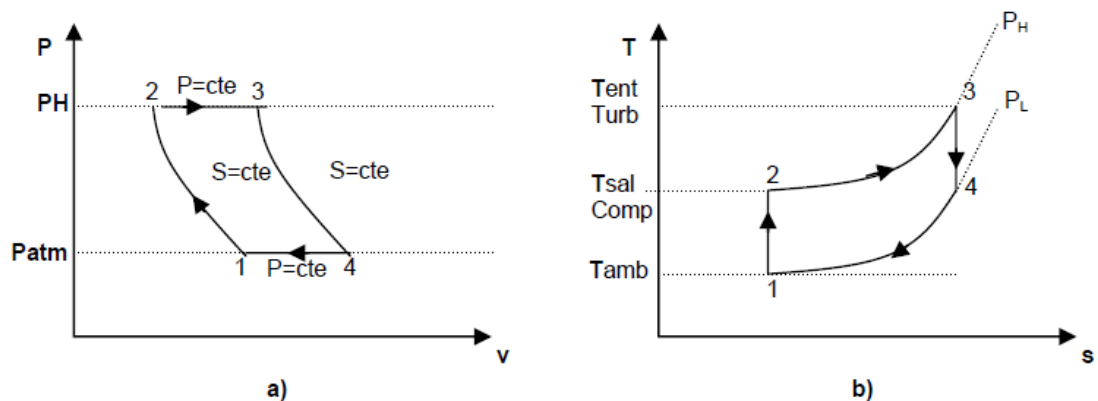


Figura 8. Ciclo Bryton para turbinas a gas. A) diagrama de presión contra volumen, b) diagrama de temperatura contra entropía. @Termaltec

#### 7.2.1.4. Turbinas a vapor

Como se dijo anteriormente, esta será la tecnología escogida para nuestro proyecto, ya que se adapta a las exigencias del proceso productivo.

Las turbinas a vapor son máquinas térmicas que funcionan en ciclo termodinámico cerrado denominado ciclo Rankine. Las figuras 9 y 10 muestran los componentes básicos de la generación de potencia con vapor y el ciclo termodinámico respectivamente.

Actualmente, Colcafé requiere para su proceso productivo vapor con una presión del orden de 220 PSI. La idea del proyecto es generar vapor de una presión superior (más adelante definiremos el valor) para que impulse la turbina y al salir de ésta, tenga la presión mencionada para atender el proceso productivo.

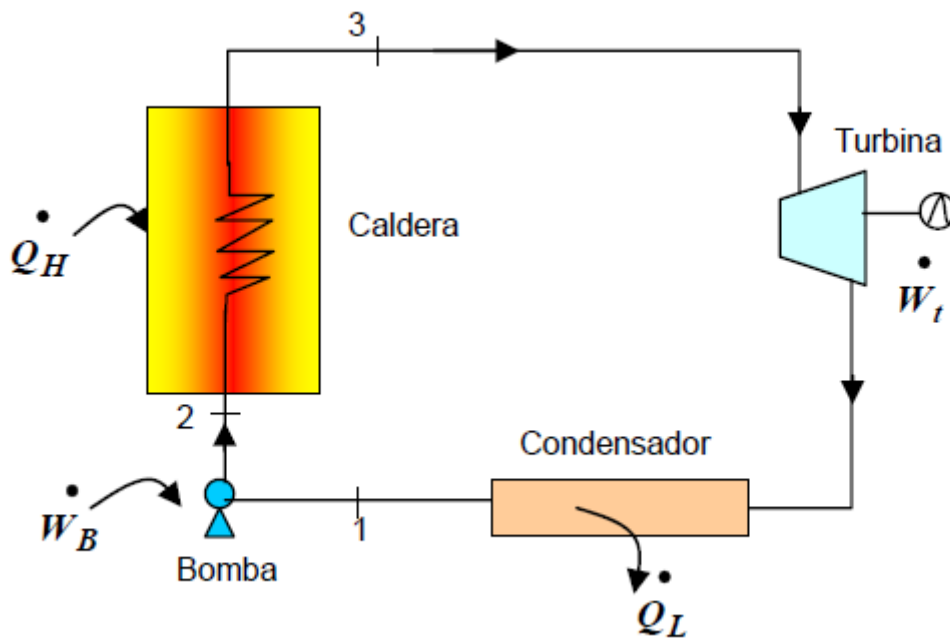


Figura 9. Componentes básicos de la generación de potencia con vapor.

@Termaltec

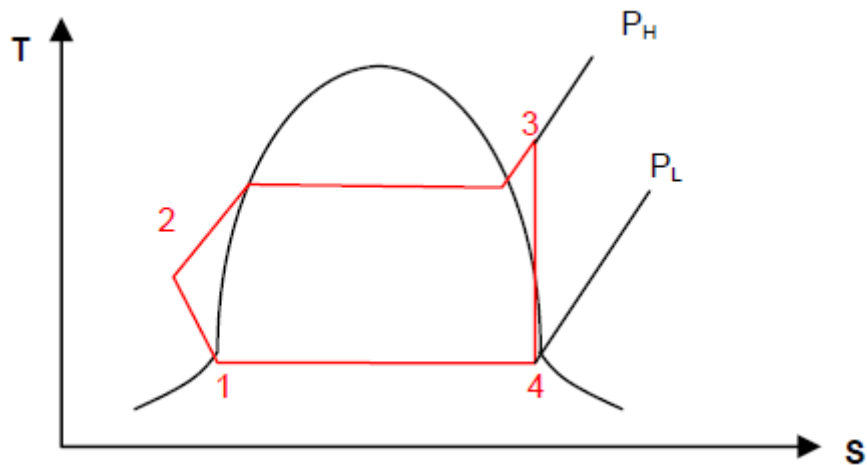


Figura 10. Ciclo Rankine para generación de potencia con vapor. @Termaltec

Los componentes de un sistema de generación de potencia con vapor son principalmente: la caldera, el turbogenerador y los equipos auxiliares.

- **Caldera.**

La caldera puede ser piro-tubular o acu-tubular, en el caso que el fuego o el agua circule por el interior de los tubos respectivamente. Una caldera piro-tubular típica es de capacidad inferior a 1000 BHP (35000 lb/h) y maneja presiones por debajo de 300 PSIG. Una caldera acu-tubular pequeña puede generar del orden de 150.000lb/h. Un esquema comparativo del precio de calderas piro-tubulares y acu-tubulares según su potencia se aprecia en la figura 11, obsérvese el punto de corte en 3000 BHP.

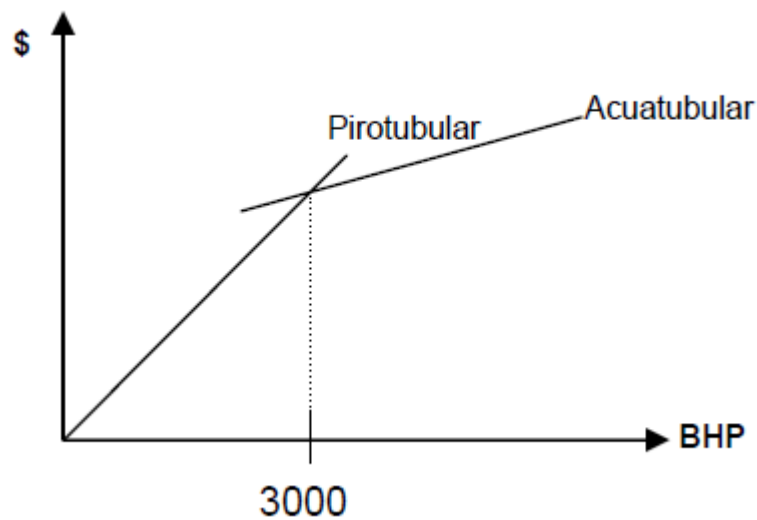


Figura 11. Comparación de tipos de calderas. @Termaltec

Como componentes auxiliares de la caldera se encuentra el economizador empleado para el precalentamiento del agua con los gases de escape, el sobrecalentador, el precalentador de aire, ventiladores de tiro forzado, ventiladores de tiro inducido, quemadores (parrilla fija, parrilla viajera, carbón pulverizado, lecho fluidizado).

Debemos añadir que las calderas mencionadas requieren de un combustible, que puede ser gas natural, ACPM, carbón o biomasa (en nuestro caso, borra de café). Incluso, pueden usar varios combustibles (de manera simultánea, por ejemplo gas natural y biomasa).

#### - **Turbogeneradores**

Los turbogeneradores están compuestos principalmente por la turbina, el generador, el condensador y bombas.

A continuación se listan unas características típicas de algunos de estos elementos.

- Turbinas de impulso con eficiencia  $\eta = 70\%$  requieren 10 lb/Kwh.
- Turbinas de reacción con eficiencia  $\eta = 80\%$  requieren 9 lb/Kwh.
- Generador de una etapa hasta 5MW.
- Generador de varias etapas mayores a 5MW.
- Condensador a contrapresión.
- Condensador a condensación.
- Condensación con extracción controlada o no controlada. Indicadores: Consumo vapor turbina turbocargada con condensación 9 -11lb/Kwh. Consumo vapor turbina contrapresión 40 -50 lb/Kwh. Costos: 100 – 200 US\$/Kw instalado.

#### - **Equipos eléctricos**

Dentro de los equipos eléctricos incluimos lo necesario para conectar el turbogenerador al sistema eléctrico de la planta. Se requeriría básicamente una subestación con sus respectivos sistemas de control y una potencia acorde a la del generador.

En la evaluación financiera del proyecto, se mostrará en detalle el valor de cada uno de estos elementos.

### 7.3. Dimensionamiento del sistema de cogeneración de energía eléctrica

Después de haber conocido el proceso productivo y sus requerimientos básicos (vapor y electricidad), podemos comenzar a dimensionar el sistema de cogeneración más adecuado. Tal como mencionamos anteriormente, la tecnología de cogeneración que mejor se adapta a nuestro caso, sería la turbina de vapor. Lo anterior se debe a que el proceso requiere vapor y requiere deshacerse del residuo sólido. Sólo una turbina de vapor, generado por una caldera puede cumplir con ambas tareas de manera simultánea.

#### 7.3.1. Descripción del sistema

A continuación, mostramos un diagrama de bloques del sistema de cogeneración propuesto:

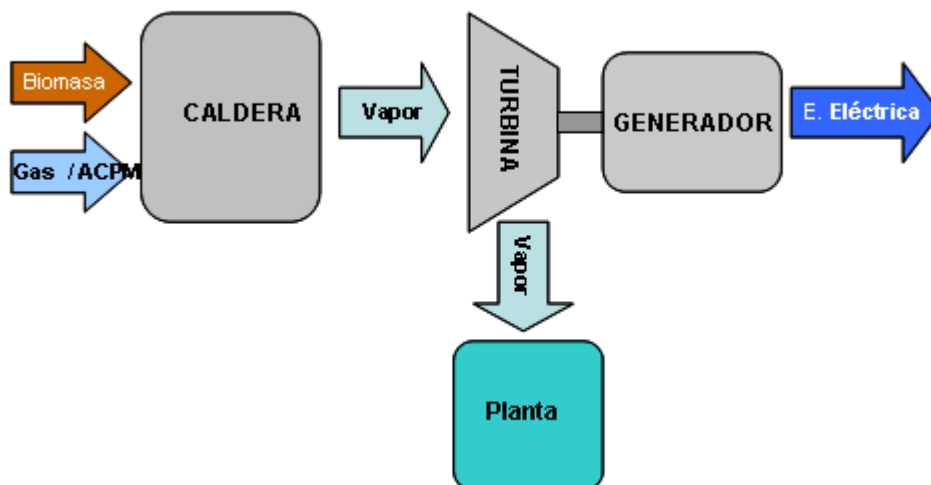


Figura 12. Diagrama de bloques del sistema de cogeneración propuesto.

Podemos observar de manera clara, que partiremos de una caldera, la cual consumirá un combustible fósil, como es el gas natural y también biomasa (borra de café). El estudio se hará basado en el supuesto de consumir gas natural, ya que el ACPM es sólo un combustible de contingencia y su costo es demasiado alto.

Es importante aclarar que se usa ACPM como respaldo, por el hecho de que es un recurso fácilmente almacenable (sólo se requieren tanques, bombas y tuberías), mientras que el gas natural es suministrado por EPM a través de su red y es poco práctico tener sistemas de almacenamiento, ya que se requerirían presiones muy altas y tanques de gigantescas dimensiones para tener una reserva importante.

El sistema entonces, operará de la siguiente manera:

La caldera quemará gas natural y biomasa (ripio o borra de café, producto de desperdicio del proceso de café soluble), para generar los kg / hr de vapor requeridos por el proceso productivo, a una presión superior a 220 libras por pulgada cuadrada.

Ese vapor, saldrá de la caldera y pasará por una turbina de vapor, la cual a su vez impulsará un generador eléctrico. El generador entregará entonces voltaje y potencia eléctrica a la red de Colcafé y el vapor que salga de la turbina, deberá tener una presión igual o superior a 220 PSI, que es la requerida por el proceso productivo. De esta manera, queda configurado el sistema de cogeneración.

### 7.3.2. Consumos históricos de energía

Para avanzar en el desarrollo de la evaluación técnica, debemos definir ahora, los requerimientos puntuales del proceso productivo, como son vapor y energía eléctrica.

#### 7.3.2.1. Vapor.

Debemos definir, flujo másico (kg /hr) y la presión asociada a dicho flujo (PSI). La presión requerida es de 220 PSI, el flujo másico será determinado a partir de los datos históricos, mostrados a continuación.

Período (comienza en 2008)	Consumo de vapor promedio (kg/hr @ 220PSI)	Gas natural (m <sup>3</sup> por mes)	Costo del gas natural (\$COP)
Enero	9,865	417,806	\$ 231.831.429,00
Febrero	11,276	466,109	\$ 284.317.899,00
Marzo	10,198	421,318	\$ 256.229.993,00
Abril	9,217	405,281	\$ 242.884.287,00
Mayo	10,403	438,651	\$ 259.577.256,00
Junio	9,091	480,786	\$ 302.626.901,00
Julio	10,566	466,293	\$ 282.627.471,00
Agosto	10,198	401,530	\$ 295.240.993,70
Septiembre	10,054	549,718	\$ 436.003.599,00
Octubre	12,065	429,092	\$ 363.652.239,00
Noviembre	12,289	432,922	\$ 364.135.426,00
Diciembre	11,908	504,263	\$ 414.240.083,00
Enero	11,734	507,290	\$ 447.243.412,00
Valor promedio	10,777	455,466	\$ 321.585.460,67

Tabla 2. Consumos históricos de vapor. @Colcafé.

De la anterior tabla la información más relevante es el consumo promedio de vapor en una hora, el cual es el requerido para alimentar el proceso productivo de la compañía. El consumo mensual de gas natural y su costo, servirán para establecer la tendencia en ambas variables, pero en especial, nos interesa el costo, ya que para la evaluación financiera posterior, debemos definir un escenario de diferentes tarifas para el gas natural, que se convertirá en un insumo básico para el proceso de cogeneración de energía.

Se consideran datos del 2008 en adelante, ya que durante dicho año, el petróleo y los productos asociados, tuvieron precios en sus máximos históricos, con los cuales podemos hacer una evaluación más pesimista del proyecto. Además, en dicho año se pusieron en marcha nuevas plantas de extracción, en la tabla se ve reflejado su consumo. No es conveniente tomar más datos hacia el pasado, ya que al no estar en operación las plantas mencionadas, el consumo era mucho menor. Adicional a lo anterior, dentro del estudio financiero estaremos haciendo un supuesto y es que el vapor producido por el proceso de cogeneración deberá tener el mismo costo que ha tenido históricamente. De esta manera, será la energía eléctrica producida la que asuma los costos adicionales asociados al proyecto. Consideramos que este supuesto permite hacer la prueba más exigente para el proyecto, en la cual calcularemos el verdadero costo de la energía eléctrica generada, para compararlo contra la tarifa de EPM.

#### **7.3.2.2. Electricidad.**

Debemos definir el potencial de energía generada en unidad de tiempo (mes) y comparar contra el consumo en la misma unidad de tiempo.

Período (comienza en 2008)	Consumo de electricidad (kWh por mes)	Costo de la electricidad (\$COP)
Enero	985,670	\$ 177.554.118,00
Febrero	940,704	\$ 172.326.095,00
Marzo	993,026	\$ 189.813.844,00
Abril	952,122	\$ 179.436.509,00
Mayo	982,601	\$ 186.626.323,00
Junio	933,908	\$ 179.382.706,00
Julio	1,001,124	\$ 199.165.081,00
Agosto	991,078	\$ 194.253.140,95
Septiembre	1,006,085	\$ 198.144.272,00
Octubre	1,013,402	\$ 203.324.031,00
Noviembre	1,014,379	\$ 205.495.159,00
Diciembre	1,009,133	\$ 197.161.082,00
Enero	1,000,117	\$ 216.000.784,00
Valor promedio	986,411	\$ 192.206.395,77

Tabla 3. Consumos históricos de energía eléctrica. @Colcafé.

Tenemos entonces un consumo promedio de 10,777 kg / hr de vapor a 220 PSI y 986,411 kWh / mes de electricidad.

Para efectos prácticos, el primer valor será redondeado a 10,000 kg / hr y el segundo a 1,000,000 kWh / mes.

La información más relevante que podemos obtener de la tabla anterior es la dimensión de las necesidades de electricidad del proceso productivo. De esta manera, al hacer la evaluación técnica, podremos comparar la energía eléctrica consumida normalmente, contra la que podríamos generar eventualmente con el proyecto. Se esperaría que la energía entregada por el proyecto de cogeneración, sea al menos el 25% del consumo promedio histórico, ya que de lo contrario, tendría poco impacto en los costos de producción.

Con base en las tablas anteriores, podemos desarrollar, los cálculos de ingeniería para estimar el potencial del proyecto.

### 7.3.3. Cálculos del sistema de cogeneración

Partimos entonces de la disponibilidad de 10,777 kg / hr de vapor. Decimos disponibilidad porque como se trata de un sistema cerrado (el vapor pasa por la turbina y luego por el proceso productivo), lo más práctico es seguir generando sólo el vapor requerido por el proceso, en caso de generar menos estaríamos desatendiendo necesidades y en caso de generar más, tendríamos que liberar el exceso a la atmósfera, siendo esto una ineficiencia.

A continuación, proponemos dos escenarios:

#### 7.3.3.1. Primer caso

##### Generación de 10,000 kg / hr de vapor a 580 PSI

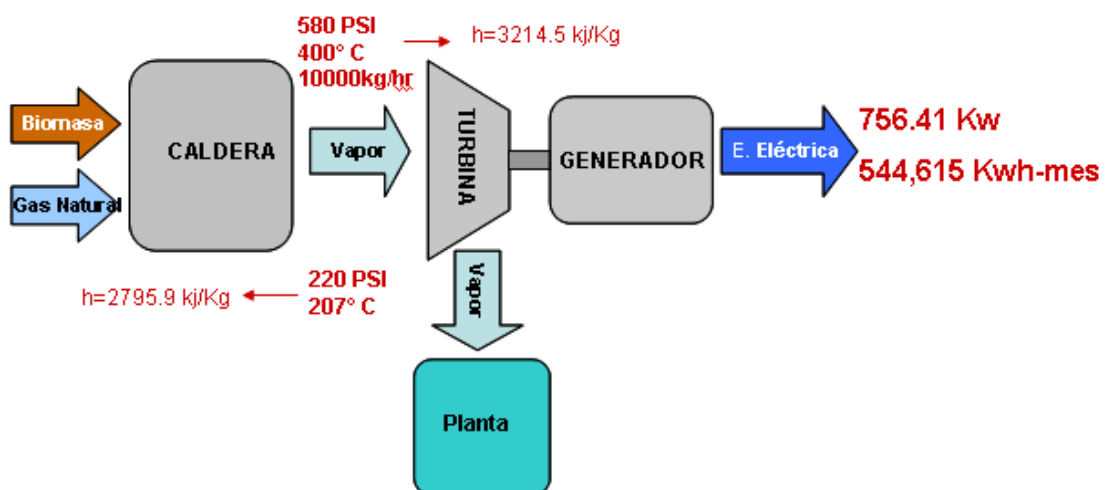


Figura 13. Diagrama de bloques del sistema de cogeneración, caso 1.

1 kg de vapor a 580 PSI, tiene una entalpía (h) de 3,214.5 kj, es decir, contiene una energía equivalente a dicha cifra. Nuestro proceso productivo requiere vapor a 220 PSI, en cuyo caso, tiene una entalpía de 2,795.9 kj. La diferencia entre estos dos valores, es la energía térmica que se convertirá en energía eléctrica en la turbina y el generador. En primera instancia, calcula cuánta energía eléctrica (kWh) se puede generar con el vapor disponible.

$$W = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \times \eta$$

$$W = 2.78 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times (3,214.5 - 2,795.9) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \times 0.65 (\eta \text{ de turbina})$$

$$W = 756.41 \text{Kw}$$

$$E = W \times \Delta t = 756.41 \text{Kw} \times 24 \text{horas} \times 30 \text{días}$$

$$E = 544,615 \text{Kwh} - \text{mes}$$

precio de la energía generada

$$E \times \$197 \text{Kwh}^* = \$107'289,222$$

\* Precio factura de energía eléctrica julio 2008

El gas natural necesario para generar ese vapor, con dichas condiciones sería:

$$Q = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \times \eta$$

$$Q = 10000 \frac{\text{Kg}}{\text{Hr}} \times 397.7 \frac{\text{BTU}}{\text{Kg}} \times 0.75 (\eta \text{ de caldera})$$

$$Q = 2'982,750 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$$

Cálculos para gas

$$Q = \dot{m} \times C_p$$

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p} = \frac{2'982,750 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}}{37,151 \frac{\text{BTU}}{\text{m}^3}} = 80.3 \frac{\text{m}^3}{\text{Hr}}$$

Precio del gas por mes

$$80.3 \times \$606 \text{m}^3^* \times 30 \times 24 = \$35'030.913 / \text{mes}$$

\* Precio factura de gas julio de 2008

### 7.3.3.2. Segundo caso

#### Generación de 10,000 kg / hr de vapor a 870 PSI

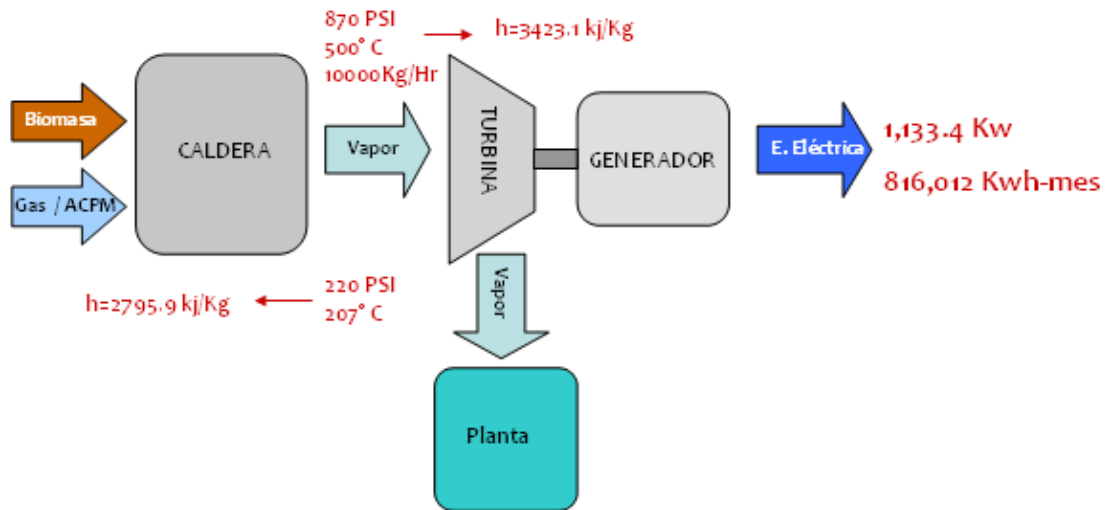


Figura 14. Diagrama de bloques del sistema de cogeneración, caso 2.

1 kg de vapor a 870 PSI, tiene una entalpía (h) de 3423,1 kJ, es decir, contiene una energía equivalente a dicha cifra.

Nuestro proceso productivo requiere vapor a 220 PSI, en cuyo caso, tiene una entalpía de 2795,9 kJ.

La diferencia entre estos dos valores, es la energía térmica que se convertirá en energía eléctrica en la turbina y el generador.

En primera instancia, calcula cuánta energía eléctrica (kWh) se puede generar con el vapor disponible.

$$W = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \times \eta$$

$$W = 2.78 \frac{Kg}{s} \times (3,423.1 - 2,795.9) \frac{KJ}{Kg} \times 0.65 (\eta \text{ turbina})$$

$$W = 1,133.4 Kw$$

$$E = W \times \Delta t = 1,133.4 Kw \times 24 \text{ horas} \times 30 \text{ días}$$

$$E = 816,012 Kwh - \text{mes}$$

Precio de la energía eléctrica generada

$$E \times \$197 / Kwh^* = \$160'754,420$$

\* Precio factura energía eléctrica julio 2008

El gas natural necesario para generar ese vapor, con dichas condiciones sería:

$$Q = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \times \eta$$

$$Q = 10000 \frac{Kg}{Hr} \times 628 \frac{BTU}{Kg} \times 0.75 (\eta \text{ caldera})$$

$$Q = 4'710,000 \frac{BTU}{Hr}$$

Cálculos para gas

$$Q = \dot{m} \times Cp$$

$$\dot{m} = \frac{Q}{Cp} = \frac{4'710,000 \frac{BTU}{Hr}}{37,151 \frac{BTU}{m^3}} = 126.78 \frac{m^3}{Hr}$$

Precio del Gas por mes

$$128.23 \times \$606 m^3^* \times 30 \times 24 = \$55'316.605 / \text{mes}$$

\* Precio factura de Gas Julio de 2008

De esta manera, comprobamos el potencial técnico del proyecto. El cálculo presentado del costo potencial de la energía generada y del gas natural requerido para la cogeneración será estudiado en mayor detalle en el estudio económico.

#### **7.4. Análisis técnico de los resultados**

Veamos los resultados de los cálculos anteriores:

##### **7.4.1. Primer caso**

- Energía generada, 544,615 kWh. Aproximamos a 544,000 kWh.
- Gas natural consumido adicional, 80,3 m<sup>3</sup> / hr. Equivalente a 57,816 m<sup>3</sup> / mes.

##### **7.4.2. Segundo caso**

- Energía generada, 816,012 kWh. Aproximamos a 816,000 kWh.
- Gas natural consumido adicional, 126,78 m<sup>3</sup> / hr. Equivalente a 91,282 m<sup>3</sup> / mes.

En ambos casos, la energía eléctrica generada es menor que el promedio histórico (986,411 kWh / mes).

En un análisis preliminar, sería lógico inclinarse por el segundo caso, o más bien, de manera general, pensar en generar vapor de presiones tan altas como sea posible, con el fin de tener una mayor generación de energía eléctrica.

Sin embargo, debemos tener en cuenta una serie de factores importantes, de tipo ambiental y de seguridad industrial, además de criterios de diseño de los equipos a utilizar.

### **7.5. Factores ambientales**

Los proyectos de cogeneración, si bien permiten disminuir la compra de energía eléctrica de la compañía local, implican usar una mayor cantidad de gas natural. Si bien los cálculos muestran que el costo del gas natural adicional es menor que el costo potencial de la energía eléctrica generada, se generaría una mayor presión sobre el consumo de gas. Además, se incrementarían las emisiones de dióxido de carbono. Para mantener un perfil saludable del proyecto en lo ambiental, optamos por mantener la presión de operación de la caldera por debajo de 600 PSI.

### **7.6. Seguridad**

La planta de Colcafé Medellín se encuentra en una zona industrial – residencial y a pocos metros de sus instalaciones se tienen viviendas de estrato 3. Dado que una caldera siempre tiene posibilidades de accidentes, se recomienda mantener las presiones bajas para minimizar el impacto en caso de accidentes.

### **7.7. Costos**

Adicionalmente, para presiones superiores a 600 PSI, el costo de la caldera aumenta considerablemente.

## **7.8. Listado de equipos requeridos**

Habiendo seleccionado la tecnología y dimensionado el sistema, listamos los equipos requeridos.

### **7.8.1. Caldera de vapor**

Se requiere para el proyecto una caldera de vapor, con una capacidad de producir hasta 20,000 kg / hr de vapor (el consumo histórico tiene un promedio de 10,000 kg / hr) y una presión de diseño de 800 PSI (se operará a máximo 600 PSI, esta diferencia hace parte del margen de seguridad) y una presión de operación de 600 PSI. También contará con quemadores de gas natural y ACPM, así como la parrilla para quemar la borra de café.

Esta caldera es de fabricación nacional y puede ser suministrada por la firma Colmáquinas / Distral. Se cotizará en pesos colombianos y como un suministro llave en mano, que incluye todos los periféricos y la ingeniería.

### **7.8.2. Turbogenerador**

Dados los cálculos, se escoge un turbogenerador de 1,2MW con su respectiva turbina de vapor. Estos dos elementos, vistos como un conjunto, pueden ser ofertados por las firmas Siemens de Colombia S.A. o Caterpillar Power Systems en dólares americanos TRM (asumimos que la compañía escogida se encarga del trámite de importación).

También se cotizará como un proyecto llave en mano.

### **7.8.3. Equipos eléctricos**

Dentro de estos equipos debemos contar con una subestación elevadora (que incluye las protecciones requeridas por el generador) y el cableado asociado. Todos estos elementos pueden ser suministrados por la firma Siemens S.A. y ser cotizados en pesos colombianos como un proyecto llave en mano.

### **7.8.4. Obras civiles**

Las obras civiles requeridas para el sistema de cogeneración serán llevadas a cabo por Colcafé a través de un tercero. Estas obras civiles serán costeadas y su valor total se tendrá en cuenta en la evaluación financiera.

### **7.8.5. Operación y mantenimiento**

La caldera en su operación tendrá un consumo de agua, gas natural y electricidad, así como de otros insumos menores (químicos para el tratamiento del agua, soda cáustica para limpieza, etc).

Con base en la experiencia de la compañía, se define que se requerirán dos operarios por turno, operando las 24 horas del día, durante 365 días al año. Además se requerirá un ingeniero para supervisar el equipo. Para las labores de mantenimiento se requiere en promedio de un técnico, trabajando durante 8 horas diarias.

Estos costos serán presentados en la evaluación financiera del proyecto.

## 8. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Dado que este proyecto tiene un impacto directo sobre recursos energéticos, tales como gas natural y energía eléctrica, el estudio ambiental hace parte estructural del mismo.

Es importante estudiar cómo el proceso productivo del café soluble genera no sólo presión sobre los recursos energéticos mencionados, sino también, como impacta el medio ambiente, en lo referente a emisiones de material particulado, COx, SOx y NOx.

Si bien nuestro proceso productivo no implica el uso de productos químicos (las materias primas requeridas son sólo café verde y agua), sí se tienen unos impactos potencialmente peligrosos para el ambiente, que explicaremos a continuación, basados en el numeral 7.1.

Resulta, que durante el proceso productivo, se tienen algunos productos de desperdicio, por ejemplo, en el proceso de tostión, el café pierde una especie de capa superficial, la cual al verse expuesta a altas temperaturas se convierte en un material particulado, sumamente liviano, conocido como cisco de café (*chaff*). Este cisco es un producto de muy baja humedad y que puede hacer combustión de manera espontánea al verse sometido a temperatura ambiente y a la presión atmosférica.

Actualmente en la planta de Colcafé Medellín se obtienen unos 9000 kg diarios de cisco y son incinerados en la caldera, como parte del combustible requerido para su operación.

Por otro lado, en el proceso de extracción de sólidos solubles, queda como residuo el ripio de café (también llamado borra de café o *spent ground*). En promedio podemos decir que cada día se obtienen 250 toneladas de este

desperdicio. La disposición correcta de semejante volumen de ripio, sumado a las 9 toneladas de cisco, presentarían un inmenso reto para la ingeniería ambiental, aún cuando se trate de un producto orgánico, sin adición de ninguna clase de productos químicos. La industria del café soluble tradicionalmente ha desechado estos residuos en rellenos sanitarios, también se han aprovechado para producir fertilizantes orgánicos y en algunos casos, como materia prima para biodigestores, en los cuales se obtiene gas metano con la descomposición del ripio.

Sin embargo, Colcafé cuenta con una tecnología que permite disponer de ambos desperdicios de una manera más sencilla y económicamente más conveniente.

Tal como dijimos anteriormente, el cisco es quemado en la caldera, siendo parte del combustible requerido. Dado que su volumen no es muy grande, no es representativo. Pero el ripio de café sí presenta unos volúmenes muy grandes y además, según estudios realizados por la compañía, cuenta con un poder calorífico del orden de 18,000 BTU / kg. Como referencia, un kilogramo de carbón cuenta con aproximadamente 19,000 BTU / kg.

Lo anterior representa entonces un recurso energético renovable, amigable con el ambiente (el ripio no contiene azufre como sí el carbón y otros combustibles líquidos derivados del petróleo) y sobre todo, gratuito.

Este ripio, quemado entonces en la caldera, representa aproximadamente el 80% del requerimiento de combustible de la misma y resuelve también el problema de su disposición, ya que las cenizas resultantes representan menos de 100 kg por día. Como combustible también se usa gas natural para completar los requerimientos.

En cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub>, este proceso es neutro, ya que el CO<sub>2</sub> emitido en la combustión es el mismo que absorbieron los cultivos de café en su crecimiento.

Toda la información anterior fue suministrada por el área técnica de Colcafé.

### 8.1. Legislación ambiental aplicable

Como parte del estudio, debemos mencionar la legislación vigente, siendo la más relevante, la resolución 909 del 5 de junio del 2008, emitida por el Ministerio del Medio Ambiente. En el artículo 8, están definidos los niveles admisibles para emisiones a la atmósfera por equipos de combustión externa con una capacidad instalada menor a 20MW (como es nuestro caso).

Combustible	Niveles de emisión admisibles (mg / m <sup>3</sup> )		
	Material particulado	SO <sub>2</sub>	N0x
Sólido	50	500	350
Líquido	50	500	350
Gaseoso	No aplica	No aplica	350

Tabla 4. Niveles de emisión admisibles en calderas. Fuente: Resolución 909 del 5 de junio del 2008. Ministerio del Medio Ambiente.

También se define que los gases de salida de la caldera deben tener un contenido de oxígeno de al menos 11%.

### 8.2. Mecanismos de control ambiental

Dado que nuestro proyecto parte de la base de comprar una nueva caldera, dentro de las especificaciones entregadas a la firma Colmáquinas S.A. se incluyó la necesidad de contar con un filtro de mangas. Estos filtros son una

tecnología bastante madura y garantizan los niveles de emisión de material particulado exigido por la resolución antes mencionada.

También se incluye un medidor de oxígeno, el cual permitirá a los operarios hacer un monitoreo del estado y eficiencia de la combustión en la caldera.

### **8.3. Plan de control ambiental**

Dado que nuestra caldera deberá operar durante al menos 10 años (horizonte de evaluación del proyecto), de alguna manera debemos tener un seguimiento de su estado, en lo referente a los temas ambientales.

Proponemos entonces hacer mediciones “isocinéticas” al menos una vez al año. En estas mediciones tendremos información sobre la cantidad de material particulado emitido, los niveles de NOx y SOx, así como de COx. Estas mediciones serán realizadas por una firma externa y que cuente con equipos debidamente controlados por un laboratorio de metrología acreditado.

Dentro de la propuesta técnica obtenida para la caldera, la firma Colmáquinas, incluye la instrumentación requerida para medir el nivel de oxígeno, así como un filtro de mangas, con lo cual se podrá cumplir con los niveles exigidos de emisiones de material particulado.

El costo de estas mediciones está incluido dentro del rubro “Mantenimiento y repuestos” enunciado en la evaluación financiera.

En cuanto a la disposición de las cenizas resultantes de la combustión del ripio y del cisco, se entregará a Empresas Varias de Medellín como residuo orgánico, ya que al tener un volumen tan pequeño (menos de 100 kg por día) no representan un problema mayor.

#### **8.4. Emisión de bonos ambientales**

Dado que este proyecto permitiría un uso más eficiente de los recursos energéticos, al quemar bio-masa como combustible sustituto, por su pequeña escala, no tendría la posibilidad de generar unos bonos CRE's con un valor comercial importante. Además, el GNCH ha definido dentro sus políticas ambientales, no vender los bonos CRE's que eventualmente pudiera generar, esto como un compromiso ambiental y social, en el cual se busca reducir emisiones, pero no cederlas a otras compañías.

Sin embargo, consideramos importante resaltar que este proyecto es un excelente ejemplo del uso inteligente de residuos, que de otra manera, terminarían siendo un problema ambiental.

## 9. ESTUDIO FINANCIERO

En esta etapa del proyecto, procederemos a cuantificar la inversión requerida para la construcción, puesta en marcha y operación del sistema de cogeneración. Inmediato a lo anterior, cuantificaremos el costo de la electricidad cogenerada y haremos la comparación contra la tarifa histórica de EPM y contra la proyección de la misma.

### 9.1. Información base para del estudio financiero

Para el estudio, partiremos de la siguiente información, suministrada por Colcafé S.A. a menos que se indique otra fuente:

- Incremento en el precio de la energía eléctrica: IPC + 10%. @EPM.
- Incremento en el precio del gas natural: IPC + 12%. @EPM.
- Incremento en el precio del agua potable: IPC+2%. @EPM.
- Inversiones o repuestos: se proyectan con el IPC.
- Incremento en el costo de la mano de obra general: IPC + 2%.
- Incremento en los costos indirectos de fabricación: IPC + 0,5%. Estos costos son iguales para la situación sin el proyecto y para la evaluación con el proyecto. Dado que suman en ambos escenarios, no se tienen en cuenta en el flujo de caja.
- Depreciación: método de línea recta, 10 años.

- Vida útil de los activos: 20 años. No se estima un valor de rescate ya que los equipos deberán operar de manera indefinida.
- Horizonte de evaluación del proyecto: 10 años.
- Demanda de energía: se asume estática, ya que si en el futuro aumenta el consumo de vapor, simplemente se tendrá mayor energía eléctrica generada.
- Tasa de cambio: como se indica en el numeral 6.3.
- Costo de capital: para Colcafé S.A. es del orden del 13%.
- El costo del kg de vapor será igual al que se tiene como registro histórico y es de \$30 por kg a una presión de 220 PSI. La justificación de este supuesto se encuentra en el numeral 7.3.2.1. El incremento anual será del IPC. Es importante aclarar que este costo es bajo si se compara con las demás compañías del sector de alimentos y esto es posible por el uso de la borra de café como combustible en la caldera. Este valor ya asume el costo del gas natural, energía eléctrica, agua y demás requerimientos.
- La tarifa de energía incluirá la contribución del 20% que es obligatoria para los usuarios industriales. Si bien es un impuesto, se considerará como parte del costo de la energía.

## **9.2. Dimensionamiento de la inversión**

La inversión a realizar consta entonces de los siguientes elementos, tal como se definió en la evaluación técnica.

### **9.2.1. Caldera de vapor**

Con una capacidad de 20,000 kg / hr, tendría un costo de COL\$5,000MM, llave en mano. Tiene un tiempo de entrega de 1 año.

### **9.2.2. Turbogenerador**

Con una capacidad de 1,2 MW, tendría un costo de US\$1,3MM (TRM). Tiene un tiempo de entrega de 1 año.

### **9.2.3. Equipos eléctricos**

Con una capacidad de 2 MW, tendrían un costo de COL\$1,500MM. Tienen un tiempo de entrega de 1 año.

### **9.2.4. Obras civiles**

Se construirían 400 m<sup>2</sup>, con un costo de COL\$900MM. Tienen un tiempo de entrega de 1 año.

### **9.2.5. Operación y mantenimiento**

Se asume que el equipo no requerirá grandes reinversiones en 10 años (una caldera tiene una vida útil de 20 años o más). En los costos de mantenimiento se incluirán todas las reparaciones y repuestos requeridos.

De esta manera, podemos estimar los costos de operación y mantenimiento.

- **Operarios:**

Se requerirán 6 operarios diarios (2 por turno de 8 horas) y 2 supernumerarios que cubran el día de descanso de los 6 anteriores y sus respectivas vacaciones. Estos operarios tendrían un salario estimado de \$1,5MM mensuales. Se aplica un factor de 2 para tener en cuenta los parafiscales y las prestaciones extralegales de la compañía.

Lo anterior totaliza \$288MM por año.

- **Ingeniero:**

Se requiere de un ingeniero de dedicación exclusiva a la operación del proyecto. Se le asigna un salario de \$3MM mensual y el mismo factor del numeral anterior.

Lo anterior totaliza \$72MM por año.

- **Técnicos de mantenimiento:**

Según los históricos de la compañía, esta clase de equipos requieren poco menos de 200 horas hombre por mes para la atención de mantenimiento. Esto equivale a un técnico, trabajando 8 horas diarias. Se le asigna un salario de \$1,8MM mensual y el mismo factor prestacional.

Lo anterior totaliza \$43,2MM por año.

- **Repuestos y servicios externos:**

Según los históricos de la compañía, se ha requerido de un presupuesto del orden de \$250MM por año para la compra de repuestos y servicios externos en esta clase de equipos.

- **Consumo de gas natural:**

Como dijimos anteriormente, la caldera operará la mayor parte del tiempo con borra de café, la cual sólo tiene como costo la energía eléctrica requerida para llevarla desde las plantas de extracción hasta la caldera. Sin embargo, históricamente se ha necesitado también de 30,000 m<sup>3</sup> por mes para mantener la operación del sistema (por ejemplo para atender demandas pico, para atender tiempos de mantenimiento en equipos periféricos asociados con el tratamiento o transporte de la borra de café o para el proceso de arranque de la caldera).

También se requiere gas natural para alcanzar la presión deseada (alrededor de 600 PSI). Según los cálculos presentados en el estudio técnico, se requerirían 57,816 m<sup>3</sup> mensuales.

Podemos redondear el consumo mensual de gas natural a 100,000 m<sup>3</sup>, siendo equivalente a 1,200,000 m<sup>3</sup> por año.

Normalmente, estos equipos operan durante 330 días al año (se reservan 30 días para labores de mantenimiento, en las cuales el equipo no opera). De esta manera, podemos multiplicar el estimado anual de gas por un factor de 0,95 (aproximadamente 330 / 360).

El dato para el estudio financiero será de 1,140,000 m<sup>3</sup> por año.

La tarifa de referencia será la del mes de abril del 2009 (\$700 / m<sup>3</sup>).

- **Consumo de electricidad:**

Según los históricos de la compañía, la caldera y sus sistemas asociados (sistema de transporte de borra, ventiladores, bombas, oficinas de operarios, iluminación, etc) consumen 180,000 kWh por mes, para totalizar 2,160,000 kWh por año.

Normalmente, estos equipos operan durante 330 días al año (se reservan 30 días para labores de mantenimiento, en las cuales el equipo no opera). De esta manera, podemos multiplicar el estimado anual de energía eléctrica por un factor de 0,95 (aproximadamente 330 / 360).

El dato para el estudio financiero será de 2,052,000 kWh por año. La tarifa de referencia será la del mes de abril del 2009 (\$225 / kWh).

- **Consumo de agua:**

Históricamente se ha encontrado que la caldera requiere de 15 m<sup>3</sup> por hora de agua para reponer su nivel. Esto equivale a 131,000 m<sup>3</sup> de agua por año.

Aplicando el mismo factor de los numerales anteriores, el dato para el estudio financiero será de 125,000 m<sup>3</sup> por año. La tarifa de referencia será la del mes de abril del 2009 (\$3415 / m<sup>3</sup>).

- **Costos indirectos de fabricación.**

El proyecto deberá asumir parte de los CIF de la compañía. Actualmente el proceso de generación de vapor asume un valor anual \$1,500 MM. Dato aportado por la Dirección Financiera de Colcafé. Sin embargo, ese mismo

valor lo asume el proceso de generación de vapor en la actualidad, por lo cual podemos dejarlo en cero en ambos flujos de caja.

### 9.3. Elaboración del flujo de caja del proyecto

A continuación elaboramos el flujo de caja del proyecto, en todas sus etapas.

#### 9.3.1. Inversiones

Las inversiones para el proyecto de cogeneración serían:

INVERSIONES		
Equipo	Capacidad nominal	Costo (\$COP)
Caldera	20,000 kg / hr	\$ 5.000.000.000,00
Turbogenerador	1,2 MW	\$ 2.723.500.000,00
Equipos eléctricos	2 MW	\$ 1.500.000.000,00
Obras civiles	400 m2	\$ 900.000.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 10.123.500.000,00</b>

Tabla 5. Inversiones requeridas.

#### 9.3.2. Depreciaciones

Las inversiones se depreciarán en línea recta, en un período de 10 años.

DEPRECIACIONES		
Equipo	Costo (\$COP)	Depreciación anual (\$COP)
Caldera	\$ 5.000.000.000,00	\$ 500.000.000,00
Turbogenerador	\$ 2.723.500.000,00	\$ 272.350.000,00
Equipos eléctricos	\$ 1.500.000.000,00	\$ 150.000.000,00
Obras civiles	\$ 900.000.000,00	\$ 90.000.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 10.123.500.000,00</b>	<b>\$ 1.012.350.000,00</b>

Tabla 6. Depreciaciones.

### 9.3.3. Consumo y costo de los servicios públicos

Los equipos asociados al proyecto de cogeneración tienen un consumo importante de gas natural, energía eléctrica y agua potable, para poder operar.

CONSUMO Y COSTO DE SERVICIOS PÚBLICOS			
	Consumo (m <sup>3</sup> o kWh)	Tarifa (\$COP)	Costo Anual (\$COP)
Gas natural	1.140.000,00	\$ 700,00	\$ 798.000.000,00
Energía eléctrica	2.052.000,00	\$ 225,00	\$ 461.700.000,00
Agua potable	125.000,00	\$ 3.415,00	\$ 426.875.000,00

Tabla 7. Consumo y costos de servicios públicos.

### 9.3.4. Costos de operación del proyecto

Debemos tener en cuenta que el proyecto tiene unos costos de operación, además del gas natural, energía eléctrica y agua potable, como son la mano de obra y el mantenimiento (repuestos y servicios externos).

<b>COSTOS ANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo (\$COP)</b>
Operarios	\$ 288.000.000,00
Ingeniero	\$ 72.000.000,00
Técnicos de mantenimiento	\$ 43.200.000,00
Repuestos y servicios externos	\$ 250.000.000,00
Gas natural	\$ 798.000.000,00
Energía eléctrica	\$ 461.700.000,00
Agua potable	\$ 426.875.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.339.775.000,00</b>

Tabla 8. Costos de operación del proyecto.

### 9.3.5. Flujo de caja del proyecto

Para la elaboración del flujo de caja del proyecto, tendremos en cuenta dos escenarios: la situación actual (sin el proyecto) y la situación futura (con el proyecto).

Ver anexo A, para los flujos de caja.

### 9.3.6. Análisis de los resultados

Los resultados de los flujos de caja son, en resumen, los siguientes:

- Situación sin el proyecto

<b>COSTO DE CAPITAL</b>	13%
<b>VPN</b>	<b>\$ -26.912.920.349,66</b>

Según esto, el proyecto tiene un valor presente neto negativo, calculado con un costo de capital del 13%.

Este resultado no debe entenderse como negativo en primera instancia, ya que por ser un proyecto de reducción de costos debe ser comparado contra la situación con el proyecto.

- Situación con el proyecto

<b>COSTO DE CAPITAL</b>	13%
<b>VPN</b>	\$ -29.226.145.291,69

Según esto, el proyecto tiene un valor presente neto negativo, calculado con un costo de capital del 13%.

Este resultado no debe entenderse como negativo en primera instancia, ya que por ser un proyecto de reducción de costos debe ser comparado contra la situación sin el proyecto.

- Análisis del flujo de caja diferencial

Tal como se ve en el anexo, el flujo de caja diferencial presenta los siguientes resultados:

<b>COSTO DE CAPITAL</b>	13%
<b>VPN</b>	\$ -2.313.224.942,02
<b>TIR</b>	7%
<b>TIRM</b>	10%

De esta manera, vemos que con las condiciones planteadas originalmente, el proyecto no es viable.

- Análisis de las variables involucradas

A partir del conocimiento técnico, podemos asegurar que las dos variables claves en el VPN del proyecto, o mejor, en su viabilidad son el costo del kWh y el costo del gas natural.

Lo anterior se explica en que si bien el proyecto de cogeneración busca aprovechar las energías remanentes que tradicionalmente se han perdido, implica consumir una mayor cantidad de gas natural para reemplazar los kWh comprados.

En Medellín, tenemos el gas natural más costoso del país (estamos muy lejos de los pozos de la Guajira y los llanos orientales) y la energía eléctrica más barata (la inmensa mayoría de las centrales hidroeléctricas están en Antioquia).

Es decir, las variables juegan en contra del proyecto.

Sin embargo, en la costa atlántica, la situación es inversa y dado que Colcafé cuenta con una planta en la ciudad Santa Marta, este proyecto pudiera ser interesante en dicha ciudad.

Actualmente esta planta se dedica sólo a producir café tostado y molido, que no requiere suministro de vapor. Pero, dado que en un futuro podría pensarse en montar plantas de café soluble en dicha instalación, este proyecto puede materializarse.

Por ejemplo, tomando como referencia las tarifas en la planta de Santa Marta para el mes de abril del 2009, gas natural \$500 / m<sup>3</sup>, energía eléctrica \$250 / kWh y agua suavizada \$4,000 / m<sup>3</sup>, tenemos los siguientes resultados.

<b>COSTO DE CAPITAL</b>	13%
<b>VPN</b>	\$ 334.717.997,07
<b>TIR</b>	13,8%
<b>TIRM</b>	13,4%

Bajo las condiciones alternas mencionadas, el proyecto se hace viable.

#### **9.4. Análisis de sensibilidad**

Dado que las condiciones supuestas originalmente pueden tener variaciones importantes, consideramos oportuno hacer un análisis de sensibilidad.

Básicamente hay dos variables que impactan de manera significativa el proyecto, como son: el costo del kWh y el costo del gas natural. Según la UPME, el costo del kWh se compone de la oferta de los diferentes generadores hidráulicos y térmicos, por lo cual, el costo del gas natural también lo afecta. Podemos concluir entonces que la variable que mayor peso tiene en el análisis del proyecto es el costo del gas natural.

Además del caso estudiado para la planta de Santa Marta, haremos un análisis de sensibilidad para encontrar la tarifa del gas natural que hace el VPN igual a cero.

El análisis de sensibilidad se hará entonces con dicha variable.

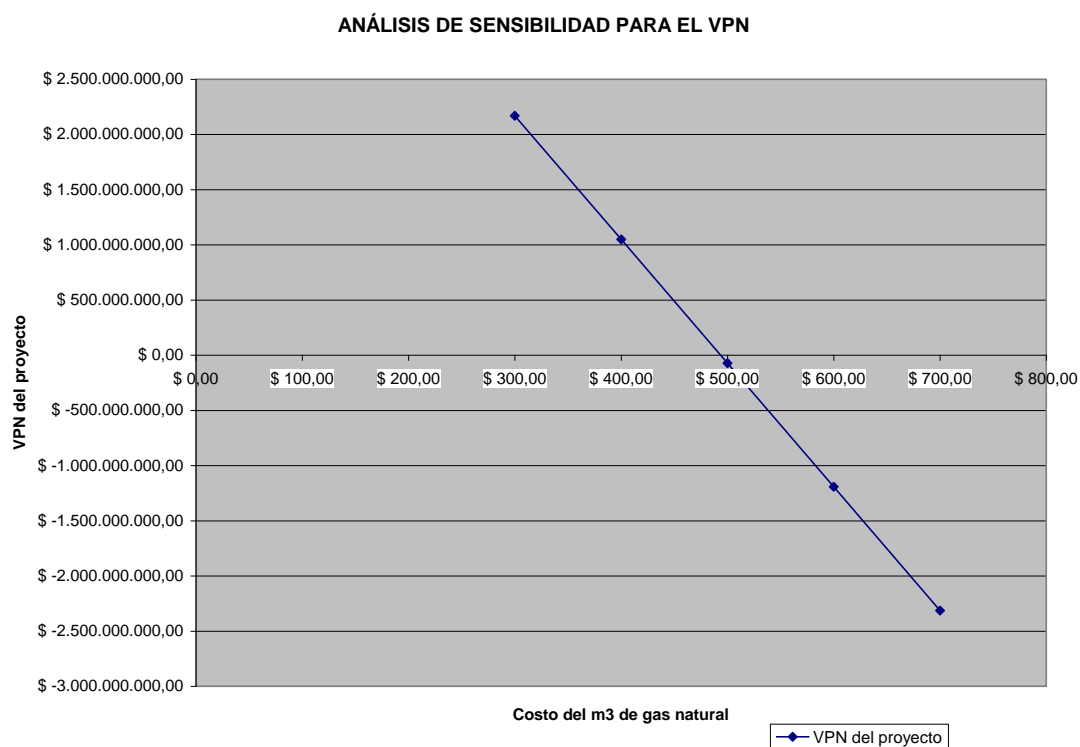


Figura 15. Análisis de sensibilidad.

Vemos entonces que el VPN del proyecto responde de manera lineal a la tarifa del gas natural, teniendo un punto de equilibrio en aproximadamente COP\$493 por metro cúbico de gas natural, con COP\$225 para el kWh y COP\$3,415 para el metro cúbico de agua. Estas tarifas aplican para el año 2010 y crecen tal como se indica en el estudio financiero.

## 10. CONCLUSIONES

- Como se evidenció en el estudio financiero, el proyecto de cogeneración de energía eléctrica y vapor no es viable para la planta de Colcafé Medellín. Sin embargo, como vimos en el estudio de sensibilidad, el factor determinante es el valor del gas natural, por lo cual, estos proyectos de cogeneración deben enfocarse en las plantas ubicadas en la costa atlántica, en donde el gas natural es más económico y la energía eléctrica es más costosa.
- Si bien con los proyectos de cogeneración se reduce la presión sobre el recurso energía eléctrica, se incrementa sobre el recurso gas natural, que si bien está disponible, nuestro país cuenta con reservas limitadas. Esto sin embargo, no es tan negativo, ya que hoy en día el gas natural tiene un precio amarrado al precio internacional y la energía eléctrica, tal como mencionamos al principio, va a tener la misma tendencia de establecer un precio internacional en los próximos años.
- Al utilizar biomasa, se puede aprovechar como energía inicial en la generación de vapor, para posteriormente usar gas natural para terminar la generación del vapor de alta presión, con el cual puede generarse energía eléctrica.
- Como se evidenció en el estudio preliminar, el proyecto de cogeneración es viable bajo las consideraciones establecidas, similares a las existentes en las diferentes plantas.

## 11. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

- @Eafit. [www.eafit.edu.co](http://www.eafit.edu.co). Material de clase de la materia “Política de empresas”. Eafit. 2009.
- @UPME. [www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co). Estudios sectoriales de cogeneración en Colombia. UPME. 2008.
- @Bancolombia. [www.bancolombia.com.co](http://www.bancolombia.com.co). Proyecciones macroeconómicas 2009. Bancolombia. 2009.
- @Ilustramos. [www.ilustramos.com](http://www.ilustramos.com). Café.pdf. ORTIZ, Angela y Ramírez, Juan. Universidad del Valle. 2007.
- @Termaltec. [www.termaltec.com.co](http://www.termaltec.com.co). Memorias del curso de sistemas de cogeneración. Termaltec Ltda. 2008.
- @EPM. [www.epm.com.co](http://www.epm.com.co). Proyecciones. EPM S.A. 2009.
- @COLCAFE. [www.colcafe.com.co](http://www.colcafe.com.co). Nuestra historia. Colcafé S.A. 2009.
- BACA, Guillermo. Evaluación financiera de proyectos. Bogotá. Fondo Educativo Panamericano. 2004.
- BEHRENS, W. y HAWRANEK, P. Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial. ONUDI. Viena. 1994.

## 12. GLOSARIO

- BTU: Unidad térmica británica.
- Cisco: capa exterior de los granos de café que se desprende durante el proceso de tuestión.
- *Commodity*: es un bien o servicio para el que existe demanda, pero que es provisto sin gran aportación de valor por el mercado.
- Costo de capital: promedio ponderado del costo de las diferentes fuentes de financiación de una compañía.
- Entalpía: cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.
- kWh: kilovatio-hora. Unidad de medida de energía.
- Ripio o borra de café: granos de café tostado y molido desechados en el proceso de café soluble.
- *Spent ground*: ripio o borra de café desechado en el proceso de producción de café soluble.
- TIR: Tasa interna de retorno.
- VPN: Valor presente neto.

## **ANEXO 1**

### **FLUJOS DE CAJA DEL PROYECTO**













## **ANEXO 2**

### **RESUMEN**

#### **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA INSTALAR UN SISTEMA DE COGENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA PLANTA DE COLCAFÉ MEDELLÍN**

El presente trabajo de grado se realiza dentro de un contexto industrial y pretende, a la luz de todo lo anterior, determinar si una propuesta de cogeneración de energía eléctrica y vapor puede ser viable para la compañía Colcafé S.A. y hacer parte de una estrategia de crecimiento rentable. Colcafé es una compañía que utiliza una cantidad muy importante de recursos energéticos, los cuales indudablemente tienen un peso muy importante dentro de sus costos de producción, además, genera un impacto ambiental importante, no sólo en los recursos demandados sino también en los alrededores de su planta de Medellín.

La cogeneración de energía eléctrica es el aprovechamiento de energías residuales del proceso productivo o bien, el aprovechamiento de energías iniciales. En el caso de la cogeneración de energía eléctrica a base de plantas térmicas, se busca aprovechar la energía remanente en el vapor usado para calentamiento en el proceso industrial. Actualmente, Colcafé requiere para su proceso productivo vapor con una presión del orden de 220 PSI. La idea del proyecto es generar vapor de una presión superior (más adelante definiremos el valor) para que impulse la turbina y al salir de ésta, tenga la presión mencionada para atender el proceso productivo. Finalmente, procederemos a cuantificar la inversión requerida para la construcción, puesta en marcha y operación del sistema de cogeneración.

Palabras clave: ENERGÍA, CRECIMIENTO RENTABLE, IMPACTO AMBIENTAL, VAPOR, ELECTRICIDAD, PROCESO PRODUCTIVO.