

**DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROCESO PRODUCTIVO DE DULCES DE
GUAYABA UTILIZANDO GAS NATURAL EN EL MUNICIPIO DE MONQUIRÁ**

**NATALIA BURGOS URIBE
KAREN SILENA ZARATE MELGAREJO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2006

**DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROCESO PRODUCTIVO DE DULCES DE
GUAYABA UTILIZANDO GAS NATURAL EN EL MUNICIPIO DE MONQUIRÁ**

**NATALIA BURGOS URIBE
KAREN SILENA ZARATE MELGAREJO**

Trabajo de grado presentado para optar el título Ingeniero Químico

**Director
HUMBERTO ESCALANTE HERNANDEZ
PH. D. Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2006**

CONTENIDO

	pag.
INTRODUCCIÓN	10
1. FUNDAMENTO TEÓRICO	11
1.1 PRODUCCIÓN DE BOCADILLO DE GUAYABA	11
1.2 GENERACIÓN DE VAPOR EN CALDERAS	11
1.2.1 Combustible	14
1.2.2 Suministro de aire.	15
1.2.3 Agua de alimentación a la caldera	15
1.2.4 Tipos de Calderas	15
1.2.5 Capacidad de producción de vapor de las calderas	16
1.2.6 Eficiencia de caldera	17
2. METODOLOGÍA	18
2.1 APROPIACIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN DE BOCADILLO UTILIZANDO CARBÓN MINERAL	20
2.1.1 Inspección de las fábricas del municipio de Moniquirá y selección de la fábrica a evaluar	20
2.1.2 Registro de variables en la línea de operación de materia prima y producción, y registro de variables en la línea de generación de vapor.	21
2.1.3 Determinación de propiedades fisicoquímicas de la materia prima, productos intermedios y análisis último de los combustibles y la escoria	22
2.1.4 Balances de masa y energía.	22
2.1.5 Determinación de los indicadores de producción	23
2.1.6 indicadores ambientales	24
2.2 DISEÑO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE BOCADILLO UTILIZANDO GAS NATURAL	25

2.2.1	Parámetros de operación de la caldera a gas natur	25
2.2.2	Purga de agua de caldera	25
2.2.3	Presión de trabajo en las pailas de cocción.	25
2.2.4	Eficiencia de la caldera	26
2.2.5	Determinación de la capacidad de producción de vapor y de procesamiento de materia prima y el consumo de combustible	26
2.2.6	Estados Termodinámicos del vapor en el sistema de distribución de vapor.	26
2.2.7	Cálculo de espesores de material aislante en las tuberías y pailas de cocción y contabilización de las pérdidas energéticas por tramo de tubería.	27
2.2.8	Distribución de los tiempos de duración de las etapas de producción y número de operarios requeridos.	27
2.2.9	Inventario de Equipos	27
2.3	EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BOCADILLO UTILIZANDO GAS NATURAL.	27
2.3.1	Estimación de la inversión inicial, los costos de producción y gastos de administración y de ventas.	28
2.3.2	Flujo de caja neto.	28
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
3.1	PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN DE BOCADILLO UTILIZANDO CARBÓN MINERAL	30
3.1.1	Registro de va	30
3.1.2	Resultados balances de masa y energía	32
3.1.3	Indicadores de producción	34
3.1.4	Indicadores ambientales	35

3.2 PROCESO PRODUCTIVO UTILIZANDO GAS NATURAL	36
3.2.1 Capacidad de la planta.	36
3.2.2 Consumo de combustible	36
3.2.3 Agua de purga, de reposición y de alimentación a la caldera.	36
3.2.4 Estados termodinámicos del vapor de servicio	37
3.2.5 Sistema de conducción de vapor y condensado.	37
3.2.6 Organización de los “puntos” de producción.	388
3.2.8 Operarios	38
3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO PRODUCTIVO UTILIZANDO GAS NATURAL	39
3.3.1 Inversión inicial, costos de producción, gastos de administración y de ventas, financiación del proyecto.	39
3.3.2 Parámetros de evaluación de proyectos	40
3.3.3 Costos de producción de bocadillo	43
CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS	49

FIGURAS

	pag.
Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de producción de bocadillo	12
Figura 2. Metodología aplicada	18

TABLAS

pag.

Tabla 1. Descripción de las etapas de producción de bocadillo	13
Tabla 2. Características de la fábrica “La Selección”	20
Tabla 3. Registro de variables en la línea de materia prima y producto	21
Tabla 4. Registro de variables en caldera y sistema de conducción de vapor	22
Tabla 5. Análisis último de los combustibles	23
Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas de las muestras de proceso	30
Tabla 7. Análisis próximo del carbón, semilla de guayaba y escoria	30
Tabla 8. Resultado de registro de variables de línea de producción y sistema de conducción de vapor	31
Tabla 9. Resultados balances de masa y energía en la línea de materia prima y producción	32
Tabla 10. Resultados balances de masa y energía en la caldera a carbón mineral y semilla de guayaba	33
Tabla 11. Indicadores de producción del proceso con la caldera a carbón	34
Tabla 12. Indicadores ambientales	35
Tabla 13. Agua de purga, de reposición y de alimentación a la caldera	37
Tabla 14. Características del servicio de vapor	37
Tabla 15. Pérdidas de energía en las pailas y en el sistema de conducción de vapor y condensado.	38
Tabla 16. Organización de los puntos de producción	39
Tabla 17. Total de inversión en el período de instalación	39
Tabla 18. Costo sintetizado de producción de bocadillo utilizando gas natural	40
Tabla 19. Cuotas de pago del crédito para la financiación de la inversión	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 20. Flujo de caja de la producción de bocadillo con gas natural proyectado a cinco años	41

Tabla 21. Costo de producción de bocadillo utilizando carbón mineral	44
Tabla 22. Costo de producción de bocadillo utilizando gas natural	45

ANEXOS

Anexo A Fotografías de los equipos de producción de bocadillo

Anexo B Diagrama de capacidad de calderas pirotubulares a diferentes presiones de operación y temperaturas de agua de alimentación

Anexo C Clasificación de las fabricas de bocadillo en el Municipio de Moniquirá

Anexo D Diagramas de puntos de recolección de datos para el proceso, y generación de vapor con carbón

Anexo E Formatos de recolección de datos

Anexo F Determinación de la capacidad calorífica de la guayaba verde y del slurry

Anexo G Balances de masa y energía en las etapas de proceso y generación de vapor con carbón

Anexo H Factores de emisión para SO_x , NO_x , CO y material particulado para la combustión de carbones bituminosos y subbituminosos

Anexo I Norma de emisiones contaminantes del aire para calderas

Anexo J Procedimiento de diseño de la planta productora de bocadillo utilizando gas natural

Anexo K Información para la evaluación económica de la planta a gas natural

TITULO* : DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROCESO PRODUCTIVO DE DULCES DE GUAYABA UTILIZANDO GAS NATURAL EN EL MUNICIPIO DE MONQUIRÁ

AUTORES: BURGOS URIBE, Natalia. ZARATE MELGAREJO, Karen Silena**

PALABRAS CLAVES: Bocadillo, calderas, carbón mineral, gas natural, emisiones contaminantes.

CONTENIDO: En el proceso de elaboración del bocadillo, para la cocción del dulce de guayaba se utiliza vapor de agua generado en una caldera que opera con carbón mineral. Las calderas operan con baja eficiencia y emiten monóxido de carbono, material particulado y compuestos azufrados.

En el presente trabajo se evaluó la alternativa de operación de las calderas con gas natural mediante el diseño de una planta productora de bocadillo que utilice este combustible, que conste de las mismas etapas y equipos de producción que actualmente existen en las fábricas, por tanto en un principio se caracterizó el proceso de producción de bocadillo determinando el requerimiento energético del proceso. En el diseño se determinó la capacidad de procesamiento de guayaba, la capacidad de producción de bocadillo diaria y los equipos y operarios requeridos. Para evaluar financieramente la propuesta se determinaron los parámetros de evaluación de proyectos. Además se comparó el costo de producción de bocadillo utilizando carbón mineral y gas natural.

Según los parámetros de evaluación de proyectos: TIR de 51.37%, un período de pago menor al cuarto año y una relación beneficio/costo de 2.44, el proceso de producción de bocadillo con gas natural es viable económicamente; sin embargo, al comparar los costos de producción utilizando carbón mineral y gas natural, el cambio de combustible sugiere un aumento de costo \$66 por unidad de bocadillo. Este aumento se debe en primer lugar al mayor costo del gas natural y a los costos de mantenimiento y tratamiento de agua que deben tenerse en cuenta en la operación eficiente de las calderas.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de ingeniería Química. Director: Ph. D. Humberto Escalante

TITLE: CONCEPTUAL DESIGN OF THE PRODUCTIVE “GUAYABA” JELLY PROCESS USING NATURAL GAS IN MONIQUIRÁ MUNICIPALITY

AUTHORS: BURGOS URIBE, Natalia. ZARTE MELGAREJO, Karen Silena **

KEY WORDS: “Bocadillo”, boilers, mineral coal, natural gas, emissions.

In the process of elaboration of “Bocadillo”, for baking of the “guayaba” jelly, water steam generated in a boiler (it operates with mineral coal) is used. The boilers operate with low efficiency and emit carbon monoxide, particulate matter and sulphured compounds.

In this project the alternative of operation of the boilers with natural gas was evaluated by means of the design of a “Bocadillo” producing plant which uses this fuel. The process of the “bocadillo” production in the designed plant has the same stages and production equipment as the ones existing in the current factories, therefore, at first this process was characterized determining the power requirement of the process. In this design the capacity of “guayaba” processing, the required capacity of daily “Bocadillo” production, equipment and workers was determined. In order to evaluate financially this proposal, the project parameters of evaluation were determined. In addition the present cost of “Bocadillo” production was compared using either mineral coal or natural gas.

According to the parameters of evaluation of projects: TIR of 51, 37%, a payment period before the fourth year and a relation benefit/cost of 2, 44, the process of the “bocadillo” production with natural gas is viable economically; nevertheless, when comparing the production costs using mineral coal and natural gas, the fuel change suggest an increase of cost \$66 by “Bocadillo” unit. This increase is mainly due to the greater cost of natural gas and to the costs of maintenance and water treatment that must be considered in the efficient operation of the boilers.

* Word of Degree

** Faculty of Fisicoquimicas Engineerings, School of Chemical engineering. Director: Ph. D. Humberto Escalante

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la guayaba y la producción de bocadillo son el segundo renglón con mayor extensión e importancia socioeconómica en la región de la Hoya del Río Suárez. Allí se produce cerca del 82.25% de la producción nacional de guayaba, destinando el 24% de la producción local para la elaboración de bocadillo^[3].

La elaboración del bocadillo en el municipio de Moniquirá se realiza en fábricas artesanales de tipo familiar, utilizando como medio de calentamiento para la cocción del dulce, el vapor generado en una caldera operada con carbón mineral. Las calderas operan con baja eficiencia y emiten monóxido de carbono, material particulado y compuestos azufrados como resultado de la combustión del carbón. Por falta de mantenimiento y capacitación para la operación de las calderas existen graves problemas de seguridad industrial^[4].

Por lo anterior, ESPIGAS S.A. empresa que distribuye gas natural en el municipio, desea conocer el beneficio económico y el impacto ambiental que sugiere la utilización de gas natural en la producción de bocadillo en reemplazo del carbón mineral. En el presente trabajo la utilización del gas natural se evaluó mediante el diseño de una planta productora de bocadillo que utilice este combustible.

En conclusión, según los parámetros de evaluación de proyectos: TIR de 51.37%, un período de pago menor al cuarto año y una relación beneficio/costo de 2.44, el proceso de producción de bocadillo con gas natural es viable económicamente; sin embargo, al comparar los costos de producción utilizando carbón mineral y gas natural, el cambio de combustible sugiere un aumento de costo \$66 por unidad de bocadillo. Este aumento se debe en primer lugar al mayor costo del gas natural y a los costos de mantenimiento y tratamiento de agua que deben tenerse en cuenta en la operación eficiente de las calderas.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 PRODUCCIÓN DE BOCADILLO DE GUAYABA

El bocadillo es una pasta sólida obtenida por deshidratación de una mezcla de pulpa de guayaba y azúcares en pailas de cobre, calentadas con vapor de una caldera. El bocadillo tiene sabor, aroma, textura y color característico, su contenido en sólidos solubles totales es de 75 °Brix. La estabilidad del bocadillo se debe fundamentalmente al pH ácido de la pulpa, al proceso térmico y a la alta concentración de sólidos que posee luego de su preparación. La descripción de las etapas de producción se encuentra en la tabla 1 y en la figura 1 el diagrama de flujo del proceso. En el anexo A se muestran fotografías de los equipos de proceso

Las calderas utilizadas para la generación de vapor en las fábricas son de tipo pirotubular de uno o dos pasos, datan de 40 años o más, alimentadas de forma manual con carbón mineral de la región de Tópaga, semilla de guayaba y leña.

1.2 GENERACIÓN DE VAPOR EN CALDERAS

Una caldera es un recipiente a presión diseñado para generar vapor de agua, absorbiendo el calor liberado en la combustión de un combustible o también de gases calientes provenientes de un proceso externo, o de elementos eléctricos.

El proceso de combustión es una forma especial de oxidación, en el cual el oxígeno, principalmente suministrado del aire, se combina con elementos combustibles, como el carbono, el hidrógeno y el azufre para producir dióxido de carbono, dióxido de azufre y agua. Sin embargo, la mezcla inadecuada de combustible-aire y la deficiencia de oxígeno pueden generar una combustión incompleta, produciéndose monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar y carbón en los residuos de combustibles sólidos denominado inquemado. Estos productos, además de ser contaminantes restan potencial energético al proceso ^[2].

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de producción de bocadillo

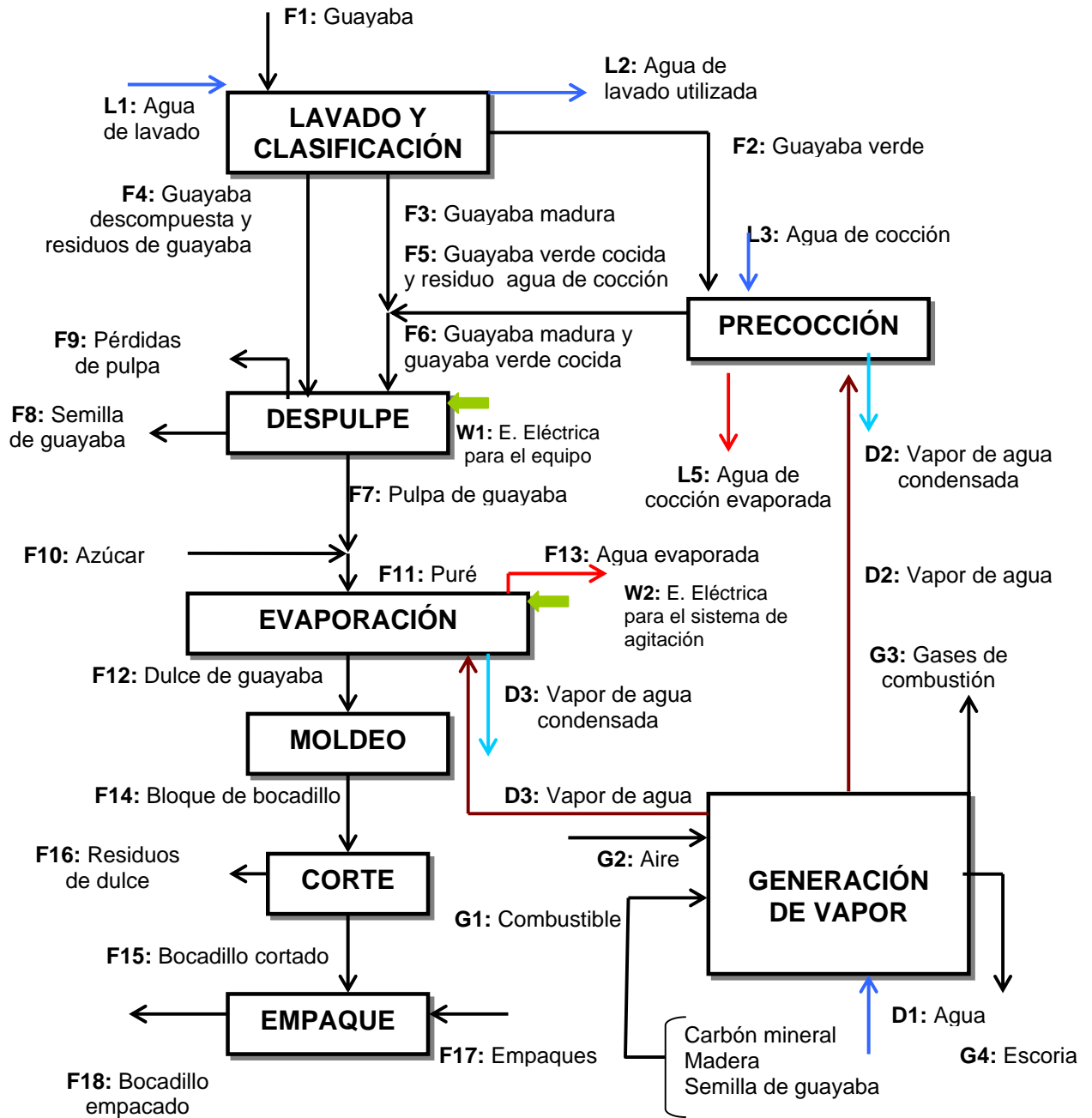


Tabla 1. Descripción de las etapas de producción de bocadillo

Etapas	Descripción	Equipo
Lavado y clasificación	Se realiza de forma manual por un operario con el agua potable según el estado de madurez de la fruta.	Tanques de acero inoxidable con o sin compartimentos y recipientes de plástico de diferentes tamaños.
Precocción	La guayaba verde se ablanda mediante la cocción en agua.	Se hace a presión atmosférica en pailas de cobre o acero inoxidable, provistas de una camisa por donde circula vapor de agua. Las pailas no tienen material aislante.
Despulpe	Se separa la semilla de la pulpa de guayaba. La semilla húmeda se utiliza como combustible en la caldera.	La despulpadora es de acero inoxidable, y la semilla se separa por fricción.
Evaporación	El puré de pulpa y azúcar se reparte en varias cochadas para someterlo a tratamiento térmico de deshidratación hasta obtener el dulce con una concentración de sólidos de 75° Brix.	Se hace a presión atmosférica en pailas de cobre con sistema de agitación constante y uniforme, por medio de palas mecánicas.
Moldeo	El dulce caliente se vierte en moldes de madera para que alcanzada la temperatura ambiente endurezca. En algunas ocasiones dependiendo de la presentación final del producto, se intercalan capas de dulce de guayaba rosada y de guayaba blanca o arequipe.	Recipientes de madera con tapa. Para facilitar el posterior desmolde de los dulces se utiliza en la base de los moldes una lámina de plástico.
Corte	Desmoldado el bocadillo se corta en sus diferentes presentaciones, empleando cortadoras de operación manual.	Las cortadoras tienen una lámina base y dos guías móviles de cuerdas de acero inoxidable, que realizan un corte longitudinal y transversal.
Empaque	El bocadillo cortado se empaqueta de forma manual, dependiendo de su presentación final, primero en empaques como hojas de bijao y papel celofán y después en bolsas plásticas, cajas de madera y de cartón.	

Toda caldera se compone del hogar, el quemador, la zona de circulación de gases, la zona del fluido térmico y la chimenea. El hogar es la cámara de combustión, en las calderas a carbón continúa en el cenicero, donde se recogen los residuos de la combustión; y el quemador es el componente donde ocurre la mezcla del aire y el combustible. Las calderas pueden tener equipos auxiliares que aprovechan el calor residual de la combustión, como el calentador de aire, el economizador y el sobrecalentador de vapor ^[13].

Para la generación de vapor en una caldera se requiere combustible y aire que mediante el calor liberado en la combustión vaporice el agua contenida en la zona de fluido térmico.

1.2.1 Combustible

- **Carbón Mineral.** El carbón es el combustible fósil más utilizado en la generación de vapor, por su amplia disponibilidad y bajo costo. Los materiales orgánicos del carbón producen calor cuando se oxidan y la materia mineral permanece como cenizas. Para conocer la composición del carbón mineral existen dos tipos de análisis: el análisis próximo reporta datos de % de carbón fijo, MCV, humedad, contenido de cenizas y poder calorífico. El análisis último proporciona información acerca del contenido de cada elemento, que compone el carbón, % carbono, %hidrógeno, %oxígeno, %azufre y %nitrógeno.
- **Gas Natural.** El gas natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos livianos, principalmente metano y el etano. Su mezcla con aire es más fácil que con otros combustibles fósiles y la ausencia de partículas y compuestos corrosivos de azufre, facilitan la recuperación del calor residual. La composición química del gas natural es la razón de su amplia aceptación como el más limpio de los combustibles fósiles; la mayor relación hidrógeno/carbono en la composición, hace que se emita menos CO₂ en la combustión por unidad de energía producida ^[16].

1.2.2 Suministro de aire. El flujo de aire y gases en el interior de las calderas se regula por el tiro, que puede ser natural, forzado o mixto. En el tiro natural, el recorrido de los gases no es ayudado por equipo alguno, y depende de las dimensiones de la chimenea y del calor liberado en la combustión; en el tiro forzado, un ventilador toma el aire de la atmósfera y lo descarga en el hogar ^[5].

1.2.3 Agua de alimentación a la caldera. El agua requerida para la producción de vapor en una caldera debe tener características especiales, ya que sus contaminantes pueden ocasionar problemas como: depósitos, corrosión y arrastre de sales del agua a la conducción de vapor. A alta temperatura los depósitos reducen la transferencia de calor y constituyen un potencial de ruptura de los tubos, y la corrosión debida al ataque del oxígeno al acero se acelera a altas temperaturas y bajo pH. La calidad del agua que se requiere en una caldera depende de la presión de trabajo y el diseño de la misma.

Existen tres medios básicos para mantener los importantes problemas bajo control: tratamiento externo del agua –reemplazo, condensado, o ambos-, tratamiento interno del agua de caldera con productos químicos correctivos, y purgado para el control de la concentración de los químicos. La secuencia del tratamiento depende del tipo y la concentración de los contaminantes hallados en el abastecimiento de agua ^[8].

1.2.4 Tipos de Calderas. Una clasificación general es la siguiente:

- **Calderas de acero con tubos de acero.** Pueden ser pirotubulares o acuaturbulares. En las calderas pirotubulares el gas caliente de la combustión circula por el interior de los tubos sumergidos en agua. Son calderas de menos de 1000 Bhp, utilizadas en procesos de baja demanda de vapor pero fluctuante.

En las calderas acuatubulares, agua y vapor circulan por el interior de los tubos, y por el exterior gases calientes de combustión. Se utilizan para altas demandas de vapor a presiones superiores a 300 psig, como en sistemas de generación de energía eléctrica. Para alcanzar la presión de trabajo, partiendo de un arranque en frío, necesitan menos tiempo que las calderas pirotubulares.

- **Calderas de cuerpo de acero.** Son un tanque cerrado que contiene agua, sobre el cual actúa una fuente de calor. Algunas aplicaciones modernas son la caldera de calefacción eléctrica, donde el agua es calentada mediante electrodos, y el acumulador, donde es calentada por vapor de una fuente externa.
- **Calderas de hierro colado.** Se usan principalmente para sistemas de calefacción de baja presión, aunque también se construyen como calentadores de agua para servicios domésticos. Las calderas de hierro colado son lentas en el arranque, pero una vez caliente, puede resistir variaciones en la demanda.
- **Calderas de diseño especial.** Entre las calderas de diseño especial se encuentran las calderas marinas, que operan cada vez en espacios más reducidos con mayor eficiencia y seguridad, y los calentadores de líquidos térmicos diferentes del agua, como el Dowtherm, que son diseñadas tan ajustado a los límites de trabajo como lo permiten los factores de seguridad ^[13].

1.2.5 Capacidad de producción de vapor de las calderas. Se expresa en forma de calor total transmitido a través de sus superficies en Btu/h (kW).

$$Q = m_v (h_v - h_a) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde Q: Producción de la caldera en Btu/h (kJ/s)

m_v : Flujo másico de vapor, lb/h (kg/s); (agua de alimentación - purga)

h_v : Entalpía del vapor, Btu/lb (kJ/kg)

h_a : Entalpía del agua de alimentación, Btu/lb (kJ/kg)

La capacidad esta definida para calderas pirotubulares, como Boiler Horsepower (Bhp) definido por la American Society of Mechanical Engineers (ASME). Un Bhp equivale a 33465 Btu/h, lo cual significa evaporar 34.5 lb/h agua saturada a 212 °F y una atmósfera de presión. Para condiciones diferentes la capacidad de una caldera podrá expresarse de la siguiente forma:

$$\text{Bhp caldera} = \frac{m_v (h_v - h_a)}{970.3 * 34.5} \quad \text{Ecuación 2}$$

El valor de 970.3 Btu/lbm (2252.2 kJ/kg) es la entalpía de vaporación del agua a la presión atmosférica normal. En el anexo B se encuentra el diagrama de “Capacidad de calderas pirotubulares a diferentes presiones de operación y temperaturas de alimentación” [5].

1.2.6 Eficiencia de caldera. Algunas pérdidas de calor son inevitables, por tanto la eficiencia es siempre menor que 100%. Las pérdidas de calor son: temperatura y cantidad de gases de combustión, vaporización del agua proveniente de la combustión y de la humedad del combustible y aire, combustión incompleta, inadecuadas prácticas de purgado y pérdidas de calor a través de las paredes.

El verdadero valor de la relación calor de vapor producido/calor del combustible, está dado por la eficiencia combustible a vapor, que se puede determinar aplicando el método directo establecido por la ASME:

$$\eta_{\text{caldera}} = \frac{m_v (h_v - h_a)}{m_c * \text{HHV} + W} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde: m_c : Flujo másico de combustible, lb/h (kg/s)

HHV: Poder Calorífico Superior del combustible, Btu/lb (kJ/kg)

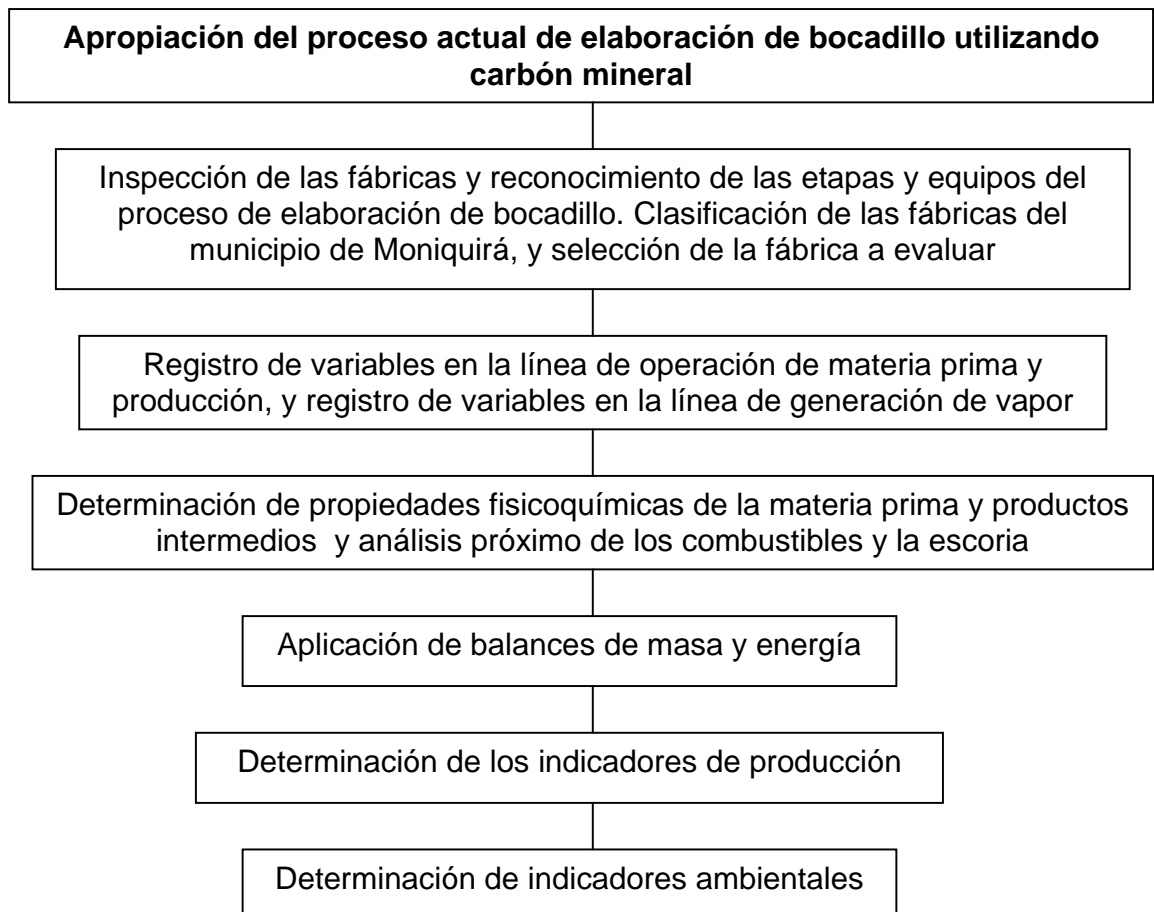
W: Potencia de ventiladores y bombas, BTU/h (kJ/s)

Estos cálculos están basados en el poder calorífico superior. Cuando se utilice el poder calorífico inferior se debe aclarar, ya que el valor de eficiencia aumenta [11].

2. METODOLOGÍA

El diseño de la planta de producción utilizando gas natural se realizó con las actuales características operacionales de las fábricas. El requerimiento energético del proceso se determinó experimentalmente durante la evaluación del proceso de producción en una de las fábricas de bocadillo del municipio de Moniquirá utilizando carbón mineral. Finalmente se realizó un análisis financiero de la propuesta de utilización de gas natural para determinar su viabilidad económica.

Diagrama 2. Metodología aplicada



Diseño del proceso de elaboración de bocadillo utilizando gas natural

Establecer la eficiencia y los parámetros de operación de la caldera, el volumen de purga y la presión del vapor en las pailas de cocción

Determinación de la capacidad de producción de vapor y de procesamiento de materia prima y el consumo de combustible

Estipulación de los estados termodinámicos del vapor en el sistema de distribución de vapor

Cálculo de espesores de material aislante en las tuberías y pailas de cocción y contabilización de las pérdidas energéticas por tramo de tubería

Distribución de los tiempos de duración de las etapas de producción y número de operarios requeridos

Inventario de equipos

Evaluación financiera de la planta de producción de bocadillo utilizando gas natural

Estimación de la inversión inicial, los costos de producción y gastos de administración y de ventas

Elaboración del flujo de caja neto

Cálculo de los parámetros de evaluación de proyectos

Comparación del costo de producción de bocadillo utilizando carbón mineral y gas natural

2.1 APROPIACIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN DE BOCADILLO UTILIZANDO CARBÓN MINERAL

2.1.1 Inspección de las fábricas del municipio de Monquirá y selección de la fábrica a evaluar. Con visitas a las fábricas del municipio, se identificaron las etapas de proceso como se describe en la figura 1 y en la tabla 1. Las fábricas se clasificaron según el tamaño de la planta, el volumen de producción, el tipo y características de la caldera empleada, y el mantenimiento realizado. La clasificación se encuentra en el anexo C.

Teniendo en cuenta la disposición de los microempresarios y la disponibilidad de los equipos de medición, se decidió realizar la evaluación del proceso de producción de bocadillo en la fábrica “La Selección”. En el momento del estudio el propietario de la fábrica estaba en el proceso de acondicionamiento de una caldera a gas natural, para el reemplazo de la caldera a carbón existente. Con las características de la caldera a gas natural disponible se realizó el diseño de la planta productora de bocadillo utilizando este combustible. Las características de la fábrica escogida se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Características de la fábrica “La Selección”

Propietario	Diego Pineda	Días de procesamiento semanal	2	Productos	Manjar especial
Dirección	Cra 7 # 16-58	Empleados	4		Manjar blanco
Ubicación	Urbana	Pailas	4		Panelitas
Producción (Tn/mes)	2	Tipo de caldera	Pirotubular		Marquetas
Carbón (Tn/mes)	2	Capacidad caldera (Bhp)	30		Cortaditas de leche
Años uso caldera	25	Mantenimiento correctivo	Cada dos años		

2.1.2 Registro de variables en la línea de operación de materia prima y producción, y registro de variables en la línea de generación de vapor. Para realizar los balances de masa y energía fue necesario tomar datos de las variables de proceso. Las mediciones se realizaron durante todo un día de trabajo, procesando la cantidad de guayaba y leche de vaca establecida para producir bocadillo y dulces de leche. Para efectos del cálculo del requerimiento energético del proceso, se tuvo en cuenta sólo las mediciones hechas para la producción de bocadillo y en algunos casos se individualizó los consumos energéticos comunes. Las variables registradas se encuentran en la tabla 3 y 4. La ubicación de los puntos de toma de datos, se muestran en los diagramas del anexo D y los formatos de recolección de datos se encuentran en el anexo E.

La medición de la composición de los gases de combustión en la caldera no pudo realizarse por no disponer de equipo de medición. La composición utilizada en el presente trabajo es la encontrada experimentalmente en el estudio realizado por el CIMPA y la UIS ^[12], donde se midió la composición de los gases emitidos en la caldera de la fábrica “La Selección” que empleaba carbón y semilla de guayaba.

Tabla 3. Registro de variables en la línea de materia prima y producto

Lavado y clasificación	Precocción
Guayaba, F_1 (kg)	Número de paila
Guayaba verde, F_2 (kg)	Números de “punto” paila
Guayaba madura, F_3 (kg)	Guayaba verde por “punto” (kg)
Guayaba descompuesta y residuos de lavado, F_4 (kg)	Agua de cocción por “punto” (L)
	Residuo agua cocción por “punto” (L)
Volumen agua de lavado, vL_1 (L)	Temperatura de cocción, T_{coc} ($^{\circ}$ C)
Despulpe	Tiempo de cocción (h)
Pulpa de guayaba, F_7 (kg)	Evaporación
Semilla de guayaba, F_8 (kg)	Número de paila
Tiempo total de despulpe (min)	Número de “punto” en cada paila
Moldeo y corte	Puré (kg) o leche (L) por “punto”
Número de gaveras utilizadas	Aditivos por “punto” (kg)
Producto cortado, F_{15} (kg)	Temperatura cocción “punto”, T_{eva} ($^{\circ}$ C)
Número de gaveras utilizadas	Tiempo total de agitación (h)

Tabla 4. Registro de variables en caldera y sistema de conducción de vapor

VARIABLES	
Tiempo operación de la caldera, t_{opcalC} (h)	Presión de saturación del vapor a la salida de la caldera, P_{1C} (Psig)
Tiempo de producción de vapor, t_{vaporC} (h)	Presión del vapor a la entrada de las pailas, P_{2C} (Psig)
Carbón consumido en el arranque de la caldera, C_t (kg)	Temperatura del vapor a la entrada de las pailas, T_{2C} (°C)
Carbón consumido durante producción de vapor en la caldera C_t (kg)	Temperatura de gases de chimenea T_{humosC} (°C)
Semilla de guayaba, S_g (kg)	Temperatura agua de alimentación a la caldera, T_{H_2OeC} (°C)
Escoria, G_4 (kg)	Temperatura condensado T_{condC} (°C)
Volumen condensado V_{condC} (L)	Volumen purga V_{purgaC} (L)

2.1.3 Determinación de propiedades fisicoquímicas de la materia prima, productos intermedios y análisis próximo de los combustibles y la escoria.

Se recogieron muestras de guayaba verde, guayaba verde cocida, puré y dulce de guayaba. Se determinó la humedad de todas las muestras, el contenido de sólidos (°Brix) del puré y el dulce, y la capacidad calorífica de la guayaba verde y el puré. Las muestras se secaron en una mufla a una temperatura de 66° C y 22 in Hg de vacío hasta peso constante. Para determinar la capacidad calorífica, la guayaba verde y el puré de guayaba se siguió el procedimiento según la norma ASTM E-1269. En el anexo F se muestran los datos y cálculos para la determinación de la capacidad calorífica.

En la caldera se recogieron muestras de carbón, semilla de guayaba y escoria para determinar el análisis próximo de cada uno y el poder calorífico neto de los combustibles.

2.1.4 Balances de masa y energía. Se aplicaron a la corriente de materia prima y producto, combustión de carbón y semilla de guayaba y vaporización del agua de caldera, para obtener el requerimiento energético de la producción de bocadillo, el

calor entregado por el combustible, el calor transferido al vapor y las pérdidas energéticas en el sistema de conducción del servicio de vapor.

Para la combustión del carbón mineral y la semilla de guayaba con el oxígeno del aire ambiente, es preciso conocer la composición del aire y de los combustibles. En la tabla 5 se muestra el análisis último en base seca del carbón y la semilla. Conociendo el análisis último y próximo de los combustibles se determinó la composición del MCV de la mezcla.

Las condiciones climatológicas de Moniquirá son 81.054 kPa de presión atmosférica, 20° C de temperatura ambiente y 83.5% de humedad relativa en el aire. Estas condiciones determinan la composición molar del aire húmedo así: 20.5% O₂, 77.1% N₂ y 2.4% H₂O, y un peso molecular promedio de 28.56 kg/KMol.

Tabla 5. Análisis último de los combustibles

Combustible	Análisis último (en base seca)					
	%C	%H	%O	%N	%S	%cenizas
Carbón de la región de Tópaga*	73.44	4.79	10.06	1.53	1.08	9.10
Semilla guayaba**	52.65	4.9	40.95	0.2	0.0	1.3

* LOWRY, H. H. Chemistry of coal utilization, 1963.

** ANDERSON, Larry, TILLMAN, David. Fuels from waste, New York, 1977

Sugerimos al lector remitirse al anexo G para revisar las ecuaciones que describen los balances de masa y energía.

2.1.5 Determinación de los indicadores de producción. Los indicadores de producción muestran el consumo de materias primas y de combustible por Kg de producto, el calor requerido, disponible y perdido durante el proceso y la eficiencia de etapas como el despulpe, la eficiencia de combustión, la eficiencia de la caldera y la eficiencia de transferencia de calor en la caldera.

2.1.6 indicadores ambientales La estimación de las velocidades de descarga de los contaminantes por la combustión de carbón mineral en la caldera se obtuvo mediante los factores de emisión:

$$E = A * FE * (1 - ER / 100) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde E: emisión, A: tasa de actividad (consumo de combustible), FE: factor de emisión y ER: eficiencia global de reducción de la emisión mediante su eliminación con un dispositivo de control.

El factor de emisión es un promedio estadístico de la velocidad a la que se emiten los contaminantes y es específico para cada fuente, pues depende de la técnica utilizada para la combustión, de la calidad del material utilizado y de la eficiencia del control de contaminación del aire.

Los factores de emisión para la estimación de las emisiones se encuentran publicados en *Compilation of Air Pollution Emission Factors*, 2a. ed.; AP - 42, U.S.EPA, Research Triangle Park, N.C., abril 1973. En el anexo H se encuentra los factores de emisión para óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y material particulado para la combustión de carbones bituminosos y subbituminosos. Para la evaluación de las emisiones en la caldera a carbón mineral se utilizó el factor de emisión para la descarga de quemado de carbón pulverizado, fondo seco y pared de fuego.

La legislación ambiental colombiana referida al componente atmosférico y aplicable a los procesos de combustión, se encuentra en la norma de emisión de Contaminantes en el Decreto 02/82, que hace referencia a los valores máximos de emisión de material particulado y la altura mínima de descarga para los carbones dependiendo del contenido de azufre. En el anexo I se encuentran los valores de emisión normativos.

2.2 DISEÑO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE BOCADILLO UTILIZANDO GAS NATURAL

El proceso de producción de bocadillo en la planta diseñada utilizando gas natural, consta de las mismas etapas y equipos de producción que actualmente existen en las fábricas. La planta fue diseñada con base en las características de la caldera a gas natural disponible en la fábrica "La Selección", que es pirotubular de dos pasos, de 40 Bhp de capacidad y con presión de diseño de 150 psig. Sugerimos al lector consultar las ecuaciones aplicadas para el diseño que se encuentran en el anexo J.

2.2.1 Parámetros de operación de la caldera a gas natural. La presión de trabajo de una caldera usada, es establecida mediante una prueba hidrostática que confirma la presión de diseño. Como no se ha realizado dicha prueba, la presión escogida fue 120 psig, menor a la presión de diseño de la caldera nueva. La temperatura del agua de alimentación se fijó en 60° C para aumentar la eficiencia de operación de la caldera y evitar cavitación en la bomba.

2.2.2 Purga de agua de caldera. La cantidad de purga a extraer de una caldera se determina mediante comprobaciones regulares del total de sólidos disueltos, alcalinidad, etc., en el agua de purga y de alimentación. No obstante, si las prácticas de operación de una caldera son adecuadas y si se realiza tratamiento apropiado al agua de alimentación y al agua de caldera, se recomienda una purga intermitente de 10 segundos cada 8 horas de trabajo, para extraer lodos del fondo. El flujo másico de agua de purga se estableció mediante un balance de energía mecánica entre el nivel del agua en la caldera y la salida por la tubería de purga.

2.2.3 Presión de trabajo en las pailas de cocción. Las pailas de cocción para la fábrica diseñada serán del mismo tipo que las actuales, de 90 cm de diámetro mayor y una altura de 37.08 cm. La presión de vapor en las pailas será de 30 psig, para evitar posibles daños.

2.2.4 Eficiencia de la caldera. Una caldera operada con gas natural es más eficiente que una operada con otro combustible fósil, debido a la mejor mezcla de aire-combustible en el quemador. La eficiencia para calderas a gas natural es de 75 a 85%, para la caldera disponible se asumió una eficiencia de 80%.

2.2.5 Determinación de la capacidad de producción de vapor y de procesamiento de materia prima y el consumo de combustible. Establecida la presión de trabajo de la caldera y la temperatura del agua de alimentación, se determinó el flujo másico vapor (lb vapor/h) para una caldera de 40 Bhp, utilizando la gráfica presentada en el anexo B. La capacidad de producción de bocadillo se determinó a partir del requerimiento energético del proceso por unidad de materia prima y de la oferta de energía, a máxima capacidad, en la caldera a gas natural.

Con la definición de eficiencia de caldera de la ecuación 3 y el valor supuesto de eficiencia se calculó el consumo de combustible. Los fabricantes de calderas indican que el tiempo de arranque de una caldera de gas natural es de 40 minutos consumiendo igual flujo volumétrico de gas que se consume durante la producción de vapor.

2.2.6 Estados Termodinámicos del vapor en el sistema de distribución de vapor. Conociendo las condiciones de temperatura y presión de salida del vapor de la caldera como vapor saturado, se debe usar una válvula reguladora de presión para reducir la presión de entrada a las pailas a 308.196 Pa., que es la máxima permitida. Cada paila tiene una trampa de vapor a la salida que entrega el condensado a presión atmosférica. El condensado es mezclado con agua de reposición para entrar de nuevo a la caldera como agua de alimentación.

2.2.7. Cálculo de espesores de material aislante en las tuberías y pailas de cocción y contabilización de las pérdidas energéticas por tramo de tubería.

Se calcularon las pérdidas en las tuberías desnudas y en las pailas sin aislante, así como las pérdidas por convección entre la masa en cocción con el medio.

Para las tuberías que requerían revestimiento se calculó el espesor óptimo del aislante mediante el procedimiento que se encuentra en el anexo J.

2.2.8 Distribución de los tiempos de duración de las etapas de producción y número de operarios requeridos.

La distribución de los tiempos de duración de la etapa de cocción y evaporación se realizó conociendo el número de cochadas a realizar y el tiempo de duración de cada cochada, utilizando el vapor generado durante 5 horas de producción en la caldera. Tomando como base la distribución de los operarios en la producción actual se planteó un número de operarios por etapa teniendo en cuenta la capacidad de producción máxima, en la fábrica con la caldera a gas natural.

2.2.9 Inventario de Equipos

El estado actual de la planta física y los equipos de proceso en la fábrica “La Selección” sugirió la ampliación de la fábrica actual, completando con equipos nuevos el inventario de los equipos requeridos.

2.3 EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BOCADILLO UTILIZANDO GAS NATURAL.

Para establecer la viabilidad económica de la propuesta se determinaron los parámetros de evaluación de proyectos, como el valor neto presente y la tasa interna de retorno, utilizando como ingresos la venta de lonjas de bocadillo y de semilla de guayaba seca, y como egresos la inversión inicial de capital fijo, capital de trabajo, los costos de producción y los gastos de administración y de ventas. Los ingresos y egresos fueron evaluados a 5 años, mientras la fábrica desarrolla el 90% de máxima capacidad de producción.

2.3.1 Estimación de la inversión inicial, los costos de producción y gastos de administración y de ventas.

Se planea hacer una inversión inicial en activos fijos suficientes y necesarias para el sostenimiento de la empresa durante los próximos cinco (5) años, los cuales se han de aplicar en activos fijos, diferidos y capital de trabajo. Como costos de producción están la compra de materia prima, mano de obra que se aplica al proceso y los costos Indirectos de fabricación.

Los gastos de administración de la empresa incluyen los sueldos, prestaciones, y aportes parafiscales del personal administrativo y de ventas, las depreciaciones de los equipos, muebles, seguros, gastos diferidos e impuestos.

Además se supuso que se financiará el 45% de la inversión inicial total con un crédito pagado en los cinco (5) años, a cuotas fijas, y con un interés del 24.5 % anual, promedio actual ofrecido por las corporaciones crediticias. El resto de la inversión será aportada por los socios.

Para evaluar de una manera técnica las posibilidades económicas del proyecto se utilizaron los índices de evaluación económica como son: la Tasa Interna de Retorno (TIR), Tasa Verdadera de Rentabilidad (TVR), Valor Presente Neto (VPN) y el Período de Pago.

2.3.2 Flujo de caja neto. El flujo de caja neto se proyectó en los cinco años, reflejando el comportamiento general tanto de ingresos como de egresos de la empresa, suponiendo que la capacidad de producción en el primer año es del 40% y aumentará cada año 10%.

2.3.3 Cálculo de los parámetros de evaluación de proyectos Entre los parámetros a calcular están:

- **Tasa Interna de Retorno (TIR %).** La tasa interna de retorno es la tasa de interés que hace igual a cero el valor equivalente del flujograma del proyecto en cualquier punto del tiempo.
- **Valor Presente Neto (VPN).** El VPN es la ganancia equivalente a pesos de hoy generado por el proyecto por encima de la Tasa de Rentabilidad esperada (TRE).

$$\text{VPN}_{(22.08\%)} = \text{VPN Ingresos} - \text{VPN Egresos}$$

- **Tasa Verdadera de Rentabilidad (TVR).** Es la rentabilidad generada por el proyecto que establece la relación entre los resultados del flujo neto que son llevados al final de la vida útil mediante la tasa de rentabilidad esperada, y su inversión.

$$\text{VR} = (\text{VFN} / \text{INV})^{1/n}$$

Donde: VFN: Valor futuro neto, INV: Inversión inicial del proyecto, n : Vida útil del proyecto

- **Período de pago.** Es el tiempo en el cual se recupera la inversión.
- **Relación Costo/Beneficio.** Permite determinar la relación que existe entre cada peso invertido con respecto a los ingresos obtenidos en el período.

$$\text{RBC} = \frac{\sum \text{VPN Ingresos}}{\sum \text{VPN Egresos}}$$

2.3.4 Comparación del costo de producción de bocadillo utilizando carbón mineral y gas natural. En cada caso se determinó el costo de materia prima, los costos indirectos de fabricación y la mano de obra directa para el número de unidades de lonjas de bocadillo producidas.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos luego de realizar los balances de masa y energía, calcular los índices de producción y aplicar los factores de emisión. También se presenta el diseño de la planta y los valores de los parámetros de evaluación de proyectos para determinar la viabilidad económica de la planta. Con fines comparativos se presenta el costo de producción de bocadillo utilizando carbón mineral y gas natural.

3.1 PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN DE BOCADILLO UTILIZANDO CARBÓN MINERAL

3.1.1 Registro de variables en la línea de operación y en la línea de generación de vapor. Las propiedades fisicoquímicas que materia prima y productos intermedios y carbón y semilla de guayaba se encuentran en la tabla 6 y 7, el valor de las variables registradas encuentran en la tabla 8.

Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas de las muestras de proceso

Muestra	Humedad (% p)	Concentración (°Brix)	Capacidad calorífica Cp[kJ/KgK]
Guayaba verde	73.463	-	1.867
Guayaba verde cocida	82.780	-	-
Puré de guayaba	49.083	39.56	2.418
Dulce de guayaba	26.657	61.56	-

Tabla 7. Análisis próximo del carbón, semilla de guayaba y escoria

Muestra	% Humedad	Análisis en base seca			Poder calórico neto superior HHV[kJ/kg]
		%MCV	%Ceniza	%C fijo	
Carbón	3.149	35.621	9.155	55.224	72541.683
Semilla	49.406	92.608	1.300	6.092	55156.298
Escoria	6.786	8.652	46.261	45.087	-
Clasificación por rango de el carbón: subbituminoso alto volátil tipo C					

Tabla 8. Resultado de registro de variables de línea de producción y sistema de conducción de vapor

Lavado y clasificación	Guayaba, F_1 (kg)	60	Precocción	Agua de cocción vL_3 (L)	8	Despulpe	Pulpa de guayaba, F_7 (kg)	56.85		
	Guayaba verde, F_2 (kg)	3.75		Residuo agua cocción vL_4 (L)	2		Semilla guayaba, F_8 (kg)	6		
	Guayaba madura, F_3 (kg)	55.5		Tiempo cocción, t_{coc} (min)	23		Tiempo despulpe, t_{des} (min)	5		
	Guayaba descompuesta y residuos de lavado, F_4 (kg)	0.75		Temperatura cocción, T_{coc} (°C)	92		Potencia del motor (Hp)	7		
	Agua de lavado, vL_1 (L)	54								
Evaporación Moldeo y corte	Componente	Bocadillo	Arequipe tumes	Marqueta	Arequipe deditos	Arequipe blanco	Manjar	Panelita	Cortadita de leche	
	Pulpa de guayaba (kg)	56.85	0	0	0	0	0	0	0	
	Leche de vaca (L)	0	44	20	40	60	60	60	300	
	Azúcar (kg)	31.5	9	30	10	12.5	0.65	0	0	
	Panela (kg)	0	0	0	0	0	0	21	47.5	
	Espesantes (kg)	0	0.35	5	1.25	1.75	10	1.5	0	
	Ácido cítrico (kg)	0	0	0	0	0	0	0	0.5	
	Agua (L)	0	0	4	0	0	0	0	1	
	Temperatura cocción (°C)	96	90	90	87	90	90	90	90	
	Tiempo total cocción (mi)	150	90	90	60	80	100	80	365	
	Número de puntos	3	1	2	1	1	1	1	5	
	Tiempo total agitación evaporación, $T_{agitación}$ (h)			6.6		Gavera bocadillo	1.5	Unidades cortadas		142
	Potencia del motor del sistema de agitación (Hp)			3		Peso unidad (kg)	0.43	Residuos de corte, F_{16} (kg)		0.270
Sistema de vapor	Carbón consumido en el arranque, C_t (kg)			45		Temperatura vapor a entrada de las pailas, T_{2C} (°C)			121	
	Carbón para producción de vapor, C_t (kg)			198		Temperatura agua de entrada a caldera, T_{H_2OeC} (°C)			20.5	
	Semilla para producción vapor, S_g (kg)			6		Temperatura de condensado T_{condC} (°C)			76	
	Escoria, G_4 (kg)			47		Volumen de condensado v_{condC} (L)			1950	
	Temperatura gases de chimenea T_{humosC} (°C)			360		Volumen de purga de la caldera v_{purgaC} (L)			0	
	Presión del vapor en la caldera, P_{1C} (Psig)			40		Tiempo de operación de la caldera, t_{opcalC} (h)			9.26	
	Presión vapor entrada a las pailas, P_{2C} (Psig)			30		Tiempo de producción de vapor, t_{vaporC} (h)			6.6	

3.1.2 Resultados balances de masa y energía. Los resultados del balance de masa y energía en la línea de materia prima y producción se describen en la tabla 9. Los resultados muestran un consumo de energía en la etapa de cocción de 3324.66 KJ/Kg. de guayaba verde y un consumo de energía en la etapa de evaporación de 938.78 KJ/Kg. de puré. La diferencia se debe a la mayor cantidad de agua evaporada en la cocción de la guayaba verde, por tanto es de esperarse que el tiempo de cocción de un “punto” completo de guayaba verde de 18 Kg., se extienda más de 23 minutos, ya que el agua de cocción utilizada es mayor.

Tabla 9. Resultados balances de masa y energía en la línea de materia prima y producción

Etapa	Descripción	Valor
Precocción y despulpe	Guayaba verde cocida, F_5 (kg)	5.779
	Agua cocción evaporada, L_5 (kg)	4.028
	Calor cocción guayaba verde, Q_{coc} (kJ)	12467.49
	Pérdida de pulpa de guayaba, F_9 (kg)	0.357
	Energía de la despulpadora, W_1 (kJ)	1931
	Puré de guayaba, F_{11} (kg)	88.35
Evaporación	Dulce caliente de guayaba, F_{12} (kg)	61.335
	Agua evaporada del puré, F_{13} (kg)	27.015
	Calor cocción del puré, Q_{eva} (kJ)	82941.215
	Energía consumida por el sistema de agitación en la cocción del puré, W_2 (kJ)	6206
	Bocadillo cortado, F_{15} (kg)	61.06

Los resultados de balance de masa y energía en la caldera y el sistema de generación de vapor se muestran en la tabla 10.

Según la composición de la escoria, se halla una considerable cantidad de carbón que no se ha quemado, 45.087% carbón fijo. Además el combustible se quema con menor cantidad de oxígeno que el estequiométrico, y la granulometría heterogénea del carbón hace que la mezcla aire y combustible sea imperfecta. El carbono que reacciona produce en mayor proporción monóxido de carbono, como se refleja en la composición de los gases de combustión, ocasionando la mayor pérdida de energía en el proceso.

Tabla 10. Resultados balances de masa y energía en la caldera a carbón mineral y semilla de guayaba

Descripción		Valor	Descripción		Valor
Combustible seco promedio, C_1' (Kg/h)		29.615	Calor reacción completa del combustible seco		-2101.944
Escoria, G_4 (Kg/h)		6.182	(CO _{2(g)} , SO _{2(g)} y H ₂ O _(g) a 25°C) Q_{RXCCS} (MJ/h)		
Agua en el combustible seco, H ₂ O _{C1'} (Kg./h)		1.394	Calor perdido por carbón no quemado, Q_C (MJ/h)		92.799
Fracción carbón en la mezcla combustible, X_{ct}		0.984	Calor perdido por monóxido de carbono, Q_{CO} (MJ/h)		332.276
Gases de combustión secos, nG_3' (Kmol/h)		9.033	Calor perdido por hidrógeno no quemado, Q_{H_2} (MJ/h)		9.498
Composición molar en base seca de los gases de combustión	$X_{CO_2^C}$	4.31	Calor perdido por azufre no quemado, Q_S (MJ/h)		0.1194
	X_{CO^C}	12.99	Calor reacción incompleta del combustible húmedo		-1596.496
	$X_{O_2^C}$	6.80	(CO _{2(g)} , CO _(g) , SO _{2(g)} y H ₂ O _(g) a 25°C) Q_{RXICH} (MJ/h)		
	$X_{SO_2^C}$	0.09	Calor perdido en los gases de combustión completa		115.537
	$X_{N_2^C}$	75.81	del combustible seco, $Q_{gc\ ideal}$ (MJ/h)		
Aire húmedo, G_2 (Kg/h)		253.38	Calor perdido en los gases de combustión		103.154
Agua en gases combustión, $n_{H_2O-G_3'}$ (Kmol/h)		0.94	incompleta del combustible húmedo, $Q_{gc\ real}$ (MJ/h)		
Gases de combustión húmedos, G_3 (Kg/h)		278.74	Temperatura de llama adiabática, T_{ad} (K)		3054.8
Masa reaccionante, $C_1 + G_2$ (Kg/h)		284.389	Flujo condensado, m_{cond} (kg/h)		287.566
			Flujo vapor saturado de la caldera, m_{vap}^1 (kg/h)		287.566
Masa resultado combustión, $G_3 + G_4$ (Kg/h)		284.922	Flujo agua de alimentación a la caldera, m_{H_2Oe} (kg/h)		287.566
			Calor del condensado, Q_{cond} (MJ/h)		91.518
% Exceso de O ₂		-12.032	Calor vapor saturado de la caldera, Q_{vap}^1 (MJ/h)		786.743
			Calor vapor a la entrada de las pailas, Q_{vap}^2 (MJ/h)		784.047
Relación AC _S Kg aire necesario/Kg combustible		9.314	Calor agua de alimentación, Q_{H_2Oe} (MJ/h)		24.145
			Calor perdido por conducción de vapor, Q_{per}^1 (MJ/h)		-2.6956
Relación AC Kg aire suministrado / Kg combustible		8.194	Calor promedio perdido en pailas, Q_{per}^2 (MJ/h)		-152.326
			Calor perdido en caldera por transferencia, Q_{cal} (kJ/h)		-706.599

Comparando la energía disponible por la combustión incompleta del combustible húmedo y el calor transferido a el vapor, se encuentra que sólo se aprovecha el 49.27%, el resto se pierde por radiación, convección con el medio, y en el contenido energético de los gases de combustión.

La mayor pérdida de energía en el sistema de conducción de vapor se encuentra en la transferencia de energía con el medio en las pailas de cocción que no se encuentran aisladas. Sumado a esto las etapas de cocción consumen más energía de la necesaria ya que continuamente la masa en cocción pierde energía por convección con el medio. Finalmente cabe mencionar que el calor del condensado no se recupera por que no hay reciclo a la caldera.

3.1.3 Indicadores de producción. En la tabla 11 se resumen estos indicadores, junto con las eficiencias definidas en los balances de energía.

Tabla 11. Indicadores de producción del proceso con la caldera a carbón

Indicador	Valor
Kg guayaba / Kg de bocadillo	0.978
Kg combustible / Kg bocadillo	0.504
Kg agua evaporada / Kg de bocadillo	0.506
%extracción = (kg pulpa / Kg guayaba)*100	89.75
Calor requerido en el proceso (kJ/Kg de bocadillo)	155.534
Calor total requerido en el proceso (MJ)	95.409
Calor disponible para la cocción (MJ)	565.167
Calor total perdido en el proceso (MJ)	1049.196
Eficiencia de combustión	75.18
Eficiencia de transferencia de calor en la caldera	52.68
Eficiencia de caldera	35.75

Comparando la eficiencia de caldera y la eficiencia de transferencia de calor en la caldera, se puede concluir que la mayor incidencia sobre el calor no aprovechable en el vapor es la pérdida de energía por una combustión incompleta y no el proceso de transferencia de calor, ya que la eficiencia de transferencia fue

calculada tomando como calor disponible el de la combustión incompleta del combustible húmedo, mientras que en la eficiencia de caldera el calor disponible resulta de la combustión completa del carbón mineral y la semilla de guayaba.

Para analizar el valor de la eficiencia de combustión se debe hacer referencia a la forma en que se calculó. En el caso ideal, la combustión completa del combustible seco se supuso con la cantidad estequiométrica de aire, y en el caso real, la combustión incompleta del combustible húmedo se realizó con el aire disponible, que es menor al requerido teóricamente. La cantidad de aire por encima del aire disponible real ocasiona un consumo mayor de energía en los gases de combustión. Por eso aunque la combustión se lleve a cabo de manera incompleta, el valor de la eficiencia de combustión muestra una combustión aceptable.

3.1.4 Indicadores ambientales. En la tabla 12 se resumen los indicadores ambientales, la estimación de emisiones en la caldera a carbón, y en caso de existir, el valor normativo de emisión.

Tabla 12. Indicadores ambientales

Descarga térmica líquida (Gcal / Tn de bocadillo)		0.290	
Descarga térmica aérea (Gcal / Tn de bocadillo)		0.257	
Dióxido de carbono (Tn CO ₂ /Tn bocadillo)		0.064	
Monóxido de carbono (Tn CO/Tn bocadillo)		0.386	
Ceniza (Tn Ceniza/Tn bocadillo)		0.073	
	Factor Kg/Mg	Emisión (ER=0) Kg/Tn bocadillo	Norma de emisión
			Consumo energía por : 1.3E-4 Millones de Kcal/h
NO _x	10.85	3.764	K _(1600 msnm) = 0.9037 %S = 1.063
SO _x	19%S	7.007	Altura mínima de descarga = 15 m
Material particulado	5%Cen	15.572	1.8074 Kg./10 ⁶ Kcal-h 1.0664E-3 Kg./Tn bocadillo
La configuración de descarga utilizada para escoger los factores fue quemado de carbón pulverizado, fondo seco y pared de fuego. Los tres factores utilizados se clasifican en el rango A			

El valor estimado para la emisión de material particulado en la caldera, 15.572 Kg/Tn bocadillo supera significativamente el valor normativo de 1.0664E-3 Kg/Tn bocadillo. Además actualmente la altura de la chimenea de la caldera instalada en la fábrica “La Selección” es de 10 m, menor a la altura mínima normativa.

Teniendo en cuenta las emisiones y la altura actual de la chimenea, se evidencia que las emisiones se convierten en un problema de salud pública por la exposición directa de los habitantes a los gases de combustión.

3.2 PROCESO PRODUCTIVO UTILIZANDO GAS NATURAL

3.2.1 Capacidad de la planta. La planta diseñada tendrá una capacidad máxima de procesamiento de 4538 kg de guayaba en 8 horas de trabajo diarias, produciendo 1739 lonjas de bocadillo y 453.8 kg de semilla de guayaba para la venta. La caldera suministrará vapor para la cocción del puré en 43 pailas de cobre con agitación continua durante 5 horas.

3.2.2 Consumo de combustible. La caldera operando con un 80% de eficiencia consume 41,7 m³/h de gas natural, y en el tiempo de arranque de 40 minutos consume el mismo flujo volumétrico de combustible. El exceso de aire para la combustión manejado por un quemador característico de gas natural es del 10 %. Teniendo en cuenta la composición del gas natural mostrada en el anexo J, se requiere un flujo de aire húmedo de 133.209 Kg/h o 103.039 m³/h.

3.2.3 Agua de purga, de reposición y de alimentación a la caldera. Durante el tiempo de operación de la caldera el vapor condensado se recircula al tanque de almacenamiento de agua de alimentación a la caldera. Como se expuso en el anexo J, el flujo de agua de reposición es el mismo de agua de purga. Los flujos de purga, reposición y alimentación se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Agua de purga, de reposición y de alimentación a la caldera

Descripción	Valor
Purga a la salida de la caldera (Kg/h)	7.42
Purga a la salida de la caldera, Q_4 (m^3/h)	0.00665
Temperatura de purga a la salida de la caldera T_4 (K)	449.235
Agua de reposición a 14.7 psia y 20° C (m^3/h)	0.00743
Agua de alimentación a la caldera (m^3/h)	0.581
Temperatura de entrada de agua de alimentación a la caldera (K)	333.5

3.2.4 Estados termodinámicos del vapor de servicio. Las características del vapor en la caldera y en el sistema de conducción se exponen en la tabla 14.

Tabla 14. Características del servicio de vapor

Vapor saturado a la salida de la caldera (Kg/h)	564.268
Presión de vapor a la salida de la caldera, P_1 (KPa)	908.453
Temperatura de vapor a la salida de la caldera T_1 (K)	449.235
Vapor saturado a la salida de la caldera, Q_1 (m^3/h)	123.240
Presión de vapor después de la válvula de expansión, P_2 (KPa)	308.196
Temperatura de vapor después de la válvula de expansión T_2 (K)	408.030
Vapor saturado después de la válvula de expansión, Q_2 (m^3/h)	406.268
Presión de condensado a la salida de las pailas, P_3 (KPa)	101.325
Temperatura condensado a la salida de las pailas, T_3 (K)	335.677
Condensado a la salida de las pailas, Q_3 (m^3/h)	0.592

3.2.5 Sistema de conducción de vapor y condensado. El sistema de conducción de vapor a las pailas está compuesto por tubería de hierro galvanizado de tres diámetros diferentes, de 2, 1 ½ y ½ in, una válvula de expansión, y una válvula de paso para cada paila. El condensado separado en las trampas de vapor instaladas en cada paila, se recircula por una tubería de ½ in de diámetro.

La tubería que requiere aislante es únicamente la primera de 6 m de largo y 2 in de diámetro. En las demás tuberías al colocar aislante, el efecto de aumento de área de transferencia es mayor que el efecto aislante por baja conductividad térmica; por lo tanto al adicionar aislante las pérdidas de energía aumentan.

Las pérdidas de energía en las pailas se deben a la transferencia de calor por convección de la masa en cocción con el aire circundante, y la transferencia de calor desde la cara exterior de la camisa de vapor de la paila al medio. El aislante utilizado para minimizar las pérdidas en las pailas y la tubería es fibra de vidrio.

Las pérdidas de energía en las pailas y en el sistema de conducción de vapor y condensado, se resumen en la tabla 15.

Tabla 15. Pérdidas de energía en las pailas y en el sistema de conducción de vapor y condensado.

Descripción		Valor
Tubería 2 in de diámetro (6 m)	Espesor óptimo de aislante (cm)	2.54
	Calor perdido (J/s)	310.343
Calor perdido en la tubería de 1 ½ in de diámetro (1 m) antes de la válvula de expansión (J/s)		118.043
Calor perdido en la tubería de 1 ½ in de diámetro (25 m) por la conducción principal de las pailas (J/s)		2170.269
Calor perdido en la tubería de ½ in de diámetro (25.8 m) desde la conducción principal a cada paila (J/s)		808.941
Calor perdido en cada paila por convección de la masa en cocción con el aire (J/s)		248.508
Pailas de cocción (90 cm de diámetro y 37.08 cm de altura)	Espesor óptimo de aislante (cm)	3.81
	Calor perdido (J/s)	130.499
Calor perdido en la tubería de ½ in de diámetro (17.20 m) desde cada paila a la conducción principal de condensado (J/s)		190.80
Calor perdido en la tubería de 1 ½ in de diámetro (29 m) de conducción principal de condensado (J/s)		890.68

3.2.6 Organización de los “puntos” de producción. La guayaba clasificada según el grado de maduración se reparte en un número de cochadas dependiendo de la capacidad de las pailas. En la tabla 16 se distribuye el tiempo de cocción y los puntos en cada una de las pailas. Un punto de guayaba verde es de 17.7 kg y uno de puré de 30.24 Kg.

3.2.8 Operarios. Para operar la fábrica se requieren 17 personas distribuidas de la siguiente forma:

Calderista. 1	Encargado de las etapas de
Lavador de fruta: 2	cocción: 10
Despulpador – Moldeador:2	Corte y empaque: 2

Tabla 16. Organización de los puntos de producción

Pailas	“puntos” por cada paila	Tiempo por punto (min)	Tiempo total (h)
1-10	Uno de cocción de guayaba verde	103.3	5.02
	Cuatro de cocción de puré	4(49.53)	
11-43	Seis de cocción de puré	6(49.53)	4.99

3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO PRODUCTIVO UTILIZANDO GAS NATURAL

La información que sirve de soporte para la evaluación económica de la planta se presenta en el anexo K, y se encuentra puntualizada de la siguiente forma:

3.3.1 Inversión inicial, costos de producción, gastos de administración y de ventas, financiación del proyecto.

- **Inversiones.** Según la tabla 17 en el período de instalación se requiere **\$257.929.592** para poder iniciar la actividad, los cuales se han de aplicar en activos fijos, diferidos y capital de trabajo. En el anexo K, cuadro 1, 2 y 3 se hace un resumen de los montos de inversión.

Tabla 17. Total de inversión en el período de instalación

INVERSIONES	VALOR
Total Maquinaria y Equipo	\$143,930,000
Cañerías y Tuberías	\$11,760,800
Instalaciones de Equipos	\$12,116,080
Total Equipo de Oficina	\$1,250,000
Total Muebles	\$860,000
Total Equipo de computo	\$2,750,000
Capital de Trabajo	\$73,762,712
Inversión Diferida	\$11,500,000
Total Inversiones	\$257,929,592

- **Costos del Producción.** Como costos de producción están la compra de materia prima, mano de obra que se aplica al proceso y los costos Indirectos de fabricación – CIF que se resumen en la tabla 18, en detalle la información pertinente se presenta en tabla 22.

Tabla 18. Costo sintetizado de producción de bocadillo utilizando gas natural

Total Costo de Producción	Costo Total	Costo Unitario Producción
Materia Prima	\$538,401,600	\$435.21
Costos Indirectos de Fabricación	\$58,801,405	\$96.45
Mano de Obra Operarios	\$144,352,000	\$116.16
Total Costo de Producción	\$741,555,005	\$648.00
Margen ganancia unitaria bruta		19%

- **Gastos de administración y ventas.** En los cuadro 5, 6 y 7 se presenta el resumen de los gastos de administración de la empresa, como son sueldos, prestaciones, y aportes parafiscales del personal administrativo y de ventas, las depreciaciones de los equipos, muebles, seguros, gastos diferidos e impuestos.

3.3.2 Parámetros de evaluación de proyectos

En el tabla 20 se presenta el flujo de caja proyectado en los cinco años, con los valores en cada año se calcularon los parámetros descritos en la metodología de valuación financiera.

- **Tasa Interna de Retorno (TIR %).** La TIR que hace que el monto futuro de ingresos y el monto presente de egresos sean iguales es del 51.37% anual. Como la TIR es mayor al costo de oportunidad (TAR=20%) ofrecida por las corporaciones financieras, el proyecto es rentable.

Tabla 20. Flujo de caja de la producción de bocadillo con gas natural proyectado a cinco años

Concepto/Año	0	1	2	3	4	5
INGRESOS						
Ingresos por Ventas		\$994,140,502	\$1,311,474,739	\$1,667,928,365	\$2,063,017,805	\$2,498,950,080
Otros Ingresos		\$693,796	\$919,381	\$1,169,005	\$1,445,931	\$1,751,835
Venta Activo						\$83,810,000.00
Total Ingresos		\$994,834,299	\$1,312,394,120	\$1,669,097,370	\$2,064,463,736	\$2,584,511,915
COSTOS DE PRODUCCION						
Materia Prima		\$540,826,435	\$713,460,730	\$907,255,404	\$1,122,090,284	\$1,359,439,230
Mano de Obra Directa		\$144,352,000	\$153,013,120	\$162,193,907	\$171,925,541	\$182,241,073
Costos Indirectos de Fabricación		\$105,001,459	\$137,213,520	\$173,355,024	\$213,404,844	\$257,636,565
Depreciaciones		\$12,235,000	\$12,235,000	\$12,235,000	\$12,235,000	\$12,235,000
Total Costo de Producción		\$802,414,894	\$1,015,922,369	\$1,255,039,335	\$1,519,655,669	\$1,811,551,869
Utilidad Bruta		\$192,419,404	\$296,471,751	\$414,058,035	\$544,808,066	\$772,960,047
Gastos Administrativo y de Ventas		\$94,972,649.3	\$101,831,422.2	\$109,192,125.7	\$117,072,145.6	\$125,879,286.0
Amortizaciones		\$2,300,000	\$2,300,000	\$2,300,000	\$2,300,000	\$2,300,000
Depreciaciones		\$761,000	\$761,000	\$761,000	\$761,000	\$761,000
Valor Libros Activos Vendidos		\$0	\$0	\$0	\$0	\$83,810,000
Total Gastos Administrativos		\$98,033,649	\$104,892,422	\$112,253,126	\$120,133,146	\$212,750,286

Tabla 20. Continuación flujo de caja de la producción de bocadillo con gas natural proyectado a cinco años

Concepto/Año	0	1	2	3	4	5
Utilidad Operacional		\$94,385,755	\$191,579,329	\$301,804,909	\$424,674,921	\$560,209,761
(-) Pago intereses Prestamos		\$28,436,738	\$24,937,858	\$20,581,753	\$15,158,402	\$8,406,330
(=) Utilidad antes de Impuestos		\$65,949,017	\$166,641,471	\$281,223,157	\$409,516,519	\$551,803,431
(-) Impuesto		\$25,390,372	\$64,156,966	\$108,270,915	\$157,663,860	\$212,444,321
Utilidad Neta		\$40,558,646	\$102,484,505	\$172,952,241	\$251,852,659	\$339,359,110
(+) Depreciación		\$12,996,000	\$12,996,000	\$12,996,000	\$12,996,000	\$12,996,000
(+) Amortizaciones		\$2,300,000	\$2,300,000	\$2,300,000	\$2,300,000	\$2,300,000
(+) Valor en libros activos vendidos		\$0	\$0	\$0	\$0	\$83,810,000
Total Maquinaria y Equipo	\$143,930,000					
Cañerías y Tuberías	\$11,760,800					
Instalaciones de Equipos	\$12,116,080					
Total Equipo de Oficina	\$1,250,000					
Total Muebles	\$860,000					
Total Equipo de computo	\$2,750,000					
Capital de Trabajo	\$73,762,712					
Inversión Diferida	\$11,500,000					
Total Inversiones	\$257,929,592	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(+) Recuperación Capital de rabajo						\$73,762,712
Flujo Neto de Caja	-257,929,591.97	\$55,854,646	\$117,780,505	\$188,248,241	\$267,148,659	\$512,227,822

- **Valor Presente Neto (VPN).** El valor presente neto de \$314,034,057, indica que los ingresos son suficientes para recuperar la inversión y obtener una ganancia adicional por encima de la tasa atractiva de retorno (TAR); por tanto se concluye que el proyecto es rentable.

- **Tasa Verdadera de Rentabilidad (TVR).** El valor de la TVR es del 40.72% anual, siendo mayor que la tasa de Atractiva de Retorno (TAR = 18% anual), por tanto el proyecto es rentable.

- **Período de pago.** Para este caso la inversión se recupera en el transcurso del año 4. Su cálculo se hace con base a los resultados obtenidos en el cuadro 6 del anexo K.

- **Relación Costo/Beneficio.** La Relación Beneficio / Costo es de 2.44, lo que indica que los ingresos superan a los egresos en un 2.44 veces, de manera que es viable su puesta en marcha.

$$RBC = \frac{630.501.733}{257.929.592} = 2.44$$

3.3.3 Costos de producción de bocadillo

- **Utilizando carbón mineral.** Para determinar el costo reproducción de bocadillo con carbón mineral que se presenta en la tabla 21, se tubo en cuenta que el costo de recolección de escoria es el 50% del costo de agua utilizada sin pago de alcantarillado, siendo el 33.33% del valor unitario del m³ de agua correspondiente al pago por alcantarillado; y que la despulpadora fue comprada hace 3 años en \$3'500.000, tomando una vida útil de 10 años la depreciación anual es de \$350.000. El valor de depreciación estimada del equipo para la producción de las 142 lonjas de bocadillo se realizó utilizando la proporción de horas trabajas/horas diarias por la depreciación diaria.

Tabla 21. Costo de producción de bocadillo utilizando carbón mineral

Costo Producción	Cantidad	Costo de referencia	Costo Total	Costo Unitario Producción
Materia Prima			\$61.800	\$435,21
Guayaba	60 Kg	\$400/Kg	\$24.000	\$169,01
Azúcar	31.5 Kg	\$1200/Kg	\$37.800	\$266,20
C I F				\$67,94
Empaques	142 hoja	\$12/hoja	\$1.704	\$12
Caja cartón	5	\$600/caja	\$2.500	\$17,61
Carbón	27.195	\$116.666/kg	\$3.173	\$22,35
Agua para vapor	0.273 m ³	\$775/m ³	\$213	\$1,50
Agua de producción	0.077 m ³	\$775/m ³	\$60	\$0,42
Escoria			\$91	\$0,64
Energía eléctrica	8137 KJ	\$ 0.090278/KJ	\$66,33	\$0,47
Depreciación despulpadora diaria			\$1.215,277	\$2,55
Mantenimiento equipo diario			\$8.305,56	\$1,72
Mano de Obra	7.15 h	\$1.562,50/h	\$11.172	\$78,68
			Costo unitario de producción	\$582,00
			Margen de ganancia bruta	27.25%

Analizando los datos de la tabla 21 se observa que el costo por unidad de bocadillo esta afectado principalmente por el costo de la materia prima. De lo anterior se podría pensar que las fábricas operan minimizando los costos indirectos de fabricación y la mano de obra. Sin embargo, en los CIF el gasto de agua para vapor supera el agua de producción, lo que indica que el ahorro en dinero por reciclo del condensado sería considerable. Además el costo de mantenimiento de la caldera tan bajo se debe a que actualmente las calderas no reciben ningún mantenimiento preventivo, y el agua de caldera no es tratada. El mantenimiento realizado es correctivo cada dos años.

- **Utilizando gas natural.** El costo de producción de bocadillo utilizando gas natural se muestra en detalle en la tabla 22.

Tabla 22. Costo de producción de bocadillo utilizando gas natural

Depreciación Inversión Fija	Año1
Gastos de Depreciación/Año	\$14,172,080.00
Depreciación Acumulada	\$12,996,000.00
Valor en Libros	\$135,794,000.00

Materia Prima	Cantidad	Costo Total	Costo Unitario
Guayaba (Kg)	522,720	\$209,088,000	\$169.01
Azúcar(Kg)	274,428	\$329,313,600	\$266.20
Total		\$538,401,600	\$435.21
CIF			
Costos Indirectos Variables			
Empaques	1,242,675	\$14,912,100.00	\$12.00
Cajas	41,423	\$26,253,697.18	\$21.13
Servicio de Vapor			
Gas Natural	72057.6	\$43,234,560	\$34.79
Agua (m ³)	10.68	\$5,525	\$0.004
Alcantarillado	10.68	\$2,757	\$0.00
Tratamiento de agua		\$2,000,000	\$1.61
Mantenimiento Equipo		\$2,500,000	\$2.01
Agua en Producción (m ³)	679.536	\$351,321	\$0.28
Alcantarillado (m ³)	679.536	\$175,321	\$0.14
Energía Eléctrica		\$10,531,920.96	\$8.48
Total CIF VARIABLES		\$99,967,202.14	\$80.45
Costos Indirectos Fijos			
Depreciación		\$13,411,080.00	\$11.00
Seguro		\$5,034,206.40	\$5.00
Total CIF FIJOS		\$18,445,286.40	\$16.00
Total		\$58,801,404.96	\$96.45
Mano de Obra Operarios	1.00	\$144,352,000.00	\$116.16
Total Costo de Producción		\$741,555,005	\$648.00
Margen ganancia unitaria bruta			19%

El costo de producción unitario de bocadillo con carbón mineral de \$582, equivalente al 27.25% de margen de ganancia bruta (582/800), mientras que a gas es de \$648, equivalente al 19% de margen de ganancia bruta (648/800), es decir presenta un decremento de \$ 66 equivalente al 11.34%.

CONCLUSIONES

La elaboración de bocadillo es un proceso artesanal comparado con los avances tecnológicos de la industria de alimentos. Como parte primordial del proceso está la generación del servicio de vapor; sin embargo, las calderas disponibles operan sin las mínimas condiciones de seguridad y mantenimiento preventivo, las pérdidas energéticas durante la generación y distribución del servicio llegan a ser del 50% y las emisiones contaminantes, principalmente material particulado, pueden originar graves problemas de salud pública.

La caldera a gas natural disponible en la fábrica “La Selección” de 40 Bhp puede producir vapor en una cantidad superior a la requerida en las fábricas actuales, lo cual plantea la opción a los empresarios de asociarse, posibilitando una producción de bocadillo con altos estándares de calidad, la operación de calderas a una capacidad cercana a la máxima, con la seguridad y el mantenimiento requerido.

La utilización de gas natural como combustible para la generación de vapor en las calderas, comparada con el carbón mineral, sugiere un aumento en el costo de producción de \$ 66 por unidad de producto. No obstante en la operación de las calderas con carbón no se incurre en gastos de mantenimiento, tratamiento de agua y control de las emisiones contaminantes.

BIBLIOGRAFÍA

1. BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de proyectos. Bogotá: McGRAW-HILL, 1998.
2. Calderas a Carbón. Ecocarbón, Centro de Investigación para el Desarrollo Integral. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 1998.
3. Caracterización sistema de producción guayaba. CIMPA. Barbosa: 1995.
4. Caracterización de la producción de bocadillo en la Provincia de Vélez y Ricaurte. CIMPA. Barbosa: 1996
5. CASTRO MORA, Javier. Operación Eficiente de Calderas y Hornos Industriales. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2001.
6. HOLMAN, J. P., Transferencia de Calor. 8 ed. México: Compañía Editorial Continental, 1986.
7. KERN, Donald Q. Procesos de Transferencia de Calor. México: Compañía Editorial Continental, 1965.
8. Mc CALLION, John, KEMMER, Frank N. Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Nalco Chemical Company. México: McGRAW-HILL, 1995
9. PERRY, Robert H. Manual del Ingeniero Químico. 3 ed. en español. Mexico: McGRAW-HILL, 1992

10. PETERS, Timmerthaus. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Inglaterra. 1992
11. RODRIGUEZ, Gonzalo. Operación de Calderas Industriales, Tratado Práctico Operacional. Bogotá: Ecoe ediciones, abril de 2000
12. SANTOS RIOS, Gloria. Diagnóstico Energético Ambiental de la Producción de Bocado de Guayaba en la Hoya del Río Suárez. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Química. 1997.
13. SHIELD, Carl D. Calderas, Tipos, Características y sus Funciones. 1 Ed. en español. México: Compañía Editorial Continental, 1976.
14. SMITH, J.M, & VAN NESS, H, C. Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química. 5 ed. México: McGraw-Hill, 1996
15. ULRICH, Gael D. Procesos en Ingeniería Química. 1 ed. en español México: McGraw-Hill, 1992.
16. VALENCIA V, B. Balance de Materia en Procesos de Combustión. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 1986
17. VARGAS MANTILLA, Jorge Enrique. Preparación y Evaluación de Proyectos de Inversión. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1997.

ANEXOS

ANEXO A
FOTOGRAFÍAS DE LOS EQUIPOS DE PROCESO ACTUAL CON CALDERA A
CARBON MINERAL



Foto 1. Horno de la caldera a carbón y escoria generada



Foto 2. Tanques de lavado de la guayaba



Foto 3. Despulpadora de guayaba madura y verde cocida



Foto 4. Sistema de pailas de cocción con agitación



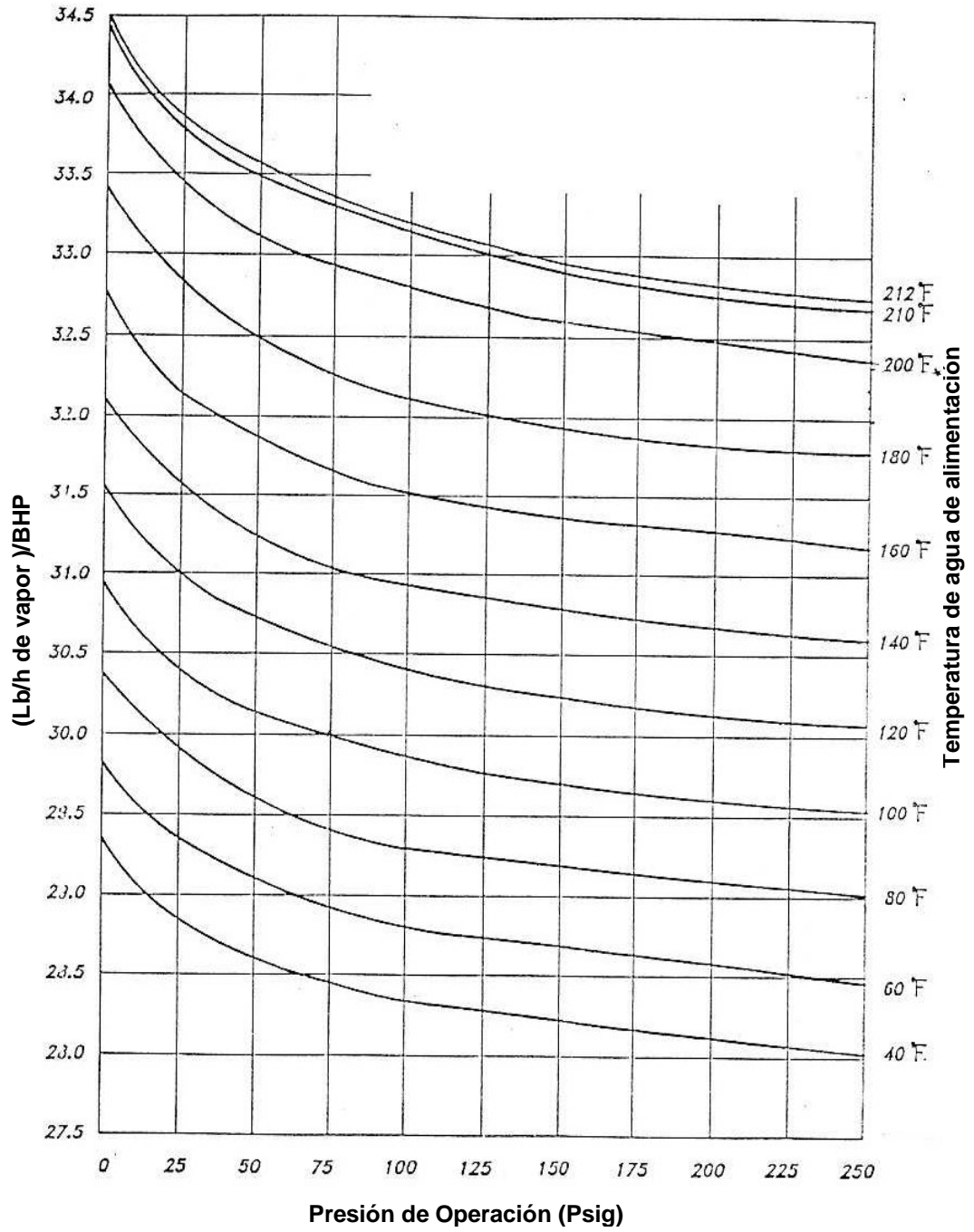
Foto 5. Cortadoras de dulce de guayaba



Foto 6. Moldeo del dulce de guayaba en gaveras de madera

ANEXO B

CAPACIDAD DE CALDERAS PIROTUBULARES A DIFERENTES PRESIONES DE OPERACIÓN Y TEMPERATURAS DE ALIMENTACIÓN



ANEXO C

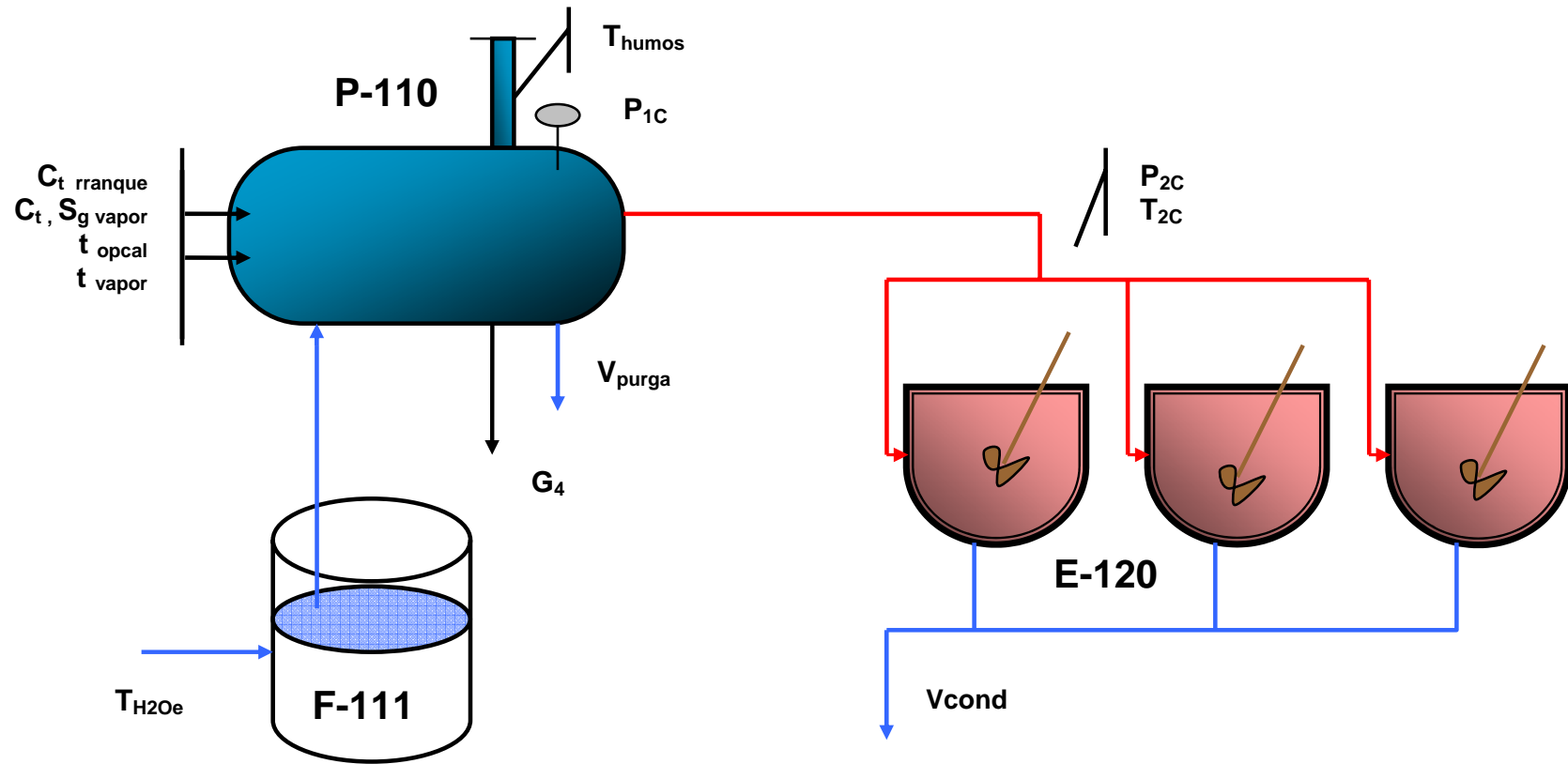
CARACTERIZACIÓN DE LAS FÁBRICAS DE PRODUCCIÓN DE BOCADILLO DE GUAYABA DEL MUNICIPIO DE MONIQUIRÁ.

Nombre	Ubicación	Producción (Tn/mes)	Carbón (Tn/mes)	Semilla	Empleados	Días trabajo semanal	Código
La Selección	Urbana	2	2	Combustible	4	2	C-01
San Fernando	Urbana	4	1.5	Se vende	3	2	C-02
La Calidad	Urbana	4	1.5	Se vende	4	3	C-03
Doña Guayaba	Urbana	3	1.5	Se vende	5	3	C-04
La Campana	Urbana	1	0.8	Se vende	3	2	C-05
Guayabetal	Urbana	20	7	Se vende	10	6	C-06
JN	Urbana	5	2	Combustible	5	4	C-07
El Cóndor	Urbana	2	1	Se vota	3	3	C-08
La Ricaurte	Urbana	1	0.83	Se vende	4	2	C-09

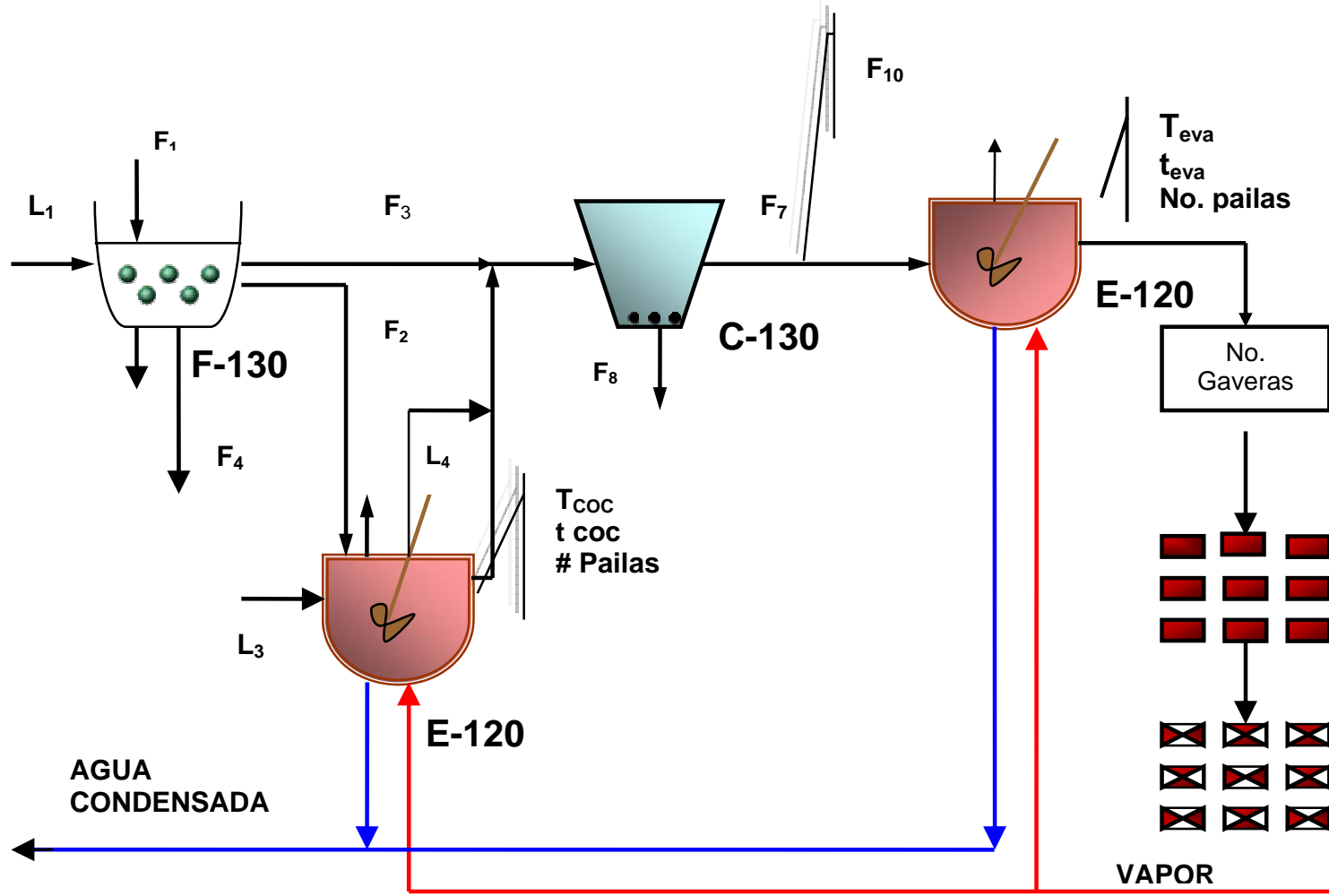
Nombre	Pailas	Tipo de caldera	Capacidad caldera (Bhp)	Mantenimiento correctivo	Años uso	Adquisición	Código
La Selección	4	Pirotubular	30	Cada dos años	25	De segunda	C-01
San Fernando	4	Pirotubular	30	Cada año	6	Nueva	C-02
La Calidad	4	Pirotubular	30	Cada año	25	De segunda	C-03
Doña Guayaba	4	Pirotubular	12	Cada seis meses	50	De segunda	C-04
La Campana	3	Pirotubular	15	Cada año	20	De segunda	C-05
Guayabetal	10	Pirotubular	60	Cada año	15	Nueva	C-06
JN	5	Pirotubular	40	Cada año	8	De segunda	C-07
El Cóndor	4	Pirotubular	30	Cada año	10	De segunda	C-08
La Ricaurte	3	Pirotubular	15	Cada año	3	De segunda	C-09

ANEXO D

LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE TOMA DE DATOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR CON CARBÓN



LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE TOMA DE DATOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BOCADILLO



ANEXO E

FORMATO DE TOMA DE DATOS DE PROCESO

Etapa	Medición	Descripción					Valor
LAVADO/ CLASIFI- CACION	F ₁	Guayaba inicial					
	vL ₁	Volumen de agua de lavado					
	F ₂	Guayaba verde					
	F ₃	Guayaba madura					
	F ₄	Guayaba descompuesta y residuos de lavado					
PRECOCCION	No. Paila	No. punto	Guayaba verde G ₂	Agua cocción vL ₃	Residuo agua cocción vL ₄	Tiempo de cocción t _{coc}	Temp. de cocción T _{coc}
Etapa	Medición	Descripción					Valor
DES - PULPE	F ₇	Pulpa de guayaba					
	F ₈	Semilla de guayaba					
	t _{des}	Tiempo de despulpe					
	F ₁₀	Azúcar para dulce de guayaba					
EVAPORA- CION	No. Paila	No. punto	Puré de guayaba F ₁₁	Tiempo de evaporación t _{eva}	Temp. de evaporación T _{eva}		
Etapa	Medición	Descripción					Valor
EVAPORACION DEL DULCE DE LECHE		Leche de vaca					
		Maicena para dulce de leche					
		Harina para dulce de leche					
		Azúcar para dulce de leche					
		Preservantes para dulce de leche					
	No. Paila	No. punto	Leche y aditivos	Tiempo de eva. t _{evadulce}	Temp. de eva. T _{evadulce}		

PRODUCCION		
Tipo de producto	Peso unitario pcPC	Unidades UPC
Número de Gaveras	F ₁₆ : Residuos de bocadillo	

FORMATO DE TOMA DE DATOS CALDERA A CARBÓN Y SEMILLA DE GUAYABA

Tiempo operación caldera t_{opcalC} (h)									
C_t , Carbón (kg)									
S_g , Semilla de guayaba (kg)									
T_{humosC} ($^{\circ}$ C)									
Volumen conden. (cm^3)									
Temp. Conden. T_{condC} ($^{\circ}$ C)									
Volumen purga									

Totales y promedios de los datos			
t_{opcalC} : Tiempo de operación de la caldera		Arranque de la caldera	
		Tiempo (h)	
		C_t , Carbón (kg)	
T_{vaporC} : Tiempo producción de vapor		Promedio (con t_{vaporC})	
		C_t , Carbón kg/h)	
		S_g , Semilla de guayaba (kg/h)	
Volumen de condensado total		G_4 Escoria (kg)	
		T_{humosC} ($^{\circ}$ C)	
Volumen de purga total		$T_{escoria}$ ($^{\circ}$ C)	
		T_{condC} ($^{\circ}$ C)	

Registro de condiciones del vapor en la conducción			
Medición	Descripción	Unidad de medición	Valor
P_{1C}	Presión de saturación del vapor a la salida de la caldera		
P_{2C}	Presión del vapor a la entrada de las pailas		
T_{2C}	Temperatura del vapor a la entrada de las pailas		
T_{H_2OeC}	Temperatura del agua de entrada a la caldera		

ANEXO F

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA

Para determinar la capacidad calorífica de la guayaba verde y del puré de guayaba se utilizó el calorímetro de barrido diferencial. El calorímetro mide la cantidad de calor que fluye hacia una muestra del material y hacia una muestra de referencia cuando la temperatura de la muestra se aumenta (o disminuye) linealmente. La muestra de referencia es el patrón zafiro, cuyos valores de capacidad calorífica permiten corregir errores ocasionados en la lectura del flujo de calor y en la velocidad de calentamiento. La norma ASTM Standard E-1296 establece el procedimiento. El rango de temperatura al que opera el calorímetro diferencial es de 25°C a 550°C, sin equipo de refrigeración.

El equipo requiere tres tipos de calibración:

- Calibración de línea base: calibración de la velocidad de calentamiento
- Constante de celda: corrección del calor de fusión experimental de diversos metales con el valor teórico.
- Temperatura: corrección de puntos de fusión de estándar cuyos valores se encuentran en el rango de operación a trabajar.

Para determinar la capacidad calorífica los datos se relacionan mediante la ecuación:

$$C_p \text{ (KJ/KgK)} = \left(\frac{Y}{Y'} \right) \left(\frac{m'}{m} \right) * C_{p'}$$

Donde

C_p: capacidad calorífica muestra

Y: W_{muestra} - W_{cápsula vacía}

Y': W_{zafiro} - W_{cápsula vacía}

m': masa zafiro (25.00 mg)

m: masa muestra (6 mg)

C_{p'}: Capacidad calorífica del zafiro

Temp. °C	Heat Flow vacía (W)	Heat Flow zafiro (W)	Heat Flow guayaba verde (W)	Heat Flow puré (W)	Cp zafiro (KJ/KgK)
30	0,0005982	0,00112675	0,0008046	0,0009426	0,7847
35	0,0002416	-0,0069975	-0,0037494	-0,004884	0,7949
40	0,0001164	-0,0069225	-0,0038358	-0,004812	0,8048
45	0,0000697	-0,0070625	-0,0040836	-0,0049506	0,8145
50	0,00004915	-0,0072	-0,004293	-0,005091	0,824
55	0,00003962	-0,007315	-0,0044106	-0,005223	0,8332
60	0,00003033	-0,00743	-0,0044928	-0,0053514	0,8422
65	0,00002037	-0,0075375	-0,004605	-0,0054726	0,851
70	0,00000752	-0,0076375	-0,0047442	-0,0055968	0,8596
75	-6,739E-06	-0,007745	-0,0049056	-0,0057288	0,868
80	-0,0000256	-0,007845	-0,0050814	-0,0058668	0,8761
85	-0,00004547	-0,0079425	-0,0052764	-0,006012	0,8841
90	-0,00006399	-0,0080475	-0,005484	-0,006156	0,8918
95	-0,0000913	-0,00815	-0,0057066	-0,006294	0,8994
100	-0,000115	-0,00825	-0,0059568	-0,006402	0,9068

Temp. °C	Y guayaba verde	Y Puré	Y'	Cp guayaba verde (KJ/KgK)	Cp puré (KJ/KgK)
30	0,0002064	0,0003444	0,00052855	1,276779869	2,13044083
35	-0,003991	-0,0051256	-0,0072391	1,825990052	2,34510013
40	-0,0039522	-0,0049284	-0,0070389	1,882828851	2,34789072
45	-0,0041533	-0,0050203	-0,0071322	1,97628528	2,38883418
50	-0,00434215	-0,00514015	-0,00724915	2,056523638	2,4344714
55	-0,00445022	-0,00526262	-0,00735462	2,100676912	2,48416131
60	-0,00452313	-0,00538173	-0,00746033	2,127575727	2,53144131
65	-0,00462537	-0,00549297	-0,00755787	2,170028212	2,57706948
70	-0,00475172	-0,00560432	-0,00764502	2,226165155	2,62560544
75	-0,004898861	-0,00572206	-0,00773826	2,289603217	2,67434599
80	-0,0050558	-0,0058412	-0,0078194	2,360254826	2,72691176
85	-0,00523093	-0,00596653	-0,00789703	2,440086765	2,78322419
90	-0,00542001	-0,00609201	-0,00798351	2,522681606	2,83545631
95	-0,0056153	-0,0062027	-0,0080587	2,611256996	2,8844129
100	-0,0058418	-0,006287	-0,008135	2,713247408	2,92002233
Promedio				1,866671069	2,41808677

ANEXO G

BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

Corriente de proceso

- Pérdida de guayaba en el lavado y clasificación de la fruta (suponiendo que el agua no absorbe agua durante el lavado)

$$F_4 = F_1 - F_2 - F_3$$

F_4 : Guayaba descompuesta y residuos del proceso de lavado (kg)

F_1 : Guayaba inicial (kg)

F_2 : Guayaba verde (kg)

F_3 : Guayaba madura (kg)

- Calor requerido para la cocción de la guayaba verde

$$Q_{COC} = (1 - H_{F2}) * F_2 * C_{p_{gv}} * (T_{coc} - T_{amb}) + (H_{F2} * F_2 + vL_3 * \rho_{H2O}^1) \int C_{p_{H2O(l)}} dT + L_5 * \Delta H_{eva}^1$$

$$L_5 = H_{F2} * F_2 + vL_3 * \rho_{H2O}^1 - H_{F5} * F_5 + vL_4 * \rho_{H2O}^2$$

$$F_5 = (1 - H_{F2}) * F_2 / (1 - H_{F5})$$

La integral se evalúa entre T_{amb} y T_{coc}

Q_{COC} : Calor de cocción de la guayaba verde (kJ)

H_{F2} : Humedad de la guayaba verde (kg agua/kg de guayaba verde)

$C_{p_{gv}}$: Capacidad calorífica de la guayaba verde seca (kJ/kg*K)

T_{coc} : Temperatura de cocción (K)

T_{amb} : Temperatura ambiente (K)

vL_3 : Agua de cocción (m^3)

ρ_{H2O}^1 : Densidad del agua a temperatura ambiente y presión atmosférica (kg/m^3)

$C_{p_{H2O(l)}}$: Capacidad calorífica del agua líquida (kJ/kg*K)

L_5 : Agua de cocción evaporada (kg)

ΔH_{eva}^1 : Calor de evaporación de agua a T_{coc} y presión atmosférica (kJ/kg)

H_{F5} : Humedad guayaba verde cocida (kg agua/kg de guayaba verde cocida)

F_5 : Guayaba verde cocida (kg)

vL_4 : Residuo de agua de cocción (m^3)

ρ_{H2O}^2 : Densidad agua líquida a T_{coc} y presión atmosférica (kg/m^3)

- Pérdida de pulpa de guayaba

$$F_9 = F_3 + F_5 - F_7 - F_8$$

$$E_1 = P_1 * t_{\text{despulpe}}$$

F_9 : Pérdida de pulpa de guayaba (kg)

F_7 : Pulpa de guayaba (kg)

F_8 : Semilla de guayaba (kg)

E_1 : Energía eléctrica consumida en la etapa de despulpe (KJ)

P_1 : Potencia del motor de la despulpadora (KW)

t_{despulpe} : tiempo de despulpe (s)

- Calor requerido para la cocción del puré de guayaba

$$Q_{\text{eva}} = (1 - H_{F11}) * F_{11} * C_{p_{\text{puré}}} * (T_{\text{eva}} - T_{\text{amb}}) + H_{F11} * F_{11} * \int C_{p_{\text{H}_2\text{O}}(l)} dT + F_{13} * \Delta H_{\text{eva}}^2$$

$$F_{11} = F_7 + F_{10}$$

$$F_{13} = H_{F11} * F_{11} - H_{F12} * F_{12}$$

$$F_{12} = (1 - H_{F11}) * F_{11} / (1 - H_{F12})$$

La integral se evalúa entre T_{amb} y T_{eva}

Q_{eva} : Calor necesario para la cocción del puré de guayaba

H_{F11} : Humedad del puré (kg agua/kg de puré)

F_{11} : Puré (pulpa de guayaba y azúcar) (kg)

$C_{p_{\text{puré}}}$: Capacidad calorífica del puré de guayaba seco (kJ/kg*kmol)

F_{10} : Cantidad de azúcar (kg)

T_{eva} : Temperatura de evaporación (K)

F_{13} : Agua evaporada en la etapa de evaporación (kg)

ΔH_{eva}^2 : Calor evaporación de agua a T_{eva} y presión atmosférica (kJ/kg)

H_{F12} : Humedad de la jalea (kg agua/kg de jalea)

F_{12} : Dulce caliente de guayaba (kg)

$$E_2 = P_2 * t_{\text{agitación}}$$

E_2 : Energía eléctrica consumida por el sistema de agitación en la evaporación (KJ)

P_2 : Potencia del motor del sistema de agitación (KW)

$t_{\text{agitación}}$: tiempo de agitación (s)

- Obtención del producto final

$$F_{15} = F_{14} - F_{16}; \quad F_{14} = F_{12}$$

F_{15} : Bocado cortado (kg)

F_{14} : Bloque de dulce de guayaba (kg)

F_{16} : Residuos de bocado (kg)

Balance de masa: combustión de carbón mineral y semilla de guayaba

- Balance general de masa en la combustión

$$C_1 + G_{2C} = G_{3C} + G_4 \text{ (kg/h)}$$

$$C_1 = C_t + S_g \text{ (kg/h); } C_t = c_t / t_{\text{vapor}} \text{ (kg/h); } S_g = s_t / t_{\text{vapor}} \text{ (kg/h)}$$

C_1 : Combustible húmedo promedio (kg/h)

G_{2C} : Aire húmedo en la combustión del carbón (kg/h)

G_{3C} : Gases de combustión húmedos de la combustión del carbón (kg/h)

G_4 : Escoria (kg/h)

C_t : Carbón promedio (kg/h)

S_g : Semilla de guayaba promedio (kg/h)

c_t : Carbón consumido durante la producción de vapor (kg)

s_t : Semilla de guayaba consumido durante la producción de vapor (kg)

t_{vapor} : Tiempo de producción de vapor (h)

- Caracterización de la mezcla de combustible

Las características de los combustibles utilizados: análisis próximo y análisis último, ambos en base seca, contenido de humedad y poder calorífico neto superior, se encuentran resumidos en el cuadro 1.

El análisis último y el análisis próximo se relacionan de la siguiente forma:

C: C fijo y C en MCV
 H: H en MCV
 O: O en MCV
 N: N en MCV
 S: S en MCV y S en contenido mineral

Cuadro 1. Composición y poder calorífico superior de los combustibles

Combustible	Análisis último					
	%C	%H	%O	%N	%S	%ceniza corregida
Carbón tópaga*	73.44	4.79	10.06	1.53	1.08	9.10
Semilla **	52.65	4.90	40.95	0.20	0.00	1.30
Combustible	Análisis próximo			%Hum	HHV (Btu/lb)	
	%MCV	%Ceniza pesada	%Carbón fijo			
Carbón tópaga	35.621	9.155	55.224	3.149	31187,31	
Semilla guayaba	92.608	1.300	6.092	49.406	23712,94	

* LOWRY, H. H. Chemistry of coal utilization, 1963.

** ANDERSON, Larry, TILLMAN, David. Fuels from waste, New York, 1977

La ceniza pesada en el análisis próximo contiene FeS_2 que se oxida durante la determinación a Fe_2O_3 disminuyendo el peso real de las cenizas, ya que 4 átomos de azufre (128 unidades masa) han sido reemplazadas por 3 átomos de O (48 unidades masa) ^[16]: $2 \text{FeS}_2 + 11/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_2$

La disminución, en función del porcentaje de azufre en las cenizas es:

$$\text{Pérdida de peso} = (128-48)/128 * \%S = 5/8 * \%S$$

El contenido mineral del carbón con y sin cenizas es:

$$\text{Contenido mineral con S} = \text{cenizas pesadas} + 5/8 * \%S$$

$$\text{Contenido mineral sin S (ceniza corregida)} = \text{ceniza pesada} - 3/8 * \%S$$

Los cuadros 2 y 3 muestran los análisis próximo y último para el carbón y la semilla de guayaba corregidos y en el cuadro 4 la composición del MCV.

Cuadro 2. Análisis próximo del carbón corregido

Carbón mineral		
Análisis último	Relación	Análisis próximo
C = 73.43	C fijo = 55.132	C fijo = 55.132 (100 – 35.621 - 9.10 - 0.147)
	C en MCV = 73.43 – 55.132 = 18.308	MCV = 35.621
H = 4.79	H en MCV = 4.79	
O = 10.06	O en MCV = 10.06	
N = 1.53	N en MCV = 1.53	
S = 1.08	S en MCV = (1.08 – 0.147) = 0.933	
	S en ceniza = 0.147	S = ((9.155-9.10)*8/3) =0.147
Ceniza = 9.10		Ceniza sin S = 9.10

Cuadro 3. Análisis próximo de la semilla de guayaba corregido

Semilla de guayaba		
Análisis último	Relación	Análisis próximo
C = 52.65	C fijo = 6.092	C fijo = 6.092 (100 – 92.608 – 1.30 - 0.00)
	C en MCV = (52.65 – 6.092) = 46.558	MCV = 92.608
H = 4.90	H en MCV = 4.90	
O = 40.95	O en MCV = 40.95	
N = 0.20	N en MCV = 0.20	
S = 0.00	S en MCV = 0.00	
	S en ceniza = 0.00	S = 0.00
Ceniza = 1.30		Ceniza sin S = 1.30

Cuadro 4. Composición del MCV

Composición del MCV en %p/p		
	Carbón	Semilla guayaba
H	13.447	5.291
O	28.242	44.219
N	4.295	0.216
S	2.620	0.000
C	51.396	50.274

La composición promedio de elementos en la mezcla combustible es:

$$\%C_{fijoc1'} = 55.132 * X_{ct} + 6.092 * X_{sg}$$

$$\%C_{MCVC1'} = 18.308 * X_{ct} + 46.558 * X_{sg}$$

$$\%H_{MCVC1'} = 4.79 * X_{ct} + 4.90 * X_{sg}$$

$$\%O_{MCVC1'} = 10.06 * X_{ct} + 40.95 * X_{sg}$$

$$\%N_{MCVC1'} = 1.53 * X_{ct} + 0.20 * X_{sg}$$

$$\%S_{MCVC1'} = 0.933 * X_{ct}$$

$$\%S_{cenizaC1'} = 0.147 * X_{ct}$$

$$\%Cen_{C1'} = 9.10 * X_{ct} + 1.30 * X_{sg}$$

$$X_{ct} = \frac{(1 - 0.03149) * C_t}{[(1 - 0.03149) * C_t + (1 - 0.49406) * S_g]}$$

$$X_{sg} = \frac{(1 - 0.49406) * S_g}{[(1 - 0.03149) * C_t + (1 - 0.49406) * S_g]}$$

$\%C_{fijoc1'}$, $\%C_{MCVC1'}$, $\%H_{MCVC1'}$, $\%O_{MCVC1'}$, $\%N_{MCVC1'}$, $\%S_{MCVC1'}$, $\%S_{cenizaC1'}$, $\%Cen_{C1'}$:

Composición de la mezcla combustible seca en C, H, O, N, S y cenizas en % p/p.

X_{ct} : Fracción carbón en la mezcla de combustible seco

X_{sg} : Fracción semilla en la mezcla de combustible seco

$$H_2O_{C1'} = 0.03149 * C_t + 0.49406 * S_g \quad (\text{kg/h})$$

$$n_{H_2O_{C1'}} = (H_2O_{C1'}) / 18 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{C_{fijoc1'}} = [C_1' * (\%C_{fijoc1'} / 100)] / 12 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{C_{MCVC1'}} = [C_1' * (\%C_{MCVC1'} / 100)] / 12 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{H_2MCVC1'} = [C_1' * (\%H_{MCVC1'} / 100)] / 2 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{O_2MCVC1'} = [C_1' * (\%O_{MCVC1'} / 100)] / 32 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{N_2MCVC1'} = [C_1' * (\%N_{MCVC1'} / 100)] / 28 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{S_{MCVC1'}} = [C_1' * (\%S_{MCVC1'} / 100)] / 32 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{S_{cenizaC1'}} = [C_1' * (\%S_{cenizaC1'} / 100)] / 32 \quad (\text{kmol/h})$$

$$Cen_{C1'} = [C_1' * (\%Cen_{C1'} / 100)] \quad (\text{kg/h})$$

$$C_1' = (1 - 0.03149) * C_t + (1 - 0.49406) * S_g \quad (\text{kg/h})$$

H_2O_{C1} : Agua que acompaña el combustible seco (kg/h)

$n_{H_2O_{C1}}$: Agua que acompaña el combustible seco (kmol/h)

C_1 : Combustible seco promedio (kg/h)

$n_{CfijoC1}$: Carbón fijo disponible para la combustión (kmol/h)

n_{MCVCC1} : Carbón en MCV disponible para la combustión (kmol/h)

n_{H_2MCVC1} : Hidrógeno molecular en MCV disponible para la combustión (kmol/h)

n_{O_2MCVC1} : Oxígeno molecular en MCV disponible para la combustión (kmol/h)

n_{N_2MCVC1} : Nitrógeno molecular en MCV (kmol/h)

n_{SMCVC1} : Azufre en MCV disponible para la combustión (kmol/h)

$n_{ScenizaC1}$: Azufre en ceniza disponible para la combustión (kmol/h)

Cen_{C1} : Material mineral (kg/h)

- Caracterización del aire disponible para la combustión

$$M_{G2} = Y_{O_2} * 32 + Y_{N_2} * 28 + Y_{H_2O} * 18$$

M_{G2} : Peso molecular del aire húmedo (kg/Kmol)

Y_{O_2} : Fracción molar oxígeno en el aire húmedo (Kmol O_2 /Kmol aire húmedo)

Y_{N_2} : Fracción molar nitrógeno en el aire húmedo (Kmol N_2 /Kmol aire húmedo)

Y_{H_2O} : Fracción molar agua en el aire húmedo (Kmol H_2O /Kmol aire húmedo)

$$Y_{O_2} = 21 / (21 + 79 + (100 * Y_{aire})); \quad Y_{N_2} = 79 / (21 + 79 + (100 * Y_{aire}))$$

$$Y_{H_2O} = (100 * Y_{aire}) / (21 + 79 + (100 * Y_{aire}))$$

Y_{aire} : Humedad absoluta del aire (Kmol de agua/ Kmol de aire seco)

$$Y_{aire} = P_{a_{H_2O}} / (P_{atm} - P_{a_{H_2O}}); \quad P_{a_{H_2O}} = P_{s_{aire}|T_{amb}} * Hr/100 \text{ (Pa)}$$

$P_{a_{H_2O}}$: Presión parcial del agua en el aire a temperatura ambiente (Pa)

P_{atm} : Presión atmosférica (Pa)

$P_{s_{aire}|T_{amb}}$: Presión de saturación del aire a temperatura ambiente (Pa)

T_{amb} : Temperatura ambiente (K)

Hr : Humedad relativa del aire

- Caracterización de la escoria

$$G_4' = G_4 * (1-0.06786) \text{ (kg/h)}; \quad n_{H_2O_{G_4}} = G_4 * 0.06786 / 18 \text{ (Kmol/h)}$$

G_4' : Escoria seca (Kg/h)

$n_{H_2O_{G_4}}$: Agua en la escoria (Kmol/h)

En el cuadro 5 se encuentra el análisis próximo en base seca de la escoria, y en la tabla 6 se encuentra la corrección en el contenido de azufre en la ceniza.

Cuadro 5. Análisis próximo de la escoria.

Componente	%p/p
Carbón fijo	8.652
MCV	45.087
Ceniza (con S)	46.261
Humedad	6.786

Cuadro 6. Análisis próximo corregido de la escoria

Componente	Masa (Kg)	%p/p
Azufre	$((G_4' * 0.46261) - C_{enC1'}) * 8/3$	$\%S_{escoria} = (Kg \text{ S} / Kg \text{ totales}) * 100$
Ceniza sin S	$C_{enC1'}$	$\%Ceniza_{escoria} = (Kg \text{ ceniza} / Kg \text{ totales}) * 100$
MCV	$((G_4' * 0.45087))$	$\%MCV_{escoria} = (Kg \text{ MCV} / Kg \text{ totales}) * 100$
Carbón fijo	$G_4' - S - ceniza \text{ sin S} - MCV$	$\%C_{fijo \text{ escoria}} = (Kg \text{ C}_{fijo} / Kg \text{ totales}) * 100$

Se supone el MCV de la escoria con la misma composición de la del carbón, en la tabla 7 se encuentra su composición promedio en la mezcla combustible.

Cuadro 7. Composición promedio MCV de la mezcla de combustibles

Elemento	(%p/p) /100
H_{MCV}	$(13.447 * X_{ct} + 5.291 * X_{sg})/100$
O_{MCV}	$(28.242 * X_{ct} + 44.219 * X_{sg})/100$
N_{MCV}	$(4.295 * X_{ct} + 0.216 * X_{sg})/100$
S_{MCV}	$(2.620 * X_{ct})/100$
C_{MCV}	$(51.396 * X_{ct} + 50.274 * X_{sg})/100$

$$n_{CfijoG4'} = [G_4' * (\%C_{fijo\ escoria} / 100)] / 12 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{CMCVG4'} = [G_4' * (\%MCV_{escoria} * C_{MCV} / 100)] / 12 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{H_2MCVG4'} = [G_4' * (\%MCV_{escoria} * H_{MCV} / 100)] / 2 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{O_2MCVG4'} = [G_4' * (\%MCV_{escoria} * O_{MCV} / 100)] / 32 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{N_2MCVG4'} = [G_4' * (\%MCV_{escoria} * N_{MCV} / 100)] / 28 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{SMCVG4'} = [G_4' * (\%MCV_{escoria} * S_{MCV} / 100)] / 32 \quad (\text{kmol/h})$$

$$n_{ScenizaG4'} = [G_4' * (\%S_{escoria} / 100)] / 32 \quad (\text{kmol/h})$$

$$C_{enG4'} = [G_4' * (\%Ceniza_{escoria} / 100)] \quad (\text{kg/h})$$

$n_{Cfijo4'}$: Carbón fijo en la escoria (kmol/h)

$n_{MCVCG4'}$: Carbón en MCV de la escoria (kmol/h)

$n_{H_2MCVG4'}$: Hidrógeno molecular en MCV en la escoria (kmol/h)

$n_{O_2MCVG4'}$: Oxígeno molecular en MCV en la escoria (kmol/h)

$n_{N_2MCVG4'}$: Nitrógeno molecular en MCV de la escoria (kmol/h)

$n_{SMCVG4'}$: Azufre en MCV en la escoria (kmol/h)

$n_{ScenizaG4'}$: Azufre en la ceniza de la escoria (kmol/h)

$C_{enG4'}$: Material mineral de la escoria (kg/h)

▪ Cálculo del aire húmedo

$$G_{2C} = n_{G_{2C}} * M_{G_2} \quad (\text{kg/h})$$

$$n_{G_{2C}} = \frac{n_{G_{3C}'} * X_{N_2'C} + n_{N_2MCVG4'} - n_{N_2MCVC1'}}{Y_{N_2}} \quad (\text{Kmol/h})$$

$$n_{G_{3C}'} = \frac{n_{Cfijo\ C1'} + n_{CMCV C1'} - n_{CfijoG4'} - n_{MCVCG4'}}{X_{CO_2'C} + X_{CO'C}} \quad (\text{Kmol/h})$$

$$X_{N_2'C} = 1 - (X_{CO_2'C} + X_{CO'C} + X_{O_2'C} + X_{S_{O_2}'})$$

$$X_{S_{O_2}'} = \frac{n_{SMCV C1'} + n_{ScenizaC1'} - n_{SMCVG4'} - n_{ScenizaG4'}}{n_{G_{3C}'}}$$

$n_{G_{2C}}$: Aire húmedo (Kmol/h)

$n_{G_{3C}'}$: Gases de combustión secos (Kmol/h)

$X_{N_2'C}$: Fracción molar en base seca de N_2 en los gases de combustión

X_{CO_2C} : Fracción molar en base seca de CO_2 en los gases de combustión, 4.31

$X_{CO'C}$: Fracción molar en base seca de CO en los gases de combustión, 12.99

$X_{O_2'C}$: Fracción molar en base seca de O_2 en los gases de combustión, 6.80

$X_{SO_2'}$: Fracción molar en base seca de SO_2 en los gases de combustión

- Cálculo de los gases de combustión húmedos

$$G_{3C} = nG_{3C} * M_{G_{3C}} \text{ (kg/h)}$$

$$nG_{3C} = nG_{3C}' + n_{H_2O-G_{3C}'} \text{ (Kmol/h)}$$

$$n_{H_2O-G_{3C}'} = n_{H_2O_{G_{2C}1}} + n_{H_2O_{C1}} + (n_{H_2MCVC1'} - n_{H_2MCVG4'}) - n_{H_2O_{G4}}$$

$$n_{H_2O_{G_{2C}}} = G_{2C} * Y_{H_2O} \text{ (Kmol/h)}$$

nG_{3C} : Gases de combustión húmedos (Kmol/h)

$M_{G_{3C}}$: Peso molecular de gases de combustión húmedos (kg/Kmol)

$n_{H_2O-G_{3C}'}$: Agua en los gases de combustión secos (Kmol/h)

$n_{H_2O_{G_{2C}}}$: Agua en el aire húmedo (Kmol/h)

$$M_{G_3} = X_{CO_2} * 44 + X_{CO} * 28 + X_{O_2} * 32 + X_{SO_2} * 64 + X_{N_2} * 28 + X_{H_2O} * 18 \text{ (kg/Kmol)}$$

$$X_{CO_2C} = (nG_{3C}' * X_{CO_2'C}) / nG_{3C}$$

$$X_{CO'C} = (nG_{3C}' * X_{CO'C}) / nG_{3C}$$

$$X_{O_2C} = (nG_{3C}' * X_{O_2'C}) / nG_{3C}$$

$$X_{SO_2} = (nG_{3C}' * X_{SO_2'}) / nG_{3C}$$

$$X_{N_2C} = (nG_{3C}' * X_{N_2'C}) / nG_{3C}$$

$$X_{H_2OC} = (n_{H_2O-G_{3C}'}) / nG_{3C}$$

X_{CO_2C} : Fracción molar en base húmeda de CO_2 en los gases de combustión

$X_{CO'C}$: Fracción molar en base húmeda de CO en los gases de combustión

X_{O_2C} : Fracción molar en base húmeda de O_2 en los gases de combustión

X_{SO_2} : Fracción molar en base húmeda de SO_2 en los gases de combustión

X_{N_2C} : Fracción molar en base húmeda de N_2 en los gases de combustión

X_{H_2OC} : Fracción molar en base húmeda de H_2O en los gases de combustión

- Exceso de aire

$$\% \text{ Exceso de } O_2 = \frac{O_{2C\text{sumi}} - O_{2C\text{nec}}}{O_{2C\text{nec}}} * 100$$

$$O_{2C\text{sumi}} = nG_{2C} * Y_{O_2} \text{ (Kmol/h)}$$

$$O_{2C\text{nec}} = O_{2C\text{teo}} - n_{O_2\text{MVCVC}1'} \text{ (Kmol/h)}$$

$$O_{2C\text{teo}} = n_{C\text{fijo}C1'} + n_{C\text{MVCVC}1'} + 0.5 * n_{H_2\text{MVCVC}1'} + n_{SC1'} + n_{SMVCVC1'} \text{ (Kmol/h)}$$

$O_{2C\text{sumi}}$: Oxígeno disponible en el aire húmedo (Kmol/h)

$O_{2C\text{nec}}$: requerimiento de oxígeno para completar el oxígeno teórico (Kmol/h)

$O_{2C\text{teo}}$: Oxígeno requerido para combustión completa (Kmol/s)

- Relación aire/combustible

$$AC_{SC} = G_{2C\text{nec}} / C_1$$

$$G_{2C\text{nec}} = nG_{2C\text{nec}} * M_{G_2} \text{ (kg/h)}$$

$$nG_{2C\text{nec}} = O_{2C\text{nec}} / Y_{O_2} \text{ (Kmol/h)}$$

$$AC_C = G_{2C} / C_1$$

AC_{SC} : Relación aire necesario – combustible (kg aire/kg combustible)

$G_{2C\text{nec}}$: Aire húmedo necesario (kg/s)

$nG_{2C\text{nec}}$: Aire húmedo necesario (Kmol/s)

AC_C : Relación aire suministrado – combustible (kg aire/kg combustible)

Balance de energía: combustión de carbón mineral y semilla de guayaba

- Eficiencia de combustión

$$\eta_{\text{Comb}} = \frac{Q_{\text{neto real}}}{Q_{\text{neto ideal}}} * 100$$

$$Q_{\text{neto real}} = Q_{\text{RXICH}} + Q_{\text{gc real}} \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{neto ideal}} = Q_{\text{RXCCS}} + Q_{\text{gc ideal}} \text{ (kJ/h)}$$

$Q_{\text{neto real}}$: Calor total real de la combustión incompleta del combustible húmedo

$Q_{\text{neto ideal}}$: Calor total ideal de la combustión completa del combustible seco

Q_{RXICH} : Calor liberado en la combustión incompleta del combustible húmedo (producción de $\text{CO}_{2(\text{g})}$, $\text{CO}_{(\text{g})}$, $\text{SO}_{2(\text{g})}$ y $\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$ a 25°C) (kJ/h)

$Q_{\text{gc real}}$: Calor perdido en los gases de la combustión real del combustible húmedo (kJ/h)

Q_{RXCCS} : Calor liberado en la reacción completa del combustible seco (producción de $\text{CO}_{2(\text{g})}$, $\text{SO}_{2(\text{g})}$ y $\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$ a 25°C) (kJ/h)

$Q_{\text{gc ideal}}$: Calor perdido en los gases de la combustión ideal del combustible seco (kJ/h)

$$Q_{\text{RXCCS}} = Q_{\text{RXC}} + (18 * n_{\text{H}_2\text{MCVC1}'} * \Delta H_{\text{eva}}^4) \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{RXC}} = - \text{HHV}_{\text{prom}} * C_1' \text{ [kJ/h]}$$

$$\text{HHV}_{\text{prom}} = (31187.31 * X_{\text{ct}} + 23712.94 * X_{\text{sg}}) * 2325,966 \text{ (kJ/kg)}$$

$$Q_{\text{gc ideal}} = (n_{\text{CfijoC1}'} + n_{\text{CMCVC1}'})*\int \text{Cp}_{\text{CO}_2(\text{g})} dT + (n_{\text{ScenizaC1}'} + n_{\text{SMCVC1}'})*\int \text{Cp}_{\text{SO}_2(\text{g})} dT + (n_{\text{G}_2\text{Cnec}} * Y_{\text{N}_2} + n_{\text{N}_2\text{MCVC1}'})*\int \text{Cp}_{\text{N}_2(\text{g})} dT + (n_{\text{H}_2\text{O}_{\text{G}_2\text{C}} + n_{\text{H}_2\text{MCVC1}'})*\int \text{Cp}_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})} dT$$

La integral se evalúa entre la T_{ref} y T_{humos}

Q_{RXC} : Calor liberado en la reacción completa del combustible seco (producción de $\text{CO}_{2(\text{g})}$, $\text{SO}_{2(\text{g})}$ y $\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$ a 25°C) (kJ/h)

ΔH_{eva}^4 : Calor evaporación del agua a 25°C y 1 atm de presión (kJ/kg)

$\text{HHV}_{\text{promedio}}$: Poder calórico neto superior promedio (kJ/kg)

$\text{Cp}_{\text{CO}_2(\text{g})}$, $\text{Cp}_{\text{SO}_2(\text{g})}$, $\text{Cp}_{\text{N}_2(\text{g})}$, $\text{Cp}_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})}$: Capacidades caloríficas del CO_2 , SO_2 , N_2 y H_2O como gases (kJ/kg K)

T_{ref} : Temperatura de referencia, 298,5 K.

T_{humos} : Temperatura de los gases de combustión (K)

$$Q_{\text{RXICH}} = Q_{\text{RXI}} + ((n_{\text{H}_2\text{MCVC1}'} - n_{\text{H}_2\text{MVG4}'} + n_{\text{H}_2\text{OC1}'} - n_{\text{H}_2\text{OG4}'})*18*\Delta H_{\text{eva}}^4) \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{RXI}} = Q_{\text{RXC}} - Q_{\text{C}} - Q_{\text{CO}} - Q_{\text{H}_2} - Q_{\text{S}} \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{C}} = (n_{\text{CfijoG4}'} + n_{\text{CMCVG4}'})*h^{\circ}_{\text{CO}_2(\text{g})} \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{CO}} = (n_{\text{G}_3}' * X_{\text{CO}'})*(h^{\circ}_{\text{CO}_2(\text{g})} - h^{\circ}_{\text{CO}(\text{g})}) \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{H_2} = (n_{H_2MVC4'}) * h^{\circ}_{H_2O(l)} \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{S_2} = (n_{SMCVC4'} + n_{ScenizaG4'}) * h^{\circ}_{SO_2(g)} \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{gc \text{ real}} = n_{G_3'} * X_{CO_2} * [Cp_{CO_2(g)} dT] + n_{G_3'} * X_{SO_2} * [Cp_{SO_2(g)} dT] + G_3' * X_{CO} * [Cp_{CO(g)} dT] + n_{G_3'} * X_{N_2} * [Cp_{N_2(g)} dT] + (n_{H_2O-G_3'}) * [Cp_{H_2O(g)} dT] + n_{G_3'} * X_{O_2} * [Cp_{O_2(g)} dT] \text{ [kJ/s]}$$

La integral se evalúa entre la T_{ref} y T_{humos}

Q_{RXI} : Calor liberado en la reacción incompleta del combustible húmedo

(producción de $CO_{2(g)}$, $CO_{(g)}$, $SO_{2(g)}$ y $H_2O_{(l)}$ a $25^{\circ}C$) (kJ/h)

Q_C : Calor perdido por carbón no quemado (kJ/h)

Q_{CO} : Calor perdido por monóxido de carbono (kJ/h)

Q_{H_2} : Calor perdido por hidrógeno no quemado (kJ/h)

Q_S : Calor perdido por azufre no quemado (kJ/h)

$h^{\circ}_{CO_2(g)}$, $h^{\circ}_{SO_2(g)}$, $h^{\circ}_{CO(g)}$, $h^{\circ}_{H_2O(l)}$: Calores estándar de formación a $25^{\circ}C$ del CO_2 , SO_2 , CO , H_2O gaseosos (kJ/Kmol)

$Cp_{CO(g)}$: Capacidad calorífica del CO como gas (kJ/kg K)

- Temperatura de llama adiabática

La temperatura de llama adiabática es la temperatura máxima que puede alcanzar los productos considerando la combustión completa de los reactivos y el horno de combustión como un horno adiabático.

$$Q_{neto} = Q_{RXCCH} + Q_{pgc} = 0$$

$$Q_{RXCCH} = Q_{RXC} + (18 * (n_{H_2MVC1'} + n_{H_2OC1'}) * \Delta H_{eva}^4) \text{ (kJ/h)}$$

$$f(T_{ad}) = Q_{RXCCH} + \{[(n_{CfijoC1'} + n_{CMCVC1'}) * (8.314/44) * (5.457 * (T_{ad} - T_{ref}) +$$

$$0.5 * 1.045E-3 * (T_{ad}^2 - T_{ref}^2) + 1.157E5 / (T_{ad} - T_{ref})]\} + [(n_{ScenizaC1'} + n_{SMCVC1'}) * (8.314/64) * (5.699 * (T_{ad} - T_{ref}) + 0.5 * 0.801E-3 * (T_{ad}^2 - T_{ref}^2) + 1.015E5 / (T_{ad} - T_{ref}))] +$$

$$[(n_{G_2Cnec} * Y_{N_2} + n_{N_2MVC1'}) * (8.314/28) * (3.280 * (T_{ad} - T_{ref}) + 0.5 * 0.593E-3 * (T_{ad}^2 - T_{ref}^2) -$$

$$0.040E5 / (T_{ad} - T_{ref}))] + [(n_{H_2OG_2C} + n_{H_2MVC1'} + n_{H_2OC1'}) * (8.314/18) * (3.470 * (T_{ad} - T_{ref}) + 0.5 * 1.450E-3 * (T_{ad}^2 - T_{ref}^2) - 0.121E5 / (T_{ad} - T_{ref}))] = 0$$

T_{ad} : Temperatura de llama adiabática (K)

Para solucionar la ecuación y encontrar la temperatura de llama adiabática se utilizó el método de Newton-Rapson, en donde

$$f'(T_{ad}) = [(n_{Cfijoc1'} + n_{CMCVC1'}) * (8.314/44) * (5.457 + 1.045E-3 * (T_{ad} - T_{ref})) - 1.157E5 / (T_{ad}^2 - T_{ref}^2)] + (n_{ScenizaC1'} + n_{SMCVC1'}) * (8.314/64) * (5.699 + 0.801E-3 * (T_{ad} - T_{ref}) - 1.015E5 / (T_{ad}^2 - T_{ref}^2)) + (n_{G2Cnec} * Y_{N2} + n_{N2MCVC1'}) * (8.314/28) * (3.280 + 0.593E-3 * (T_{ad} - T_{ref})) + 0.040E5 / (T_{ad}^2 - T_{ref}^2) + (n_{H2OG2C} + n_{H2MCVC1'} + n_{H2OC1'}) * (8.314/18) * (3.470 + 1.450E-3 * (T_{ad} - T_{ref}) + 0.121E5 / (T_{ad}^2 - T_{ref}^2)) +] = 0$$

$$T_{ad(n+1)} = T_{ad(n)} - \frac{f(T_{ad(n)})}{f'(T_{ad(n)})} \quad \text{con } T_{ad(n)} = T_{humos}$$

Balance de masa para el agua de caldera

$$m_{cond} = (v_{cond} * \rho_{H2O}^3) / t_{vaporC} \quad (\text{kg/h})$$

$$m_{vap}^1 = m_{vap}^2 = m_{cond} \quad (\text{kg/h})$$

$$m_{H2Oe} = m_{vap}^1 \quad (\text{kg/h})$$

m_{cond} : Flujo másico de condensado (kg/h)

v_{cond} : Volumen de condensado (m^3)

ρ_{H2O}^3 : Densidad del agua a T_{cond} (kg/m^3)

T_{cond} : Temperatura del condensado (K)

m_{vap}^1 : Flujo másico de vapor saturado a la salida de la caldera (kg/h)

m_{vap}^2 : Flujo másico de vapor a la entrada de las pailas (kg/h)

m_{H2Oe} : Flujo másico de agua de entrada a la caldera (kg/h)

Balance de energía para el agua de caldera

- Eficiencia de caldera

$$\eta_{Cal} = \frac{(Q_{vap}^1 - Q_{H2Oe}) * t_{vaporC}}{Q_{RXCCS}} * 100$$

$$Q_{\text{vap}}^1 = m_{\text{vap}}^1 * h_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})|_{\text{T}_{\text{S}1\text{C}}, \text{P}_{1\text{C}}} \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{Oe}} = m_{\text{H}_2\text{Oe}} * C_{\text{pH}_2\text{O}(\text{l})|_{\text{T}_{\text{H}_2\text{OeC}}} \text{ (kJ/h)}$$

Q_{vap}^1 : Calor del vapor saturado a la salida de la caldera (kJ/h)

$Q_{\text{H}_2\text{Oe}}$: Calor del agua de entrada a la caldera (kJ/h)

$h_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})|_{\text{T}_{\text{S}1\text{C}}, \text{P}_{1\text{C}}}$: Entalpía vapor saturado, a $T_{\text{S}1\text{C}}$ y $P_{1\text{C}}$ (kJ/kg)

$T_{\text{S}1\text{C}}$: Temperatura de saturación del vapor a la salida de la caldera (a P_1) (K)

$P_{1\text{C}}$: Presión de saturación del vapor a la salida de la caldera a carbón (Pa)

$C_{\text{pH}_2\text{O}(\text{l})|_{\text{T}_{\text{H}_2\text{OeC}}}$: Capacidad calorífica agua líquida evaluada a $T_{\text{H}_2\text{OeC}}$ (KJ/KgK)

$T_{\text{H}_2\text{OeC}}$: Temperatura del agua de entrada de la caldera de carbón (K)

- Pérdidas de calor en el sistema de vapor

$$Q_{\text{percal}} = Q_{\text{RXICH}} - Q_{\text{vap}}^1 \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{per}}^1 = Q_{\text{vap}}^1 - Q_{\text{vap}}^2 \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{vap}}^2 = m_{\text{vap}}^2 * h_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})|_{\text{T}_{2\text{C}}, \text{P}_{2\text{C}}} \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{per-eva}}^2 = Q_{\text{vap}}^2 - Q_{\text{cond}} - (Q_{\text{eva}} / t_{\text{eva}}) \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{per-coc}}^2 = Q_{\text{vap}}^2 - Q_{\text{cond}} - (Q_{\text{coc}} / t_{\text{coc}}) \text{ (kJ/h)}$$

$$Q_{\text{cond}} = m_{\text{cond}} * h_{\text{H}_2\text{O}(\text{l})|_{\text{T}_{\text{cond}}, \text{P}_{\text{amb}}}} \text{ (kJ/h)}$$

Q_{percal} : Calor perdido por la transferencia de calor en la caldera (kJ/h)

Q_{per}^1 : Calor perdido en la conducción de vapor desde la salida de la caldera a la entrada de las pailas (kJ/h)

Q_{vap}^2 : Calor del vapor a la entrada de las pailas (kJ/h)

$h_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})|_{\text{T}_{2\text{C}}, \text{P}_{2\text{C}}}$: Entalpía del vapor a la entrada de las pailas, a $T_{2\text{C}}$ y $P_{2\text{C}}$ (kJ/kg)

$T_{2\text{C}}$: Temperatura del vapor a la entrada de las pailas con caldera a carbón (K)

$P_{2\text{C}}$: Presión del vapor a la entrada de las pailas con caldera a carbón (Pa)

$Q_{\text{per-eva}}^2$: Calor perdido en las pailas en la evaporación del puré (kJ/s)

t_{eva} : tiempo de evaporación del puré de guayaba (h)

$Q_{\text{per-coc}}^2$: Calor perdido en las pailas en la cocción de la guayaba verde (kJ/h)

t_{coc} : tiempo de cocción de la guayaba verde (h)

Q_{cond} : Calor perdido en el condensado (kJ/h)

$h_{\text{H}_2\text{O}(l)}|_{T_{\text{cond}}, P_{\text{amb}}}$: Entalpía del agua a la salida de las pailas, a T_{cond} y P_{amb} [kJ/kg]

P_{amb} : Presión ambiente (Pa)

- Eficiencia de transferencia de caldera

$$\eta_{\text{transcaldera}} = \frac{Q_{\text{vap}}^1}{Q_{\text{neto real}}} * 100$$

- Eficiencia total del proceso

$$\eta_{\text{proceso}} = \frac{Q_{\text{COC}} + Q_{\text{eva}}}{Q_{\text{RXCCS}} * t_{\text{vapor}}} * 100$$

ANEXO H

EMISSION FACTORS FOR SULFUR OXIDES SO_x, NITROGEN OXIDES NO_x, AND CARBON MONOXIDE CO, FROM BITUMINOUS AND SUBBITUMINOUS COAL COMBUSTION^a.

FIRING CONFIGURATION	SCC	SO _x ^b		NO _x ^c		CO ^{d,c}	
		FACTOR Kg/Mg	RATING	FACTOR Kg/Mg	RATING	FACTOR Kg/Mg	RATING
Pulverized coal fired, dry bottom, wall fired	1-01-002-02/22	19S	A	10.85	A	0.25	A
	1-02-002-02/22	17.5S					
	1-03-002-06/22						
Pulverized coal fired, dry bottom, tangentially fired	1-01-002-12/26	19S	A	7.2	A	0.25	A
	1-02-002-12/26	17.5S					
	1-03-002-16/26						
Pulverized coal fired, wet bottom	1-01-002-01/21	19S	D	17	C	0.25	A
	1-02-002-01/21	17.5S					
	1-03-002-05/21						
Cyclone furnace	1-01-002-03/23	19S	D	16.9	C	0.25	A
	1-02-002-03/23	17.5S					
	1-03-002-03/23						
Spreader stoker	1-01-002-04/24	19S	B	6.85	A	2.5	A
	1-02-002-04/24	17.5S					
	1-03-002-09/24						
Spreader stoker, with multiple cyclones, and reinjection	1-01-002-04/24	19S	B	6.85	A	2.5	A
	1-02-002-04/24	17.5S					
	1-03-002-09/24						
Spreader stoker, with multiple cyclones, no reinjection	1-01-002-04/24	19S	A	6.85	A	2.5	A
	1-02-002-04/24	17.5S					
	1-03-002-09/24						
Overfeed stoker	1-01-002-05/25	19S	B	3.75	A	3	B
	1-02-002-05/25	17.5S					
	1-03-002-07/25						

Ovefeed stoker, with multiple cyclones	1-02-002-06 1-03-002-08	15.5S	B	4.75	A	5.5	B
Underfeed stoker, with multiple cyclone	1-02-002-06 1-03-002-08	15.5S	B	4.75	A	5.5	B
Hand-fed units	1-03-002-14	15.5S	D	4.55	E	137.5	E
Fluidized bed combustor, circulating bed	1-01-002-17 1-02-002-17 1-03-002-17	-- ^g	E	1.95	E	9	E
Fluidized bed combustor, bubbling bed	1-01-002-17 1-02-002-17 1-03-002-17	- ^g	E	7.6	D	9	D

^a factors represent uncontrolled emissions unless otherwise specified and should be applied to coal feed, as fired. SCC: Source classification Code

^b Expressed as SO₂, SO₃, and gaseous sulfates. Factors in parentheses should be used to estimate gaseous SO_x emissions for subbituminous coal. In all cases, S is weight percent sulfur content of coal as fired. Emission factor would be calculated by multiplying the weight percent sulfur in the coal by the numerical value preceding S.

^c Expressed as NO₂. Generally 95 %vol of nitrogen oxides present in combustion exhaust will be in the form of NO, the rest NO₂. To express factors as NO, multiply factors by 0.66.

EMISSION FACTORS FOR PARTICULATE MATTER (PM) AND PM LESS THAN 10 MICROMETERS (PM-10) FROM BITUMINOUS AND SUBBITUMINOUS COAL COMBUSTION^a,

FIRING CONFIGURATION	SCC	Filterable PM ^b		PM-10	
		Kg/Mg	RATING	Kg/Mg	RATING
Pulverized coal fired, dry bottom, wall fired	1-01-002-02/22 1-02-002-02/22 1-03-002-06/22	5A	A	1.15	E
Pulverized coal fired, dry bottom, tangentially fired	1-01-002-12/26 1-02-002-12/26 1-03-002-16/26	5A	B	1.15A ^c	E

Pulverized coal fired, wet bottom	1-01-002-01/21 1-02-002-01/21 1-03-002-05/21	3.5A ^d	D	1.3A	E
Cyclone furnace	1-01-002-03/23 1-02-002-03/23 1-03-002-03/23	1A ^d	E	0.13A	E
Spreader stoker	1-01-002-04/24 1-02-002-04/24 1-03-002-09/24	1A ^d	B	6.6	E
Spreader stoker, with multiple cyclones, and reinjection	1-01-002-04/24 1-02-002-04/24 1-03-002-09/24	8.5	B	6.6	E
Spreader stoker, with multiple cyclones, no reinjection	1-01-002-04/24 1-02-002-04/24 1-03-002-09/24	6	A	3.9	E
Overfeed stoker^F	1-01-002-05/25 1-02-002-05/25 1-03-002-07/25	8 ^g	C	2.5	E
Ovefeed stoker, with multiple cyclones	1-01-002-05/25 1-02-002-05/25 1-03-002-07/25	4.5 ^h	C	2.5	E
Underfeed stoker	1-02-002-08 1-03-002-06	7.5 ^j	D	3.1	E

^afactors represent uncontrolled emissions unless otherwise specified and should be applied to coal feed, as fired. SCC: Source classification Code

^b where particulate is expressed in terms of coal ash content, A, factor is determined by multiplying weight % ash content coal (as fired) by the numerical value preceding the A. for example, if coal with 8% ash is fired.

^c No date found, use assumed emission factor for pulverized coal-fired dry bottom boilers.

^d uncontrolled particulate emissions, when no fly ash reinjection is employed. When control device is installed, and collected fly ash is reinjected to boiler, particulate from boiler reaching control equipment can increase up to a factor of two.

^e accounts for fly ash settling in an economizer, air heater, or breachi upstream of control device or stack. (particulate directly at boiler outlet typically will be twice this level).

ANEXO I

NORMA AMBIENTAL DE EMISIONES CONTAMINANTES DEL AIRE

Decreto 02 de 1982.

Los valores a que se refiere la presente norma están señalados a condiciones de referencia, temperatura (25°C) y presión (760 mm), para ubicación de fuentes a nivel del mar y para alturas del punto de descarga iguales a la altura de referencia indicada. Los puntos de descarga de contaminantes al aire ambiente, en ningún caso podrán estar localizados a una altura inferior a quince (15) metros desde el suelo, o a la señalada como mínima.

NORMA DE EMISION DE MATERIAL PARTICULADO PARA CALDERAS A CARBÓN

Los valores de emisión de partículas en calderas a base de carbón no podrán ser superiores a los consignados en la siguiente tabla:

Consumo de calor por hora 10 ⁶ Kilocal	Zona rural Kilos/10 ⁶ Kilocal	Zona urbana Kilos/10 ⁶ Kilocal	Altura de referencia del punto de descarga (m)
10 o menos	3.00	2.00	15
25	2.24	1.45	20
50	1.79	1.14	25
75	1.57	0.99	30
100	1.43	0.90	40
200	1.15	0.71	45
300	1.01	0.61	50
400	0.92	0.55	55
500	0.86	0.51	60
750	0.75	0.45	100
1.000	0.68	0.40	115
1.500 o más	0.60	0.35	120

Interpolación	Zona rural	Zona urbana
P < 10	E = 3.0	E = 2.0
10 < P < 1.500	$E = 6.29 P^{-0.321}$	$E = 4.46 P^{-0.348}$
P > 1.500	E = 0.6	E = 0.35

E: Máxima emisión permisible de partículas, expresada en Kilos por millón de kilocalorías consumidas por hora.

P: Calor liberado por el combustible utilizado, millones de kilocalorías por hora.

Cuando la fuente está ubicada a una altura diferente a la del nivel del mar, los valores señalados se deberán multiplicar por el factor K

Altura sobre el nivel del mar (m)	Factor de modificación (K)
500	0.969
750	0.954
1.000	0.939
1.250	0.923
1.500	0.908
1.750	0.893
2.000	0.878
2.250	0.862
2.500	0.847

Interpolación: $K = Pbh / 760 + 0,04 H$

K: Factor de modificación por altitud.

Pbh: Presión barométrica del lugar; en milímetros de mercurio (mm).

H: Altitud sobre el nivel del mar, en miles de metros.

Cuando la altura real del punto de descarga es diferente a la altura de referencia, los valores de la norma de emisión señalados deben ser corregidos adicionando cuando sea mayor o restando cuando sea menor, una cantidad ΔE , por cada metro de aumento o disminución que tenga el punto de descarga con respecto a la altura de referencia:

Consumo de calor en Kilos/10⁶ Kilocalorías por hora	Reducción o adición en millones de Kilocalorías por cada metro de aumento o de disminución de la altura de descarga con respecto a la altura de referencia (ΔE)		Altura mínima del punto de descarga(m)
	Zona Urbana	Zona Rural	
10 o menos	--	--	15
25	0.050	0.075	15
50	0.040	0.065	20
75	0.030	0.060	20
100	0.020	0.042	30
200	0.015	0.032	30
300	0.010	0.022	40
400	0.006	0.013	40
500	0.005	0.011	50
750	0.004	0.009	60
1.000	0.003	0.007	80
2.000 o más	0.0025	0.006	100

La emisión permisible: $E_1 = E + (\Delta h \times \Delta E)$

E_1 : Emisión permisible corregida para una caldera con punto de descarga de altura h , diferente a la altura de referencia.

E : Emisión permisible, modificada por altitud sobre el nivel del mar

Δh : Diferencia en metros, entre la altura de referencia y la altura de descarga.

ΔE : Factor de corrección.

Las normas para calderas señaladas en el presente Decreto se refieren a la emisión de partículas en operación normal. Su cumplimiento no es obligatorio durante los períodos de puesta en marcha, parada y soplado de cenizas, siempre y cuando cada uno de ellos no exceda de 45 minutos cada 24 horas.

NORMA DE EMISION DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂) PARA CALDERAS, HORNOS Y EQUIPOS QUE UTILICEN COMBUSTIBLE SÓLIDO O LÍQUIDO

Las calderas, hornos o equipos a base de combustible sólido o líquidos que originen o produzcan dióxido de azufre (SO₂), no podrán emitir al aire ambiente, los gases provenientes de su combustión, por una chimenea cuya altura sea inferior a la señalada a continuación:

Calor total liberado, en millones de Kilocalorías por hora	Altura mínima requerida en metros		
	Contenido ponderado de azufre (%)		
	1.4 o menos	1.5 - 2.9	3.0 - 6.0
10 o menos	15	15	20
11 – 40	20	25	30
50	25	30	35
75	30	37	50
100	35	45	65
200	40	52	72
300	45	60	80
400	52	67	95
500	60	75	110
750	85	100	130
1.000	110	125	150
2.000 o más	125	150	

Cuando en un radio de 50 metros cuyo centro sea la fuente de contaminación, exista una edificación de más de diez (10) m de altura, se tomará como altura mínima de la chimenea, el mayor de los dos valores siguientes:

- La altura de la edificación más cinco (5) metros.
- La altura mínima requerida.

ANEXO J

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA PRODUCTORA DE BOCADILLO CON GAS NATURAL

- Una caldera de 40 Bhp, con una presión de trabajo de 120 psig y asumiendo una temperatura del agua de alimentación de 60° F produce 1244 Lb/h de vapor.

- Determinación del combustible. Despreciando la energía consumida por la bomba:

$$m_c = \frac{m_v (h_v - h_a)}{\eta_{caldera} * HHV}$$

Composición y propiedades del gas natural

COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL			PROPIEDADES	
Compuesto	Fórmula	%v/v	Peso Molecular	20,75
Metano	CH ₄	76,513	Gravedad Específica (ρ _{gas} / ρ _{aire}) El aire libre de CO ₂ , H ₂ a 1atm y 0° C	0,716
Etano	C ₂ H ₆	11,591		
Propano	C ₃ H ₈	4,478		
i-Butano	C ₄ H ₁₀	0,729		
n-Butano	C ₄ H ₁₀	0,785		
i-Pentano	C ₅ H ₁₂	0,132		
n-Pentano	C ₅ H ₁₂	0,079		
Hexano	C ₆ H ₁₄	0,029		
Nitrógeno	N ₂	0,43	Poder Calórico Bruto Real (14,65 psi, 60° F) (BTU/ft ³)	1145.45
Dióxido de carbono	CO ₂	5,234		
Suponiendo el gas natural como una mezcla de gases ideales, la composición volumétrica es la misma composición molar.				

ECOPETROL - Gerencia del Gas, Junio 2004

- Determinación de agua de purga. Realizando un balance de energía mecánica entre el nivel de agua en la caldera y la salida por la purga se tiene:

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} + g(Z_1 - Z_2) = \frac{V_2^2}{2} + h_F$$

Despreciando las pérdidas por tramos de tuberías:

$$h_F = K^* \frac{V_2^2}{2}$$

Donde K son los coeficientes de pérdidas por los accesorios: entrada de borde agudo (0.5), válvula de globo abierta (7.8) y salida por tubería (1).

Tomando $(Z_1 - Z_2) = 2$ m y $(P_1 - P_2) = 827370.84$ Pa, $V = 13.133$ m/s.

El diámetro de la tubería de salida es de 1 in, luego $Q = 0.006654$ m³/s. Tomando el volumen desocupado en 10 segundos como si fuese un flujo másico durante 8 horas, $m_{\text{purga}} = 7.42$ kg/h

- Balance de masa de agua en el tanque de alimentación y la caldera:

$$m_{\text{reposición}} + m_{\text{condensado}} = m_{\text{alimentación}} = m_{\text{vapor}} + m_{\text{purga}}$$

Retornando el vapor condensado a la caldera $m_{\text{reposición}} = m_{\text{purga}}$.

- Balance de energía en el agua del tanque de alimentación y la caldera:

$$h_{\text{condensado}(44.7 \text{ psig}, T=?)} = \frac{m_{\text{alimentación}} * h_{\text{H}_2\text{O}(14.7 \text{ psig}, 60^\circ \text{ C})} - m_{\text{reposición}} * h_{\text{H}_2\text{O}(14.7 \text{ psig}, 20^\circ \text{ C})}}{m_{\text{condensado}}}$$

$$h_{\text{condensado}(44.7 \text{ psig}, T=60.64^\circ \text{ C})} = 109.2253 \text{ Btu/lb}$$

- Pérdidas de calor en la tubería desnuda

$$q \text{ (J/s)} = \frac{T_1 - T_\infty}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi K_{\text{tubo}} L} + \frac{1}{2\pi r_2 h_2}}$$

Donde:

T_1 : Temperatura del fluido que circula por el interior del tubo (°C)

T_∞ : Temperatura del aire circundante (°C)

r_1 y r_2 : radios interno y externo del tubo (m)

L: Longitud del tubo (m)

K_{tubo} : conductividad térmica del material del tubo (W/m °C)

h_1 : coeficiente de transferencia convectivo en el interior del tubo (W/m² °C)

h_2 : coeficiente de transferencia convectivo en el exterior del tubo (W/m² °C)

Para los cálculos realizados se despreció el primer término de la ecuación, tomando la temperatura interna de la pared del tubo igual a la temperatura del fluido circulante, T_1 .

- Pérdidas de calor en la tubería con aislante

$$q \text{ (J/s)} = \frac{\text{Ln} (r_2/r_1)}{2\pi K_{\text{tubo}}L} + \frac{T_1 - T_\infty}{\frac{\text{Ln} (r_3/r_2)}{2\pi K_{\text{aislante}}L}} + \frac{1}{2\pi r_3 h_2}$$

Donde

r_3 : radio externo del aislante del tubo (m)

K_{aislante} : conductividad térmica del material aislante (W/m °C)

- Aislante de las pailas

Las pailas tienen una forma de cono truncado con un área de transferencia de calor de $A = \pi(R+r)L$, donde R es el radio mayor, r el radio menor y L la longitud del lado del cono. En la parte del fondo el área de transferencia fue aproximada al de una placa plana.

Las ecuaciones para la transferencia de calor utilizando aislante son:

$$q \text{ (J/s)} = \frac{T_1 - T_\infty}{\frac{1}{2\pi r_{p2} L h_2} + \frac{\text{Ln} (r_{p2}/r_{p1})}{2\pi K_{\text{aislante}}L}}$$

$$q \text{ (J/s)} = \frac{T_1 - T_\infty}{\frac{1}{\pi r^2 h_2} + \frac{\epsilon_{\text{aislante}}}{\pi r^2 K_{\text{aislante}}}}$$

Donde:

r_{p1} : radio promedio del cono truncado desnudo $(0.45+0.3)/2$ (m)

r_{p2} : radio promedio del cono truncado más aislante $((0.45+\varepsilon) + (0.3+\varepsilon))/2$ (m)

ε : espesor del aislante (m)

r : radio menor del cono truncado (0.3 m)

- Cálculos para el coeficiente de transferencia convectivo, h [6].

$$h = Nu * K/L$$

$$L=A/P$$

$$Nu = C_1 R_{ai}^{1/4}$$

$$R_{Ai} = (g*\beta(Ts-T\infty)*L^3)/\gamma*\alpha$$

Donde:

Nu: número adimensional de Nussel

K: conductividad térmica del aislante (W/m °C)

L: longitud característica (m)

A= área de transferencia (m²)

P= perímetro del área de transferencia (m)

C₁: función de la geometría y del número de Prandtl

β : Coeficiente de expansión volumétrica. Para gases ideales es el recíproco de la temperatura absoluta.

T_s: Temperatura de la superficie que transfiere calor

T_∞: Temperatura del aire

γ y α : propiedades del aire

- Calor perdido por convección entre el dulce en cocción y las pailas.

$$q = h * A \text{ (J/s)}$$

El dulce en la paila alcanza en promedio una altura de 35 cm, suponiendo que durante la agitación el área es la del círculo superior formado por el dulce,

$A = 0.385 \text{ m}^2$. Calculando h de la forma mencionada anteriormente tenemos que $h = 5.87 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ y una diferencia de temperatura de $(96-92)^\circ\text{C}$.

- Radio óptimo de aislante^[15]

El gasto total anual en una planta puede expresarse mediante:

$$A_{TE} = A_{FC} + A_{OE}$$

$$A_{FC} = f_a * C_{FC}$$

$$C_{FC} = C_{CFC} + C_{VFC}$$

$$C_{VFC} = 1.18 F_{BM} * C_{\text{aislante}} \Pi * [(D/2 + t)^2 - (D/2)^2] L$$

$$A_{OE} = A_{COE} + A_{VOE}$$

$$A_{VOE} = C_{\text{vapor}} (q/\lambda) * (31.5 * 10^6 \text{ s/año}) f_o$$

$$q \text{ (J/s)} = \frac{T_1 - T_\infty}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\Pi K_{\text{tubo}} L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\Pi K_{\text{aislante}} L} + \frac{1}{2\Pi r_3 h_2}}$$

Donde:

A_{TE} : Gastos totales anuales

A_{FC} : Gastos anuales debido al capital fijo

A_{OE} : Gastos de operación anuales

f_a : factor de anualidad. Se encuentra que aproximadamente la cuarta parte de la inversión inicial de capital fijo debe gastarse cada año para poseer y mantener una planta de proceso. Para el caso característico de aislante $f_a = 0.24$

C_{FC} : Costo total de capital

C_{CFC} : Costo de capital fijo

C_{VFC} : Costo de capital variable que depende del espesor del aislante

F_{BM} : factor de instalación que para aislantes en el año es 3.18. El factor de 1.18 sirve para convertir los costos de módulo simple a capital de módulo total.

C_{aislante} : precio de compra por volumen unitario de aislante. $\$2'646.877/\text{m}^3$

D : diámetro de la línea de conducción de vapor.

t : espesor del aislante

L : longitud de la tubería

A_{COE} : gastos de operación anuales independientes del espesor

A_{VOE} : gastos de operación anuales que varían con t

C_{vapor} : costo unitario de vapor

q = rapidez de pérdida de calor

λ : Calor latente del vapor

f_o : factor de operación. El factor de operación representa la fracción de tiempo que una planta está en producción equivalente a toda su capacidad. Para fines académicos, 90% es un valor lógico.

Los gastos anuales que dependen del radio del aislante son los gastos de C_{VFC} , que aumenta su valor al aumentar el espesor, y A_{VOE} , que disminuye su valor al aumentar el espesor. Optimizando la función de gastos totales anuales se encuentra el espesor óptimo que minimiza los gastos.

ANEXO K
INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

La inversión en el año cero está clasificada de la siguiente forma:

- **Inversión en activos fijos.** Representa la cantidad de dinero que se necesita para adquirir activos fijos, está contenida en el cuadro 2 y los soportes de estas inversiones se presentan en el cuadro 3.
- **Inversión diferida.** Este concepto incluye adecuaciones y remodelaciones de Caldera y Software Contable. La información aparece en el cuadro 3.
- **Inversiones de capital de trabajo.** La inversión en capital de trabajo equivale a un mes del costo de producción y gastos de administración, sin tener en cuenta depreciaciones y amortizaciones; la información pertinente se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 1. Inversiones año cero

INVERSIONES	VALOR
Total Maquinaria y Equipo	\$143,930,000
Cañerías y Tuberías	\$11,760,800
Instalaciones de Equipos	\$12,116,080
Total Equipo de Oficina	\$1,250,000
Total Muebles	\$860,000
Total Equipo de computo	\$2,750,000
Capital de Trabajo	\$73,762,712
Inversión Diferida	\$11,500,000
Total Inversiones	\$257,929,592

Cuadro 2. Inversión fija

Inversión fija	Operativa	Administrativa	Total
Maquinaria y Equipo	\$143,930,000		\$143,930,000
Cañerías y Tuberías	\$11,760,800		\$11,760,800
Instalaciones de Equipos	\$12,116,080.00		\$12,116,080
Equipo de Oficina		\$1,250,000	\$1,250,000
Muebles		\$860,000	\$860,000
Equipo de computo		\$2,750,000	\$2,750,000
Total inversión fija	\$167,806,880	\$4,860,000	\$172,666,880

Cuadro 3. Descripción de la inversión fija

Maquinaria y Equipo		
Inversiones	Cantidad	Valor
Caldera a gas (de segunda)	1	\$10,000,000
Cuarto Frío	1	\$25,000,000
Utensilios varios	1	\$500,000
Despulpadora (Usada)	1	\$3,500,000
Tanque de Lavado	1	\$3,000,000
Tanque de Lavado (Usada)	1	\$1,000,000
Pailas	39	\$39,000,000
Pailas (Usadas)	4	\$2,400,000
Cortadoras	3	\$1,080,000
Cortadoras(Usadas)	1	\$140,000
Gaveras	200	\$7,600,000
Gaveras(Usadas)	80	\$800,000
Sistemas de Agitación	7	\$40,600,000
Sistemas de Agitación(Usado)	1	\$3,500,000
Equipo de tratamiento de agua	1	\$4,800,000
Canastas plásticas	110	\$770,000.00
Canastas plásticas(Usadas)	60	\$240,000.00
Total Maquinaria y Equipo		\$143,930,000
Depreciación Anual	Vida útil : 10 años	\$12235000
Cañerías y Tuberías		
Aislantes		\$3,600,000
Tuberías		\$1,215,800
Trampas de Vapor, Válvulas de paso y Accesorios		\$5,785,000
Válvula de expansión	1	\$1,160,000
Total Cañerías y Tuberías		\$11,760,800
Depreciación Anual	Vida útil : 10 años	\$1176080
Instalaciones de Equipos		\$12,116,080.00
Equipo de Oficina		
Teléfonos	2	\$300,000
Fax	1	\$950,000
Total Equipo de Oficina		\$1,250,000
Depreciación Anual	Vida útil : 10 años	\$125000
Muebles		
Escritorios	2	\$300,000.00
Silla ergonómica	2	\$240,000.00
Sillas auxiliares	4	\$200,000.00
Archivador modular	1	\$120,000.00
Total Muebles		\$860,000
Depreciación Anual	Vida útil : 10 años	\$86000

Equipo de cómputo		
Computador		\$2,500,000
Impresora		\$250,000
Total Equipo de computo		\$2,750,000
Depreciación Anual	Vida útil : 5 años	\$550000
Total Inversión Fija		\$172,666,880
Capital de Trabajo	1 mes	\$73,762,712
Inversión Diferida		
Adecuaciones Caldera		\$9,000,000
Software Contable	1	\$2,500,000
Total Inversión Diferida		\$11,500,000.00
Total Inversiones		\$257,929,591.97

Cuadro 4. Costos de producción

COSTO		1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Materia Prima	(\$)	540,826,435	713,460,730	907,255,404	1,122,090,284	1,359,439,230
MOD	(\$)	144,352,000	153,013,120	162,193,907	171,925,541	182,241,073
CIF	(\$)	105,001,459	137,213,520	173,355,024	213,404,844	257,636,565
Depreciaciones	(\$)	12,235,000	12,235,000	12,235,000	12,235,000	12,235,000
Total		802,414,894	1,015,922,369	1,255,039,335	1,519,655,669	1,811,551,869
Mano de Obra Directa						
Año 1		Sueldos		Prestaciones	Aportes Parafiscales	
Cargo	No.	Mensual	Anual	20.45%	29.92%	TOTAL
Calderista	1	500,000	6,000,000	1,227,000	1,795,000	9,022,000
Pailero	10	480,000	57,600,000	11,779,200	17,232,000	86,611,200
Lavador	2	450,000	10,800,000	2,208,600	3,231,000	16,239,600
Empacador Cortador	2	450,000	10,800,000	2,208,600	3,231,000	16,239,600
Despulpador y Moldeador	2	450,000	10,800,000	2,208,600	3,231,000	16,239,600
Total	17	2,330,000	96,000,000	19,632,000	28,720,000	144,352,000

Gastos de administración y ventas. Los gastos de administración de la empresa son:

- **Sueldos, prestaciones sociales y parafiscales.** Sueldos del personal administrativo y de ventas que se involucran en el proceso de ofrecer el producto a los usuarios.
- **Depreciaciones.** Depreciaciones de Maquinaria y Equipo, muebles, enseres, equipos de oficina, equipos de cómputo.
- **Seguros.** Se trata del costo de las pólizas de seguros de incendio, robo, entre otros, que cubre la propiedad, planta y equipo. La póliza está estimada en un valor del 3% del valor de los activos.
- **Gastos diferidos.** Amortización de diferidos que tienen origen en el área administrativa, tales como estudios del proyecto, adecuaciones y remodelaciones, software, los cuales se difieren a cinco (5) años.
- **Impuestos.** La empresa paga el 38.5% de impuesto de renta y se calcula impuesto de industria y comercio por el cual debe cancelar el seis por mil sobre el valor de los ingresos anuales por ventas.

Cuadro 5. Gastos administrativos y de ventas en pesos

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Sueldos y prestaciones	86,169,495	91,339,665	96,820,045	102,629,24	108,787,002
Servicios Públicos	1,080,000	1,144,800	1,213,488	1,286,297	1,363,475
Impuesto Predial	135,000	143,100	151,686	160,787	170,434
Mantenimiento	150,000	159,000	168,540	178,652	189,372
Útiles y papelería	600,000	636,000	674,160	714,610	757,486
Gastos varios	260,000	275,600	292,136	309,664	328,244
Útiles de aseo y cafetería	400,000	424,000	449,440	476,406	504,991
Registro mercantil	67,000	71,020	75,281	79,798	84,586
Publicidad	1,200,000	1,272,000	1,348,320	1,429,219	1,514,972
Licencias y permisos	240,000	254,400	269,664	285,844	302,994
Seguro (3%)	194,400	206,064	218,428	231,534	245,426
Subtotal	90,495,895	95,925,649	101,681,188	107,782,05	114,248,982
Imp indus. comercio (4,5%..)	4,476,754	5,905,774	7,510,938	9,290,087	11,630,304
Subtotal	94,972,649	101,831,42	109,192,126	117,072,14	125,879,286
Diferidos	2,300,000	2,300,000	2,300,000	2,300,000	2,300,000
Depreciaciones	761,000	761,000	761,000	761,000	761,000
TOTALES	98,033,649	104,892,42	112,253,12	120,133,14	128,940,286

Cuadro 6. Sueldos, prestaciones sociales y parafiscales

Año 1	Cargo	No.	Sueldos (\$)		Prestaciones (\$)	Aportes Parafiscales (\$)	TOTAL
			Mensual	Anual	20.45%	29.92%	
	Administrador	1	1,200,000	14,400,000	2,944,800	4,308,000	21,652,800
	Secretaria	2	450,000	10,800,000	2,208,600	3,231,000	16,239,600
	Vendedor Vitrina	1	450,000	5,400,000	1,104,300	1,615,500	8,119,800
	Vendedor Externo	2	662,760	15,906,248	3,252,828	4,758,619	23,917,695
	Celador	2	450,000	10,800,000	2,208,600	3,231,000	16,239,600
	Asesor Contable	1	500,000			-	-
	Total			57,306,248	11,719,128	17,144,119	86,169,495

Cuadro 7. Depreciaciones

Maquinaria y Equipo	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Gastos de Depreciación (\$)	12235000	12235000	12235000	12235000	12235000
Depreciación Acumulada (\$)	12235000	24470000	36705000	48940000	61175000
Valor en Libros (\$)	131695000	119460000	107225000	94990000	82755000
Cañerías y Tuberías	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Gastos de Depreciación (\$)	1176080	1176080	1176080	1176080	1176080
Depreciación Acumulada (\$)	1176080	2352160	3528240	4704320	5880400
Valor en Libros (\$)	142753920	141577840	140401760	139225680	138049600
Equipo de Oficina	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Gastos de Depreciación (\$)	125000	125000	125000	125000	125000
Depreciación Acumulada (\$)	125000	250000	375000	500000	625000
Valor en Libros (\$)	1125000	1000000	875000	750000	625000
Muebles	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Gastos de Depreciación (\$)	86000	86000	86000	86000	86000
Depreciación Acumulada (\$)	86000	172000	258000	344000	430000
Valor en Libros (\$)	774000	688000	602000	516000	430000
Equipo de computo	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Gastos de Depreciación (\$)	550000	550000	550000	550000	550000
Depreciación Acumulada (\$)	550000	1100000	1650000	2200000	2750000
Valor en Libros (\$)	2200000	1650000	1100000	550000	0
Totales	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Gastos de Depreciación (\$)	14,172,080.00	14,172,080.00	14,172,080.00	14,172,080.00	14,172,080.00
Depreciación Acumulada (\$)	12,996,000.00	25,992,000.00	38,988,000.00	51,984,000.00	64,980,000.00
Valor en Libros (\$)	135,794,000	122,798,000	109,802,000	96,806,000	83,810,000

Cuadro 8. Política de financiación

Amortización de Activos Diferidos	5
Periodo de Evaluación (Años)	5
% Requerido de Financiación	45.00%
Tasa de Interés Préstamo	24.50%
Inflación Promedio Esperada	6.00%
Plazo Amortización Crédito	5
Valor Crédito	\$116,068,316.39

Cuadro 9. Amortización del crédito

Período	Cuota	Capital	Interés	Saldo
0				-116,068,316.39
1	-42,717,879.11	-14,281,141.60	-28,436,737.51	-101,787,174.79
2	-42,717,879.11	-17,780,021.29	-24,937,857.82	-84,007,153.50
3	-42,717,879.11	-22,136,126.51	-20,581,752.61	-61,871,026.99
4	-42,717,879.11	-27,559,477.50	-15,158,401.61	-34,311,549.49
5	-42,717,879.11	-34,311,549.49	-8,406,329.62	0.00

Cuadro 10. Información Base

Información Base	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Capacidad Instalada/Día (Kg Guayaba)	4,538	4,538	4,538	4,538	4,538
% Capacidad Utilizada/Día	40%	50%	60%	70%	80%
Capacidad Utilizada (Kg Guayaba)/Día	1,815	2,269	2,722	3,176	3,630
Capacidad Utilizada (Kg Guayaba)/Año	522,720	653,472	783,936	914,688	1,045,440
Jalea Producida/Día	1,855	2,319	2,783	3,247	3,711
Jalea Producida/Año	534,351	668,012	801,379	935,040	1,068,701
Capacidad Utilizada (Lonjas de Bocadillo)/Día	4,315	5,370	6,442	7,517	8,591
Capacidad Utilizada (Lonjas de Bocadillo)/Año	1,242,676	1,546,550	1,855,315	2,164,762	2,474,208
Venta de Semilla (Bultos 50gr)	173.45	216.84	260.126	303.512	346.898
Peso/Producto	430	Gramos			

Cuadro 11. Periodo de recuperación de la inversión

Años	Valores a evaluar	VPN $P=(F/(1+i)^n)$	Valores acumulados
0	-257,929,592	-257,929,592	-257,929,592
1	55,854,646	46,545,538	-211,384,054
2	117,780,505	81,792,017	-129,592,037
3	188,248,241	108,939,955	-20,652,082
4	267,148,659	128,833,265	108,181,183

en 12 meses (1 año) \longrightarrow 128,833,265
en cuantos meses (x) \longrightarrow -20,652,082

x = 1.92 meses

Años 3
Meses 1
Días 28