



**Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales**

TRABAJO DE DIPLOMA

**Evaluación del impacto socio-económico-ambiental de las
modificaciones tecnológicas realizadas en la Torrefactora de
Café de Cienfuegos**

Autor: Pedro Ochoa Monteagudo

Tutor: MSc. Jenny Correa Soto

**Cienfuegos
2014**

Resumen

La Empresa Torrefactora y Distribuidora de Café “5 de Septiembre” de Cienfuegos enfrenta problemas con el costo de producción asociado al gran consumo de combustible y a las pérdidas materiales debido a la ineficiencia de los equipos existentes, y también con el impacto socio-ambiental que provocan las emisiones de humos y material particulado (MP) del proceso de torrefacción del café.

En la Torrefactora se ejecutó un proyecto de modificación de su sistema de extracción de gases para reducir el impacto socio-ambiental de su producción.

Este trabajo está enfocado a evaluar, en la medida que lo permitan los medios disponibles, el impacto socio-económico-ambiental de los cambios realizados en el sistema de extracción de gases de la torrefactora.

Summary

The Coffee's Roaster and Distributor Company 5th September of Cienfuegos confronts problems with the cost of production once the great consumption of fuel was associated to and to the material losses due to the installed equipment inefficiency, and also with the social-environmental impact of the emissions of smokes and material provoked by particulate material (MP) of the process of coffee roasting.

In the Company was executed a project of modification of its system of extraction of gases for reduce the environmental impact of its production.

This work is focused on evaluating, insofar as the available means, the social-environmental impact of the changes accomplished in the system of extraction of gases of the Company.

Índice

	Pág.
Resumen	
Introducción	1
Capítulo 1: Marco teórico referencial	3
1.1 Introducción	3
1.2 Gestión de la Calidad	3
1.2.1 Enfoque basado en procesos	5
1.3 Gestión de la producción	7
1.3.1 El enfoque ambiental en la gestión empresarial	7
1.4 La producción del café tostado y molido	9
1.4.1 Beneficiado del café	9
1.4.2 La torrefacción del café	9
1.4.3 El tostado del café	11
1.5 Transformaciones del café durante el tostado	16
1.6 Emisiones por cada una de las etapas de la torrefacción del café	17
1.7 Recursos que intervienen en el proceso	18
1.7.1 Materia primas	19
1.7.2 Agua	19
1.7.3 Energía	20
1.7.4 Residuos	20
1.7.5 Emisiones	20
1.7.5.1 Material particulado	20
1.8 Técnicas de abatimiento de emisiones usadas en tostadoras de café	21
1.8.1 Generalidades de los dispositivos de control de emisiones	21
1.8.2 Dispositivos de control de emisiones en tostadoras	23
1.9 Conclusiones del capítulo	26
Capítulo 2: La Torrefactora de Café de Cienfuegos	27
2.1. Introducción	27
2.2. Objeto social de la empresa	28
2.2.2. Misión y visión de la organización	28

2.3. Descripción de la empresa -----	29
2.4. Fundamentación de la inversión realizada -----	30
2.5. Balance de masa -----	33
2.5.1. Ecuaciones del balance de masa de las operaciones básicas -----	37
2.6. Cálculo de las pérdidas de café y financieras asociadas durante el 2008 -----	38
2.7. Cálculo de las pérdidas de combustible y financieras durante el 2008 -----	41
2.7.1. Cálculo de la eficiencia térmica del tostado -----	41
2.7.2. Cálculo de los litros de combustible desperdiciados y de las correspondientes pérdidas financieras -----	45
2.8. Impacto socio-ambiental -----	54
2.9. Impacto económico -----	54
2.10. Análisis de los resultados -----	55
2.11. Conclusiones del capítulo -----	56
Capítulo 3: Evaluación de la efectividad socio-económico-ambiental de la inversión realizada. -----	57
3.1. Descripción de los cambios tecnológicos realizados -----	57
3.2. Objetivo de los trabajos realizados -----	58
3.3. Estrategia de validación de los trabajos realizados -----	59
3.4. Metodología de trabajo del CEAC -----	59
3.5. Conclusiones del CEAC respecto a las emisiones de gases y material particulado -----	61
3.6. Evaluación de la percepción ambiental de la calidad del aire en los alrededores de la empresa -----	62
3.6.1. Método -----	62
3.6.2. Universo de la encuesta -----	63
3.6.2.1. Zona 1 -----	64
3.6.2.2. Zona 2 -----	64
3.6.2.3. Zona 3 -----	65
3.6.3. Resultados del trabajo del CEAC -----	65
3.7. Evaluación del impacto ambiental de los cambios en el sistema de extracción de gases -----	66

3.7.1. Metodología -----	66
3.8. Conclusiones generales del estudio del CEAC -----	67
3.9. Resultados socio-ambientales -----	67
3.10. Resultados económicos de las modificaciones realizadas -----	68
3.11. Conclusiones del capítulo -----	75
3.12. Conclusiones generales -----	75
3.13. Recomendaciones -----	76

Bibliografía

Anexos

INTRODUCCIÓN

La Empresa Torrefactora y Distribuidora de Café está localizada en Avenida 64 entre 57 y 59, ciudad de Cienfuegos. Actualmente es la única proveedora de café para esta provincia de Cuba, y era una de las 11 torrefactoras de café que existían en Cuba antes del triunfo de la Revolución. La empresa fue establecida en 1925 por Eugenio Allende con dos socios, los hermanos Santos e Isaac Cimadevilla y se llamaba “El Águila de Oro”. El equipamiento con que cuenta actualmente esta empresa es en esencia el mismo, no ha sido modernizado y se encontraba en estado de franco deterioro, sobre todo el sistema de extracción de gases. Después del triunfo de la Revolución se nacionalizó la fábrica en 1966. En 1976 perteneció al Poder Popular, luego a una empresa de Villa Clara y después se creó una empresa de café, cigarrillos y tabacos. Actualmente la empresa pertenece al Ministerio de la Industria Alimenticia y solo produce café torrefaccionado y lo comercializa de forma mayorista en moneda nacional en el mercado interno.

La empresa enfrenta problemas con el costo de producción asociado al gran consumo de combustible y a las pérdidas materiales debido a la obsolescencia de sus equipos, y también con el impacto socio-ambiental que provocan las emisiones de humos y material particulado (MP) del proceso de torrefacción del café.

La dirección de la Torrefactora ejecutó en el año 2009 un proyecto de modificaciones tecnológicas para reducir el impacto socio-ambiental de sus producciones.

Una vez concluido el proyecto, se necesita evaluar si los resultados satisficieron los objetivos propuestos, pero no se cuenta con metodologías establecidas para evaluar el impacto socio-ambiental de la introducción de las modificaciones realizadas; así como tampoco, el impacto ambiental de torrefactoras de café (Política inversionista L-109, 110, 116,119). El equipamiento disponible en el país y el territorio no es suficiente para evaluar el cumplimiento de la normativa de calidad del aire en exteriores e interiores y no existen normas de emisiones, ni de inmisiones específicas para la actividad de tostado de café en Cuba.

Entonces, el **Problema de Investigación** a resolver es evaluar la reducción del impacto socio-ambiental y económico de las modificaciones realizadas en la

Torrefactora de Café de Cienfuegos, bajo condiciones de insuficiencia de equipamiento de medición y de normativas.

El problema descrito anteriormente permite entonces plantear la siguiente:

Hipótesis:

Con la información técnica, equipos y normativas disponibles, se puede evaluar la reducción del impacto socio-económico-ambiental de las modificaciones realizadas por la empresa.

La hipótesis anterior conduce entonces al siguiente:

Objetivo General:

El objetivo del presente trabajo es evaluar, en la medida que lo permitan los medios disponibles, el impacto socio-económico-ambiental de las modificaciones realizadas en la Torrefactora de Cienfuegos.

Objetivos específicos:

1. Evaluar el impacto ambiental de los cambios debidos a las modificaciones realizadas en la torrefactora.
2. Evaluación de la posible reducción, por las modificaciones realizadas, de las pérdidas de café como material particulado.
3. Evaluar la eficiencia térmica del proceso debida a las modificaciones realizadas.
4. Evaluación de los posibles beneficios económicos debidos a las modificaciones realizadas.

Capítulo 1: Marco teórico referencial.

1.1 Introducción.

En este Capítulo se realiza la revisión bibliográfica que sustenta la investigación, a través de la relación Gestión de la Calidad/Gestión de la Producción y su vinculación con la temática medioambiental como se muestra en la Figura 1.

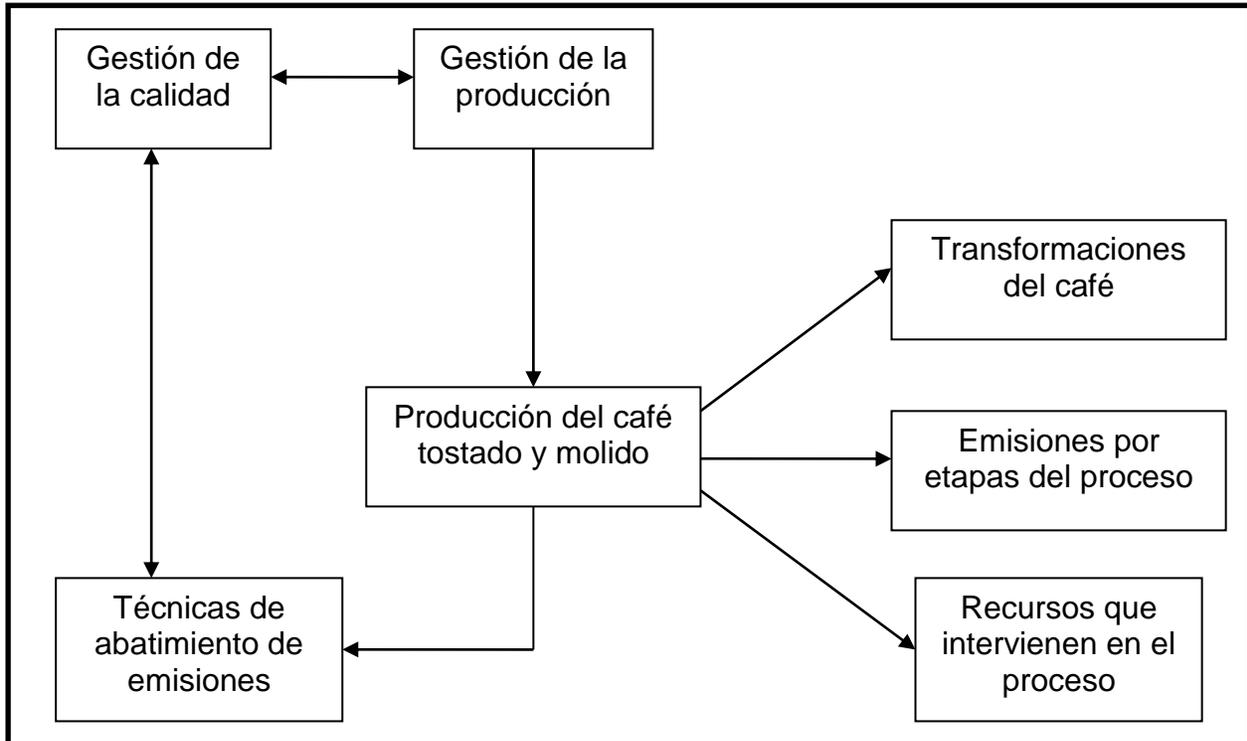


Figura 1.1: Hilo conductor. Fuente: Elaboración propia.

1.2 Gestión de la Calidad.

Habitualmente se asocia el concepto de gestión (management) al conjunto planificación, organización y control, donde la planificación es el establecimiento o formulación de objetivos y de las líneas de acción para alcanzarlo, organización a la estructuración de tareas, distribución de responsabilidades y autoridad, dirección de personas y coordinación de esfuerzos para dirigirlos hacia la consecución de los objetivos y control para garantizar que los resultados y rendimientos obtenidos se encuentren dentro del intervalo marcado y para tomar las medidas correctoras necesarias en caso de desviaciones significativas (Beltrán Sanz, J., 2003).

J.F. Terlevich, (2000), comprende la gestión como un proceso que encierra las actividades de dirección (planificación, supervisión y control) y define las funciones de gestión siguientes: financiera, personal, diseño, planificación de la producción,

marketing, control de la producción, compras o aprovisionamiento, secretaría y administración.

Hugues Jordan (2006) define la gestión como "dirigir las acciones que constituya la puesta en marcha concreta de la política general de la empresa y tomar decisiones orientadas a alcanzar los objetivos marcados".

La gestión y mejora de procesos es uno de los pilares sobre los que descansa la gestión según los principios de Calidad Total.

El término "Calidad" abarca todas las actividades de la sociedad y no se limita a las áreas de la producción y los servicios; por este motivo, las personas pueden definirla a partir de sus experiencias profesionales e individuales, sus expectativas y su educación Domínguez, R. (2006). La calidad, como concepto, ha estado en constante evolución por lo que las definiciones presentadas deben tenerse en cuenta en el contexto de la época en la que se desarrollaron.

Según Ishikawa, la calidad significa la conformidad del producto con requisitos claramente especificados; a su vez, Joseph M. Juran (1990), entiende la calidad como adecuación al uso; mientras que García Azcanio y Medina León (2009) la conciben como la satisfacción del cliente.

La Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) plantea que la Calidad es el grado en el que un conjunto de características inherentes al producto, sistema o proceso cumple con los requisitos de la ISO 9000:2005.

Desde su edición en el año 2000, las normas ISO 9000 han ido más allá del aseguramiento de la calidad para adoptar el enfoque de Gestión de la Calidad; potenciando así la efectividad y la eficiencia empresarial. Por este motivo, se utilizan otros términos como el de gestión total de la calidad y gestión estratégica de la calidad.

Para Udaondo (2005) la Gestión de la Calidad es el modo en que la dirección de la empresa planifica el futuro de la función de la calidad con vistas a su mejora permanente. Mientras que, la gestión total de la calidad representa un proceso amplio y bien planificado que, integrado a la dirección estratégica de la empresa, se propone alcanzar la mejora continua de todos los procesos para satisfacer los requisitos de los clientes. Además, centra su atención en la necesidad de gestionar la calidad en las actividades de la organización con la participación de todos los empleados y con un

fuerte liderazgo, encaminado a que se logre una visión sistémica, estratégica, innovadora y competitiva. (Sing Soin, S., 1997).

Se han identificado ocho principios de gestión de la calidad que pueden ser utilizados por la alta dirección con el fin de conducir a la organización hacia una mejora en el desempeño.

1. Enfoque al cliente.
2. Liderazgo.
3. Participación del personal.
4. Enfoque basado en procesos.
5. Enfoque de sistema para la gestión.
6. Mejora continua.
7. Enfoque basado en hechos para la toma de decisión.
8. Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor.

Estos ocho principios de gestión de la calidad constituyen la base de las normas de sistemas de gestión de la calidad de la familia de Normas ISO 9000.

De lo anterior se deduce que las empresas deben gestionar sus actividades y recursos a través de sus procesos, de manera que puedan ofrecer un servicio que satisfaga las necesidades de sus clientes y superen sus expectativas, pues es aquí donde se genera una verdadera ventaja competitiva. El cuarto principio es fundamental para la obtención de resultados, donde según la NC-ISO 9000:2005: un resultado deseado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso.

Un sistema de gestión de la calidad que toma como base el enfoque de procesos, integra y alinea los mismos para permitir el logro de los resultados planificados, y centra los esfuerzos en su eficacia y eficiencia buscando así la calidad de productos, o servicios, a través de la calidad de los procesos.

1.2.1 Enfoque basado en procesos.

Según Rubio Domínguez, P., (2006), el enfoque basado en procesos parte de la idea de que “las empresas son tan eficientes como lo son sus procesos”, y reconoce que todo trabajo dentro de la organización se realiza con el propósito de conseguir algún

objetivo, donde el objetivo se logra más eficazmente cuando los recursos y las actividades relacionadas se gestionan como un proceso.

Para que las organizaciones operen de manera eficaz, tienen que identificar y gestionar numerosos procesos interrelacionados y que interactúan. A menudo el resultado de un proceso constituye directamente el elemento de entrada del siguiente proceso. La identificación y gestión sistemática de los procesos empleados en la organización y en particular las interacciones entre tales procesos se conocen como "enfoque basado en procesos". (NC-ISO 9001:2008)

Según Valdés Gutiérrez, T., (2009), el enfoque de procesos elimina las barreras entre diferentes áreas funcionales y unifica sus direcciones hacia las metas principales de la organización, lo cual también permite la apropiada gestión de las interfaces entre los distintos procesos.

El enfoque basado en procesos se fundamenta en la gestión e identificación sistemática de los procesos que se realizan en una organización y sus interacciones permitiendo la cohesión de los principios, normas y valores que se pretenden transmitir y desarrollar. Si se adopta este enfoque en la gestión de forma cotidiana en la organización, entonces, los procesos son el hilo conductor que hace que esta sea un sistema dinámico y complejo.

El enfoque de procesos facilita el identificar y gestionar de manera sistemática los procesos involucrados en una organización, así como reconocer y representar sus interrelaciones y puntos de contacto en común. Para poder comprender este principio es necesario conocer las definiciones de algunos términos relacionados con él.

Existen varios autores, (Urquiaga Rodríguez, A. J., Torres Cabrera, L., y Acevedo Suárez, J. A., 2004), (Medina León, A., & Nogueira, D., 2004), (Benavides, L., 2003), (Pons Murguía, R. A., y Villa González del Pino, E. M., 2006), (Medina León, A., y Colectivo de autores, 2012), que han dado la definición de proceso, todos giran en torno a que es un conjunto de actividades interrelacionadas entre sí que transforman uno o más insumos, le agregan valor y como resultado de esto, se le suministra un producto o servicio al cliente interno o externo, respondiendo a las necesidades de los mismos.

Todos los procesos tienen algo en común: describen actividades cuyo resultado crea valor para su usuario o cliente.

La gestión por procesos es una herramienta poderosa que contribuye a ofrecer un servicio de calidad, identificando aquellas actividades que agregan valor para el cliente. Es por ello que las organizaciones deben gestionar sus actividades y recursos a través de sus procesos.

1.3 Gestión de la producción.

En el sentido más general, la gestión de producción es la responsable en una organización de negocios o servicios, de la producción de bienes y servicios, y de las correspondientes calidades. Como función ha existido desde que el hombre comenzó a producir para garantizar en principio su supervivencia y para desarrollarse económica y socialmente después.

Torres Cabrera, L., y Urquiaga Rodríguez, A. J., (2007), plantean que “la gestión de la producción se ha convertido en un arma fundamental para la mejora de la competitividad a la que están sometidas la mayoría de las empresas. Es necesario disminuir el nivel de existencias, hay que lograr una mejor planificación, es preciso alcanzar una imagen de calidad de la empresa”.

La gestión de la producción es la responsable en una organización de negocios o servicios, de la producción de bienes o servicios y es un arma fundamental para la mejora de la competitividad en las que están inmersas la mayoría de las empresas.

1.3.1 El enfoque ambiental en la gestión empresarial.

La gestión de las organizaciones de producción de bienes, o de servicios, tiene como objetivo primordial conseguir una mayor productividad, concepto que implica exclusivamente el punto de vista económico, para satisfacer las necesidades, demandas y expectativas de consumo de los clientes, de la forma más racional para conseguir la mayor competitividad posible, por supuesto, en el mercado ya que de no ser así cualquier organización sería irrentable.

Adicionalmente, lo que se denomina “marketing”, y que también forma parte de la gestión empresarial, esencialmente está enfocado a influir sobre las necesidades, demandas y expectativas de consumo de los clientes para ganar mercado y así mantener, o aumentar, la competitividad empresarial.

Por otra parte, el consumo, es en esencia un proceso de transformación de materia y energía en materia y calor, todo lo cual genera productos, residuos y deshechos, por lo

que producir es, necesariamente, alterar la naturaleza, y el ser humano está condicionado por esta, a la que tiene que adaptarse sin alternativas.

Esa óptica de éxito o fracaso exclusivamente económico de cualquier organización de producción o servicios, conduce a considerar en un segundo escalón los impactos socio-ambientales causados, y siempre presentes, en cualquier actividad de este tipo. Esto último ha conducido a la comprensión del hecho de que es absolutamente necesario modificar esa óptica exclusivamente mercantilista, o no solo será insostenible el desarrollo socio-económico, sino la vida misma sobre la Tierra.

La definición más aceptada y publicitada de tal realidad fue dada en Abril de 1987 por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, encabezada por la Doctora Gro Harlem Brundtland, en su informe titulado “Nuestro Futuro Común”.

El programa llamado Agenda 21 fue desarrollado por la ONU según la recomendación del informe Brundtland, su elaboración se inicio en 1989 con la aprobación en la asamblea extraordinaria de las Naciones Unidas de una conferencia sobre el medio ambiente y el desarrollo, y con la colaboración de los borradores del programa de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, más conocida como Cumbre de Río o Cumbre de la Tierra, llevada a cabo en Junio de 1992 en Río de Janeiro, en donde representantes de 179 gobiernos acordaron adoptar el programa.

La mayoría de los países firmantes del programa de la Agenda 21 han ratificado los acuerdos y organizado sus propios programas a nivel nacional y local, aunque países como Estados Unidos se abstuvieron de firmar la declaración y el programa.

La Agenda 21 ha tenido un seguimiento que ha permitido su perfeccionamiento, con la conferencia denominada Río +5 en 1997 en la sede de la ONU en New York y posteriormente con la adopción de una agenda denominada Objetivos de Desarrollo del Milenio, con énfasis particular en las políticas de globalización y en la erradicación de la pobreza y el hambre, adoptadas por 199 países en la 55 Asamblea de la ONU en el 2000 y la más reciente, la Cumbre de Johannesburgo, reunida en esta ciudad de Sudáfrica en Agosto de 2002.

Toda esa concertación internacional ha resultado en una mayor comprensión de la necesidad de también tener en cuenta los impactos socio-ambientales del Sector de Producción y Servicios (SPS), lo cual ha conducido muchos países a la elaboración y

perfeccionamiento de marcos legales y a desarrollar acciones de diverso tipo para la reducción, o aun eliminación, de tales impactos. (Bennett, M., Wolters, T., and M. Danse, 2002), (Ecoprofit, STENUM, Austria. 2006), (Olmos Cuenca, A., 2008), (Rubio Calduch, Victoria. 2009).

Nuestro país también cuenta con el correspondiente marco legal, a partir del cual se procedió contra la Torrefactora de Café de Cienfuegos por los impactos socio-ambientales que provoca su desempeño empresarial debido a la cantidad de emisiones y material particulado que genera por la obsolescencia de su equipamiento.

A continuación se describe detalladamente el proceso de torrefacción del café.

1.4 La producción del café tostado y molido.

1.4.1 Beneficiado del café.

Técnicamente consiste en la serie de pasos o etapas de procesamiento a las que se someten los frutos de café para quitar o eliminar todas sus capas o cubiertas de la forma más eficiente sin afectar su calidad y su rendimiento, antes de ser enviados a la industria. Es una transformación primaria del grano encaminada a la preparación previa requerida del fruto colectado para su posterior tratamiento industrial, o torrefacción. (Samper, M.K., and G.S. Peters, 2001)

1.4.2 La torrefacción del café.

La torrefacción es, en esencia, el proceso mediante el cual son formados, bajo la acción del calor, los principios aromáticos que no existen previamente, en su mayoría, en la semilla del café. Consiste en calentar los granos a una temperatura que provoque modificaciones químicas y físicas que hace que de estos se pueda obtener una infusión cuyas cualidades sean satisfactorias.

La torrefacción de café a nivel mundial consiste de las siguientes operaciones:

1. Almacenamiento
2. Pesado
3. Mezclas
4. Tostado
5. Enfriamiento
6. Limpieza
7. Molienda

8. Pesado

9. Empacado

En la planta de torrefacción se realizan varias operaciones preliminares al tostado, las que a continuación se describen brevemente:

- **Transporte**

Para elevar el café a los silos de almacenamiento temporal pueden usarse elevadores de cangilones, de cascada, helicoidales (sinfín), correderas o conductos neumáticos de alta presión.

- **Mezclas de café**

Las mezclas de café pueden hacerse antes o después del tueste. Estas se realizan con mezcladores mecánicos. Se considera que las calidades superiores les imparten a las inferiores su aroma mejorando la calidad del conjunto de la mezcla.

- **Tostado**

En este proceso el calor tiene que ser aplicado rápida y uniformemente manteniendo los granos en movimiento. Si las temperaturas son muy altas el café se quema o queda “chamuscado”. Con insuficiente calor no se tuesta o piroliza. Ambas condiciones producen mal paladar a la bebida. Si los granos no se agitan continuamente no hay uniformidad en el tueste y se pueden quemar.



Figura 1.2.: Café Oro y Café Tostado (Fuente: Sick, D.)

- **Enfriamiento**

Antes de salir del tostador, los granos se enfrían bruscamente mediante la aspersión de agua para fijar el aroma y condensar los aceites formados durante el tostado.

Una vez que sale del tostador, la masa de granos de café tostado se deposita en las llamadas cunas de enfriamiento, donde mediante lentos agitadores mecánicos es removida continuamente mientras a través de ella circula un flujo de aire, para enfriarla hasta la temperatura ambiente.

- **Limpieza de los granos**

Esta incluye el eliminar materias extrañas mezcladas con los granos como fragmentos de cáscara o pergamino, piedras, polvo, clavos, etc. La misma puede efectuarse mediante el despolvado, despedrado y con la separación magnética de metales. Existen equipos para estos propósitos tales como: separadores neumáticos, tamices vibratorios (zarandas) e imanes.

- **Molienda**

La molienda de los granos de café tostado se realiza con el objetivo de aumentar al máximo la superficie sólida de modo que permita durante el colado la máxima extracción de las sustancias de que están compuestos.

1.4.3 El tostado del café.

La operación más importante de la torrefacción de café es el tostado. El tostado del café es la fase primordial en la producción de un buen café. En esta fase se determinan el gusto, el aroma y el color. Esta operación se realiza mediante el suministro de calor a los granos de café dentro del tostador. Las técnicas usadas buscan que este proceso se realice con el mínimo deterioro, tanto del aroma como del sabor, así como en el cuerpo del café (se refiere a las propiedades físicas de la bebida del café que resultan de las sensaciones percibidas en la superficie de la boca, durante y después de su degustación). El café al tostarse pierde peso y se debe en parte a la pérdida de humedad y en parte a la descomposición y volatilidad de varios de los componentes químicos de los que está constituido el grano. Durante el proceso de tostado ocurren transformaciones importantes debido a las temperaturas alcanzadas progresivamente. Al llegar a 100 °C los granos pierden humedad y su color cambia lentamente a un color amarillo intenso; entre los 150 °C y 180 °C los granos adquieren tonalidades del pardo claro al marrón, y es cuando los granos se hinchan y de la ranura brotan aceites volátiles, un aroma bastante agradable emana de los granos que

justamente empiezan a crepitar y en este punto es cuando los granos han desarrollado el color marrón oscuro. Cuando la temperatura alcanza los 230 °C es el momento justo de retirar el café de la tostadora. Durante este proceso en la tostadora debe mantenerse una constante supervisión del grano, pues no tolera ningún tipo de error ni de distracción. Con el tostado resaltan las cualidades del café, por eso debe tenerse mucho cuidado antes, durante y después de tostar el café. Según el destino del café hay varias clases de tostado: (M. de Monte, E. Padoano, D. Pozzetto, 2002)

- **Tostado canela:** llamado así por el tono canela. Cafeína y acidez altas.
- **Americano:** se utiliza para el café de goteo . Café más fuerte y más sabroso.
- **Oscuro:** utilizado en el café gourmet. Café más dulce. Cafés expresos de calidad intermedia. Clases de cafés oscuros:
 - **El tostado francés:** el grano es de color marrón oscuro y tiene una superficie grasienta.
 - **El tostado italiano:** oscuro y sabor acre. Idóneo en el café expreso

Una vez logrado el punto de tostado deseado el café pasa de la tostadora a un plato (o cuna) de enfriamiento, en el que donde mediante un aspirador o ventilador se logra bajarle al grano la temperatura a niveles muy cercanos a la temperatura ambiente, para luego almacenarlo en silos con el fin de que termine de refrescar. Concluido este proceso el grano puede ser empacado directamente, o ser enviado a los molinos.

Tostadora

Cuna de enfriamiento



Figura 1.3: Tostadora y cuna de enfriamiento. (Fuente: M. Sivetz, N.W. Desrosier)

A continuación se muestran esquemáticamente en las Figuras 1.3 y 1.4 el funcionamiento de las tostadoras y de las cunas de enfriamiento.

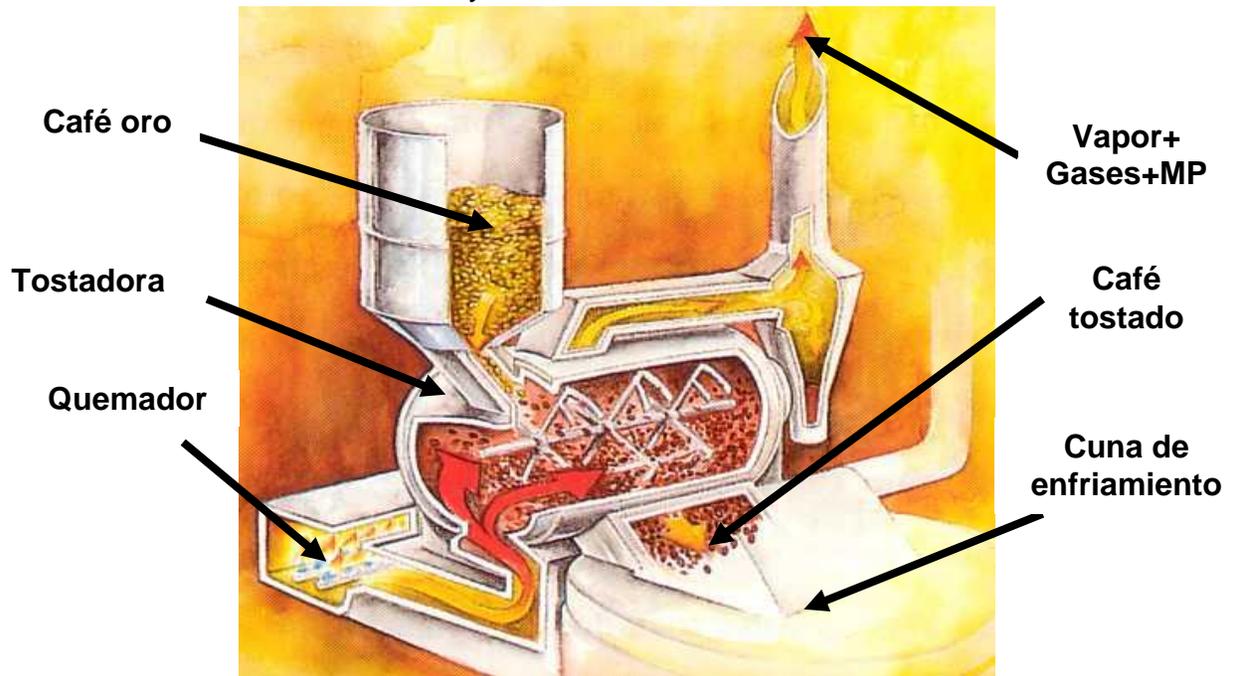


Figura 1.4: Esquema de funcionamiento de una tostadora de café. (Fuente :M. Sivetz, N.W. Desrosier)

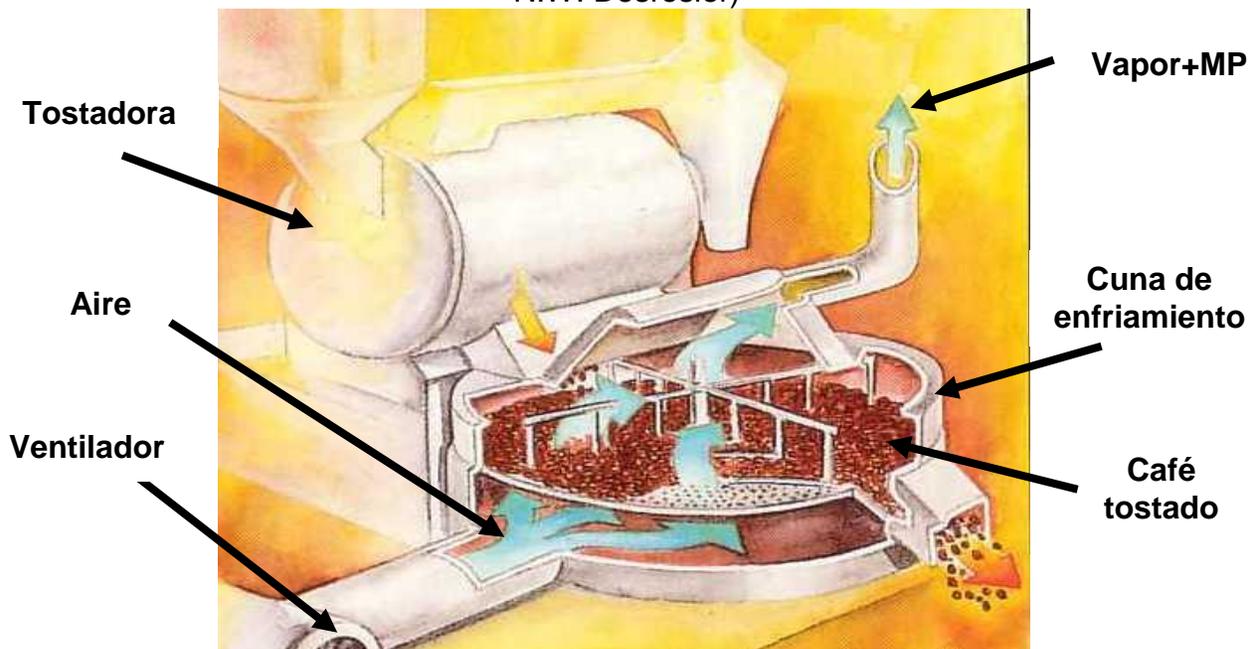


Figura 1.5: Esquema de funcionamiento de una cuna de enfriamiento. (Fuente :M. Sivetz, N.W. Desrosier)

Las características del café tostado son las siguientes:

Un café fue bien tostado debe tener una apariencia tal que deba ser:

- Granos de color uniforme, es decir, que la gran mayoría de los granos tengan un mismo color
- La expansión del grano. Cuando el grano se tuesta comienza a aumentar de volumen. En un buen tostado casi todos los granos deben tener igual volumen.
- La ranura del grano del café debe estar abierta pero no rota
- El grano de café no debe estar arrugado

Propiedades del grano durante el tostado.

El tostado es el paso relacionado con el desarrollo del aroma y sabor del café en el proceso del grano verde lo cual, lógicamente, depende del tipo de café utilizado.

El grado de tostado se relaciona con el tipo de café verde procesado y con el mercado a que va el café. No obstante el hecho de que el café verde varía en sus propiedades químicas y físicas, son iguales los tipos de cambios que experimenta durante el proceso de tostado, aunque varían en grado. El grado del tostado que se pueda lograr depende del tipo de equipo que se utilice.

Durante el tostado de los granos ocurren una serie de modificaciones físicas. Algunas de éstas son las siguientes:

- Pérdida de peso
- Aumento de volumen
- Cambios en la coloración de los granos
- Textura interna del grano
- Resistencia a la presión

Pérdida de peso.

- Ocurre por la evaporación de agua, reducción por calor de los carbohidratos y eliminación de la película plateada, la cual es la cubierta de la semilla (Epispermo). El grano pierde humedad (10-8 % en peso), además de 4-6 % en peso de las sustancias químicas (depende del grado de tostado) del grano verde. De lo anterior se deduce que la diferencia entre los valores de la pérdida de peso y del agua evaporada corresponde al peso de sólidos que se transforman en

otras sustancias mediante el tostado de los granos. (Danse, M., Wolters T., 2006)

- La pérdida de peso puede ser de un 13 a un 20% del peso del café oro. A mayor grado de tostado mayor la pérdida. Estas son las pérdidas inherentes al proceso.
- Además, existen pérdidas incidentales de peso debido a causas tales como malas operaciones, obsolescencia del equipamiento, falta de la instrumentación requerida para el control del proceso y de un método para el control del proceso. (Danse, M., Wolters T., 2006)

Aumento de volumen.

- En función del tiempo de tostado, el grano aumenta de volumen entre un 100 y un 130% respecto al café oro. (Danse, M., Wolters T., 2006)

Color de los granos.

- Está en relación con el tipo de café
- Depende de la intensidad y duración de la torrefacción. Los cafés tostados a baja temperatura no tienen un color muy acentuado. En estos casos el gusto de los consumidores se impone.
- La fase de enfriamiento puede provocar modificaciones en el color.
- El café está más tostado mientras menor es la diferencia entre el color de la superficie y su interior.

Textura interna.

- Los cambios son provocados por la expansión de gases.
- Pueden aparecer grietas o fisuras en los granos.

Resistencia a la presión.

- Es la relación directa entre el aumento en volumen y la baja de la resistencia a la compresión.
- La caída de resistencia del grano es marcada entre 170-180 °C en cafés tipo arábigo. Más allá de estas temperaturas hay poca variación. (Danse, M., Wolters T., 2006)

Este aspecto es importante para los fines de molido del grano.

1.5 Transformaciones del café durante el tostado.

Las transformaciones que sufre el café durante el tostado son las siguientes: (Sivetz, N.W.)

Transformaciones físicas.

El tueste se inicia a 100 °C. Comienza a perder humedad y su color pasa rápidamente del verde al amarillo pálido y luego dorado.

Aumentando la temperatura hasta los 180 °C la descomposición de la capa es mayor. Se desprende un aceite de fuerte aroma. Los granos empiezan a hincharse y romperse adquiriendo un color carmelita, lo cual genera gran cantidad de Material Particulado, que sale por la chimenea al exterior como emisiones del proceso.

A partir de ahí se puede elevar la temperatura hasta 218 °C para hacer un café más agrio pero menos amargo hasta un máximo de 225 °C.

Posteriormente hay que enfriar los granos rápidamente a fin de que se fijen los aromas y se condensen las sustancias aceitosas.

Lo importante es alcanzar la temperatura idónea en el menor tiempo posible, a fin de retener el máximo de aromas del grano.

Transformaciones químicas.

- Disminución del contenido de agua.
- Aumento de las sustancias grasas.
- Disminución de los azúcares.
- Aparición de nuevas sustancias: anhídrido carbónico, caramelo, etc,



Figura 1.6: Aspecto de los granos de café tostado. (Fuente :M. Sivetz, N.W. Desrosier)

1.6 Emisiones por cada una de las etapas del proceso de tostado de café.

A. Tostado

En general, el tostado del café viene acompañado de emisiones de material particulado, compuestos orgánicos volátiles (COVs), ácidos orgánicos y gases producto de la combustión.

Los granos verdes de café contienen una amplia variedad de compuestos químicos, en los que se incluyen: proteínas, azúcares, dextrina, celulosa, cafeína y ácidos orgánicos. Consecuentemente, productos tóxicos como los aldehídos (como el formaldehído), ácidos orgánicos (como el ácido acético) y acroleína se emiten como resultado del proceso de tostado (USEPA 1995; BAAQMD 1998).

El tostador es la fuente principal de emisión de contaminantes en forma gaseosa en una tostadora de café. Las emisiones gaseosas ocurren como resultado de la ruptura de los azúcares y aceites presentes en los granos de café verde. Estas emisiones gaseosas incluyen:

- Aldehídos
- Ácidos orgánicos
- Fenoles

- Otros compuestos orgánicos con azufre y nitrógeno.

Generalmente, los tostadores usan como combustible gas natural, por lo que ocurren además emisiones de:

- Óxidos de nitrógeno.
- Monóxido de carbono.
- Dióxido de carbono.

B. Apagado

La emisión fundamental del proceso de apagado es el vapor de agua. El vapor de agua contiene ante todo, material particulado y puede contener trazas de los contaminantes emitidos durante el proceso de tostado.

C. Enfriado/Despedrado

El contaminante fundamental emitido durante el proceso de enfriamiento y despedrado es el material particulado, en forma de partículas de granos rotos de café tostado y el pergamino (epispermo). La mayor parte del pergamino está compuesta por escamas grandes, que exceden los 10 micrones de diámetro.

D. Operaciones varias

- **Manipulación de los granos verdes** (recepción/descarga, transporte neumático, Limpieza/Selección y mezclado).

Estos procesos emiten partículas de gran tamaño (>100 micrones) que están compuestas de pergamino, suciedades, polvo, fibras y otro material asociado al proceso de cultivo, empaqueo y la transportación del café verde.

Habitualmente se consideran despreciables las emisiones de estos procesos, porque son abatidas por ciclones o filtros de tela, que tienen una alta eficiencia de colección para estas partículas grandes.

- **Molienda y empaque.**

Como las emisiones de la molienda y el empaque no se ventean a la atmósfera directamente, pues se consideran despreciables.

1.7 Recursos que intervienen en el proceso.

1.7.1. Materias primas.

Los cafetos son arbustos de las regiones tropicales del género Coffea, de la familia de los rubiáceos. Dos son las especies que se utilizan para la preparación de la bebida, aunque también se han probado otras especies del género *Coffea* sin gran éxito ni difusión. La materia prima es el café oro. Los principales tipos de café oro son el arábigo y el robusto.

- *Coffea arabica* o *cafeto arábica*: es la que se cultiva desde más antiguamente, y representa el 75 por ciento de la producción mundial de café. Produce un café fino y aromático, y necesita un clima más fresco. El cultivo del arábica es más delicado, menos productivo y está reservado a tierras altas de montaña, entre 900 y 2 000 metros. Originario de Etiopía, hoy en día se produce en países como Brasil, Camerún, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guatemala, Haití, Jamaica, Java, Kenia, México, Perú, Puerto Rico, El Salvador, Tanzania y Venezuela.
- *Coffea canephora* o *cafeto robusta*: ofrece una bebida rica en cafeína; fuerte y más ácido, usualmente usado para la fabricación de café soluble o instantáneo y mezclas. El robusta se adapta a terrenos llanos, con rendimientos más elevados. Originario del Congo Belga (actualmente República Democrática del Congo), hoy en día se cultiva no sólo en África (Costa de Marfil, Angola y el propio Zaire), sino también en India, Indonesia, Madagascar, Brasil y Filipinas. Es más resistente que el arábigo (de ahí su nombre de «robusta»).

1.7.2. Agua.

Como, prácticamente, en toda industria alimenticia el agua es uno de los recursos utilizados intensivamente para la limpieza de las plantas y para garantizar los estándares de los productos. El agua consumida depende del tamaño de la empresa, los procesos de producción existentes, los tipos de equipos, la facilidad para limpiarlos, el tipo de producción y las prácticas de manufactura del personal

Las aguas residuales son generadas principalmente por las pérdidas de productos materias primas y por las aguas de lavado, que son utilizados con el fin de desinfectar los equipos en cada etapa del proceso y la planta.

Debido a los altos costos del agua y disposición de residuos que se ha impuesto en muchos países, la reducción del consumo de agua en la actualidad se considera fundamental para la sostenibilidad de las industrias en general. Pero en la torrefacción del café el agua solo se utiliza con el objetivo de enfriar bruscamente el café recién tostado, por lo que no se consumen altos volúmenes de este recurso, por lo que no representa un alto costo para este tipo de industria.

1.7.3. Energía.

La energía térmica en una torrefactora de café es usada para el funcionamiento del proceso de tostado.

Aproximadamente el 80% del consumo energético de este tipo de industria es provista por la combustión de combustible fósil para el proceso de tostado. El restante 20% es suministrado por energía eléctrica para motores eléctricos, aire acondicionado e iluminación. El consumo también depende del tiempo y el volumen de producción de la empresa.

En la mayoría de las empresas el alto consumo energético puede ser asociado a baja eficiencia energética, uso de equipamiento obsoleto, mal aislamiento térmico, excesiva iluminación o bajo factor de potencia. Debido a la utilización intensiva de este insumo durante el proceso productivo representa uno de los costos más significativos. (Ruiz, K., 2001)

1.7.4. Residuos.

Los residuos sólidos usualmente generados son: producto terminado perdido, productos vencidos y café oro en los envases. Las principales molestias ocasionadas son debido a olores, ruidos y la presencia de polvo de café en las cercanías de los establecimientos. (Ruiz, K., 2001)

1.7.5. Emisiones.

Las emisiones atmosféricas en la industria de café son producidas básicamente por combustión de combustible en las tostadoras, por los gases producidos por las transformaciones químicas que ocurren en los constituyentes del café durante el tostado y por el material particulado generado en el proceso de tostado, molienda y tamizado. (Ruiz, K., 2001)

1.7.5.1. Material particulado.

El material particulado está compuesto por granos partidos y por la película exterior de la baya de café (pergamino, coffee chaff), el cual se forma cuando los granos de café se hinchan durante el proceso de tostado. La mayor parte de lo que se genera en el proceso de tostado es lo suficientemente ligera para irse con el flujo gaseoso de salida. (Sick, D., 1999)

El pergamino es la película plateada de los granos de café desprendida durante el proceso de tostado. Aunque algunos cafés son sometidos a un proceso de pulido antes de ser tostado para reducir la cantidad de película plateada adherida a los mismos, la mayoría del café sin tostar tiene una cantidad significativa de una sustancia fina, parecida a hoja de papel, que debe ser removida durante el proceso de tostado. A medida que se tuestan, los granos de café aumentan casi dos veces de tamaño. La película plateada se rompe y puede ser quemada o arrastrada sin quemar por el flujo de gases que sale del tostador. (Sick, D., 1999)



Figura 1.7: Aspecto del pergamino (coffee chaff). (Fuente: Sick, D., 1999)

1.8 Técnicas de abatimiento de emisiones usadas en tostadoras de café.

1.8.1 Generalidades de los dispositivos de control de emisiones.

Las plantas de producción de energía, acerías, plantas de cemento, refinerías y otros procesos industriales emiten contaminantes a la atmósfera en forma de partículas, aerosoles, vapores o gases. En ocasiones, las emisiones a la atmósfera pueden ser reducidas significativamente a través de modificaciones del proceso o de control de la combustión. Sin embargo, no siempre son suficientes para alcanzar los límites de emisión (cantidades de contaminantes que se emiten por unidad de tiempo o volumen

de gas de salida) e inmisión (concentraciones en el aire ambiental) requeridos. Estas emisiones son típicamente controladas con eficiencia alta con la instalación de una amplia variedad de dispositivos de control de emisiones, a veces llamados técnicas de abatimiento de emisiones.

Otra aplicación importante de los dispositivos de control de emisiones es para lograr una reducción adicional de las emisiones en instalaciones situadas en las inmediaciones de zonas urbanas, que no pueden contar con un área mínima alrededor de la misma sin población o sitios de estancia permanente del personal, y están obligadas a cumplir con los límites de emisión para zonas habitables. En otros emplazamientos, cumpliendo con los límites de emisión, estas instalaciones no requerirían de abatimiento adicional de las emisiones.

Los dispositivos de control de emisiones usualmente se instalan en conductos o chimeneas antes de que las partículas y los gases sean expulsados a la atmósfera, con el objetivo de cumplir con los límites de emisión e inmisión.

La selección de la tecnología de abatimiento de emisiones adecuada, depende de:

- Las características físico-químicas de las emisiones.
- La eficacia de control requerida.

Los métodos más comunes de eliminar o reducir los contaminantes incluyen:

- La destrucción de los contaminantes por combustión termal o catalítica, usando una antorcha, un incinerador de alta temperatura o un reactor de combustión catalítica.
- Cambio de los contaminantes por otros menos dañinos, como la conversión de los óxidos de nitrógeno (NO_x) en nitrógeno y agua, a través de la adición de amoníaco al gas residual de salida delante de un reactor catalítico reactivo.
- Colección del contaminante en un sistema de control de la contaminación del aire, antes de que sean vertidos a la atmósfera.

Los dispositivos de abatimiento de contaminantes en forma de gases o vapor son:

- Oxidadores termales
- Reactores catalíticos.
- Absorbedores de carbón
- Torres de absorción

- Biofiltros.

Los dispositivos de abatimiento más comunes para controlar la emisión de partículas son:

- Precipitadores electrostáticos secos y húmedos.
- Filtros de fábrica, también llamados casas de bolsas.
- Lavadores húmedos
- Ciclones o multiciclones, a veces llamados batería de ciclones.

Frecuentemente estos dispositivos se instalan en serie para lograr la disminución de los niveles de emisión de un contaminante.

1.8.2. Dispositivos de control de emisiones en tostadoras.

Según Report U.S.E.P.A., 2005, lo típico es que se usen ciclones de alta eficiencia para el abatimiento de las emisiones que salen de los tostadores, cunas de enfriamiento, despedradora y el equipamiento de manipulación de los granos verdes. Los ciclones tienen altas eficiencias de captura de las partículas grandes. Existen varios diseños de ciclones; pero todos tienen en común el forzamiento del flujo a un movimiento circular, con un embudo colector al fondo para coleccionar las partículas por gravedad (ver Figura 1.6).

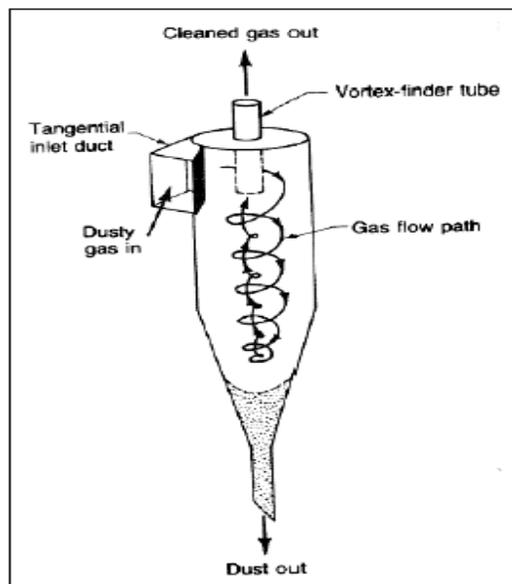


Figura 1.8: Representación esquemática general de un ciclón. (Fuente: Report, U.S.E.P.A., 2005).

Las emisiones gaseosas de los tostadores comúnmente se incineran y abaten con Oxidadores Termales o Catalíticos, colocados a continuación de los ciclones en dirección del flujo gaseoso saliente. En este caso el ciclón actúa como un dispositivo de pretratamiento, para eliminar la mayor parte del material particulado, quedando al Oxidador la eliminación de las partículas más finas y de los gases.

Los Oxidadores Termales (Thermal Oxidizer) son incineradores, que realizan una combustión altamente eficiente de una corriente residual compuesta fundamentalmente por gas y líquido con poco o ningún sólido (ver esquema de la Figura 1.7). Estos dispositivos de control se usan para la destrucción de Compuestos Orgánicos Volátiles Olorosos y Tóxicos y pueden alcanzar eficiencias del 99%. Requieren un consumo grande de combustible para alcanzar la temperatura requerida y pueden ser costosos.

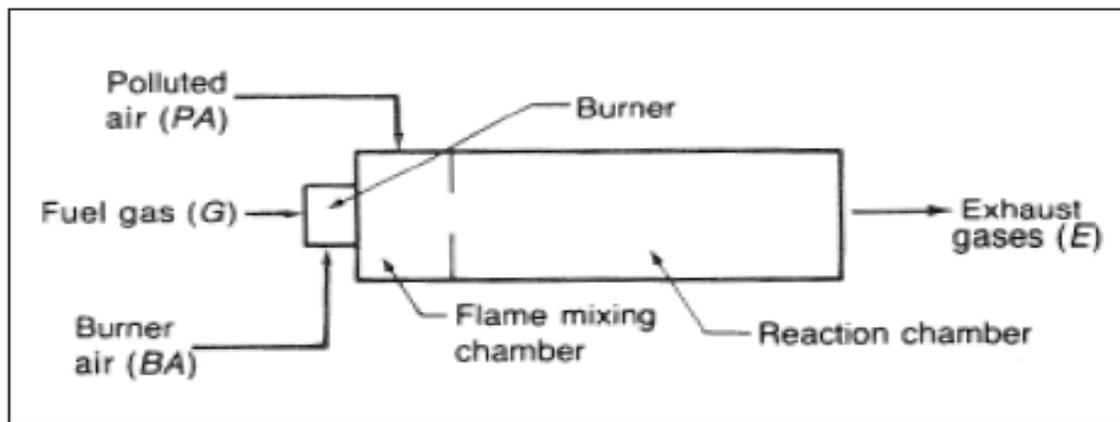


Figura 1.9: Esquema de un Oxidador Termal. (Fuente: Report, U.S.E.P.A., 2005).

Algunas instalaciones usan el quemador que calienta el tostador como un Oxidador Termal, para ello cuentan con un sistema de recirculación de parte de los humos, un ejemplo de las cuáles se muestra en la figura siguiente.



Figura 1.10: Tostadora con recirculación del aire del tostado del café. (DISCAF 2011). Estas tostadoras reutilizan una parte importante de los gases de combustión, mejoran su rendimiento y propician un significativo ahorro de energía y reducen en gran medida la aportación de humo a la atmósfera. Sin embargo, un Oxidador Termal separado es la práctica recomendada, pues con éste se alcanzan las temperaturas deseadas.



Figura 1.11: Ducha de agua. (Fuente: DISCAF 2011). La gran mayoría de los dispositivos de recolección previa son recolectores mecánicos, o sea, son una clase de dispositivos que dependen de la gravedad y la inercia para la recolección de partículas. Son utilizados extensivamente en la industria debido a sus

bajos costos de capital, la habilidad de operar en ambientes severos, y bajos requisitos de mantenimiento debido a la ausencia de partes móviles. Sin embargo, tienen desventajas asociadas con las relativamente bajas eficiencias de recolección para las partículas pequeñas. Mientras esto de hecho, evita su uso como dispositivos primarios de recolección en muchas aplicaciones, no es una preocupación principal cuando los recolectores mecánicos son utilizados para la recolección previa.

1.7. Conclusiones del capítulo.

1. Nuestro país cuenta con el correspondiente marco legal, a partir del cual se procedió contra la Torrefactora de Café de Cienfuegos por los impactos socio-ambientales que genera su desempeño empresarial debido a la obsolescencia de su equipamiento y a estar ubicada en un área poblada citadina.
2. La torrefacción del café genera emisiones de diversas y complejas sustancias gaseosas orgánicas y gases de la combustión en las tostadoras.
3. Las pérdidas de peso (pérdidas inherentes) pueden ser de un 13 a un 20% del peso del café oro, lo cual es un alto valor de pérdidas inherentes en cualquier proceso, al que hay que sumarle además el valor de las pérdidas incidentales.
4. Asociados a esas pérdidas están tanto el comprobado impacto socio-ambiental que causan, como la correspondiente afectación económica a la empresa.

Capítulo 2: La Torrefactora de Café de Cienfuegos.

2.1. Introducción.

La Empresa Torrefactora y Distribuidora de Café está ubicada en la Avenida 64, #5708, entre 57 y 59, ciudad de Cienfuegos y se localiza en las Coordenadas Cartográficas X.557800. Y 258380. es decir, dentro del perímetro urbano de la ciudad de Cienfuegos.



Figura 2.1.- Límites de la Torrefactora de Café de Cienfuegos (Google Earth).

La Empresa Torrefactora de Café de Cienfuegos fue creada mediante la Resolución 277 de fecha 30 de septiembre de 2005 emitida por el Ministerio de la Industria Alimenticia. El Objeto Empresarial de la Torrefactora de Café de Cienfuegos fue modificado mediante Resolución No. 2386 de fecha 2 de diciembre del 2009 dictada por el Ministro de Economía y Planificación.

2.2. Objeto social de la empresa

- 1- Producir y comercializar de forma mayorista café torrefaccionado en pesos cubanos y pesos convertibles.
- 2- Comercializar de forma mayorista café tostado, en grano y molido, en pesos cubanos y pesos convertibles.
- 3- Prestar servicios de instalación de cafeteras en pesos cubanos y pesos convertibles.
- 4- Comercializar de forma mayorista productos e insumos asociados al servicio del consumo de café, según nomenclatura aprobada por el Ministerio de Comercio Interior, en pesos cubanos y pesos convertibles.
- 5- Comercializar de forma mayorista productos apícolas envasados, según nomenclatura aprobada por el Ministerio de Comercio Interior, en pesos cubanos y convertibles.
- 6- Brindar servicios de transportación de carga por vía automotor en pesos cubanos, según las capacidades disponibles y cumpliendo con las regulaciones establecidas.
- 7- Comercializar de forma mayorista sacos de envases recuperados en pesos cubanos.
- 8- Brindar servicios de comedor –cafetería y recreación a sus trabajadores en pesos cubanos.

2.2.2. Misión y visión de la organización

- **Misión**

Garantizar la producción y suministro del café torrefaccionado con destino a la población y a los organismos de la administración central del Estado, y venta en divisa a estos últimos que cuenten con financiamiento en esa moneda.

- **Visión**

La Empresa Torrefactora y distribuidora de Café en Cienfuegos, aplica el Sistema de Perfeccionamiento Empresarial con una estructura organizativa muy favorable.

Es una Empresa con un proceso de producción continua con los trabajadores motivados e idóneos para sus puestos de trabajo. Las entregas de café a la población y organismos se realizan puntualmente y con la calidad requerida para satisfacer las necesidades de los clientes y sus directivos son líderes.

2.3. Descripción de la empresa.

La Empresa se encuentra estructurada de la siguiente forma:

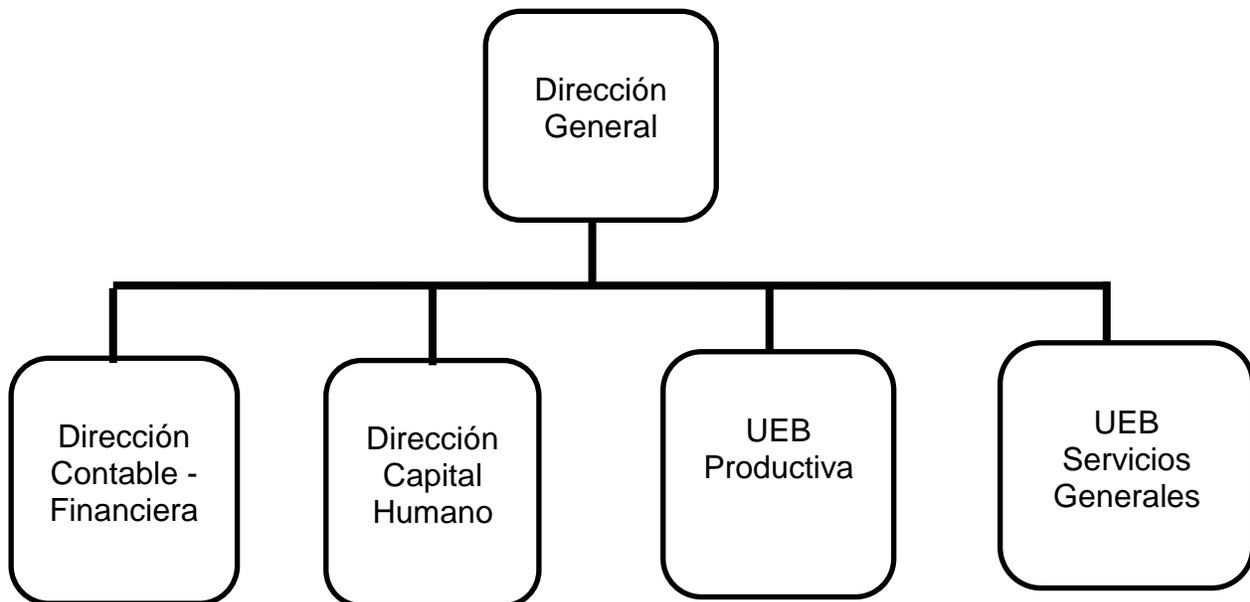


Figura 2.2. Organigrama de la Torrefactora de Café de Cienfuegos. (Elaboración propia).

La plantilla aprobada es de 61 trabajadores, con 51 plazas cubiertas. A continuación se muestra la composición de la plantilla.

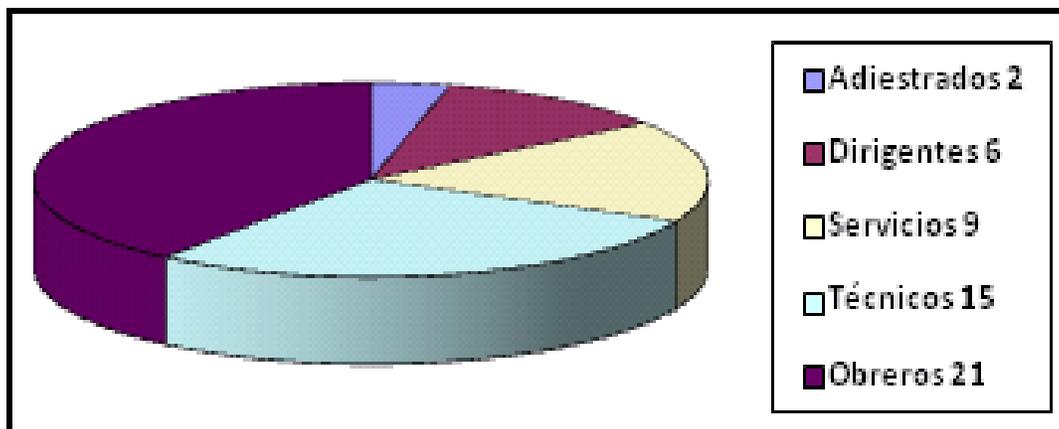


Figura 2.3. Composición de la plantilla de la Torrefactora de Café de Cienfuegos (Elaboración propia).

La Torrefactora fue creada en 1925. Actualmente es la única proveedora de café en esta provincia y es una de las once torrefactoras de café que existían antes del triunfo de la Revolución en 1959. El equipamiento actual es el mismo con que se inició la empresa hace 88 años atrás, por lo que es obsoleto. Asociado a lo anterior está el hecho de que no existe prácticamente la instrumentación requerida para poder medir los parámetros de operación.

Las prácticas actuales de producción en esta empresa dependen entonces de la apreciación personal de los operadores y no de datos o conocimiento real sobre lo que está ocurriendo, lo cual no conduce a una producción más limpia.

La realidad descrita implica que la empresa enfrenta problemas con el impacto socio-ambiental que provocan las emisiones de humos y polvos, definidos estos últimos como material particulado (MP) del proceso de torrefacción del café y también con el costo de producción asociado a las pérdidas materiales y energéticas debidas a la ineficiencia de sus equipos.

2.4. Fundamentación de la inversión realizada.

Desde mucho tiempo atrás, la Empresa Torrefactora y Distribuidora de Café de Cienfuegos ha recibido múltiples quejas, especialmente del vecindario colindante, por las emisiones de gases y material particulado que vierte a la atmósfera. El equipamiento de la torrefactora es el mismo con que se inició la empresa originalmente, por lo que es totalmente obsoleto. El Ministerio de la Industria Alimenticia no dispone de los recursos financieros y materiales requeridos para

solucionar estos problemas mediante la adquisición de tecnología e instrumentación más modernas. Las prácticas actuales de producción en esta empresa dependen entonces de la apreciación personal de los operadores y no de datos o conocimiento real sobre lo que está ocurriendo, lo cual no conduce a una producción más limpia.

La realidad descrita implica que las quejas del vecindario están sustentadas en los problemas que la empresa enfrenta por las emisiones a la atmósfera de gases y material particulado debido a la obsolescencia de sus equipos y a la no disponibilidad de recursos para financiar un cambio total de la tecnología actual. Las emisiones de gases y material particulado provienen tanto del combustible consumido como de la materia prima del proceso.

La envergadura de estos problemas queda evidenciada en el documento que aparece en el **Anexo 1**, donde se muestra los resultados de análisis de concentración de material particulado realizados en el año 2009 por el CPHE de Cienfuegos en varios lugares aledaños a la empresa. Esos resultados motivaron las continuas quejas de los vecinos, las que sustentaron el cierre temporal de la empresa por el documento del CITMA nombrado CONTRAVENCIÓN 21/09, desde el 25/11/2009 hasta el 10/07/2010 para solucionar dichos problemas, el cual se muestra en el **Anexo 2**.

Ante tales realidades, el Ministerio de la Industria Alimenticia le asignó a la Empresa Torrefactora y Distribuidora de Café de Cienfuegos una limitada cifra de recursos para financiar la requerida inversión para realizar cambios tecnológicos de costo medio que no impliquen un cambio de la tecnología existente, con el propósito de reducir las emisiones de gases y material particulado a la atmósfera, para de esta manera reducir el impacto socio-ambiental de la empresa.

En la Torrefactora de Café de Cienfuegos, durante el tostado no solo ocurren las pérdidas inherentes al proceso conocidas como Pérdida de Peso (PP), debidas a las transformaciones químico-físicas que sufren los granos por efecto del calor, sino que, por múltiples causas, también ocurren pérdidas incidentales de café tostado (Wc1, Wc2, Wc3, Wc4), todas las cuales no solo tienen un impacto económico, sino también socio-ambiental, especialmente por el hecho de estar la torrefactora ubicada dentro de una zona totalmente urbanizada. Por otra parte, el elevado grado de obsolescencia de las

tostadoras, la falta de la requerida instrumentación y las malas prácticas operativas hacen que las pérdidas de calor en estos equipos sean muy altas.

Todo lo anterior concede una elevada prioridad a estos aspectos, por lo que serán el centro de este trabajo. En la Figura 2.4 las flechas oscuras gruesas muestran las pérdidas materiales y energéticas que ocurren en el proceso de tostado en la torrefactora.

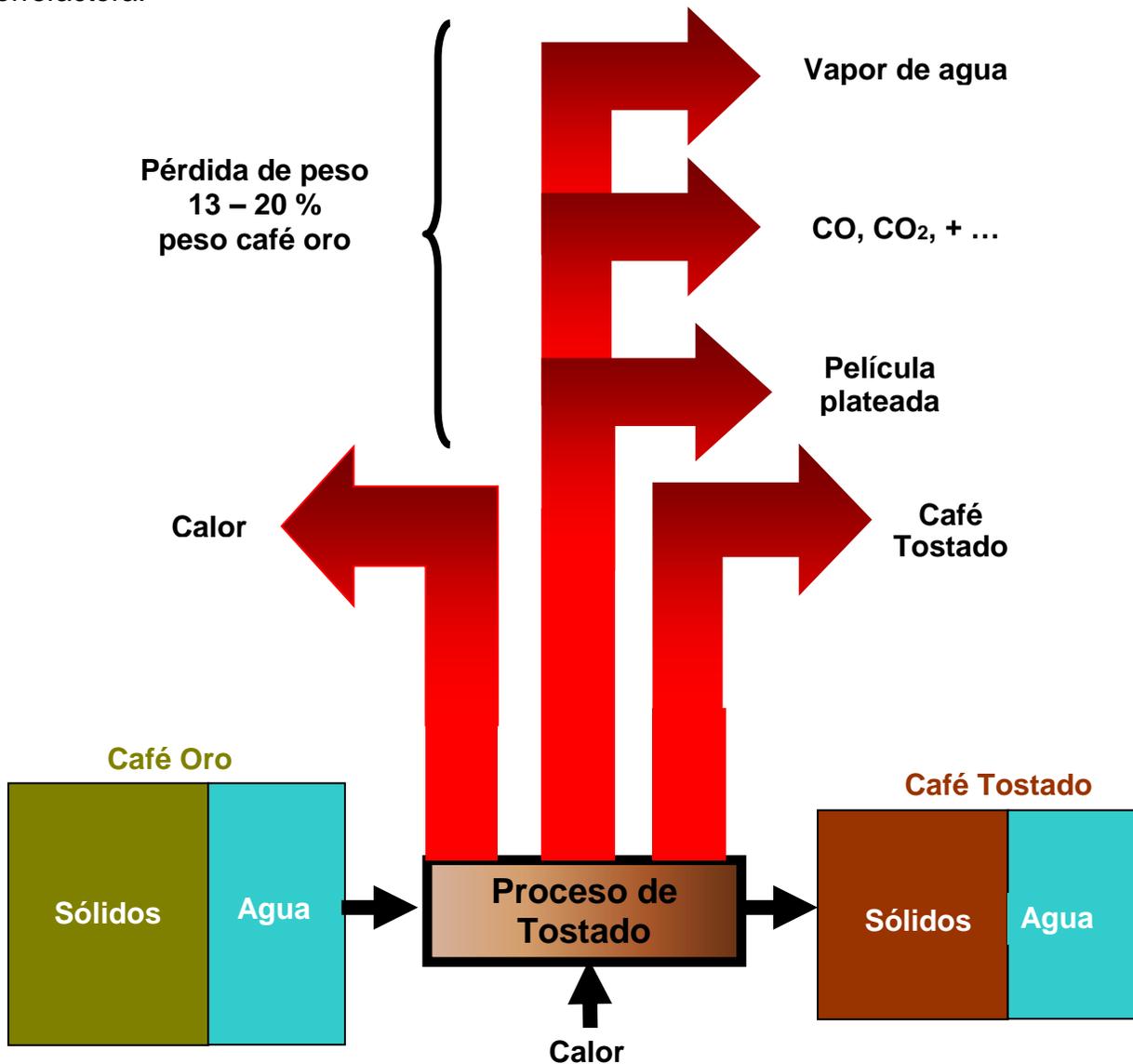


Figura 2.4. Pérdidas en el proceso de tostado en la Torrefactora de Cienfuegos. (Elaboración propia).

En la Figura 2.5 se muestran esquemática y resumidamente las entradas y salidas del proceso de torrefacción del café, indicándose allí cuales son los datos que se conocen

actualmente y cuáles no. Es evidente que a partir de este conocimiento no se puede ejercer un efectivo control sobre el proceso, lo cual para lograrlo requiere, en primera instancia, del conocimiento de las magnitudes de las pérdidas materiales y energéticas relacionadas con la torrefacción de café. El control operacional del proceso se ejerce para maximizar la obtención y retención del producto deseado, y/o la utilización de algún recurso importante y costoso, de la manera más económica y con los menores impactos socio-ambientales posibles.

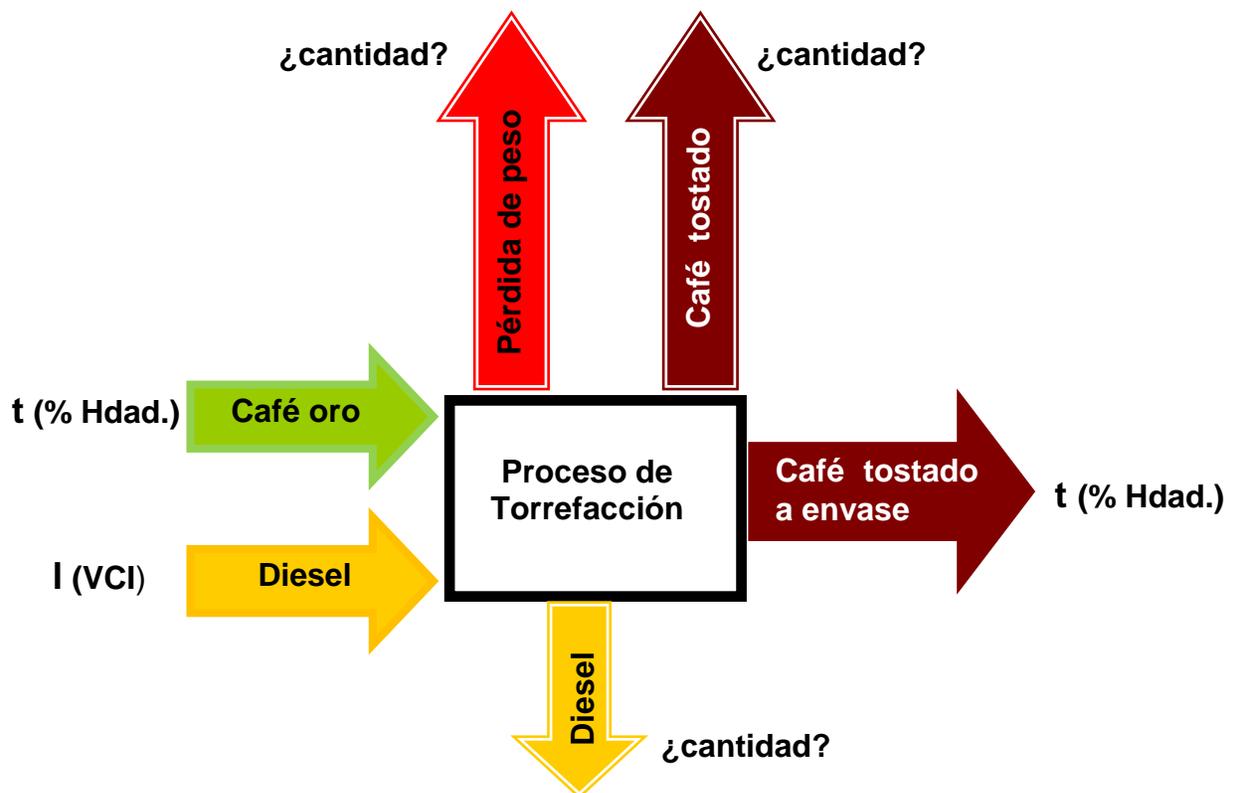


Figura 2.5. Datos actualmente conocidos y desconocidos de las entradas y salidas del proceso de torrefacción del café. (Elaboración propia).

2.5. Balance de masa.

En la Figura 2.6 se representa el Diagrama General de Flujo de la Torrefactora de Cienfuegos, donde en líneas discontinuas se muestra el antiguo sistema de extracción de gases.

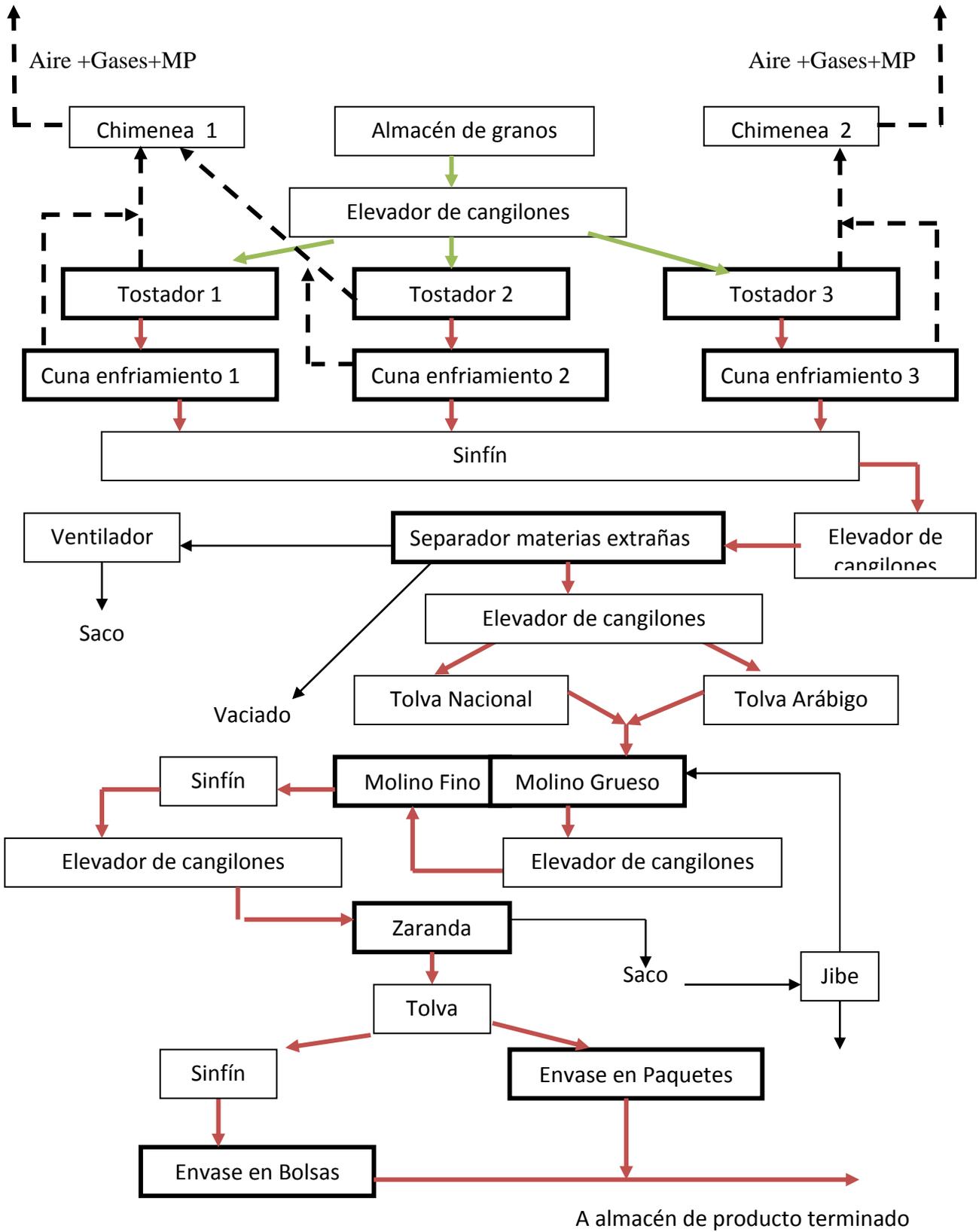


Figura 2.6. Diagrama General de Flujo de la Torrefactora de Cienfuegos antes de las modificaciones realizadas. (Elaboración propia).

En la Figura 2.7 se representa el Diagrama de Flujo de las Operaciones Básicas de la Torrefactora de Cienfuegos, donde se muestran cualitativamente las pérdidas energéticas y materiales que ocurren en todo el proceso de torrefacción.

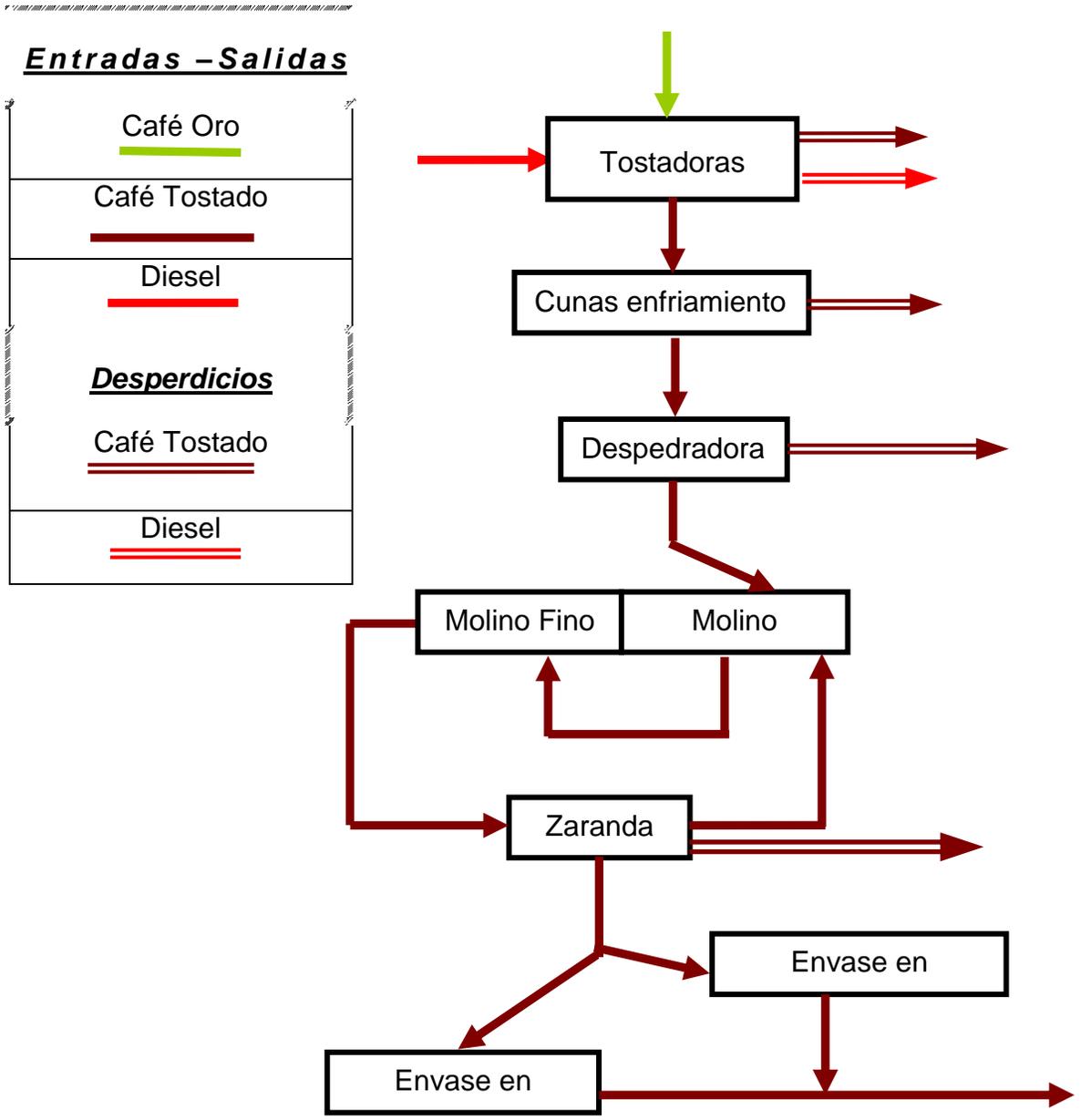


Figura 2.7. Diagrama de Flujo de las Operaciones Básicas de la Torrefactora de Cienfuegos. (Elaboración propia).or).

Como la requerida base para lograr conocer las magnitudes de las pérdidas materiales relacionadas con la torrefacción de café, en la Figura 2.8 se muestra el balance de materiales de cada una de las operaciones básicas de este proceso. (Ochoa George, P.A., 2008)

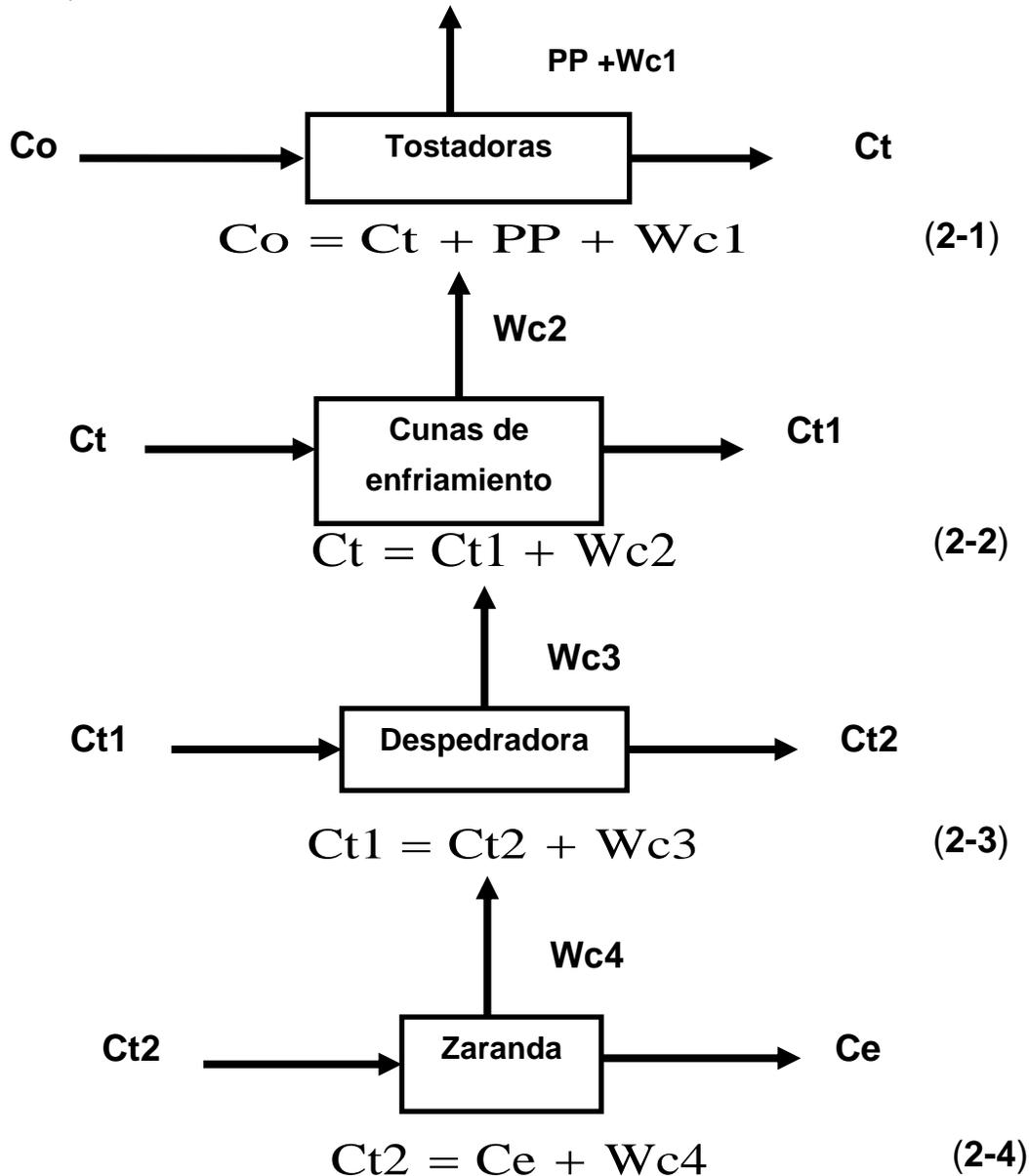


Figura 2.8. Balance de masa en las operaciones básicas de la torrefacción de café (Ochoa George, P.A., 2008).

Leyenda:

Co: Peso Café Oro

Ct: Peso Café Tostado

Wc1: Desperdicios Café Tost. en Tostadoras

Wc2: Desperdicios Café Tostado Cuna Enf.

Ce: Peso Café Envasado

Wc3: Desperdicios Café Tost.en Desped.

Ct1: Peso Café Tost. Salido Cuna de Enf.

Wc4: Desperdicios Café Tost. en Zaranda

Ct2: Peso Café Tost. Salido Desped.

2.5.1. Ecuaciones del balance de masa de las operaciones básicas. (Ochoa George, P.A., 2008)

$$Co = Ct + PP + Wc1 \quad (2-1)$$

$$Ct = Ct1 + Wc2 \quad (2-2)$$

$$Ct1 = Ct2 + Wc3 \quad (2-3)$$

$$Ct2 = Ce + Wc4 \quad (2-4)$$

Sustituyendo (2-4), (2-3) y (2-2) en (2-1):

$$Co = Ce + Wc4 + Wc3 + Wc2 + Wc1 + PP \quad (2-5)$$

Haciendo:

$$W = Wc4 + Wc3 + Wc2 + Wc1 \quad (2-6)$$

Sustituyendo (2-6) en (2-5)

$$Co = Ce + PP + W \quad \longrightarrow \quad W = Co - (Ce + PP) \quad (2-7)$$

Por otra parte:

$$PP = St + Ae \quad (2-8)$$

Y:

$$Ae = Co (\% \text{ Hdad. } Co) - Ce (\% \text{ Hdad. } Ce) \quad (2-9)$$

Sustituyendo (2-8) y (2-9) en (2-7):

$$W = Co - Ce - Co (\% \text{ Hdad. } Co) + Ce (\% \text{ Hdad. } Ce) - St \quad (2-10)$$

$$W = Co - Co (\% \text{ Hdad. } Co) - Ce + Ce (\% \text{ Hdad. } Ce) - St \quad (2-11)$$

$$W = Co (1 - \% \text{ Hdad. } Co) - Ce (1 - \% \text{ Hdad. } Ce) - St \quad (2-12)$$

Despejando:

$$W + St = Co (1 - \% \text{ Hdad. } Co) - Ce (1 - \% \text{ Hdad. } Ce) \quad (2-13)$$

Leyenda:

Ae: Peso Agua Evaporada Total

W: Peso Total Desperdicios

% Hdad.ce: % Hdad. Café Envasado

PP: Pérdida de peso

% Hdad.co: % Humedad Café Oro

St: Peso de sólidos que se transforman

La ecuación **2-13** representa el balance de sólidos del proceso global de torrefacción. Conocer el valor del término **St** está fuera del alcance del trabajo diario de cualquier torrefactora, pues resultaría demasiado compleja su determinación debido, por una parte, a la cantidad y complejidad de las sustancias involucradas. Por otra parte, los costos relacionados con el equipamiento necesario para realizar las requeridas determinaciones y con el personal altamente calificado para llevar a cabo tales trabajos, resultarían demasiado elevados. Adicionalmente, por tratarse de sustancias orgánicas muy complejas, el tiempo demandado para la realización de los análisis hace inoperante tal proceder, pues no habría una respuesta en un tiempo razonable que permita tomar decisiones operativas sobre el proceso. Además de lo anterior, hay que tener en cuenta también que el término **St** forma parte de las Pérdidas de Peso, las

cuales son pérdidas inherentes del proceso y, por tanto, solo pudiera actuarse sobre ellas mediante soluciones tales como cambiar el proceso de torrefacción por algún proceso que hoy no existe, y que difícilmente pudiera existir.

Para conocer el valor del término **W** habría que instalar un sistema de pesaje a la salida de cada una de las operaciones, lo cual resultaría también demasiado costoso, y este hecho excluye la posibilidad de tener un conocimiento de las pérdidas de café en cada una de las operaciones. En la ecuación **2-13** la suma **W+ St** representa el total de pérdidas, inherentes más incidentales, de sólidos del proceso.

La Empresa Nacional del Café establece como único indicador de eficiencia del proceso el denominado Índice de Consumo (**IC**), definido como la relación entre la masa de café oro entrado y la masa de café producido.

$$\mathbf{IC = Ce / Co} \quad \mathbf{(2-14)}$$

Por último, la Pérdida de Peso (PP) se calcula como la relación porcentual de la diferencia entre la masa de café oro y la masa de café tostado, a la masa de café oro, es decir, la fracción porcentual de la masa de café oro que no se transforma en café tostado (Ochoa George, P.A., 2008).

$$\mathbf{PP = [(Co - Ce) / Co] 100} \quad \mathbf{(2-15)}$$

De acuerdo con los parámetros internacionales para este indicador de las pérdidas inherentes al proceso (13% - 20%), la torrefactora tuvo pérdidas por encima del valor máximo, lo que significa que las pérdidas por encima del 20% son totalmente incidentales, lo cual implica que café tostado producido que se pierde y esto conduce entonces a pensar y ejecutar las requeridas soluciones de acuerdo con los principios de las Producciones mas Limpias, con el objetivo de reducir los impactos socio-económico-ambientales que provoca la torrefacción del café.

2.6. Cálculo de las pérdidas de café y las financieras asociadas durante el 2009.

Se tomó como base la información del año 2009 y todos los cálculos se hicieron utilizando las ecuaciones anteriores.

De los informes diarios del laboratorio se tomaron los datos de la humedad (H%) del café oro entrado y del café producido. De los informes diarios de producción se tomaron los datos de las entradas de café oro (Ent.) y de café producido (Prod.) y de los

consumos de combustible Diesel. Toda esta información se procesó para obtener los correspondientes datos mensuales del año, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 2.1: Masa y humedad del café oro y del café producido y el consumo de Diesel.

Datos del proceso y de consumo de combustible					
2009	Ent. (t)	Hdad. (%)	Prod. (t)	Hdad. (%)	Diesel (l)
Enero	76,829	10,9	60,213	2,52	4446
Febrero	79,373	11,0	62,163	2,24	4456
Marzo	79,589	11,0	62,406	2,46	4607
Abril	68,910	11,4	54,044	2,42	3909
Mayo	69,688	11,3	54,689	1,89	4043
Junio	79,105	11,3	62,015	2,63	4517
Julio	81,341	11,2	63,827	2,31	4697
Agosto	88,282	11,1	69,224	2,79	4830
Septiembre	72,802	11,4	57,112	2,43	3895
Octubre	87,627	11,1	68,633	2,40	4870
Noviembre	79,612	11,3	62,465	1,81	4450

Tabla 2.2: Pérdida de peso.

2009	Café oro (t)	Café tostado (t)	Pérdida de peso (%)	Pérdidas de peso incidentales (%)
Enero	76,829	60,213	21,63	1,63
Febrero	79,373	62,163	21,68	1,68
Marzo	79,589	62,406	21,59	1,59
Abril	68,910	54,044	21,57	1,57
Mayo	69,688	54,689	21,52	1,52
Junio	79,105	62,015	21,60	1,60
Julio	81,341	63,827	21,53	1,53
Agosto	88,282	69,224	21,59	1,59
Septiembre	72,802	57,112	21,55	1,55
Octubre	87,627	68,633	21,68	1,68
Noviembre	79,612	62,465	21,54	1,54
	IC = 1,275			

Tabla 2.3: Cálculo de la cantidad de café tostado perdido debido a las pérdidas incidentales del proceso.

2009	Café oro (t)	Pérdidas de peso incidentales (%)	Café tostado perdido (t)
Enero	76,829	1,63	1,252
Febrero	79,373	1,68	1,333
Marzo	79,589	1,59	1,265
Abril	68,910	1,57	1,081
Mayo	69,688	1,52	1,059
Junio	79,105	1,60	1,265
Julio	81,341	1,53	1,244
Agosto	88,282	1,59	1,403
Septiembre	72,802	1,55	1,128
Octubre	87,627	1,68	1,472
Noviembre	79,612	1,54	1,226
Total			13,728

El precio de venta de la tonelada de café producido es de 7 254,80 pesos / t, por lo que el impacto económico que recibe la empresa debido a la pérdida financiera que provoca la cantidad de desperdicios sólidos que genera se calculó como sigue:

$$\text{Pérdidas por desperdicios sólidos} = (\text{Café perdido}) (\text{Precio café producido})$$

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 2.4: Pérdidas financieras asociadas al café tostado perdido.

2009	Café perdido (t)	Pérdidas por desperdicios sólidos (pesos)
Enero	1,252	9 083,01
Febrero	1,333	9 670,85
Marzo	1,265	9 177,32
Abril	1,081	7 842,44
Mayo	1,059	7 682,83
Junio	1,265	9 177,32
Julio	1,244	9 024,97
Agosto	1,403	10 178,48
Septiembre	1,128	8 183,41
Octubre	1,472	10 679,06
Noviembre	1,226	8 894,38
Total	13,728	99 593,89

2.7. Cálculo de las pérdidas de combustible y las financieras asociadas.

2.7.1. Cálculo de la eficiencia térmica del tostado. (Ochoa George, P.A., 2008)

Para evaporar el agua presente en el café oro, primero hay que suministrarle el calor requerido para calentarla hasta alcanzar la temperatura de ebullición ($Q_{\text{calent.}}$) y, a continuación, suministrarle el calor requerido para la evaporación ($Q_{\text{evap.}}$). El calor total requerido ($Q_{\text{A.tot.}}$) es entonces la suma de ambos calores, todo lo cual se calculó de acuerdo con las expresiones siguientes:

$$Q_{\text{calent.}} = (\text{Ag. Ev.}) (\text{Cp}_{\text{agua}}) (\Delta t) \quad (2-16)$$

$$Q_{\text{evap.}} = (\text{Ag. Ev.}) (\lambda_{\text{agua}}) \quad (2-17)$$

$$Q_{\text{A.tot.}} = Q_{\text{calent.}} + Q_{\text{evap.}} \quad (2-18)$$

Donde:

t_1	t_2	Δt
27 °C	100 °C	73 °C

Tabla 2.5: Fuente: **Perry's Chemical Engineering Handbook, Seventh Edition.**

Cp_{agua}	1,1 kcal / kg °C
λ_{agua}	700 kcal / kg

Pero los granos de café dentro de la tostadora no solo contienen agua, sino que están constituidos por una parte sólida, la cual también absorbe calor. Para realizar este cálculo se tomó el valor de 230 °C como la temperatura máxima de calentamiento de la parte sólida del grano, pues esta es la que se reporta en la literatura como el máximo del rango óptimo de temperatura para tostar el café. Se ha tenido que asumir este valor debido a que la torrefactora no la cuenta con medios adecuados para medir la temperatura real que alcanzan los granos de café durante el tostado. Por otra parte, es preciso destacar que en la literatura se hace referencia a que durante el proceso de tostado del café ocurren reacciones endotérmicas y exotérmicas, pero no se encuentran referencias a las cantidades de calor relacionadas con ambos tipos de reacciones. Esto implica que cualquier cálculo de la eficiencia térmica que se haga, nunca se obtendrá un valor absolutamente real, por cuanto al no conocer los valores de las cantidades de calor relacionadas con ambos tipos de reacciones químicas, se introduce un determinado grado de incertidumbre en los resultados de los cálculos.

En relación con este problema hay que destacar que a la salida del proceso de tostado, se observan granos con la misma apariencia y color que presentan las gotas de metal fundido que caen durante el corte o soldadura de metales. Este hecho permite suponer que la temperatura real que alcanzan los granos de café durante el tostado en la torrefactora de Cienfuegos debe ser mayor que los 230 °C, referidos en la literatura como máximo del rango óptimo de temperatura durante el tostado. Esta realidad descrita implica que la calidad del café resulta afectada por ese exceso de temperatura. El cálculo de la cantidad de calor demandado por el calentamiento de la parte sólida de los granos de café ($Q_{\text{tost.}}$) se realizó utilizando la expresión:

$$Q_{\text{tost}} = (\text{Ent. Sol.}) (C_{p\text{café}}) (\Delta t) \quad (2-19)$$

Donde:

t_1	t_2	Δt
27 °C	230 °C	203 °C

Tabla 2.6: Fuente de los datos: **Termodinámica, Faires, Tabla A22.**

4,1858 kJ / kcal

Tabla 2.7: Fuente de los datos: www.emcentre.com.set/unepweb/tec_case/food_15/house/h11.htm

$C_{p\text{café}} = 2,8 \text{ kJ / kg } ^\circ\text{C} = 0,692 \text{ kcal / kg } ^\circ\text{C}$
--

El calor total demandado por el proceso de tostado (Q_T) se calculó como:

$$Q_T = Q_{A.\text{tot.}} + Q_{\text{tost}} \quad (2-20)$$

El calor total suministrado por el combustible Diesel ($Q_{\text{comb.}}$) se calculó según la expresión:

$$Q_{\text{comb.}} = (\text{Diesel}) (\rho_D) (VCI) \quad (2-21)$$

Tabla 2.8: Propiedades del combustible Diesel según la **CNE.**

Diesel	
ρ_D	0,96 kg / litro
VCI	10 400 kcal/kg

La eficiencia térmica (η_T) del proceso de tostado del café se calculó como:

$$\eta_T = (Q_T / Q_{comb.}) \times 100 \quad (2-22)$$

Se tomó como base la información del año 2009 y todos los cálculos hechos son en relación con este año base utilizando las ecuaciones anteriores.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla que sigue.

Tabla 2.9: Cálculo de la eficiencia térmica del proceso de tostado de café.

2009 24 días háb./mes	Agua				Sólidos		Q _T Total	Combustible consumido		Eficiencia térmica
	Ag. Ev. (kg/día)	Q _{calent.} (kcal/día)	Q _{evap.} (kcal/día)	Q _{A.tot.} (kcal/día)	Ent. Sol. (t)	Q _{tost.} (kcal/día)	Q _T (kcal/día)	Diesel (l/día)	Q _{comb.} (kcal/día)	$\eta_T = (Q_T/Q_{comb.}) 100$
Enero	230,4	18501	161280	179781	69,780	408433	588215	185,3	1850035	31,79
Febrero	242,5	19473	169750	189223	72,157	422346	611570	185,7	1854029	32,99
Marzo	237,5	19071	166250	185321	72,354	423500	608821	192,0	1916928	31,76
Abril	197,5	15859	138250	154109	62,865	367959	522068	162,9	1626394	32,10
Mayo	213,8	17168	149660	166828	63,521	371799	538627	168,5	1682304	32,02
Junio	223,8	17971	156660	174631	72,105	422042	596674	188,2	1878989	31,76
Julio	241,3	19376	168910	188286	74,078	433590	621877	195,7	1953869	31,83
Agosto	250,8	20139	175560	195699	80,329	470179	665878	201,3	2009779	33,13
Septiembre	208,3	16726	145810	162536	66,416	388743	551280	162,3	1620403	34,02
Octubre	260,4	20910	182280	203190	79,733	466690	669881	202,9	2025754	33,07
Noviembre	246,3	19778	172410	192188	72,567	424746	616935	185,4	1851034	33,33
Promedio anual										32,53

Leyenda:

Ag. Ev. = agua evaporada

Ent. Sol. = entrada de sólidos

Q_{calent.} = calor requerido para calentar el agua en el café oro hasta alcanzar la temperatura de ebullición

Q_{evap.} = calor requerido para la evaporar el agua en el café oro

Q_{A.tot.} = **Q_{calent.} + Q_{evap.}**

Q_{tost.} = **(Ent. Sol.) (C_pcafé) (Δt)**

Q_T = **Q_{A.tot.} + Q_{tost.}**

Q_{comb.} = calor del combustible consumido

Eficiencia térmica = $\eta_T = (Q_T/Q_{comb.}) 100$

2.7.2. Cálculo de los litros de combustible desperdiciados y de las correspondientes pérdidas financieras.

El calor desperdiciado mensualmente (**Q_{desp.}**) se calculó como la diferencia entre el calor suministrado por el combustible consumido (**Q_{comb.}**) y el calor total requerido por el proceso de tostado (**Q_T**); después se transforman esas unidades de calor desperdiciado a litros de combustible desperdiciados (Diesel desp.), es decir:

$$Q_{desp.} = Q_{comb.} - Q_T \quad (2-23)$$

$$\text{Litros de combustible desperdiciados} = \text{Diesel desp.} = (Q_{desp.}) / \rho_D \text{ (VCI)} \quad (2-24)$$

El impacto económico que recibe la empresa debido a la pérdida financiera que provoca el derroche de combustible se calculó como sigue:

$$\text{Pérdidas por combustible} = (\text{Diesel desp.})(\text{Costo del litro de combustible})$$

El costo del litro de combustible es de 0,5131 pesos. Los resultados se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 2.10: Cálculo del combustible desperdiciado durante el tostado de café.

2009 24 días háb./mes	Q _{comb.}	Q _T	Q _{desp.}	Diesel desp.	Diesel desp.
	(kcal/día)	(kcal/día)	(kcal/día)	(litros/día)	(litros/mes)
Enero	1850035	588215	1261820	126,384	3 033
Febrero	1854029	611570	1242459	124,445	2 987
Marzo	1916928	608821	1308107	131,020	3 144
Abril	1626394	522068	1104326	110,610	2 655
Mayo	1682304	538627	1143677	114,551	2 749
Junio	1878989	596674	1282315	128,437	3 082
Julio	1953869	621877	1331992	133,413	3 202
Agosto	2009779	665878	1343901	134,605	3 230
Septiembre	1620403	551280	1069123	107,084	2 570
Octubre	2025754	669881	1355873	135,805	3 259
Noviembre	1851034	616935	1234099	123,608	2 967

Tabla 2.11: Pérdidas financieras asociadas al desperdicio de combustible.

Costo del combustible: 0,5131 pesos / l		
2009	Diesel (l)	Pérdidas por combustible (pesos)
Enero	3 033	1 556,35
Febrero	2 987	1 532,47
Marzo	3 144	1 613,44
Abril	2 655	1 362,09
Mayo	2 749	1 410,63
Junio	3 082	1 581,62
Julio	3 202	1 642,90
Agosto	3 230	1657,58
Septiembre	2 570	1 318,67
Octubre	3 259	1 672,35
Noviembre	2 967	1 522,15
Total	32 878	19 501,84

2.8. Impacto socio-ambiental.

El impacto socio-ambiental que provoca la torrefactora debido tanto a la emisión de gases generados por las reacciones químicas que ocurren durante el tostado del café y al exceso de combustible quemado, como por los sólidos desperdiciados que salen al exterior por la chimenea y los que quedan dentro de la propia planta, son descritos por Courville, S., 2008. El informe del control de la contaminación realizado por el CPHE (**Anexo 1**) muestra los valores de las correspondientes mediciones de material particulado tanto en la Torrefactora de Cienfuegos como en sus alrededores.

2.9. Impacto económico.

Las pérdidas totales de la empresa asociadas a la ineficiencia global de la planta se muestran a continuación:

Tabla 2.12: Pérdidas financieras asociadas a la ineficiencia global de la planta.

2009	Pérdidas por desp. sólidos (pesos)	Pérdidas por combustible (pesos)	Pérdidas totales (pesos)
Enero	9 083,01	1 556,35	10 639,36
Febrero	9 670,85	1 532,47	11 203,32
Marzo	9 177,32	1 613,44	10 790,76
Abril	7 842,44	1 362,09	9 204,53
Mayo	7 682,83	1 410,63	9 093,46
Junio	9 177,32	1 581,62	10 758,94
Julio	9 024,97	1 642,90	10 667,87
Agosto	10 178,48	1657,58	11 836,06
Septiembre	8 183,41	1 318,67	9 502,08
Octubre	10 679,06	1 672,35	12 351,41
Noviembre	8 894,38	1 522,15	10 416,53
Total Pesos Perdidos	99 593,89	19 501,84	119 095,73

2.10. Análisis de los resultados.

Anteriormente se explicó que el equipamiento de la torrefactora es el mismo con que se inició la empresa originalmente, por lo que es totalmente obsoleto. No existía ningún equipo para coleccionar el material particulado que sale de las tostadoras, de las cunas de enfriamiento, de la despedradora y de la zaranda.

Como ejemplo ilustrativo de la ineficiencia del proceso en la Torrefactora de Café de Cienfuegos, en las **Tablas 2.2, 2.3 y 2.4** se muestran, los datos de las pérdidas incidentales de café tostado mensuales y de las pérdidas financieras asociadas a dicho desperdicio durante el año 2009.

En esas tablas se puede apreciar que en la torrefactora de Cienfuegos la pérdida de peso es mayor que el máximo permisible aceptado por la literatura, lo cual está en relación con el elevado grado de obsolescencia de la planta y el descontrol operacional existente, todo lo cual tiene un gran impacto tanto desde la óptica de las pérdidas materiales y financieras de la empresa, como desde el punto de vista del impacto socio-ambiental provocado por los olores y por el material particulado acompañante de las emisiones gaseosas que impactan directamente sobre el vecindario circundante. El elevado grado de contaminación debida al material particulado que emite, es mostrado

en la tabla que aparece en el **Anexo 1**, la cual muestra el resultado de análisis realizados por el CPHE.

Sumado a lo anterior está el hecho de que esos sólidos que se pierden pudieran formar parte del café producido si la planta operara más eficientemente sus equipos, o estos no presentaran el elevado grado actual de obsolescencia.

Por otra parte, las tostadoras operan sin ningún aislamiento térmico, presentan grandes entradas de aire a temperatura ambiente y su diseño desde el punto de vista térmico es realmente obsoleto. Esta realidad implica que actualmente la empresa enfrenta problemas con el costo de producción por el gran consumo de combustible Diesel debido a la ineficiencia de sus equipos, y también con el impacto que provoca sobre el medio ambiente y la comunidad aledaña debido a los humos y residuos sólidos del proceso de producción de café. Lo dicho anteriormente se aprecia al analizar los datos mostrados en las **Tablas 2.9, 2.10 y 2.11**.

En la **Tabla 2.12** se resumen las pérdidas financieras debidas a la ineficiencia global de la planta.

2.11. Conclusiones del Capítulo.

1. La torrefactora de café de Cienfuegos opera con alta ineficiencia debido, entre otras cosas, al elevado grado de obsolescencia de su equipamiento y a las malas prácticas operacionales actuales.
2. Se pierde más peso de material que el máximo de este parámetro recogido en la literatura consultada.
3. La obsoleta tecnología en explotación, así como las malas prácticas operacionales generan una cantidad excesiva de material particulado.
4. Existe una baja eficiencia térmica en el proceso de tostado del café.
5. Asociadas a esas pérdidas de sólidos y combustible están tanto el negativo impacto socio-ambiental que causan, como la correspondiente afectación económica a la empresa.

Capítulo 3: Evaluación de la efectividad socio-económico-ambiental de la inversión realizada.

3.1. Descripción de los cambios tecnológicos realizados.

El análisis sistemático de los problemas creados por las emisiones de la torrefactora y de sus causas, basado en la introducción en la empresa del principio de las Producciones más Limpias de reducir los desperdicios en el origen, condujo a definir las requeridas soluciones. Las soluciones propuestas fueron plasmadas en los correspondientes proyectos de ejecución de obras contratados a IPROYAZ y a la Empresa de Proyectos del Poder Popular Provincial.

La ejecución de los trabajos proyectados consistió fundamentalmente en la remodelación del sistema de extracción de gases de las tres tostadoras y del aire de salida de las cunas de enfriamiento y de la despedradora, el cual contiene solo material particulado, pues en este equipo no hay combustión de ningún material. Estos trabajos también incluyeron la construcción y montaje de un nuevo sistema separador del material particulado (separador seco y separador húmedo), y la construcción y montaje de una nueva chimenea metálica, para lo cual hubo, además, que desmontar previamente las chimeneas existentes anteriormente; todo lo anterior implicó aislar térmicamente el nuevo sistema de extracción de gases y de separación de material particulado, así como renovar el anterior aislamiento térmico de las tres tostadoras. También se redujo la velocidad de rotación de esos equipos para lograr tanto un mayor aprovechamiento del calor del combustible consumido, como para reducir la rotura de los granos de café tostado para así reducir la generación de material particulado.

En el **Anexo 3** se muestran las fotografías que ilustran la magnitud de los trabajos realizados.

En la Figura 3.1 se representan mediante líneas rojas discontinuas las modificaciones realizadas en el sistema de extracción de gases de la torrefactora.

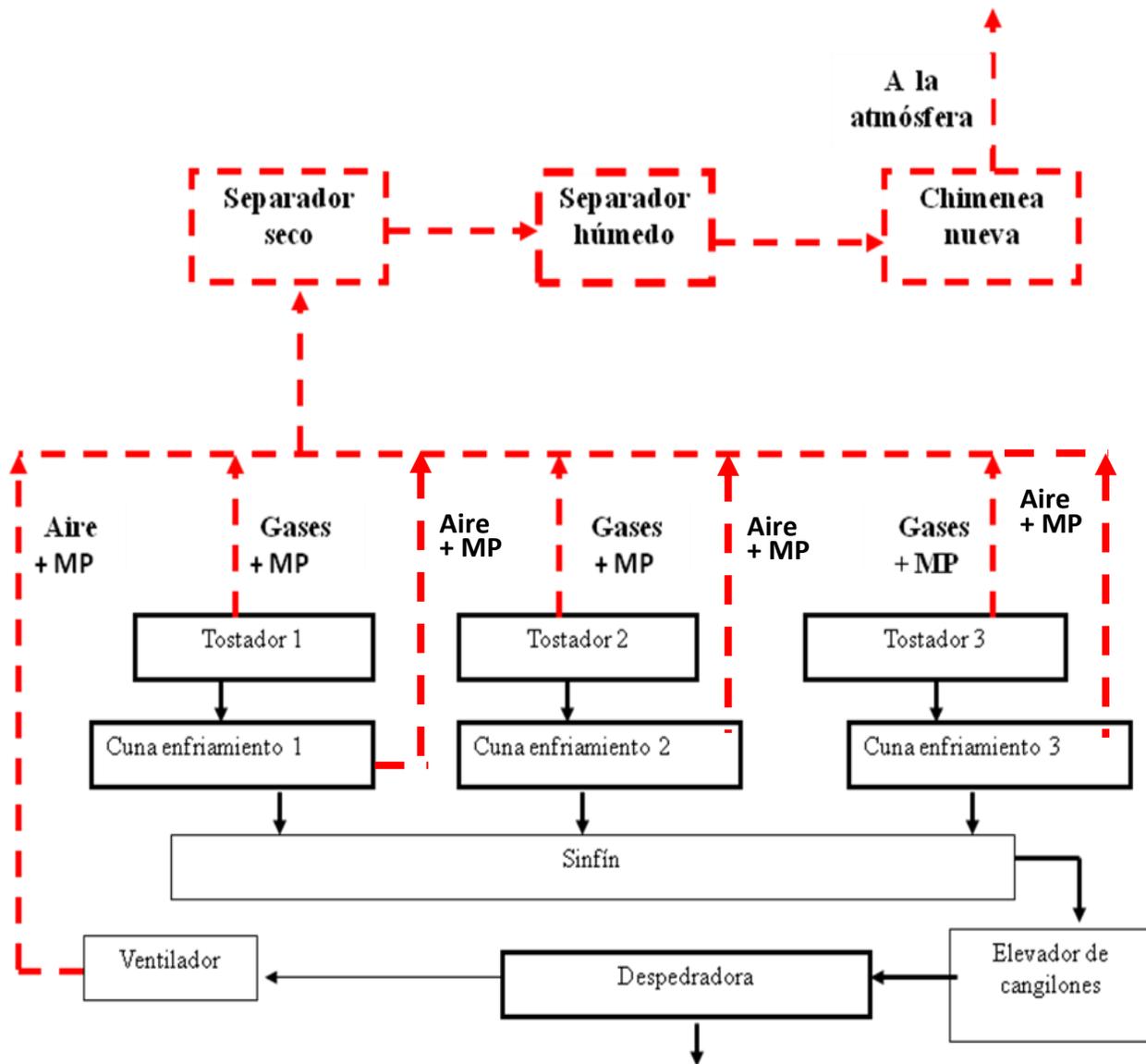


Figura 3.1: Diagrama de las modificaciones realizadas en la torrefactora. (Elaboración propia).

La citada inversión se ejecutó y se implementaron las modificaciones previstas, y la torrefactora comenzó de nuevo a producir a partir del 10 de agosto del 2010. En este capítulo se muestra la efectividad, durante el año 2012, de la opción implementada.

3.2. Objetivo de los trabajos realizados.

El objetivo de los trabajos realizados en la torrefactora fue reducir las emisiones de gases y material particulado a la atmósfera, para de esta manera reducir el impacto socio-ambiental que provocaba; es decir, no fue para mejorar el desempeño económico de la empresa buscando resultados económicos directos.

No obstante lo anterior, es necesario destacar por una parte que el hecho de haber eliminado las emisiones de material particulado a la atmósfera representa un importante aporte económico indirecto, no solo a la torrefactora de café de Cienfuegos, sino al propio MINAL, pues de no haber resuelto el problema de las emisiones, el CITMA hubiera cerrado definitivamente la planta, lo cual hubiera tenido incalculables consecuencias económicas y sociales. Por otra parte, las modificaciones realizadas condujeron a mejoras económicas debido a la asociada reducción del Índice de Consumo y al aumento de la eficiencia térmica del proceso, tal como se aprecia en las tablas mas adelante.

3.3. Estrategia de validación de los trabajos realizados.

Una vez concluido el proyecto ejecutivo de mejoramiento del sistema de extracción de gases, se necesita evaluar si los resultados del mismo satisficieron los objetivos propuestos; pero no se cuenta con metodologías establecidas para evaluar el impacto económico y ambiental de la introducción de tecnologías más limpias en la Industria; así como tampoco, el impacto ambiental de torrefactoras de café. El equipamiento disponible en el país y el territorio no es suficiente para evaluar el cumplimiento de la normativa de calidad del aire en exteriores e interiores y no existen normas de emisiones, ni de inmisiones específicas para la actividad de tostado de café en Cuba.

Por otra parte, el documento del CITMA titulado CONTRAVENCION 21/09 establece en su disposición SEGUNDA que la torrefactora solo podrá comenzar de nuevo sus labores a partir de la inspección y autorización de la Unidad de Supervisión de la Delegación del CITMA de Cienfuegos, representada por el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). El objetivo del trabajo realizado por el CEAC fue evaluar, de acuerdo con los medios disponibles, el impacto socio-ambiental de los cambios realizados por la torrefactora en su sistema de extracción de gases y el correspondiente informe fue entregado a la torrefactora en septiembre del 2011.

3.4. Metodología de trabajo del CEAC.

No existe una metodología establecida para la evaluación de impactos ambientales específica para torrefactoras de café. No obstante, existen una serie de herramientas de gestión ambiental que cruzándolas permiten un análisis aceptable del impacto de los cambios realizados en el sistema de extracción de gases de la torrefactora.

El proceso de evaluación utiliza como herramientas la normativa vigente en Cuba de calidad del aire en zonas habitables y en puestos de trabajo, mediciones de partículas y gases de la combustión para contrastar con valores normados, la comparación con mediciones de partículas hechas antes de realizar las modificaciones del sistema de extracción de gases y la percepción ambiental como indicador indirecto de la concentración de compuestos orgánicos volátiles y de los olores, para suplir la falta de equipamiento para estas determinaciones en aire.

La percepción ambiental es usada para hacer una evaluación de la situación ambiental general alrededor de la torrefactora y cómo la misma varió después de las modificaciones del sistema de extracción de gases. La situación ambiental es multifactorial y generalmente no se dispone de todas las herramientas para corroborarla a través de mediciones.

Se parte del análisis de las emisiones de la torrefactoras dividiéndolas en conducidas y difusas, se describen y analizan los cambios los cambios ocurridos sobre los elementos del sistema de extracción de gases, no de todos, sino de aquellos que tienen implicaciones en el abatimiento de las emisiones.

Se miden las concentraciones de partículas en suspensión y de gases de la combustión en los alrededores (**Figura 3.2**) e interiores de la torrefactora, únicos parámetros con posibilidades técnicas a determinarse; aunque no es el único contaminante que define el impacto ambiental de una torrefactora, y se evalúan los resultados contra norma y contrastándose con mediciones de polvo hechas por el CPHE anteriormente.

Se usa la investigación de percepción social buscando respuesta a estimar el impacto cercano y lejano, sobre todo de los compuestos orgánicos volátiles, que no hay tecnologías para medirlos y que por su olor, tienen alta sensación en la población; así como precisar el impacto de las emisiones difusas y conducidas sobre las casas más cercanas.

Se mide la tasa de deposición de partículas en un punto en el interior de la nave de producción y uno en el exterior de la Torrefactora, a modo de referencia (línea base) para la evaluación de cambios futuros que pudieran introducirse.

La ubicación de los puntos de muestreo se muestra en la figura a continuación.

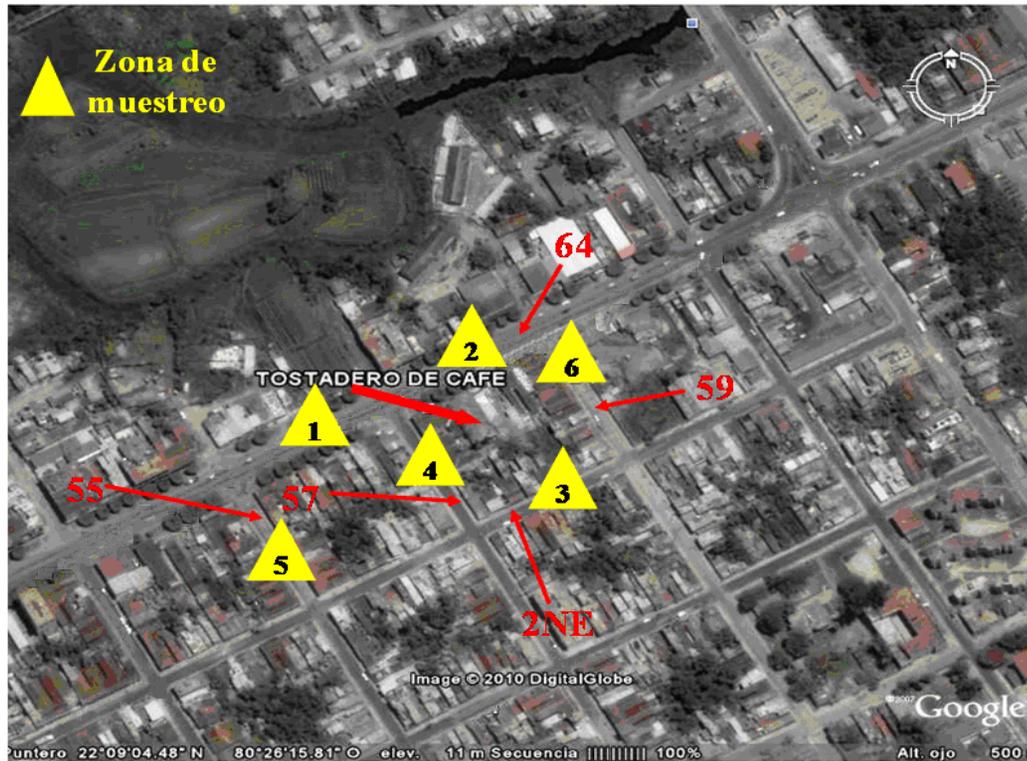


Figura 3.2: Puntos de muestreo exteriores para medir concentraciones de partículas en suspensión y de gases de la combustión. (CEAC).

3.5. Conclusiones del CEAC respecto a las emisiones de gases y material particulado.

- Las concentraciones de gases de la combustión en interiores y exteriores cumplen con los límites establecidos. Otros gases, como los Compuestos Orgánicos Volátiles y provocan los olores, no pudieron ser medidos por falta de equipamiento en la provincia y el país.
- Las concentraciones de partículas en el interior de la nave cumplen con la Concentración Promedio Admisible.
- Las partículas en suspensión determinadas en la cercanía inmediata a la Torrefactora mostraron menores concentraciones que las medidas en aproximadamente los mismos puntos antes de las modificaciones hechas al sistema de extracción de gases.
- Las mayores concentraciones de partículas en suspensión se determinaron a aproximadamente 170 metros viento abajo de la Torrefactora, lo que representa

un cambio en relación con las mediciones realizadas antes de las modificaciones.

- Los resultados de las mediciones del punto 2A y el punto 3 implican que la zona de contaminación de la Torrefactora es mayor que la estimada en la microlocalización de las modificaciones al sistema de extracción de gases.
- Se han determinado valores de tasa de deposición de $5,99 \pm 1,47$ g/ m². d, para interior y de $0,592 \pm 0,149$ g/ m².d para exteriores, lo que resulta en una referencia (línea base) para la evaluación del impacto de futuras medidas de gestión de la emisión de partículas que se realicen.

3.6. Evaluación de la percepción ambiental de la calidad del aire en los alrededores de la empresa. (CEAC)

3.6.1. Método.

Las principales emisiones del proceso de tostado de café y el chícharo que actualmente se realizan en esta Empresa son las partículas, gases de la combustión de fuel oil, y Compuestos Orgánicos Volátiles, procedentes del tostado del café. La mayor parte de las partículas emitidas son de tamaño grande (mayores que 10 micras de diámetro) e incrementan la deposición en las cercanías de la chimenea y en el interior de la nave de producción.

No se dispone de equipamiento para la determinación de Compuestos Orgánicos Volátiles en aire, los principales responsables de los olores de tostado del café. No se dispone de suficiente equipamiento de muestreo para investigar una amplia área alrededor de esta Empresa. Se necesitan herramientas complementarias de evaluación para suplir estas carencias.

La percepción ambiental es una herramienta pobremente explotada en la gestión ambiental, que puede brindar información útil para la evaluación del impacto ambiental de las modificaciones realizadas.

En este trabajo se usan las percepciones ambientales de la comunidad como fuente de información para complementar los resultados de los monitoreos de calidad del aire, y las evaluaciones de los dispositivos que abaten las emisiones de la Torrefactora.

El objetivo general de la presente investigaciones es obtener información acerca del impacto ambiental de la Torrefactora y de la influencia que han tenido sobre el mismo, las modificaciones realizadas al sistema de extracción de gases.

Como método de investigación se utiliza la encuesta sobre el grupo de la población que con mayor probabilidad puede dar respuestas reales sobre los aspectos sobre los cuáles se indaga, que son las personas que permanecen en el lugar de residencia o trabajo en el horario de funcionamiento de la Torrefactora. El muestreo tiene un carácter territorial, estando los puntos de muestreo distribuidos de forma aproximadamente aleatoria en la zona de más probable impacto de las emisiones de esta Empresa. Se encuesta una persona por casa y su selección dentro del grupo familiar ha sido casuística, en función de la disposición y posibilidades de contestar de los miembros del grupo familiar. Estas características son las que van a determinar la edad, sexo, nivel de escolaridad y permanencia en el sitio en horario de trabajo de la Torrefactora del grupo encuestado. A priori se han determinado tres zonas en las que se esperan los impactos sean diferentes y por tanto, las preguntas elaboradas también lo son.

En el análisis de la mayoría de las preguntas de la Torrefactora se han utilizado las encuestas de las dos zonas más cercanas a la Torrefactora, que coinciden con su zona de contaminación determinada en la microlocalización del proyecto de cambios en el sistema de extracción de gases. La zona más alejada ha sido utilizada para determinar cómo variaron los alcances de las emisiones perceptibles por las personas, y de las que causan molestias.

3.6.2. Universo de la encuesta.

El universo de la encuesta tiene un criterio espacial y está definido por la población en la zona de influencia de las emisiones de la Torrefactora.

El criterio que prima para la selección de la muestra es la ubicación de las personas dentro de las áreas de impacto de la Torrefactora, en el horario de trabajo de la misma. Así se pueden definir 3 zonas de mayor impacto, con características diferentes y que se han denominado: Zona 1 (en las cercanías), Zona 2 (dentro del radio de contaminación de la Torrefactora) y Zona 3 (fuera del radio de contaminación de la Torrefactora), que se describen a continuación.

3.6.2.1. Zona 1.

Se refiere a la zona inmediata a la fábrica, en los sectores SSW –WSW y NNE-ENE de la nave de producción, hasta una distancia de aproximadamente 50 m de la misma. Se espera que los mayores impactos que reciba esta zona sean por las emisiones no conducidas de la nave de la Torrefactora y eventualmente, bajo ciertas condiciones del tiempo desfavorables a la dispersión de los contaminantes, también de las emisiones que ocurren por la chimenea. Aquí las deposiciones atmosféricas se caracterizan por partículas de mayor diámetro. La deposición de partículas y los escapes no conducidos de la nave son impactos más importantes de esta zona. Ver Figura 3.2.

3.6.2.2. Zona 2.

Se ubica entro del radio de contaminación de la torrefactora y ocupa el área más expuesta a las emisiones conducidas (por chimenea) de la torrefactora (Ver Figura 3.3). Son significativas tanta la deposición de partículas como las concentraciones en aire, donde incide el penacho de la chimenea. El impacto sobre esta zona es temporal, dependiente de la dirección del viento. Pueden acontecer acumulaciones de contaminantes en pequeñas depresiones del terreno y en el interior de patios y habitaciones de las casa expuestas al penacho de gases y partículas. Existen casas, sobre todo en el lateral de la torrefactora, donde el impacto mayor está dado en el segundo piso, u otro más alto, no al nivel del suelo.

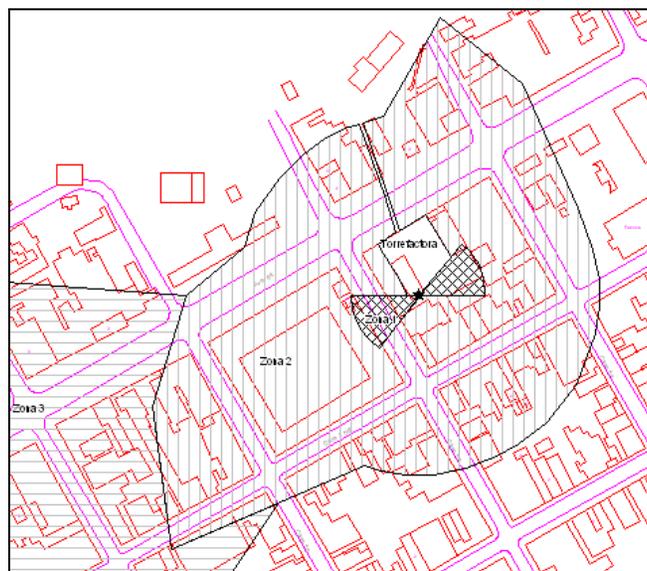


Figura 3.3: Ubicación de la Zona 1 (cuadrículada) y Zona 2 (con rayas inclinadas). (Fuente:CEAC).

3.6.2.3. Zona 3.

Está fuera del radio de contaminación de la torrefactora, pero se recibe el impacto de las emisiones conducidas de la torrefactora. La mayor relevancia la adquieren las molestias por los olores de los humos del tostado del café. Eventualmente pudiera haber molestias también por partículas. Esta zona debe definir el alcance del impacto ambiental por vía atmosférica de la torrefactora. Su ubicación se puede ver en la figura siguiente.

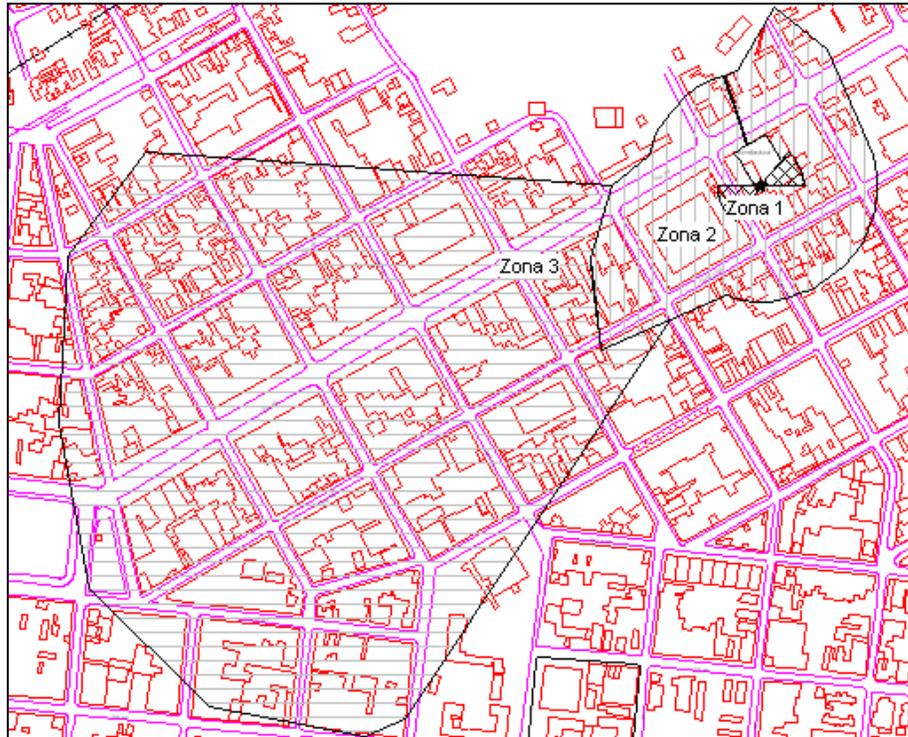


Figura 3.4: Ubicación de la Zona 1(cuadrículada), Zona 2 (con rayas inclinadas) y Zona 3 (con rayas horizontales). (Fuente:CEAC).

3.6.3. Resultados del trabajo del CEAC.

- Se ha cumplido el objetivo de la presente investigación al poder determinar que con un 95% de confianza, más del 50% del área definida como de contaminación de la Torrefactora, percibe que mejoró la situación ambiental en sus lugares de permanencia en relación con las emisiones de esta Empresa después del cambio del sistema de extracción de gases.

- Se ha determinado la percepción sobre aspectos particulares de la emisión y la calidad del aire relacionados con la Torrefactora, como son: la disminución de las partículas incendiadas en la cercanía inmediata; la disminución de la proporción de partículas grandes y partículas totales en las deposiciones; el aumento o mantenimiento de la concentración de gases en la zona de contaminación y su disminución en la zona más alejada, disminución en un 17% de la zona de percepción de los olores.
- Las molestias por gases abarcan un área 6,3 veces mayor que la de molestias por partículas y son estas dos áreas en su conjunto, las que definen el alcance del impacto ambiental negativo de las emisiones de la Torrefactora.
- Con un 90% de confianza, más del 50% del área conformada por la Zona 1 (zona inmediata) percibe una relación directa entre las emisiones de la Torrefactora y síntomas clínicos o enfermedades de sus núcleos familiares. Los síntomas que se reportan con más frecuencia son irritación en garganta, nariz y ojos, lo que apunta hacia el carácter irritante de los gases que emite la Torrefactora.

3.7. Evaluación del impacto ambiental de los cambios en el sistema de extracción de gases. (CEAC).

3.7.1. Metodología.

No existe una metodología establecida para la evaluación de impactos ambientales específica para torrefactoras de café. No obstante existen una serie de herramientas de gestión ambiental que cruzándolas permiten un análisis aceptable del impacto de los cambios realizados en el sistema de extracción de gases de la Torrefactora.

El proceso de evaluación utiliza como herramientas la normativa vigente en Cuba de calidad del aire en zonas habitables y en puestos de trabajo, mediciones de partículas y gases de la combustión para contrastar con valores normados, la comparación con mediciones de partículas hechas antes de realizar las modificaciones del sistema de extracción de gases y la percepción ambiental como indicador indirecto de la

concentración de compuestos orgánicos volátiles y de los olores, para suplir la falta de equipamiento para estas determinaciones en aire.

3.8. Conclusiones generales del estudio del CEAC.

- Las concentraciones de gases de la combustión en interiores y exteriores cumplen con los límites establecidos. Otros gases, como los Compuestos Orgánicos Volátiles, los cuales provocan los olores, no pudieron ser medidos por falta de equipamiento en la provincia y el país. Las concentraciones de partículas en el interior de la nave cumplen con la Concentración Promedio Admisible.
- Las partículas en suspensión determinadas en la cercanía inmediata a la Torrefactora mostraron menores concentraciones que las medidas en aproximadamente los mismos puntos antes de las modificaciones hechas al sistema de extracción de gases
- Las mayores concentraciones de partículas en suspensión se determinaron a aproximadamente 170 metros viento abajo de la Torrefactora, lo que representa un cambio en relación con las mediciones realizadas antes de las modificaciones.
- Las concentraciones de partículas en suspensión determinadas en estos muestreos y ensayos en los exteriores de la Torrefactora todavía exceden las Concentraciones Máximas Admisibles en varios puntos.
- Los resultados de las mediciones del punto 2A y el punto 3 implican que la zona de contaminación de la Torrefactora es mayor que la estimada en la microlocalización de las modificaciones al sistema de extracción de gases debido a la mayor altura de la nueva chimenea.

3.9. Resultados socio-ambientales.

Desde el reinicio de la producción de la torrefactora a partir del 10 de julio del 2010 y hasta la fecha, no han existido más quejas del vecindario relacionadas con las emisiones de gases y material particulado. Esto es una certificación directa de que se han eliminado los impactos negativos sobre la calidad ambiental y la calidad de vida del

vecindario circundante. Es decir, desde el punto de vista socio-ambiental se han alcanzado benéficos resultados con la inversión y los trabajos realizados, lo cual se traduce en un aumento de la calidad del proceso. (Bennett, M., and P. James, 1998), (Bennett, M., Wolters, T., and M. Danse, 2002), (Courville, S., 2001), (Ruiz, K., 2001)

Se hicieron varias corridas de pesaje del material particulado colectado, y el promedio de tales corridas es de 2,336 t sólidos/mes, las cuales llevadas a toneladas de café tostado producido con la media de humedad correspondiente, 2,7%, equivalen a 3,2 t café/mes emitidas a la atmósfera, las cuales actualmente ya no se emiten.

3.10. Resultados económicos de las modificaciones realizadas.

Por otra parte, es de interés de la empresa conocer los resultados económicos de la inversión y los trabajos realizados. Entonces, para evaluar el resultado económico de tales modificaciones y poder compararlo con los resultados que la Torrefactora de Cienfuegos tenía anteriormente, se seguirá la misma metodología de cálculo utilizada en el Capítulo 2, por lo que a continuación se mostrarán solo las tablas conteniendo los resultados correspondientes al año 2012.

Tabla 3.1: Masa y humedad del café oro y del café producido y el consumo de Diesel.

Datos del proceso y de consumo de combustible					
2012	Ent. (t)	Hdad. (%)	Prod. (t)	Hdad. (%)	Diesel (l)
Enero	76,954	11,4	60,351	2,41	4 407
Febrero	72,889	11,7	57,015	2,50	3 769
Marzo	97,443	11,5	76,221	2,28	5 649
Abril	92,618	12,2	72,445	2,58	5 512
Mayo	86,407	11,6	67,579	2,85	5 104
Junio	88,768	11,5	69,508	3,01	4 926
Julio	82,040	11,2	64,218	2,94	4 787
Agosto	71,118	11,7	55,609	2,56	4 183
Septiembre	77,312	11,6	60,480	2,83	4 505
Octubre	72,290	11,4	56,634	2,72	4 254
Noviembre	75,983	11,7	59,486	2,71	4 441
Diciembre	68,449	11,6	53,631	2,42	3 994

Tabla 3.2: Pérdida de peso.

2012	Café oro (t)	Café tostado (t)	Pérdida de peso (%)	Pérdidas de peso incidentales (%)
Enero	76,954	60,351	21,18	1,18
Febrero	72,889	57,015	21,23	1,23
Marzo	97,443	76,221	21,24	1,24
Abril	92,618	72,445	21,27	1,27
Mayo	86,407	67,579	21,22	1,22
Junio	88,768	69,508	21,15	1,15
Julio	82,040	64,218	21,24	1,24
Agosto	71,118	55,609	21,21	1,21
Septiembre	77,312	60,480	21,16	1,16
Octubre	72,290	56,634	21,18	1,18
Noviembre	75,983	59,486	21,22	1,22
Diciembre	68,449	53,631	21,25	1,25
	IC = 1,177			

Tabla 3.3: Cálculo de la cantidad de café tostado perdido debido a las pérdidas incidentales del proceso.

2012	Café oro (t)	Pérdidas de peso incidentales (%)	Café tostado perdido (t)
Enero	76,954	1,18	0,908
Febrero	72,889	1,23	0,896
Marzo	97,443	1,24	1,208
Abril	92,618	1,27	1,176
Mayo	86,407	1,22	1,054
Junio	88,768	1,15	1,020
Julio	82,040	1,24	1,017
Agosto	71,118	1,21	0,861
Septiembre	77,312	1,16	0,897
Octubre	72,290	1,18	0,853
Noviembre	75,983	1,22	0,927
Diciembre	68,449	1,25	0,856
Total			11,673

Tabla 3.4: Pérdidas financieras asociadas al café tostado perdido.

2012	Café perdido (t)	Pérdidas por desperdicios de café (pesos)
Enero	0,908	6 587,35
Febrero	0,896	6 500,30
Marzo	1,208	8 763,80
Abril	1,176	8 531,64
Mayo	1,054	7 646,55
Junio	1,020	7 399,89
Julio	1,017	7 378,13
Agosto	0,861	6 246,38
Septiembre	0,897	6 507,55
Octubre	0,853	6 188,34
Noviembre	0,927	6 725,19
Diciembre	0,856	6 210,10
Total	11,673	84 685,28

Tabla 3.5: Cálculo de la eficiencia térmica del proceso de tostado de café.

2012 24 días háb./mes	Agua				Sólidos		QTotal	Combustible consumido		Eficiencia térmica
	Ag. Ev. (kg/día)	Q _{calent.} (kcal/día)	Q _{evap.} (kcal/día)	Q _{A.tot.} (kcal/día)	Ent. Sol. (t/mes)	Q _{tost.} (kcal/día)	Q _T (kcal/día)	Diesel (l/día)	Q _{comb.} (kcal/día)	$\eta_T = (Q_T/Q_{comb.}) 100$
Enero	220,667	17719,6	154467	172187	70,204	263148	435335	117,9	1177854	36,96
Febrero	200,208	16076,7	140146	156223	66,659	249860	406083	109,4	1092502	37,17
Marzo	280,625	22534,2	196438	218972	88,970	333489	552461	146,2	1459992	37,84
Abril	238,458	19148,2	166921	186069	85,026	318706	504775	135,6	1354010	37,76
Mayo	230,125	18479,0	161088	179567	78,958	295961	475528	127,7	1275557	37,28
Junio	234,458	18827,0	164121	182948	81,049	303799	486747	127,8	1275876	38,15
Julio	226,542	18191,3	158579	176770	74,715	280057	456827	120,4	1202492	37,99
Agosto	193,917	15571,5	135742	151314	65,040	243792	395106	105,2	1050255	37,62
Septiembre	206,375	16571,9	144463	161035	70,647	264809	425844	113,0	1128362	37,74
Octubre	200,042	16063,4	140029	156092	65,949	247199	403291	109,6	1093818	36,87
Noviembre	203,417	16334,4	142392	158726	69,489	260468	419194	111,2	1110153	37,66
Diciembre	276,750	22223,0	193725	215948	60,509	219246	438492	118,3	1181600	37,11
Promedio anual										37,51

Leyenda:

Ag. Ev. = agua evaporada

Ent. Sol. = entrada de sólidos

Q_{calent.} = calor requerido para calentar el agua en el café oro hasta alcanzar la temperatura de ebullición

Q_{evap.} = calor requerido para la evaporar el agua en el café oro

Q_{A.tot.} = **Q_{calent.} + Q_{evap.}**

Q_{comb.} = calor del combustible consumido

Eficiencia térmica = $\eta_T = (Q_T/Q_{comb.}) 100$

Tabla 3.6: Cálculo del combustible desperdiciado durante el tostado de café

2012 24 días háb./mes	Qcomb.	Q_T	Qdesp.	Diesel desp.	Diesel desp.
	(kcal/día)	(kcal/día)	(kcal/día)	(litros/día)	(litros/mes)
Enero	1177854	435335	743108	74,37	1 785
Febrero	1092502	406083	686400	68,75	1 650
Marzo	1459992	552461	907445	90,89	2 181
Abril	1354010	504775	504791	50,56	1 213
Mayo	1275557	475528	849239	85,06	2 041
Junio	1275876	486747	789135	79,04	1 897
Julio	1202492	456827	745704	74,69	1 792
Agosto	1050255	395106	655150	65,62	1 575
Septiembre	1128362	425844	725038	72,62	1 743
Octubre	1093818	403291	403253	40,39	969
Noviembre	1110153	419194	690992	69,21	1 661
Diciembre	1181600	438492	743109	74,43	1 786

Tabla 3.7: Pérdidas financieras asociadas al desperdicio de combustible.

Costo del combustible: 0,5131 pesos / l		
2012	Diesel (l)	Pérdidas por combustible (pesos)
Enero	1 785	915,88
Febrero	1 650	846,61
Marzo	2 181	1 119,07
Abril	1 213	622,39
Mayo	2 041	1 047,23
Junio	1 897	973,35
Julio	1 792	919,47
Agosto	1 575	808,13
Septiembre	1 743	894,33
Octubre	969	497,19
Noviembre	1 661	852,26
Diciembre	1 786	916,39
Total	20 293	10 412,34

Tabla 3.8: Pérdidas financieras asociadas a la ineficiencia global de la planta.

2012	Pérdidas por desp. de café (pesos)	Pérdidas por combustible (pesos)	Pérdidas totales (pesos)
Enero	6 587,35	915,88	7 503,23
Febrero	6 500,30	846,61	7 346,91
Marzo	8 763,80	1 119,07	9 882,87
Abril	8 531,64	622,39	9 154,03
Mayo	7 646,55	1 047,23	8 693,78
Junio	7 399,89	973,35	7 399,89
Julio	7 378,13	919,47	829,6
Agosto	6 246,38	808,13	705,51
Septiembre	6 507,55	894,33	740,88
Octubre	6 188,34	497,19	668,53
Noviembre	6 725,19	852,26	7 577,45
Diciembre	6 210,10	916,39	7 126,49
Total Pesos Perdidos	84 685,28	10 412,34	95 097,62

Tabla 3.9: Comparación de las pérdidas financieras asociadas a la ineficiencia global de la planta de acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 2.12, antes de las modificaciones (2009), y en la Tabla 3.8 (2012), después de las modificaciones.

	Año	Pérdidas por desperdicios de café (pesos)	Pérdidas por desperdicios de combustible (pesos)	Pérdidas totales (pesos)
Total Pesos Perdidos	2009	99 593,89	19 501,84	119 095,73
	2012	84 685,28	10 412,34	95 097,62
Diferencia		14 908,61	9 089,5	23 998,11

Aun cuando en el año 2009 se produjo durante un mes menos que en el 2012, en este último año se perdieron 23 998,11 pesos menos que en el 2009, lo cual es debido tanto a la reducción de la pérdidas incidentales de café, como a la reducción del consumo de combustible Diesel en las tostadoras, todo lo cual es un importante y positivo resultado económico de las modificaciones realizadas.

Tabla 3.10: Comparación de la cantidad de café tostado perdido debido a las pérdidas incidentales del proceso de acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 2.3, antes de las modificaciones (2009), y en la Tabla 3.3 (2012), después de las modificaciones.

Año	Pérdidas incidentales de café tostado (t)
2009	13,728
2012	11,673
Diferencia	2,055

Aun cuando en el año 2009 se produjo durante un mes menos que en el 2012, en este último año las pérdidas incidentales de café fueron 2,055 toneladas menos que en el 2009, lo cual, aparte de ser un importante y positivo resultado socio-ambiental de las modificaciones realizadas, ya que se reduce el impacto negativo de la torrefactora sobre el ambiente y el vecindario circundantes, también es importante económicamente por cuanto reduce el índice de consumo.

Tabla 3.11: Comparación del **Índice de Consumo y la Eficiencia Térmica** asociados a la ineficiencia global de la planta de acuerdo con los resultados mostrados respectivamente en las Tablas 2.2 y 2.9, antes de las modificaciones (2009), y en las Tablas 3.2 y 3.5, después de las modificaciones (2012).

Año	Índice de Consumo I.C.	Año	Eficiencia Térmica η_T
2009	1,275	2012	37,51
2012	1,177	2009	32,53
Diferencia	0,098	Diferencia	4,98

El trabajo conjunto del separador húmedo y del separador seco (settling chamber) instalados, ha resultado en la reducción de la cantidad de material particulado que anteriormente se emitía a la atmósfera conjuntamente con los gases del proceso.

Las emisiones de gases a la atmósfera se han reducido porque el componente de vapor de agua presente en dichos gases se condensa en el separador húmedo instalado y porque, además, al reducirse el consumo de combustible, consecuentemente se reduce la generación de gases de combustión.

3.11. Conclusiones del capítulo.

1. Las modificaciones realizadas condujeron a mejoras económicas debido a la reducción del Índice de Consumo de café oro y al aumento de la eficiencia térmica del proceso.
2. Los trabajos ejecutados solucionaron parte de los problemas creados por las emisiones de la torrefactora, tal como en la actualidad demuestran la total ausencia de quejas del vecindario circundante y el resultado de los correspondientes estudios del CEAC.
3. La solución de parte de los problemas creados por las emisiones de la torrefactora evitó el cierre definitivo de la empresa, lo cual hubiese tenido un incalculable impacto económico y social no solo sobre la torrefactora.

3.12. Conclusiones generales.

1. La torrefactora de café de Cienfuegos opera con alta ineficiencia debido, entre otras cosas, al elevado grado de obsolescencia de su equipamiento, lo cual influye grandemente en la ineficiencia global de la planta.
2. Se desperdiciaban grandes cantidades de sólidos y combustible, lo cual significa pérdidas de café y financieras. Asociados a estas pérdidas están tanto la comprobada contaminación ambiental y el consiguiente impacto social que causan, como la correspondiente afectación económica a la empresa.
3. Las modificaciones realizadas condujeron a:
 - Mejoras económicas debido a la reducción del Índice de Consumo de café oro.
 - Mejoras económicas debido al aumento de la eficiencia térmica del proceso, lo cual condujo a la reducción del consumo de combustible en las tostadoras.
 - Reducción del impacto negativo sobre el medioambiente y el vecindario circundantes.

3.13. Recomendaciones.

1. Se recomienda introducir en el resto de las torrefactoras del país trabajos similares al desarrollado por la torrefactora de café de Cienfuegos para disminuir la elevada generación actual de desperdicios de sólidos y de combustible, con el triple objetivo de reducir:
 - la contaminación ambiental,
 - el impacto negativo sobre las comunidades circundantes
 - y las pérdidas financieras asociadas.

BIBLIOGRAFÍA

- (September 2005) Emission Factor Documentation for AP 42, Section 9.13.2 – Coffee Roasting, Final Report, U.S.E.P.A.,
- Beltrán Sanz, J. (2003). Guía Para una Gestión Basada en Procesos. Instituto Andaluz de Tecnología. Andalucía, España: Imprenta Berekintza.
- Benavides, L. (2003). Gestión por procesos: www.calidadlatina.com/pub/036- JUL-03.pdf
- Bennett, M., Wolters, T., and M. Danse, (2002) Towards Sustainability Indicators for Product Chains.
- CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES DE CIENFUEGOS (CEAC), Reporte final No. 25/11, “Evaluación del impacto ambiental de los cambios en el sistema de extracción de gases de la Empresa Torrefactora y Distribuidora de Café” “5 de Septiembre” de Cienfuegos, Septiembre 2011.
- Courville, S. (2001) Social Indicators for the SUSCOF Consortium in Costa Rica (Apeldoorn, The Netherlands: ISCOM).
- Danse, M., Wolters T., (2006) Sustainable Coffee in the Mainstream: The Case of the SUSCOF Consortium in Costa Rica. CEGESTI, Centre for Technology Management, Costa Rica, ISCOM Institute for Sustainable Commodities, The Netherlands.
- De Monte, M., Padoano, E., Pozzetto, D.,(May 2002 Mo) Technical and economic feasibility of an energy recovery plant fed with industrial process residues, in: Proceedings of the 11th International Expert Meeting “Power Engineering”, Maribor (SLO), 14–16.
- DISCAF. (2011, Martes, 11 de Octubre de 2011). "Los secretos del café (II). Sistemas para el Tratamiento de humos.": <http://www.tostadoras-cafe.com/tostadoras/los-secretos-del-cafe-ii/>.
- Domínguez, R. (2006). Introducción a la gestión empresarial. Fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas.
- Ecoprofit,(2006) Producción más Limpia y Reducción de Desperdicios, STENUM, Austria.
- F. Terlevich, J. (2000). Gestión de la Producción: <http://industrial.frba.utn.edu.ar/Materias/Final/gestión-terlevich.pdf>.
- García Azcanio, & Medina León. (2009). La Mejora de Procesos. Más allá del valor añadido.
- Hugues, J., (2006), Gestión empresarial: <http://www.monografias.com/trabajos53/libro-gestion-empresarial/libro-gestion-empresarial10.shtml>.

- Ishikawa, K. (1990). ¿Qué es el Control Total de la Calidad? La Modalidad Japonesa. La Habana.
- Juran, J.M., (1990). Quality Engineering in Production Systems. New York: Mc Graw-Hill.
- Medina León, A., & Nogueira, D. (2004). Fundamentos para el Control de la Gestión Empresarial. La Habana: Pueblo y Educación.
- Medina León, A., & Colectivo de autores. (2012). Consideraciones y Criterios para la Selección de Procesos para la Mejora: Procesos Diana. Industrial, XXXIII (No. 3).
- M. Sivetz, N.W. (1979) Desrosier, Coffee technology, AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.
- Normas ISO 9000.
- Ochoa George, P.A., (2008) Ecuaciones de balances de masa y energía para el control del proceso de Torrefacción del Café. Asesoría técnica a la Torrefactora de Café de Cienfuegos.
- Olmos Cuenca, A. (2008). La introducción del factor medioambiental en la industria. Universidad de Valencia. España.
- Pons Murguía, R. A., & Villa González del Pino, E. M. (2006). Gestión por Procesos. Monografía.
- Rubio Calduch, V. (2009). *“La gestión ambiental en la pequeña y mediana empresa”*. Departamento de Industria y Medio Ambiente Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Castellón. España.
- Rubio Domínguez, P. (2006). Introducción a la Gestión Empresarial: <http://www.monografias.com/trabajos53/libro-gestion-empresarial/libro-gestion-empresarial10.shtml>.
- Ruiz, K. (2001) Social Indicators for the SUSCOF Consortium in Costa Rica: A Survey (Apeldoorn, The Netherlands: ISCOM).
- Samper, M.K., and G.S. Peters (2001) Café de Costa Rica: Un viaje a lo largo de su historia (San José, Costa Rica: ICAFE).
- Sexto Congreso del Partido Comunista de Cuba. (2011). Lineamientos de la política, económica y social del Partido y la Revolución. Cuba.
- Sick, D. (1999) Farmers of the Golden Bean: Costa Rica Households and the Global Coffee Economy (DeKalb, IL: Northern Illinois University Press).

Sing Soin, S. (1997). Control de Calidad Total: Claves Metodológicas y Administración para Éxito. México DF: Mc Graw-Hill.

Torres Cabrera, L., & Urquiaga Rodríguez, A. J. (2007). Fundamentos Teóricos Sobre Gestión de Producción (Vols. 1-1). La Habana: Félix Varela.

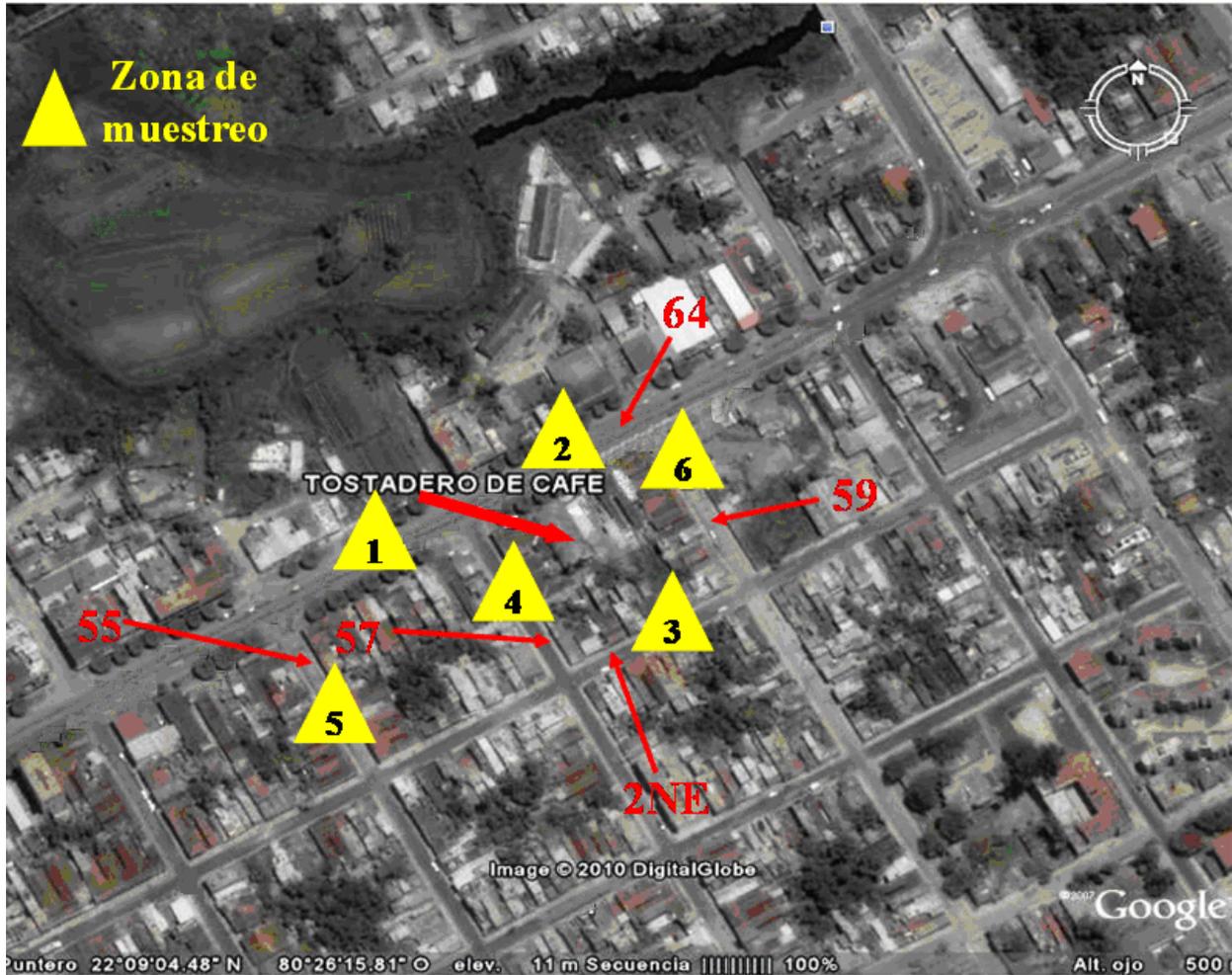
Udaondo, J. A., (2013). "Gestión de la Calidad": <http://www.esic.es/editorial.asp?sec=detalle&isbn=9788473565882>.

Urquiaga Rodríguez, A. J., Torres Cabrera, L., & Acevedo Suárez, J. A. (2004). Procedimiento de Análisis y Mejoramiento de Procesos. Aplicación a una Corporación Comercial. Industrial, Vol. XXV (No.2).

Valdés Gutiérrez, T. (2009). Características de la Gestión por Proceso y la Necesidad de su Implementación en la Empresa Cubana. Industrial, Vol. XXX (No.1).

ANEXO 1

Resultado de las mediciones del CPHE



Fuente: Google Earth

Resultados de las mediciones de concentración de polvo hechas por el CPHE en las inmediaciones e interiores de la torrefactora de Cienfuegos

Tabla No 1. Dirección de ubicación de los puntos de muestreo, concentraciones de partículas en suspensión y veces que sobrepasa la concentración Máxima Admisible.

Dirección y no. puntos	Partículas. en suspensión conc. En mg/m^3	Veces que sobre pasa Conc. Máx. Admisible
1- 64 entre 55 y 57	0.76	2.53
2- 57 entre 54 y 2NE	0.61	2.03
3- 2NE entre 57 y 59	0.85	2.83
4- 64 entre 57 y 59	0.82	2.77
6- 55 entre 64 y 2NE	0.67	2.23
7- 59 entre 64 y 2NE	0.55	1.83

$$\text{CMA} = 0.30 \text{ mg}/\text{m}^3$$

La medición puntual de este parámetro demostró que en todos los casos sobrepasaba la CMA en más de una vez su valor, indicativo esto de contaminación.

Tabla No 2. Concentraciones promedio de polvo total en dos puestos de trabajo de la torrefactora, veces que se sobrepasa la norma establecida.

Puesto de trabajo	Conc. Promedio de Polvo total	Veces que sobre para la CMA.
Molinos	35.108 mg/m^3	8.78
Llenado	26.63 mg/m^3	6.66

$$\text{CMA} = 4.0 \text{ mg}/\text{m}^3$$

Tabla No. 3. Concentración de partículas sedimentables producidas por la torrefactora de café.

Concentración. Obtenida	Concentración Máx. Admisible	Veces que sobrepasa la norma
172.5 mg/cm^2 . 30 días	0.50 mg/cm^2 . 30 días	353 veces

Diámetro de la boca del recipiente toma muestra = 10 cm

Anexo 2
CONTRAVENCION 21/09

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE
UNIDAD DE SUPERVISIÓN CIENFUEGOS.

CONTRAVENCIÓN 21 / 2009

CONSIDERANDO: Que la Resolución número 185 de fecha 29 de Diciembre del 2006 dictada por el titular del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, al amparo de lo dispuesto en el Artículo 16 del Decreto-Ley No. 200, "De las Contravenciones en materia de Medio Ambiente", de 22 de diciembre de 1999, concedió facultades a determinadas autoridades para imponer medidas por la comisión de contravenciones en materia ambiental.

CONSIDERANDO: Que la expresada Resolución número 185 prescribe en su apartado Tercero que los inspectores actuantes imponen las medidas mediante un escrito fundamentado.

CONSIDERANDO: Que en la Reinspección Estatal Ambiental Extraordinaria realizada el día 09 de Septiembre del 2009 a: Empresa Torrefactora y Distribuidora de Café Cienfuegos, se detectó el incumplimiento de una medida de inspección realizada en Abril del presente y referida a:

1. Ejecutar toda la Remodelación del Sistema de Tratamiento a las Emisiones Gaseosas de la planta, acorde a lo aprobado en el proyecto presentado.

Responsable: Administración de la entidad.

Fecha de Cumplimiento: 30 de Agosto de 2009.

Lo anterior **viola** lo establecido en el Dictamen de Inspección Estatal Ambiental Extraordinaria efectuada en Abril 09 y con fecha de emisión 06 de mayo de 2009.

Y tipifica la **Contravención** establecida en el artículo 6 inciso b del Decreto Ley 200 "De las Contravenciones en Materia de Medio Ambiente", de 22 de Diciembre de 1999.

CONSIDERANDO:

- Que la dirección de la entidad plantea que la inversión solicitada nunca fue aprobada en el plan de inversiones.
- Que el proyecto elaborado para la remodelación del sistema de tratamiento a las emisiones gaseosa de la planta y la compra de los materiales para su ejecución fue asumida por la propia entidad a través de mantenimientos industriales.
- Que poseen aproximadamente el 70 % de los recursos materiales necesarios para la obra, quedando pendiente la adquisición del acero y algunos accesorios, que deben comprarse próximamente a partir de un financiamiento que aprobó el grupo nacional recientemente.
- Que han realizado varias gestiones para la contratación del ejecutor, sin que hasta la fecha tengan solución para la misma, debido a que las empresas constructoras en su mayoría no cuentan con el personal capacitado y algunos recursos necesarios para realizar trabajo en la altura y, en otros casos, como la Empresa Alastor cobran el servicio en CUC, lo cual no posee la empresa.

- Que las emisiones a la atmósfera de hollín, humo, olores desagradables, etc, provenientes de la planta afectan la salud de los vecinos del lugar y ha originado desde hace varios años quejas de la población.

En ejercicio de las facultades conferidas al amparo de la legislación vigente, **LA AUTORIDAD AMBIENTAL DISPONE LO SIGUIENTE:**

PRIMERO: Imponer a: Empresa Torrefactora y Distribuidora de Café Cienfuegos, La medida consistentes en:

Clausura Temporal de la planta Tostadora y procesadora de café, ubicada en Ave 64 No. 5708 en Cienfuegos.

Al amparo de lo regulado en el artículo 4.1 inciso g, del Decreto Ley 200/99 "De las Contravenciones en Materia de Medio Ambiente".

SEGUNDO: Que la clausura temporal se hará efectiva a partir del 30 de Septiembre de 2009 y, hasta tanto la entidad haya ejecutado la obra relativa al Sistema de tratamiento a las emisiones gaseosas de la planta de tostado y procesamiento. Previa autorización de la Unidad de Supervisión del CITMA en Cienfuegos para dicha apertura.

TERCERO: En caso que la ejecución de la obra antes referida, exceda el término de un año se procederá a su clausura definitiva tal como plantea la Resolución 185 / 06 del CITMA.

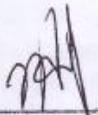
CUARTO: En caso de inconformidad con la medida impuesta se puede interponer recurso de apelación, en el plazo de **tres días hábiles** contados a partir de la fecha de su notificación, mediante escrito fundamentado ante el Director General de la Oficina de Regulación Ambiental y Seguridad Nuclear, en su facultad de Jefe de Inspección Ambiental Estatal del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Notifíquese a: Empresa Torrefactora y Distribuidora de Café Cienfuegos.

Comuníquese a: A cuantas personas naturales o jurídicas corresponda.

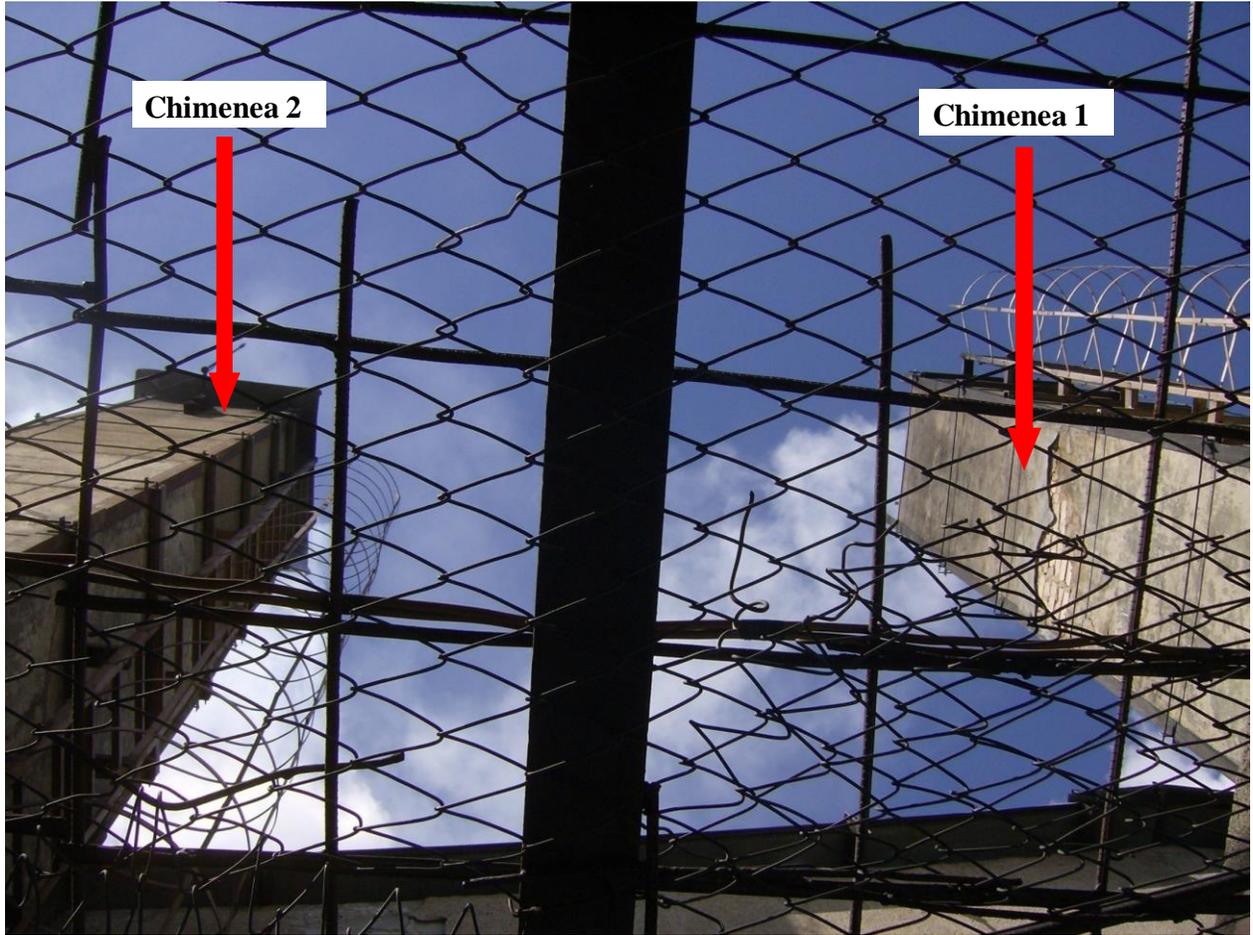
Archívese el original en el Protocolo de Contravenciones que obra en el archivo del Departamento de Inspección Ambiental Estatal.

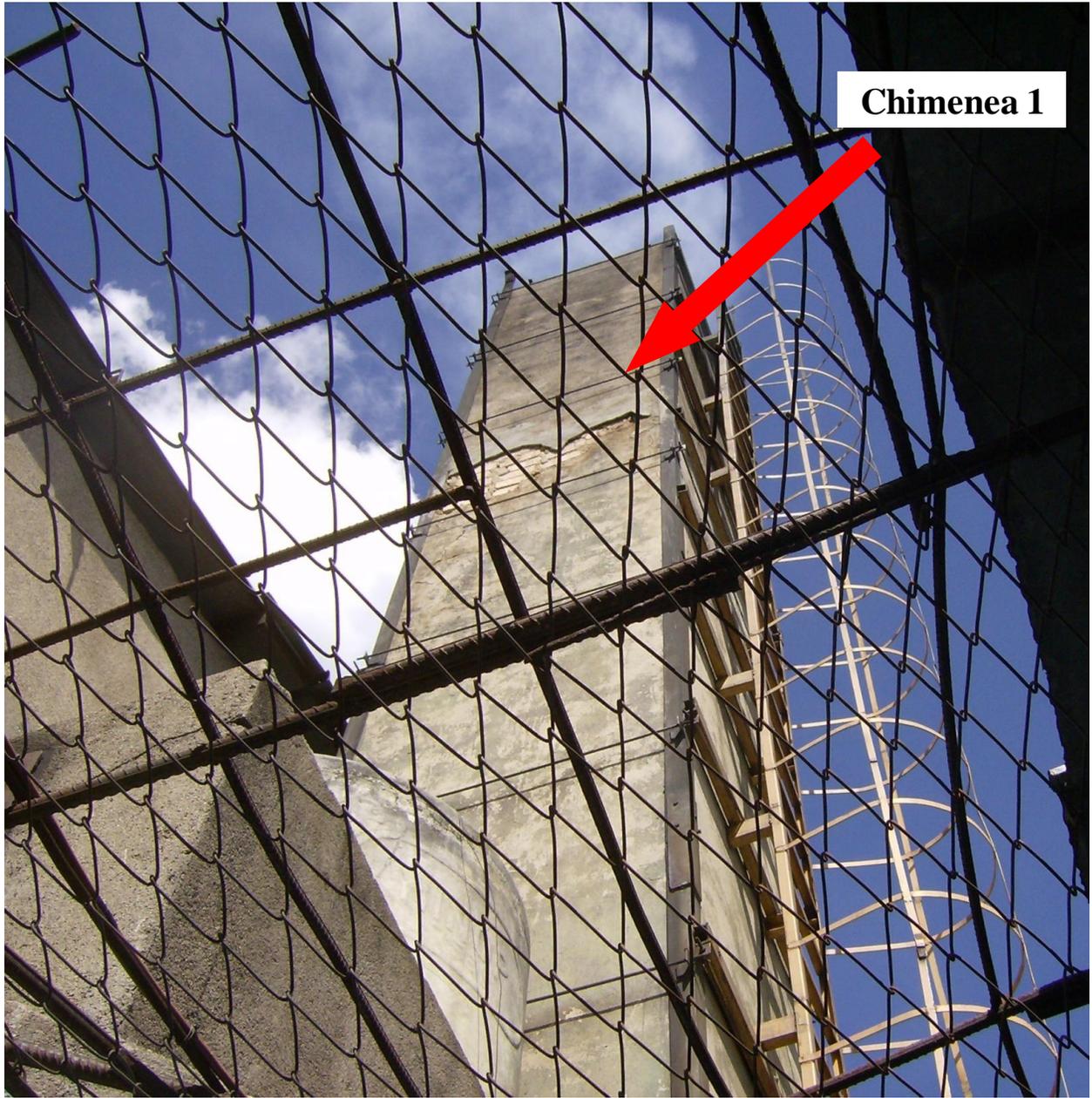
Dado en Cienfuegos a los 18 días del mes de Septiembre del año 2009.
"Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución"



Dra. Neice Hernández García.
Jefa Provincial de Inspección.
Delegación. CITMA. Cienfuegos.

Anexo 3

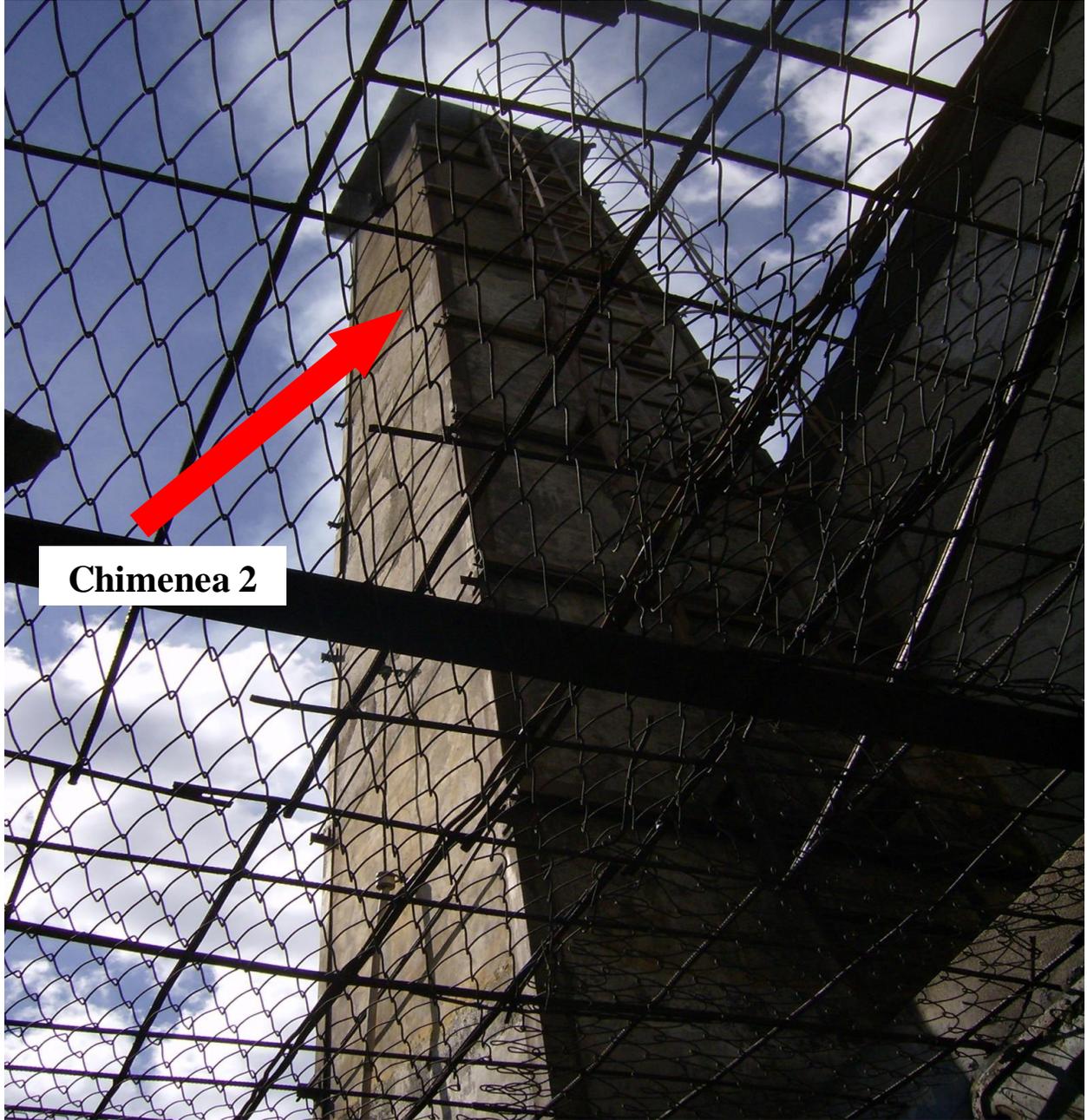




Chimenea 1



**Estado de la base de la
Chimenea 1**



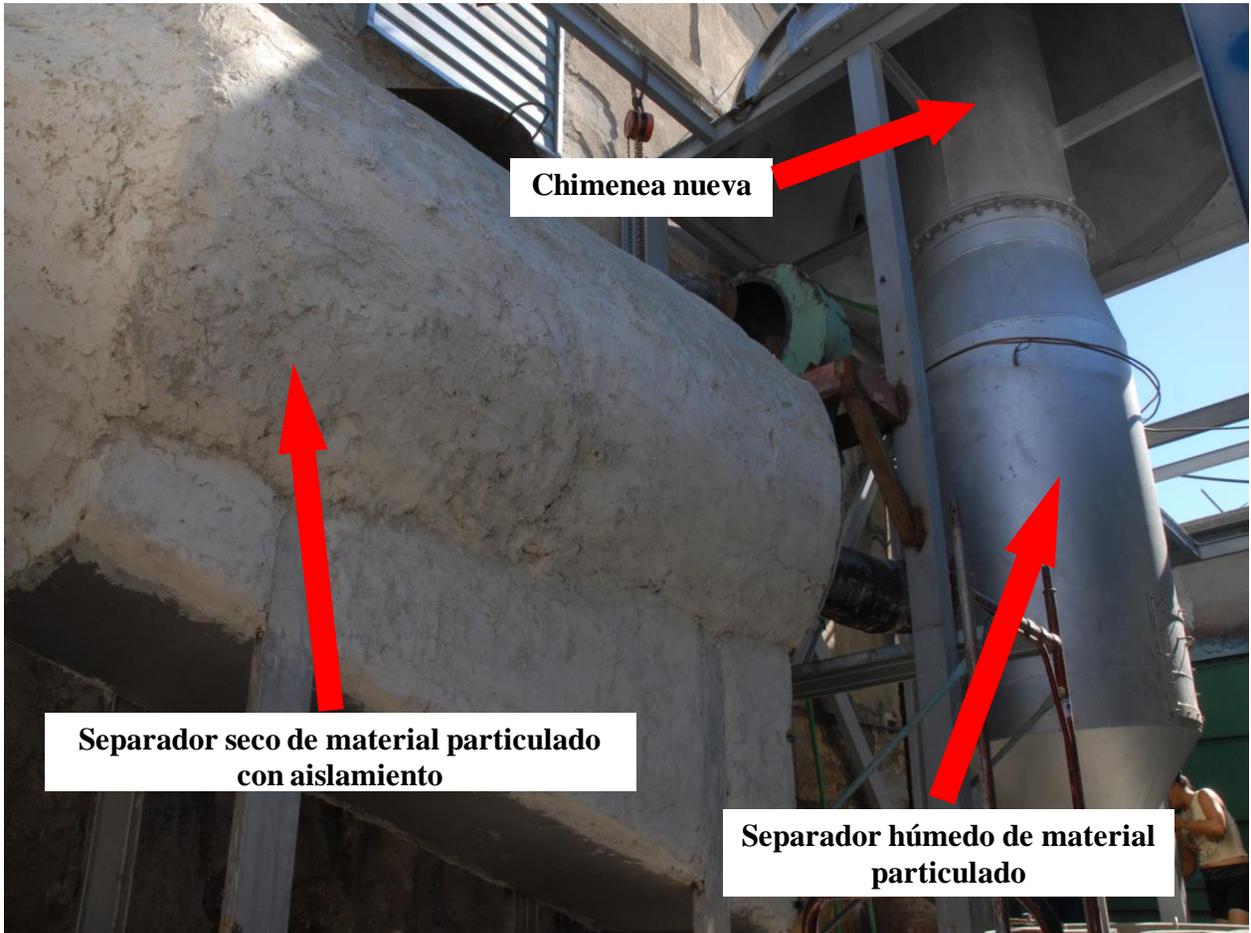
Chimenea 2



**Estado de la base de
la Chimenea 2**



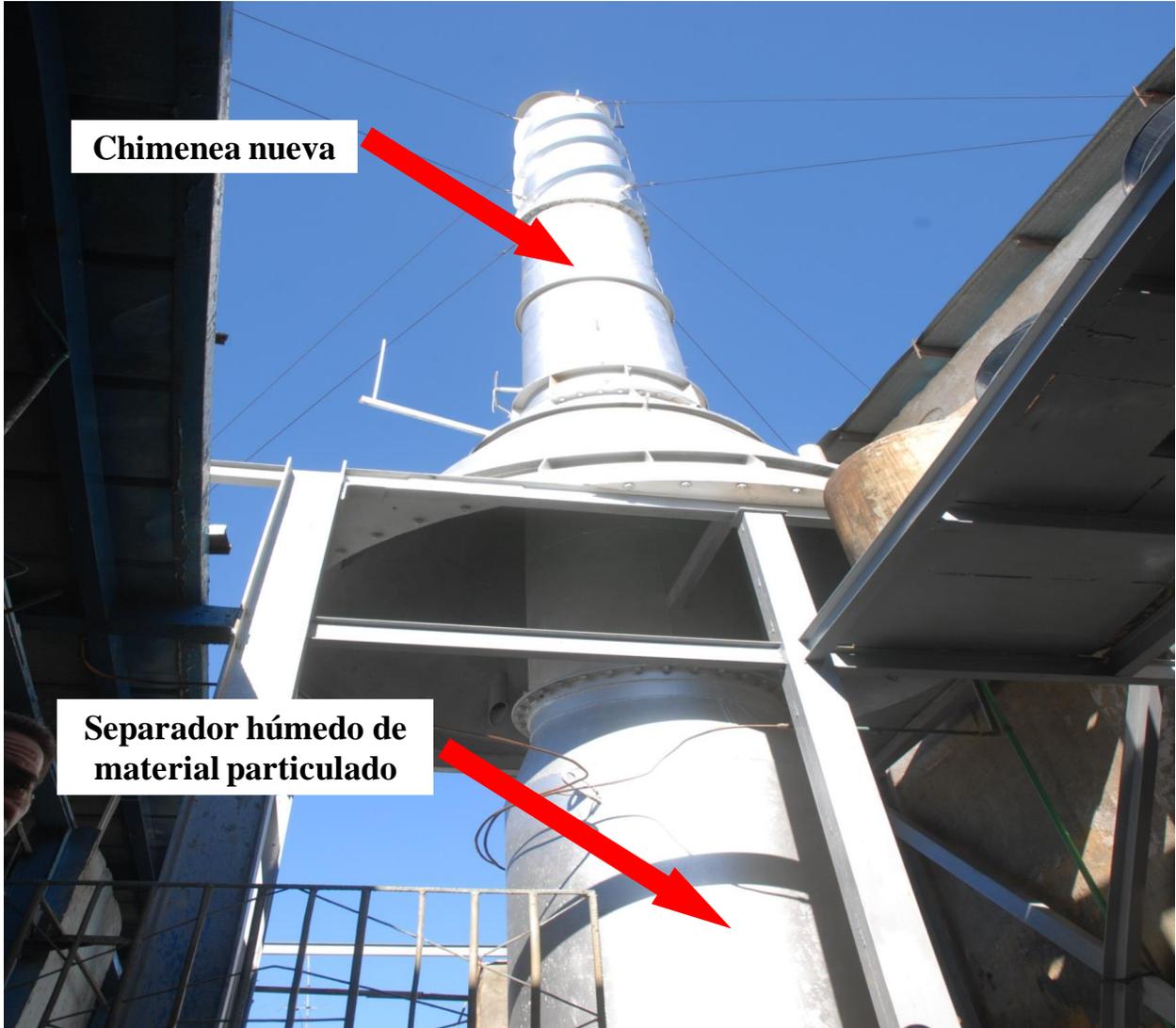
Separador seco de material particulado



Chimenea nueva

**Separador seco de material particulado
con aislamiento**

**Separador húmedo de material
particulado**



Chimenea nueva

Separador húmedo de material particulado

Chimenea nueva

**Separador húmedo
de material
particulado**

