

79

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química



ESTUDIO AMBIENTAL DEL INGENIO FOMENTO AZUCARERO



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

GILBERTO MORENO RAMÍREZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México D.F.

Mayo 1994.

UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



EXÁMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Prof. Pilar Rius de la Pola.
VOCAL: Prof. Liliana Saldívar Osorio.
SECRETARIO: Prof. Margarita Eugenia Gutiérrez Ruiz.
1er. SUPLENTE: Prof. Rodolfo Torres Barrera.
2do. SUPLENTE: Prof. Hermenegildo Sierra Martínez.

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

- Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química.
- Ingenio Fomento Azucarero.

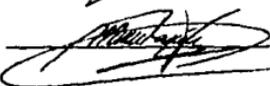
ASESOR: M. Pilar Rius de la Pola.

SUPERVISOR TÉCNICO: Dr. Juan C. Belausteguigoitia.

SUPERVISOR TÉCNICO: I.Q. Guillermo Segura H.

SUSTENTANTE: Gilberto Moreno Ramírez.





Dedicatorias

A la vida, qué es principio y fin de todos nuestros ideales.

A pesar de todo, a la humanidad, con la esperanza de que nuestra razón y nuestra conciencia sean superiores a nuestra propia barbarie.

A ti mamá con amor y con admiración; se que debes sentirte orgullosa de ti, de mi y de la familia que has forjado, yo por mi parte comparto ese orgullo.

A ti papá por todo lo que me has enseñado, aun sin darte cuenta.

A ti José por el apoyo que como hermano mayor siempre me has brindado, a ti Ana por recordarme que debo tratar de hacer las cosas cada vez mejor; y a ambos por compartir conmigo la no siempre sencilla, pero a fin de cuentas invaluable experiencia de ser hermanos.

A Carlos, Rubén y Sergio, los amigos que hemos decidido resistir el paso del tiempo al continuar siendo amigos.

A Paty, Martha, Tere, Lulu, Mari, Richard, Héctor, Armando, Mauricio, Rafaél y Memo, la "banda de la Facultad "; y a todas las buenas compañeras y compañeros que he conocido durante mi vida.

A ti Alicia...

Agradecimientos

A Dios en todas sus manifestaciones, por lo que representa para la vida y para la humanidad; la religión que pretenda adjudicarse la verdad es lo de menos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química, ya que puedo decir con orgullo que ahora formo parte de su historia, y que ellas forman parte de mi vida.

A todos los maestros que han participado en mi formación como persona y como estudiante; gracias a ellos, a pesar de ellos, y en alguna ocasión en contra de ellos.

A la maestra Pilar Rius de la Pola por su apoyo, confianza y amistad que recordaré y agradeceré por siempre.

Al Ingeniero Eneko Belausteguigoitia, al Dr. Juan Carlos Belausteguigoitia, al Ingeniero Ernesto González, al Ingeniero Fernando Caballero, al Ingeniero Guillermo Martínez y al Ingeniero Francisco López por la invaluable ayuda que me concedieron.

De manera particular al Ingeniero Guillermo Segura por la atención y paciencia que siempre me ha brindado.

A todas las personas que voluntaria o involuntariamente participaron en este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.	
L1 Introducción	1
L2 Objetivos y metodología	2
 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.	
II.1 Aspectos generales.	
II.1.1 Legislación ambiental Mexicana	4
II.1.2 Situación ambiental de México	6
<i>Aguas residuales.</i>	6
<i>Emissiones gaseosas.</i>	8
<i>Residuos sólidos.</i>	8
<i>Perspectivas</i>	9
II.2 Industria azucarera.	
II.2.1 Antecedentes	11
<i>Situación mundial</i>	11
<i>Situación Latinoamericana</i>	12
<i>Situación en México</i>	13
<i>Edulcorantes alternativos.</i>	19
<i>Sucroquímica.</i>	20
II.2.2 Descripción del proceso de elaboración de azúcar	21
<i>Elaboración de azúcar de tipo estándar o tipo crudo.</i>	21
<i>Refinación del azúcar</i>	32
II.3 Análisis ambiental de la industria azucarera.	
II.3.1 Efluentes líquidos	35
<i>Introducción</i>	35
<i>Marco legal</i>	38
<i>Parámetros ambientales de las aguas residuales</i>	43
<i>Descripción de efluentes, tratamiento o aprovechamiento</i>	44
<i>Sistemas existentes para el tratamiento del agua residual</i>	57

II.3.2 Emisiones gaseosas o particuladas	62
<i>Introducción</i>	62
<i>Marco legal</i>	62
<i>Descripción de efluentes, tratamiento o aprovechamiento</i>	65
<i>Equipos para el control de la contaminación atmosférica</i>	69
II.3.3 Residuos sólidos.	71
<i>Introducción</i>	71
<i>Marco legal</i>	72
<i>Descripción de efluentes, tratamiento o aprovechamiento</i>	73
 CAPÍTULO III. ESTUDIO AMBIENTAL DEL INGENIO.	
III.1 Procedimiento	75
III.2 Desarrollo	76
III.2.1 Fase I. Evaluación preliminar	77
<i>Preparación de la auditoría</i>	77
III.2.2 Fase II. Balance de materia y de energía	90
<i>Entradas y salidas del proceso</i>	90
<i>Registro de efluentes</i>	105
<i>Resultados y análisis del balance de materia y de energía</i>	124
<i>Balance de exergía</i>	130
III.2.3 Fase III. Síntesis	139
<i>Identificar las opciones de reducción de contaminantes</i>	139
<i>Instrumentación de un programa para la reducción de contaminantes</i>	164
 Conclusiones y comentarios	175
 Bibliografía	181
 Anexos	185

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 2.1 Ingenios azucareros de la República Mexicana que operaron en la zafra 1988/1989	14
Figura 2.2 Reacciones de la sacarosa	20
Figura 2.3 Imbibición compuesta	22
Figura 2.4 Clarificador Dorr-Oliver.	24
Figura 2.5 Evaporador de cuádruple efecto de calandria	26
Figura 2.6 Tacho con circulador.	27
Figura 2.7 Centrifuga intermitente totalmente automatizada.	29
Figura 2.8 Caldera alimentada con bagazo	30
Figura 2.9 Diagrama de bloques de la elaboración de azúcar estándar	31
Figura 2.10 Diagrama de bloques de la refinación de azúcar.	33
Figura 2.11 Proceso general de elaboración de azúcar blanca o estándar.	34
Figura 2.12 Diagrama de efluentes que provienen de un ingenio azucarero	37
Figura 2.13 Diagrama de flujo para la determinación del importe por el derecho de descarga de aguas residuales	41
Figura 2.14 Proceso Anamet para el tratamiento de aguas de desecho	49
Figura 2.15 Sistema de recirculación del agua de lavado de caña	50
Figura 2.16 Mesa de alimentación de 45 °	51
Figura 2.17 Transportador-Colador Tricon	52
Figura 2.18 Pérdidas de azúcar por limpieza en húmedo y en seco.	52
Figura 2.19 Condensadores barométricos a contracorriente y en paralelo	54
Figura 2.20 Separador de arrastres de tipo persianas verticales.	55
Figura 2.21 Flujo de energía en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales	60
Figura 2.22 Comparación de costos totales como valor presente neto	61
Figura 2.23 Distribución de partículas sólidas de una chimenea en función de su diámetro	68
Figura 2.24 Lavadores de gases "Peabody", "Brandt-Ducont" y "Tongat"	70
Figura 2.25 Sistema húmedo de eliminación de carboncillo	74

Figura 3.1 Etapas de la auditoria ambiental	76
Figura 3.2 Plano de distribución general del ingenio	80
Figura 3.3 Diagrama de flujo de proceso	81
Figura 3.4 Balance global del proceso	94
Figura 3.5 Balance de agua del ingenio	104
Figura 3.6 Sistema de drenajes del ingenio	106
Figura 3.7 Fosas de tratamiento del agua de lavado de los gases de chimeneas.	108
Figura 3.8 Fosas de tratamiento de grasas y aceites	109
Figura 3.9 Fosa de neutralización de desechos ácidos y alcalinos	110
Figura 3.10 Tren de muestreo de gases y partículas	116
Figura 3.11 Equipo para el muestreo de partículas suspendidas.	118
Figura 3.12 Sistema de recolección de cachaza	121
Figura 3.13 Balance de materia del ingenio	126
Figura 3.14 Diagrama de un ingenio visto como una planta de generación de fuerza	127
Figura 3.15 Consumos de vapor en el ingenio	128
Figura 3.16 Consumo de vapor en el ingenio por secciones	129
Figura 3.17 Generación y consumo de exergía	132
Figura 3.18 Sistema cogenerativo propuesto.	133
Figura 3.19 Recompresión mecánica y recompresión térmica de vapor	138
Figura 3.20 Costo de las opciones de tratamiento propuestas	153
Figura 3.21 Consumo y descarga de agua considerados	154
Figura 3.22 Resumen del proyecto	155
Figura 3.23 Resumen económico de ingeniería	156
Figura 3.24 Clasificación USDA para aguas de irrigación	158
Figura 3.25 Desarrollo de un programa de reducción de contaminantes	165

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 2.1 Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen urbano existentes en México.	7
Tabla 2.2 Situación ambiental de México en cifras	10
Tabla 2.3 Producción de azúcar de caña en algunos países, zafra 82/83	11
Tabla 2.4 Consumo de azúcar en algunos países durante 1983	12
Tabla 2.5 Resultados operativos de ingenios azucareros mexicanos por grupos de clasificación	16
Tabla 2.6 Producción de azúcar en México por grupos industriales durante la zafra 1992/1993	18
Tabla 2.7 Producción de azúcar en México por entidades federativas durante la zafra 1992/1993	18
Tabla 2.8 Dulzura relativa de edulcorantes alternativos a la sacarosa	19
Tabla 2.9 Composición promedio de la caña de azúcar	21
Tabla 2.10 Demanda y descarga nacionales de agua en la producción de azúcar	36
Tabla 2.11 Características generales de algunos efluentes de ingenios	44
Tabla 2.12 Demanda de oxígeno en efluentes de ingenios azucareros.	45
Tabla 2.13 Demanda de oxígeno en efluentes de refineries de azúcar	45
Tabla 2.14 Composición típica de la cachaza	45
Tabla 2.15 Composición típica de la miel final	46
Tabla 2.16 Composición aproximada del aceite Fusel	47
Tabla 2.17 Composición aproximada de la vinaza, base seca	48
Tabla 2.18 Subproductos del procesamiento de la caña de azúcar	49
Tabla 2.19 Características promedio de las purgas de calderas	56
Tabla 2.20 Resumen de algunos dispositivos para el control de efluentes líquidos en la industria azucarera.	61
Tabla 2.21 Composición media del bagazo de caña	65
Tabla 2.22 Uso industrial del bagazo de caña en México	66
Tabla 2.23 Composición de gases de chimenea, combustión de 1 kg de bagazo.	66
Tabla 2.24 Composición típica de los residuos urbanos	71
Tabla 2.25 Composición promedio de las cenizas procedentes de la combustión del bagazo	73

Tabla 3.1 Operaciones unitarias del ingenio	79
Tabla 3.2 Datos del informe de corrida del ingenio.	91
Tabla 3.3 Materia prima y pérdidas durante su manejo	95
Tabla 3.4 Costo de algunos insumos y productos del ingenio	95
Tabla 3.5 Registro del uso del agua.	103
Tabla 3.6 Registro de efluentes líquidos	111
Tabla 3.7 Análisis de muestras en laboratorio	112
Tabla 3.8 Registro de efluentes gaseosos o particulados	115
Tabla 3.9 Dimensiones de los ductos o chimeneas	115
Tabla 3.10 Resultados del estudio isocinético	117
Tabla 3.11 Calidad del aire (IMECA)	119
Tabla 3.12 Resultados del estudio perimetral	119
Tabla 3.13 Análisis del tizne de calderas del ingenio	120
Tabla 3.14 Análisis fisicoquímico de la cachaza del ingenio	121
Tabla 3.15 Registro de efluentes sólidos	122
Tabla 3.16 Resumen de características CRETIB de sustancias manejadas en el ingenio	123
Tabla 3.17 Resultado del balance de exergía	131
Tabla 3.18 Análisis de las eficiencias de las turbinas	131
Tabla 3.19 Resumen de auto abastecimiento eléctrico durante 1984	135
Tabla 3.20 Valor calorífico del bagazo y energía aprovechable	137
Tabla 3.21 Comparación entre una turbina de vapor y una de gas	137
Tabla 3.22 Análisis preliminar de las opciones propuestas más favorables	147
Tabla 3.23 Resultados del estudio económico	151
Tabla 3.24 Claves usadas en la clasificación simplificada de aguas no residuales empleadas en riego de cultivos	157
Tabla 3.25 Directrices para interpretar la calidad del agua para riego	159

ÍNDICE DE ANEXOS

	<i>Pág</i>
Anexo I. Aspectos microbiológicos de la elaboración de azúcar de caña . . .	185
Anexo II. Análisis de las pérdidas de azúcar en un ingenio durante su fabricación.	186
Anexo III. Formato de registro para la descarga de aguas residuales en cuerpos de agua	188
Anexo IV. Memoria de cálculo del balance de materia y de energía	189
Anexo V. Memoria de cálculo del estudio de factibilidad técnico-económica .	195
Anexo VI. Glosario	199

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

I.1 INTRODUCCIÓN

El interés por el medio ambiente donde se desarrolla el ser humano se ha incrementado en años recientes. Diariamente entramos en contacto con términos como ecología, contaminación, aguas negras, basura, desechos industriales y otros más, que son síntoma de una mayor atención que se presta en este sentido, y que sin embargo no es aún la suficiente.

Es evidente que la forma de vida actual requiere de un uso intensivo de los recursos naturales del planeta, además de la manufactura de una gran diversidad de bienes de consumo valiosos para el hombre. Desafortunadamente esto ha implicado un deterioro considerable del medio ambiente y de los ecosistemas que en él coexisten, que de continuar como hasta ahora provocará un trastorno aún mayor al planeta, que indudablemente afectará al ser humano. La respuesta a este problema no es sencilla e involucra aspectos muy variados, que abarcan desde conseguir un cambio de actitud en la población, hasta el desarrollo de complejas tecnologías en centros de investigación. Por lo tanto es vital que todos los sectores de la sociedad participen activa y honestamente, ya sea en proponer, analizar, aplicar o vigilar medidas que tiendan a disminuir el problema de la contaminación, sin caer en el juego de algunas personas que aprovechan la oportunidad para enarbolar banderas políticas o para beneficio de intereses no siempre claros.

La actividad industrial tiene un impacto ambiental importante sobre el medio donde se desenvuelve, pero a la vez es fuente de trabajo y de productos que la sociedad demanda e inclusive es un parámetro del grado de desarrollo de un país. Por tanto no es factible pensar por ejemplo, en un cierre masivo de industrias, pero sí en lograr una reducción de efluentes contaminantes en agua, aire y suelo mediante una operación eficiente dentro de cada industria, un mantenimiento adecuado de las instalaciones, una mayor investigación en nuevos procesos y equipos, y además un renovado interés del personal involucrado, independientemente de la creación de restricciones legales más rígidas.

Mediante un estudio integral de una planta química, que abarque especialidades de Ingeniería de servicios, Ingeniería de procesos, Energéticos, Ingeniería económica y lógicamente de Ingeniería ambiental es posible elaborar una estrategia de optimización que dé respuesta a una serie de necesidades, que tienen como fin último alcanzar un estado de máxima eficiencia en la operación de la planta y un abatimiento de sus efluentes contaminantes.

Esta no es una tarea fácil, se requiere tiempo, recursos, personal calificado y una amplia participación de los sectores involucrados; no obstante los beneficios pueden ser ampliamente significativos y justificar la inversión realizada.

El primer paso para alcanzar una conducta ambientalmente responsable consiste en disminuir los efluentes desde el lugar mismo donde estos se originan, ya que en muchas ocasiones su emisión se debe a pérdidas de insumos, productos intermedios, subproductos o de producto final. El siguiente paso es recircular al máximo todos los efluentes que tengan las características apropiadas para ello, con lo cual es posible reducir el volumen de contaminantes y cumplir con las normas legales que existan, evitando así la penalización por descargas excesivas. Por último se considera el tratamiento de efluentes o su disposición en áreas controladas, lo que generalmente resulta más costoso (UNEP, UNIDO, 1991).

No es conveniente generalizar, ni basarse en casos "similares" para emitir conclusiones sobre la problemática ambiental de una industria, todos los casos tienen sus características propias, que es necesario conocer durante un estudio ambiental (Pojasek, 1991).

En el presente trabajo se consideró la situación particular de un ingenio azucarero mexicano durante la zafra 1992/1993. En el capítulo I se hace el planteamiento del problema y se delimita su alcance, el capítulo II consta de un marco teórico con los conceptos que se consideran importantes, mientras que en el capítulo III se efectúa el estudio ambiental del ingenio.

1.2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

En el presente trabajo se establecieron los siguientes objetivos:

- conocer el proceso de fabricación de azúcar, las operaciones unitarias involucradas, la problemática de este sector en México y su proyección hacia el futuro, para sustentar las recomendaciones que se proponen,
- conocer el marco legal bajo el cual trabajan esta y otras industrias, y estar al tanto de las nuevas disposiciones legales que en materia ambiental se emiten actualmente,
- aplicar las técnicas propuestas en la literatura para la realización de auditorías ambientales,
- integrar conocimientos de distintas áreas, tales como Ingeniería ambiental, Ingeniería de procesos, Balances de materia, de energía y de exergía, Ingeniería de servicios e Ingeniería económica con el propósito de resolver problemas de carácter ambiental,
- identificar la problemática ambiental de este ingenio y seleccionar un problema preciso, el cual por su importancia y su viabilidad de solución sirva de modelo para un estudio completo de factibilidad técnico-económica,
- sugerir alternativas de solución a otros problemas identificados en este estudio.

De acuerdo al manual de la UNEP (UNEP, ONUDI, 1991) el estudio se ha dividido en tres fases:

Fase I. Evaluación preliminar. Donde se prepara el equipo de trabajo y los recursos con que se cuenta, se divide al proceso en operaciones unitarias y se construye el diagrama de flujo de proceso con base en las operaciones localizadas.

Fase II. Balance de materia y de energía. Se determinan las entradas y salidas de cada operación unitaria y del proceso completo, con el fin de localizar pérdidas de materia que pueden convertirse en efluentes.

Fase III. Síntesis. Se identifican todas las opciones de reducción de contaminantes, se evalúan técnica y económicamente y se propone un programa de reducción de contaminantes.

Como paso previo a la fase I debe de investigarse la legislación ambiental existente en materia azucarera, y la situación de esta industria en el país.

Las fases I y II se efectuaron en las instalaciones del ingenio, requiriendo mediciones de flujos y análisis de muestras en laboratorio, además de un registro de los documentos e información existentes en el ingenio; mientras que la fase III se realizó en la Ciudad de México.

Existen restricciones de tiempo y recursos en el presente trabajo y en el propio ingenio, ya que no es posible conocer con exactitud todas las entradas y salidas de las operaciones unitarias consideradas en el balance de materia y de energía, debido a que muchas de ellas no se registran durante el proceso y deben ser estimadas.

Por otra parte, un análisis económico de todas las opciones que pueden aplicarse en el ingenio requiere de más tiempo e información, por tanto en este trabajo sólo se analiza en detalle la descarga al río y las opciones existentes para su tratamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1 ASPECTOS GENERALES

En el año de 1866 el doctor Haeckel se refiere por vez primera al término ecología, de los vocablos griegos oikos (hábitat) y logos (tratado). Haeckel definía la ecología como "el conocimiento que trata sobre las relaciones entre los organismos y su ambiente inorgánico y orgánico".

La definición de ecología que parece ser más completa es la de Edgar Morin, "la ecología es la ciencia de las interacciones combinatorias y organizadoras entre cada uno y todos los constituyentes físicos y vivientes de los ecosistemas, es decir, es la ciencia que relaciona la interdependencia entre los elementos que conforman el ambiente".

El concepto clave en todas las definiciones de ecología es la interrelación; la ecología no se concentra sólo en el estudio de los organismos, ni tampoco sólo en el ambiente donde se desarrollan los mismos, más bien su interés se enfoca en las interrelaciones entre los organismos con su ambiente.

(Elizondo, 1993)

II.1.1 LEGISLACIÓN AMBIENTAL MEXICANA.

En 1970 se creó en México la Subsecretaría de Mejoramiento del Medio Ambiente; en 1971 se emite la "Ley federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental" y el "Reglamento para prevenir y controlar la contaminación atmosférica producida por humos y polvos"; en 1972 se publica el "Reglamento para prevenir y controlar la contaminación en aguas". En 1978 se crea una comisión intersecretarial de saneamiento ambiental, que hasta 1982 coordina las actividades de diferentes dependencias relacionadas con la protección ambiental. En 1982 entra en vigor la "Ley Federal de Protección al Ambiente", en ese mismo año se crea la "Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología" (SEDUE). En Septiembre de 1984 se instrumenta el "Programa nacional de Ecología 1984-1988" y en Marzo de 1988 entra en vigor la "Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente", además en ese mismo año se emiten las "Normas Técnicas Ecológicas" como complemento a algunos reglamentos de la Ley general (López, Casero, 1991).

En las reformas publicadas en el diario oficial de la federación el 25 de Mayo de 1992, por las que se crea la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), precisan la competencia de esta dependencia federal en materia de ecología y protección al ambiente. En Julio de 1992 se establece el Instituto Nacional de Ecología y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, como órganos administrativos desconcentrados de esta dependencia, con plena autonomía técnica y operativa (Diario oficial, Jul. 1992).

El Instituto Nacional de Ecología tiene, entre otras funciones, las siguientes:

I formular, conducir y evaluar la política general de ecología,

IV establecer normas y criterios ecológicos para la conservación y el aprovechamiento de los recursos naturales y para preservar y restaurar la calidad del ambiente, con la participación que, en su caso corresponda a otras dependencias,

XII evaluar, dictaminar y resolver las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos de los sectores público social y privado, que sean de su competencia,

XVI concertar acciones e inversiones con los sectores social y privado para la protección y restauración del ambiente.

La Procuraduría Federal de Protección al ambiente tiene, entre otras funciones:

III recibir, investigar y atender, o en su caso canalizar ante las autoridades competentes, las quejas y denuncias de la ciudadanía y de los sectores público, social y privado, por el incumplimiento de normas, criterios y programas ecológicos,

IX realizar auditorías ambientales y peritajes a entidades públicas y privadas de jurisdicción federal, respecto de los sistemas de explotación, almacenamiento, producción, transformación, uso y disposición de desechos, de compuestos o actividades que por su naturaleza constituyen un riesgo potencial para el ambiente, verificando los dispositivos necesarios para el cumplimiento de la normatividad ambiental, así como las medidas y capacidad de las empresas para prevenir y actuar en caso de contingencias y emergencias ambientales. (Diario oficial, Jun, 1992).

Para lograr la participación de otros organismos del sector público con SEDESOL, se creó la Comisión Nacional de Ecología, que es un órgano permanente de coordinación intersecretarial.

Las bases sobre las que descansa la legislación ambiental mexicana se encuentran en la Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos; la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; los reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y en las Normas Oficiales Mexicanas (López, Casero, 1991).

Es importante mencionar que el 29 de Marzo de 1993 se publica en el Diario Oficial el "Programa Nacional de Normalización 1993" propuesto por la Secretaría de Comercio y Fomento industrial (S.E.C.O.F.I.), que tiene por objetivo efectuar una revisión de la normatividad vigente y en su caso actualizar o emitir nuevas normas.

En el caso de las Normas Oficiales Mexicanas se crean los "comités consultivos", con el fin de que estudien los distintos sectores por separado y propongan los cambios requeridos.

Cada comité está conformado por distintos subcomités, en el caso del comité de normalización para la protección ambiental este se subdivide en:

Subcomité 1. Aprovechamiento ecológico de los recursos naturales.

Subcomité 2. Ordenamiento ecológico.

Subcomité 3. Materiales y residuos peligrosos.

Subcomité 4. Aire.

Subcomité 5. Agua.

Subcomité 6. Riesgo ambiental.

Subcomité 7. Energía contaminante.

Estos subcomités se encuentran preparando una serie de "Proyectos de Normas Oficiales" que ocupen el lugar de las Normas Técnicas Ecológicas, lo que indica que la normatividad ambiental adquiere la categoría legal de Norma Oficial Mexicana.

Existen dos planes de largo alcance contra la contaminación ambiental y el deterioro del ambiente en México, el Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente 1990-1994 (PNPMA) y el Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica (PICCA).

Además existe el Programa de Verificación Industrial; el Programa Invernal; el Plan de Contingencias Ambientales; y se está preparando el Plan Integral para la Frontera México-Estados Unidos "The Border Environmental Plan" (Elizondo, 1993).

II.1.2 SITUACIÓN AMBIENTAL DE MÉXICO.

AGUAS RESIDUALES.

En las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara se generan 46, 8.5 y 8.2 m³/s de aguas residuales, que equivale al 34 % del total nacional que es de 184 m³/s (105 m³ municipales y 79 m³ industriales), el cual se estima que sea de 207 m³/s para el año 2000.

De acuerdo al tipo de contaminación generada por el sector industrial, se divide a este en 39 grupos, de los cuales 9 son los que producen la mayor cantidad de aguas residuales: azúcar, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textiles, siderurgia, electricidad y alimentos; los que arrojan el 82% del total de aguas residuales de origen industrial en el país, mientras que solamente los dos primeros (azúcar y química) arrojan el 59.8% del total (Elizondo, 1993).

Actualmente existen en las poblaciones con más de 10,000 habitantes del país, 256 plantas de tratamiento de aguas residuales de origen urbano con una capacidad instalada de 14 m³/s, lo que equivale a un tratamiento del 13% del total generado. De ellas, 166 plantas (65%) no operan, 18 plantas (7%) operan con una eficiencia menor al 40%, 59 plantas

(23%) trabajan con eficiencias entre un 40 y un 80%, y solo 13 plantas (5%) tienen eficiencias mayores al 80% (una remoción de contaminantes del 80% es aceptable bajo condiciones adecuadas de operación). Además prácticamente no existe tratamiento de los lodos de desecho generados, y una planta de estabilización de lodos requiere montos de inversión cercanos a los de la planta misma de tratamiento (Noyola, 1991).

Tabla 2.1 Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen urbano existentes en México (Noyola, 1991).

Proceso	Cantidad	Porcentaje
1) Lagunas de estabilización.	138	54
2) Tratamiento primario.	33	13
3) Tratamiento secundario:	85	33
- Lodos activados.	33	
- Aireación extendida.	5	
- Filtros rociadores.	7	
- Zanjas de oxidación.	10	
- Lagunas aireadas.	17	
- Otro tipo (?).	13	
TOTAL	256	100

En el caso de las aguas residuales de origen industrial, existen 177 plantas para su tratamiento, con una capacidad instalada de 12 m³/s, lo que representa el 15% del total de aguas residuales generadas por la industria en el país (Elizondo, 1993).

Resulta evidente que los procesos convencionales de tratamiento no han dado respuesta a los problemas derivados de la generación de aguas residuales en México, lo que se debe principalmente a un diseño inadecuado de las plantas, insuficiencia de personal capacitado para la operación y mantenimiento de las instalaciones, proyectos inconclusos y abandono de los mismos debido a que no se consideran los recursos necesarios para la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento aerobio. Es por ello importante reconsiderar las opciones tecnológicas que existen y no limitarse sólo a los procesos tradicionales.

Por último resulta interesante indicar que el saneamiento de aguas residuales era una actividad exclusiva del gobierno federal y de las gubernaturas estatales o municipales, pero que actualmente ha sido concesionada a la iniciativa privada. Ya que la mayor parte de las ciudades importantes del país no cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales, se han sometido a concurso diferentes proyectos con la intervención de compañías nacionales y extranjeras en el diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento, que durante 1992 sumaban 28 en proceso de construcción (Gaceta UNAM, Julio 1993).

EMISIONES GASEOSAS.

El 40% de los contaminantes que se emiten a la atmósfera en el país provienen de la zona metropolitana de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey.

La situación es particularmente preocupante en la Ciudad de México, donde los niveles de contaminación del aire son muy elevados (anualmente se producen 4,300,000 toneladas de contaminantes, producto de la circulación de tres millones de vehículos, la operación de 30,000 industrias y de 12,000 establecimientos de servicio). Esto ha obligado a la creación de nuevos y más estrictos programas de combate a la contaminación, que hasta el momento han sido por demás insuficientes.

RESIDUOS SÓLIDOS.

De acuerdo con el PNPMA, se producen diariamente en México un total de 52,000 toneladas de desechos sólidos urbanos y 370,000 toneladas de residuos industriales (10 millones de m³ al mes). Hoy en día del total de basura urbana producida, se recolecta únicamente el 75%, permaneciendo 13,000 toneladas diarias sin recoger. De la basura recolectada sólo 16,000 toneladas se disponen adecuadamente en rellenos sanitarios controlados, el resto (23,000 toneladas) se tira a cielo abierto (Elizondo, 1993).

Para el control de los desechos urbanos existen en el país 34 rellenos sanitarios que cubren solamente las necesidades del 21% de la población. Dentro de este tipo de desechos se encuentran algunos que son considerados peligrosos, como los generados en hospitales, clínicas, laboratorios, centros de investigación y escuelas (sólo existe un confinamiento de residuos peligrosos en nuestro país).

En cuanto a las 370,000 toneladas de residuos sólidos que genera la industria diariamente, 151,000 corresponden a materiales que tienen características peligrosas (41.6% son peligrosos, 54.1% no lo son y el 4.3% son de diversos tipos). De los residuos peligrosos 8.4% son sólidos, 77.1% son líquidos y 14.5% son semisólidos, de los cuales el 33% son reciclables directamente, el 49% requiere de un tratamiento previo y el restante 18% no es susceptible de ser reciclado (Gaceta UNAM, Junio 1993).

Durante mucho tiempo los residuos generados en la industria se han depositado clandestinamente en terrenos baldíos, lo que puede provocar daños a los mantos freáticos, a los terrenos, a los ríos, a la flora y fauna y a la salud de la población (se estima que hasta 1984 existían 24,000 depósitos clandestinos de basura que no cumplían con las normas mínimas de construcción).

PERSPECTIVAS.

En términos generales el PNPMA plantea, en primer lugar una redistribución de las actividades económicas y de la población en el país, y una descentralización para que cada estado afronte sus propios problemas ambientales, pero con apoyo del gobierno federal. Se ha propuesto además la creación de las llamadas "regidurías ecológicas", órganos jurídico-administrativos para el ámbito regional, y se plantea una mayor coordinación entre los distintos organismos y secretarías.

Llama la atención el hecho de que, a pesar que una de las prioridades del PNPMA es la descentralización de las actividades económicas, el PICCA no considera la salida de más industrias de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM); ya que se sabe que de las 4,000 industrias consideradas de "alto riesgo" dentro de la misma, solamente 25 están emplazadas para salir en un lapso de tres años.

En lo relacionado con la contaminación del agua se considera necesario ampliar los programas de vigilancia e inspección, ajustar y establecer normas para la descarga de aguas residuales, incrementar la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del agua y llevar a cabo programas de capacitación para prevenir y controlar la contaminación del agua; además se requiere de un programa de rehabilitación de las plantas de tratamiento ya existentes, y el desarrollo de mecanismos de financiamiento para la construcción de plantas nuevas con tecnologías más adecuadas.

Para combatir el problema de la contaminación del aire se consideran las siguientes acciones: creación del inventario nacional de fuentes contaminantes y de alto riesgo, reducir el consumo de combustibles, crear normas específicas para el tipo de combustibles que se producen y se distribuyen en el país, monitoreo constante de las fuentes de contaminación, ampliación de la Red de Monitoreo Atmosférico, convenios con PEMEX y la CFE para el desarrollo de programas para el mejoramiento de sus procesos de combustión y convenios con industrias para la instalación de equipos anticontaminantes.

En el caso de los residuos sólidos, debe contarse con sitios seguros para su disposición, renovar el inventario de residuos industriales, normar de manera adecuada el desecho de los mismos y mejorar los dispositivos de recolección y manejo de desechos urbanos.

Es evidente que la concentración de una parte importante de la población en las ciudades más grandes del país es un factor determinante de los problemas de estas. De los 81.1 millones de habitantes que hay en país, 21.6 millones viven en las ciudades de México, Guadalajara, Monterrey y Puebla; 20.8 millones viven en ciudades de tamaño medio (entre cien mil y un millón de habitantes); y 38.7 millones se distribuyen en cerca de 230 ciudades pequeñas (entre 15 mil y 100 mil habitantes) y en asentamientos suburbanos y rurales.

Tabla 2.2 Situación ambiental de México en cifras (Elizondo, 1993).

Extensión aproximada del territorio mexicano: 2 millones de kilómetros cuadrados.
Población total en México (censo 1990): 81,140,922 habitantes.
Población total en el D.F. (censo 1990): 8,236,960 habitantes.
Población total en la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM): 15,000,000 habitantes (aproximadamente).
Número de industrias en todo el país (censo 1985): 137,126.
Numero de industrias en el D.F. : 27,000 (estimación).
Índice de deforestación en México: 500,000 hectáreas al año.
Especies animales amenazadas o en peligro de extinción: 342.
Especies de plantas superiores amenazadas o en peligro de extinción: 582.
Porcentaje de áreas naturales protegidas: 7% de la superficie total del país.
Aguas residuales generadas en el país: 184 m ³ /s.
Aguas residuales de origen municipal generadas en el país: 105 m ³ /s.
Aguas residuales de origen industrial generadas en el país: 79 m ³ /s.
Aguas residuales generadas en la ZMCM: 46 m ³ /s.
Aguas residuales generadas en la ciudad de Monterrey: 8.5 m ³ /s.
Aguas residuales generadas en la ciudad de Guadalajara: 8.2 m ³ /s.
Porcentaje de las aguas residuales generadas por la ZMCM, Monterrey y Guadalajara: 34% del total generado en el país.
Porcentaje de las aguas residuales de origen municipal que son tratadas en el país: 15.7%
Porcentaje de las aguas residuales de origen industrial que son tratadas en el país: 15.5%
Vehículos registrados en el país en 1940: 149,000
Vehículos registrados en el país en 1989: 8,000,000
Vehículos registrados en el D.F. en 1990: 3,000,000
Contaminantes al aire emitidos en la ZMCM : aproximadamente 5,000,000 ton/año.
Contaminantes al aire provenientes de la industria en la ZMCM: 570,000 ton/año.
Contaminantes al aire provenientes de vehículos en la ZMCM: 4,000,000 ton/año.
Resechos sólidos municipales producidos en el país: 52,000 ton/día.
Residuos sólidos industriales producidos en el país: 370,000 ton/día.
Porcentaje de basura urbana recolectado en el país: 75% del total generado.
Basura urbana en el país que no es recogida: 13,000 ton/día.
Residuos sólidos que se disponen adecuadamente en rellenos sanitarios en el país: 16,000 ton/día
Residuos sólidos que son tirados a cielo abierto: 23,000 ton/día.
Residuos industriales con características peligrosas generados en el país: 151,000 ton/día.
Basura que se produce en la ZMCM: 27,000 ton/día (aproximadamente).
Residuos peligrosos que se producen en la ZMCM: 2,500 ton/día.

II.2 INDUSTRIA AZUCARERA

II.2.1 ANTECEDENTES.

SITUACIÓN MUNDIAL.

En la zafra 1990/1991 la producción mundial de azúcar fue de aproximadamente 114 millones de toneladas, de las cuales aproximadamente el 64% se obtiene de la caña de azúcar y el 36% de la remolacha en más de 2,200 fábricas en 111 países de todos los continentes, situados en su mayoría en zonas tropicales y ecuatoriales. (Tabla 2.3)

Tabla 2.3 Producción de azúcar de caña en algunos países, zafra 1982/1983 (Chen, 1991).

Región y País.	Área cosechada (1000 ha)	Rendimiento de azúcar (t/ha).	Producción de azúcar (miles de toneladas).
<i>África</i>			
Egipto.	83	8.31	690
Mauricio.	80	9.11	729
África del sur.	261	8.64	2,255
<i>América.</i>			
Argentina.	250	6.47	1,617
Brasil.	1,925	4.88	9,400
Cuba.	1,500	4.80	7,200
México.	450	5.78	2,600
Estados Unidos.	304	9.35	2,843
<i>Asia.</i>			
China.	563	5.29	2,980
India.	1,890	4.81	9,084
Indonesia.	235	6.38	1,500
Filipinas.	417	6.19	2,580
Tailandia.	570	3.63	2,070
<i>Europa</i>			
España.	4	5.25	21
<i>Oceanía.</i>			
Australia.	319	11.32	3,612

Como se observa en el cuadro anterior, la mayoría de los países productores de azúcar de caña tienen economías en desarrollo, y para algunos de ellos este cultivo es el medio principal de subsistencia.

El mercado internacional del azúcar se ha caracterizado por la inestabilidad de sus precios, lo que obliga a la mayoría de los gobiernos a adoptar medidas proteccionistas.

Tabla 2.4 Consumo (Kg per cápita) de azúcar en algunos países en 1983 (Chen, 1991).

África.		Asia.	
Libia.	43	Israel.	48
Mauricio.	41	Singapur.	48
América.		Europa.	
Argentina.	36	Bulgaria.	56
Barbados.	64	Polonia.	48
Brasil.	50	España.	31
Canadá.	40	Gran Bretaña.	42
Costa Rica.	60		
Cuba.	56	Oceanía.	
México.	42	Australia.	51
Estados Unidos.	35	Fidji.	56

SITUACIÓN LATINOAMERICANA.

En América Latina se observan los siguientes problemas (GEPLACEA, 1992):

- Escasa tecnificación del campo. El panorama es preocupante en la mayoría de los países del área dado los precios del azúcar, el estado de la maquinaria empleada y el costo de nuevas y mejores tecnologías.
- Diversificación insuficiente de subproductos. En la actualidad se industrializan 50 derivados de la caña de azúcar y sus subproductos, para lo cual existen 1,003 instalaciones en los 22 países de GEPLACEA (principalmente en Brasil con 417 plantas, Cuba con 361, México con 57, Argentina con 45, Venezuela con 38 y Colombia con 28).
- Bajos niveles de productividad y eficiencia comparados con otras regiones.
- La situación tecnológica de equipos y procesos de la región reflejan los bajos niveles de inversión que se destinan para la modernización de la industria azucarera, y el lento desarrollo industrial que caracteriza a los países del área hace que estos sean dependientes de tecnología, en ocasiones ya obsoleta.

SITUACIÓN EN MÉXICO.

La industria azucarera ha pasado por momentos críticos a nivel mundial, en el caso de México el Gobierno Federal adquirió gran parte de los ingenios del sector privado en la década de los setentas (algunos de los cuales se encontraban en pésimo estado y con equipos obsoletos) como una medida de emergencia para preservar y recuperar la capacidad productiva de la industria y atender las necesidades del mercado interno.

La industria del azúcar nacional tuvo un repunte en 1983, obteniendo en la zafra 1987/1988 una producción de azúcar de 3,590,097 toneladas. Sin embargo debido a la crisis económica del país, a las nuevas políticas económicas y a la escasez de divisas, a partir de 1988 se inició una política de desincorporación de las empresas del gobierno y prácticamente todos los ingenios fueron nuevamente vendidos a la iniciativa privada.

De 1945 a 1989 en México se inauguraron 37 ingenios, mientras que 56 dejaron de operar. Durante la zafra 1989/1990 operaron 65 ingenios en el país de acuerdo a la siguiente distribución por entidades federativas (Figura 2.1):

- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| - 22 ingenios en Veracruz. | - 2 ingenios en Chiapas. |
| - 7 ingenios en Jalisco. | - 2 ingenios en Nayarit. |
| - 5 ingenios en Michoacán. | - 2 ingenios en Puebla. |
| - 5 ingenios en Oaxaca. | - 2 ingenios en Tamaulipas. |
| - 4 ingenios en San Luis Potosí. | - 1 ingenio en Campeche. |
| - 4 ingenios en Sinaloa. | - 1 ingenio en Colima. |
| - 4 ingenios en Tabasco. | - 1 ingenio en Quintana Roo. |
| - 3 ingenios en Morelos. | |

La agroindustria cañera es de suma importancia para la economía nacional, ya que de ella dependen 300,000 familias, de las cuales el 74% vive en el medio rural. Más de 136 mil productores de caña y de 85 mil cortadores laboran en las tierras de cultivo, que superan las 600 mil hectáreas (García, 1993).

Como criterio de comparación entre los diferentes ingenios del país se han propuesto modelos que indiquen la dependencia de la producción de azúcar con el tiempo perdido, el contenido de fibra en caña, pérdidas de sacarosa y el rendimiento en fábrica.

Con base en los criterios ya mencionados existe la siguiente clasificación (García, 1993):

- ingenios del grupo "A". Que muelen caña con alto contenido de fibra y con menor contenido de sacarosa, y presentan tiempos perdidos elevados (principalmente por fábrica),
- ingenios del grupo "B". Ingenios con características intermedias, sin embargo su clasificación en algunos casos no está definida claramente,
- ingenios del grupo "C". Conjunto de ingenios que presentan niveles de productividad similares a los que se alcanzan en países desarrollados.

Figura 2.1 Ingenios azucareros de la República Mexicana que operaron durante la zafra 1988/1989.

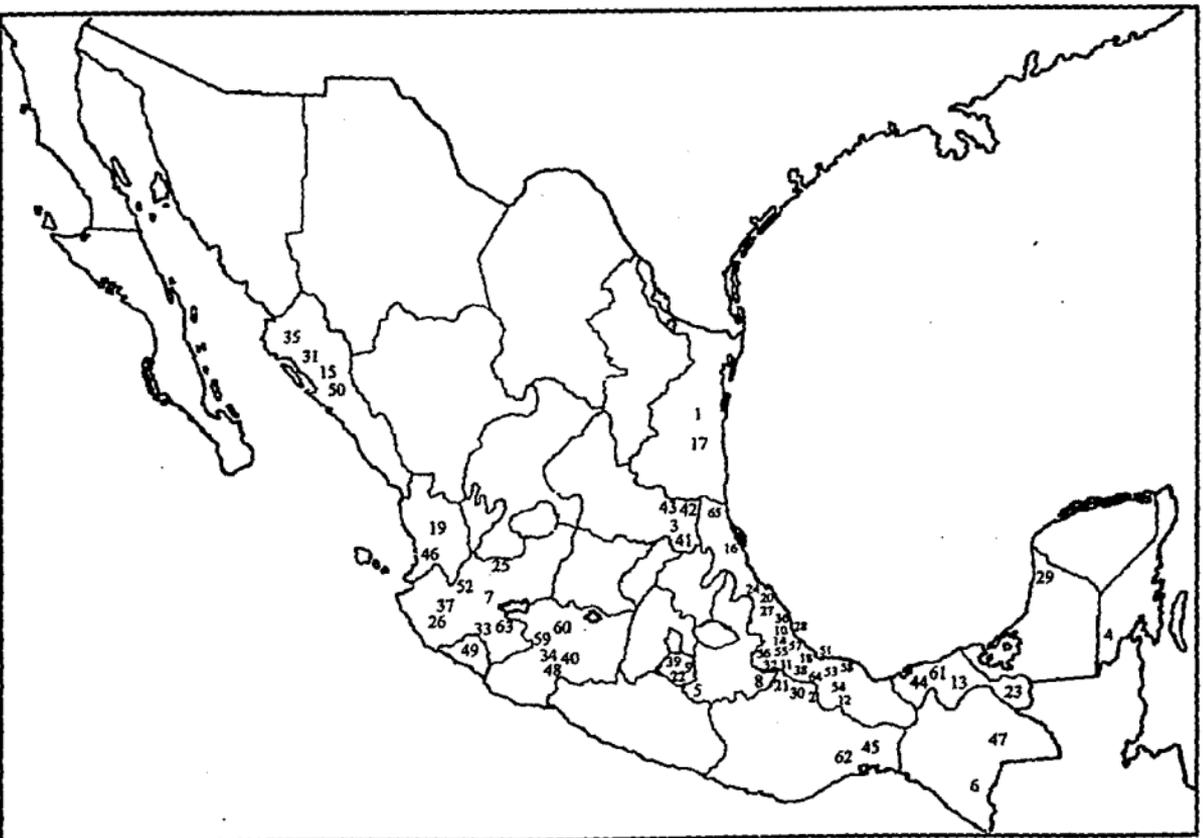


Figura 2.1 (Continuación).

1. Aarón Saenz ; Tamaulipas.
2. Adolfo López Mateos; Oaxaca.
3. Alianza Popular; San Luis Potosí.
4. Alvaro Obregón; Quintana Roo.
5. Atencingo; Puebla.
6. Belisario Domínguez; Chiapas.
7. Bellavista; Jalisco.
8. Calipam; Puebla.
9. Casasano; Morelos.
10. Central Progreso; Veracruz.
11. Constanca; Veracruz.
12. Cuatotolapan; Veracruz.
13. Dos Patrias; Tabasco.
14. El Carmen; Veracruz.
15. El Dorado; Veracruz.
16. El Higo; Veracruz.
17. El Mante; Veracruz.
18. El Modelo; Veracruz.
19. El Molino; Nayarit.
20. El Potrero; Veracruz.
21. El Refugio; Oaxaca.
22. Emiliano Zapata; Morelos.
23. Hermenegildo Galeana; Tabasco.
24. Independencia; Veracruz.
25. José María Mtnz. "Tala"; Jalisco.
26. José María Morelos; Jalisco.
27. La Concepción; Veracruz.
28. La Gloria; Veracruz.
29. La Joya; Campeche.
30. La Margarita; Oaxaca.
31. La Primavera; Sinaloa.
32. La Providencia; Veracruz.
33. La Purísima; Jalisco.
34. Lázaro Cardenas; Michoacán.
35. Los Mochis; Sinaloa.
36. Mahuixtlán; Veracruz.
37. Melchor Ocampo; Jalisco.
38. Motzorongo; Veracruz.
39. Oacalcó; Morelos.
40. Pedernales; Michoacán.
41. Plan de Ayala; San Luis Potosí.
42. Plan de San Luis; San Luis Potosí.
43. Ponciano Arriaga; San Luis Potosí.
44. Presidente Benito Juárez; Tabasco.
45. Jose López Portillo; Oaxaca.
46. Puga; Nayarit.
47. Pujilic; Chiapas.
48. Puruarán; Michoacán.
49. Quesería; Colima.
50. Rosales; Sinaloa.
51. San Cristóbal; Veracruz.
52. San Fco. Ameca; Jalisco.
53. San Fco. El Naranjal; Veracruz.
54. San Gabriel; Veracruz.
55. San José de abajo; Veracruz.
56. San Miguelito; Veracruz.
57. San Nicolas; Veracruz.
58. San Pedro; Veracruz.
59. San Sebastian; Michoacán.
60. Santa Clara; Michoacán.
61. Santa Rosalía; Tabasco.
62. Santo Domingo; Oaxaca.
63. Tamazula; Jalisco.
64. Tres Valles; Veracruz.
65. Zapoapitia; Veracruz.

Tabla 2.5 Resultados Operativos de Ingenios azucareros mexicanos por grupos de clasificación (García, 1993).

Concepto.	Grupos de ingenios (promedio por grupo).		
	A	B	C
Fibra en caña (%)	14.98	14.73	13.83
Pérdida de sacarosa total (%)	2.94	2.63	2.31
Aprovechamiento de sacarosa (%)	73.55	78.27	81.66
Tiempo perdido en fábrica (%)	13.92	10.5	8.8
Sacarosa en caña (%)	11.15	12.06	12.63
Pérdidas de sacarosa en bagazo (%)	1.13	1.06	0.93
Pérdidas de sacarosa en miel final (%)	1.37	1.25	1.14
Pérdidas de sacarosa en cachaza (%)	0.18	0.13	0.13
Tiempo perdido en elaboración (%)	3.02	2.65	1.86

En 1993 se presenta una de las crisis más severas que ha sufrido la industria azucarera en México (Danell, 1993), con un adeudo con Financiera Nacional Azucarera por dos mil millones de nuevos pesos, con los productores de caña por mil millones de nuevos pesos, con el Seguro Social por 240 millones de nuevos pesos, con la Comisión del Agua por 200 millones de nuevos pesos y con el gobierno federal por el 90% del valor de los ingenios.

Probablemente 12 de los 64 ingenios no superen la crisis, lo que causaría que 15,000 productores de caña tengan que cambiar de cultivos, 7,000 trabajadores pierdan sus empleos y el consiguiente problema económico y social de las regiones afectadas.

Las causas de esta crisis son una combinación de:

- rezago histórico en el ajuste de precios al consumidor,
- saturación del mercado interno por la importación de 2,650,000 toneladas de azúcar a precios inferiores a los nacionales durante 1990 y 1991,
- bajos niveles de productividad.
- bajo aprovechamiento de subproductos y derivados.
- poca rentabilidad del cultivo de caña de azúcar.
- inversión insuficiente para el mantenimiento y modernización de las instalaciones.
- uso de un sistema de pago de caña que no distingue las pérdidas de sacarosa atribuibles a la calidad de la materia prima o a las condiciones tecnológicas de los ingenios,
- elevados costos de producción de azúcar donde el costo de la mano de obra y el mal aprovechamiento de la sacarosa parecen ser los costos más significativos (García 1993)

(A partir de 1992 se inició de manera abierta el recorte de personal en los ingenios, con el despido de 5,000 obreros),

- falta de apoyos económicos y tecnológicos a los productores de caña,
- falta de un organismo regulador del mercado y de la competencia entre productores.

En la zafra 1992/1993 se alcanzó una producción de más de 44 millones de toneladas de caña para asegurar la autosuficiencia nacional por segundo año consecutivo con una producción de 4 millones 80 mil toneladas de azúcar, con base en una cosecha que logró un excelente rendimiento (97 kg azúcar/tonelada de caña), lo que coloca a México como el cuarto productor mundial de azúcar, sólo superado por India, Brasil y Cuba, sin embargo varios ingenios se han declarado en quiebra.

El gobierno federal ha manifestado que no invertirá más dinero en los ingenios, pero durante la zafra 1992/1993 varios grupos de cañeros tomaron algunos ingenios en "prenda" como medida de presión para recibir su pago, lo que obligó la intervención de la Secretaría de Recursos Hidráulicos para llegar a una solución. De esta forma en abril de 1993 se decidió "pignorar" 510 mil toneladas de azúcar (arreglo por el cual el gobierno presta efectivo a los industriales para que paguen a los cañeros, teniendo como garantía el azúcar que no se ha vendido y que se encuentra en las bodegas de los ingenios).

Con base en los acuerdos del Tratado de Libre Comercio, México podrá exportar dentro de 15 años, 2 millones de toneladas de azúcar a E.U.A. y Canadá con la condición de que sea fabricada totalmente en nuestro país. Lo anterior resulta importante si se toma en cuenta que el precio del azúcar en esos países es tres veces mayor que en México, pero permanece el problema del consumo interno que es apenas satisfecho, y la respuesta de los azucareros estadounidenses con la libre introducción de fructosa a nuestro país a partir de 1994.

Se considera que cuatro grupos fuertes son los que en un futuro manejarán el 70% del azúcar producida en México, además de los ingenios independientes. Por otra parte los analistas opinan que ya que el futuro económico más promisorio se encuentra en el norte del país, los ingenios del sureste pueden estar destinados a cerrar por incosteables.

La zafra 1993/1994 plantea retos muy fuertes, se calcula que el 10% de la superficie destinada al cultivo de caña en México será utilizada para otros cultivos debido a la falta de créditos y apoyos, además de una probable baja en el rendimiento de campo. Resulta indispensable apoyar a los productores de caña para que tengan posibilidad de ampliar el área de cultivo, puedan conseguir buenos rendimientos de campo y logren hacer del cultivo de caña una forma rentable de vida.

Tabla 2.6 Producción de azúcar en México por grupos industriales durante la zafra 1992/1993 (Danell 1993).

Grupos.	Zafra anterior		Zafra actual			Porcentaje
	Rendimiento	Producción alcanzada (toneladas)	Rendimiento	Producción alcanzada (toneladas)	Producción esperada (toneladas)	
Aga.	9.09	137,326	9.67	151,225	146,983	102.89
Beta San Miguel.	9.21	280,574	10.58	404,226	347,375	116.4
C.N.C.	9.67	116,198	10.22	162,403	145,083	111.94
Escorpión.	8.66	348,876	9.6	431,815	413,015	104.55
Grijalva-Tabasco.	9.45	206,069	9.79	227,984	238,017	95.78
Imp. de marcas Mex.	8.85	154,116	9.98	180,039	197,000	91.39
Múltiple.	8.82	87,916	9.57	98,134	92,297	106.32
Machado.	8.73	267,494	9.91	299,948	286,453	104.14
Perdomo.	9.51	134,450	10.83	169,175	149,984	112.8
Porres.	9.95	118,755	11.16	158,319	160,966	98.36
Prom.Ind. Azuc.	10.17	251,835	11.66	318,831	285,405	111.71
Saenz.	9.46	193,458	10.08	283,842	243,475	116.58
Santos.	10.16	149,824	1.53	175,666	192,225	91.39
Sucrum.	10.82	255,386	9.56	308,458	316,747	97.41
Zafra.	9.65	345,454	11.12	446,598	409,425	109.08
No agrupados.	8.88	240,959	9.5	256,236	297,401	86.16
Total.	9.38	3,288,690	10.24	4,072,989	3,921,751	103.81

Tabla 2.7 Producción de azúcar en México por entidades federativas durante la zafra 1992/1993 (Danell 1993).

Entidad federativa.	Zafra anterior		Zafra actual			Porcentaje
	Rendimiento	Producción alcanzada (toneladas)	Rendimiento	Producción alcanzada (toneladas)	Producción esperada (toneladas)	
Campeche	9.2	34,723	9.2	26,000	38,377	67.75
Chiapas	9.72	139,836	10.25	159,129	166,779	95.41
Colima	8.7	40,341	9.57	59,180	47,060	125.75
Jalisco	10.13	423,598	10.74	510,991	525,539	97.23
Michoacán	11.19	138,036	11.73	179,539	196,660	91.29
Morelos	9.15	103,963	9.57	113,874	123,529	92.18
Nayarit	9.86	155,668	10.14	182,171	167,539	108.73
Oaxaca	9.44	221,519	10.63	225,774	218,285	102.68
Puebla	8.97	102,981	10.21	121,875	117,978	103.3
Quintana Roo	8.48	66,623	8.84	71,679	76,031	94.28
San Luis Potosí	9.21	244,414	11.22	400,872	335,904	119.34
Sinaloa	10.37	144,912	7.45	127,475	168,158	75.81
Tabasco	8.35	115,068	8.84	117,299	125,726	93.3
Tamaulipas	8.94	103,448	9.64	177,525	134,242	132.24
Veracruz	9.15	1,251,731	10.33	1,599,606	1,479,944	108.09
Total	9.38	3,288,690	10.24	4,072,989	3,921,751	103.81

EDULCORANTES ALTERNATIVOS.

Recientemente el surgimiento de edulcorantes naturales y sintéticos, en ocasiones con características más apropiadas que la propia azúcar (mayor poder edulcorante que la sacarosa, menor poder calórico que la misma o menor costo de producción), han ganado popularidad en un mercado donde la sacarosa no tenía competidores. A pesar de ello, a decir de algunos investigadores no se observa en el mediano plazo que el azúcar de caña o de remolacha sufra un colapso o un decremento considerable en su producción, venta y consumo.

Generalmente se considera a la sacarosa como el estándar para la evaluación de otros edulcorantes (Tabla 2.8).

Tabla 2.8 Dulzura relativa de edulcorantes alternativos a la sacarosa (O' Brien, Gelardi, 1991).

<i>Edulcorante alternativo</i>	<i>Dulzura aproximada (sacarosa =1).</i>
Acesulfame-K.	200
Alitame.	2,000
Aspartame.	180
Fructosa cristalina.	1.2-1.7
Ciclamato.	30
Dihidrochalcona.	300-2,000
Glicirhisina.	50-100
Hernandulcina.	1,000
Jarabe de maíz de alta fructosa (55%).	1
Isomalt.	0.45-0.64
Isomaltulosa.	0.48
L-azúcares.	1
Lactitol.	0.4
Maltitol.	0.7-0.9
Manitol.	0.7
Sacarina.	300
Sorbitol.	0.54-0.7
Steviosida.	300
Sucralosa.	600
Thaumatina.	2,000-3,000
Xilitol.	1

SUCROQUÍMICA.

Se propone la utilización del azúcar para fines distintos al consumo humano, considerando a la sacarosa como una materia prima potencial para la obtención de productos químicos mediante reacciones de fermentación, síntesis o pirólisis. Muchos de estos productos químicos se producen actualmente a partir del etileno, restringiendo el desarrollo de nuevos procesos al estado de los precios relativos del petróleo y del azúcar.

En la actualidad existen aplicaciones industriales para producir por fermentación ácido cítrico y dextranasa (un expansor del plasma sanguíneo), así como ésteres de sacarosa como surfactantes, y detergentes mediante procesos químicos. (Figura 2.2)

Algunas otras aplicaciones que resultan prometedoras de acuerdo a Kirck-Othmer (1969) son:

- adhesivos,
- plastificantes,
- plásticos,
- surfactantes,
- revestimiento de superficies.

Figura 2.2 Reacciones de la sacarosa (Chen, 1991).

Sacarosa	$\xrightarrow{\text{H}_2, \text{Ni}}$	Sorbitol manitol (100%).
Sacarosa	$\xrightarrow{\text{H}_2, 190-210^\circ\text{C}, 2000 \text{ psi}}$	Glicerol.
Sacarosa	$\xrightarrow{\text{H}_2, \text{NH}_3, 180-220^\circ\text{C}, 1200 \text{ psi}}$	2 metil piperizina (29%).
Sacarosa	$\xrightarrow{\text{NH}_3, \text{O}_2, \text{HCHO}, 100^\circ\text{C}}$	Hidroximetil imidazol.
Sacarosa	$\xrightarrow{\text{I}_2 \text{ o ácido oxálico}, 160^\circ\text{C}}$	5-hidroximetil fúrfural (23%).
Sacarosa	$\xrightarrow{\text{HCl}, \text{Br}^- , 180^\circ\text{C}}$	Ácido levulinico (70%).
Sacarosa	$\xrightarrow{\text{Ca}(\text{OH})_2, 230-250^\circ\text{C}}$	Ácido láctico (70%).
Sacarosa	$\xrightarrow{\text{HNO}_3, \text{V}_2\text{O}_5}$	Ácido oxálico. (85%).
Sacarosa	$\xrightarrow{\text{O}_2\text{OH}^-, \text{Pt}}$	Ácido arabónico (60%).
Sacarosa	$\xrightarrow{\text{H}^+, \text{O}_2, \text{oxidasa de glucosa}}$	Ácido fructosa glucónico (100%).

II.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE AZÚCAR.

ELABORACIÓN DE AZÚCAR DE TIPO ESTÁNDAR O TIPO CRUDO.

COSECHA.

La cosecha de azúcar de caña tiene por objetivo entregar al molino tallos de caña de buena calidad, la cual se ve afectada por los daños que sufra la caña misma, el aumento de basura en la entrega y por la demora de esta. Es conveniente eliminar las puntas y hojas de la caña, pues disminuye el rendimiento de azúcar, estas puntas se eliminan de manera efectiva con el corte a mano, el cual tiene además la ventaja de reducir el contenido de basura. La recolección mecánica presenta ventajas en cuanto al tiempo de recolección, pero incorpora mayor cantidad de basura en la caña recolectada.

Tabla 2.9 Composición promedio de la caña de azúcar (Chaux, 1992).

Fibra.	14 %
Agua.	70 %
Sacarosa (Pol).	13.3 %
Impurezas solubles.	2.7 %

Independientemente de la calidad de la caña al momento del corte, se inicia un rápido deterioro de la misma mediante los siguientes mecanismos:

procesos enzimáticos (la enzima invertasa convierte a la sacarosa en azúcares invertidos); procesos químicos (inversión causada por las condiciones ácidas que van en aumento conforme se deteriora la caña); procesos microbianos (causados principalmente por bacterias del género *Leuconostoc*).

La quema de la caña mejora su calidad al remover basura, sin embargo mientras más intenso sea el fuego mayores serán los daños.

Al recibir la caña en el ingenio esta es pesada, por lo general en grandes básculas de plataforma; como dispositivos de descarga se usan las grúas de pluma o de puente.

EXTRACCIÓN DEL JUGO.

El proceso de molienda se divide en dos partes, primero el rompimiento de estructuras duras, y después la verdadera molienda.

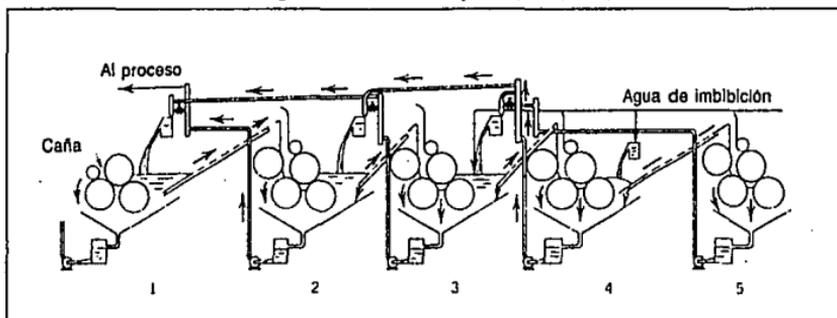
En primer lugar la caña se prepara para la molienda mediante:

- cuchillas giratorias que cortan los tallos en pedazos pequeños,
- desfibradoras que reducen la caña a fibras sin extraer el jugo,
- desmenuzadoras que quiebran y aplastan la caña además de extraer gran parte del jugo,
- una combinación de los métodos anteriores.

El molino consta de varias unidades que utilizan combinaciones de tres rodillos, a través de los cuales pasa la caña exprimida (bagazo).

Para conseguir una mayor extracción del jugo, se aplican aspersiones de agua o de jugo diluido sobre la capa de bagazo conforme sale de cada unidad de molienda para extraer azúcar por lixiviación (proceso conocido como imbibición, maceración o saturación).

Figura 2.3 Imbibición compuesta (Chen, 1991).



El bagazo final, que sale del último molino contiene el azúcar no extraído, fibra leñosa y aproximadamente un 50% de agua. Este bagazo se usa generalmente como combustible en las calderas, pero tiene otra gran variedad de usos.

Como se ha mencionado la basura que acompaña a la caña (hojas, puntas, tierra, etc.) afecta la eficiencia en la molienda y el rendimiento de azúcar (una reducción del 1% en la basura de la caña aumenta en un 3% el rendimiento total de la fábrica). La tierra además provoca serios problemas de desgaste en los rodillos del molino, bombas, tuberías y estaciones de clarificación.

Para la limpieza de la caña existen equipos que operan en "húmedo" o en "seco". En los primeros se aplica una lluvia de agua a presión sobre una cama de caña, el agua de desecho que arrastra la tierra y gran parte de la basura debe ser tratada para su recirculación o para su desalojo fuera de la planta. Los equipos de limpieza en seco operan con aire y presentan como ventajas el no tener pérdidas de azúcar (característica del lavado de caña con agua) y no generar una corriente importante de desechos, sin embargo deben de ser operados correctamente para evitar emisiones de partículas a la atmósfera.

La basura metálica puede eliminarse hasta en un 90% mediante separadores permanentes de tipo electromagnético, sin embargo su uso no está generalizado en México.

A partir de 1968 se reconoce al proceso de "Difusión de caña" como una alternativa viable para la extracción del jugo de caña.

Un tándem de molienda requiere de una gran cantidad de energía para extraer el jugo de la caña. Pero ya que parte del jugo extraído es recirculado al bagazo, la energía aplicada a esta parte del jugo se desperdicia. En la difusión este problema no existe, logrando una extracción con una mayor eficiencia energética. Además los costos de operación y mantenimiento son más atractivos en la difusión que en la molienda (Chen, 1991).

PURIFICACIÓN DEL JUGO: CLARIFICACIÓN Y CALENTAMIENTO.

Antes de la clarificación, el jugo que sale de los molinos (jugo mezclado), que es ácido (pH de 4.7 a 5.2) y turbio, se somete a un tamizado con el fin de eliminar la mayor cantidad posible de sólidos en suspensión, después de lo cual el jugo es pesado.

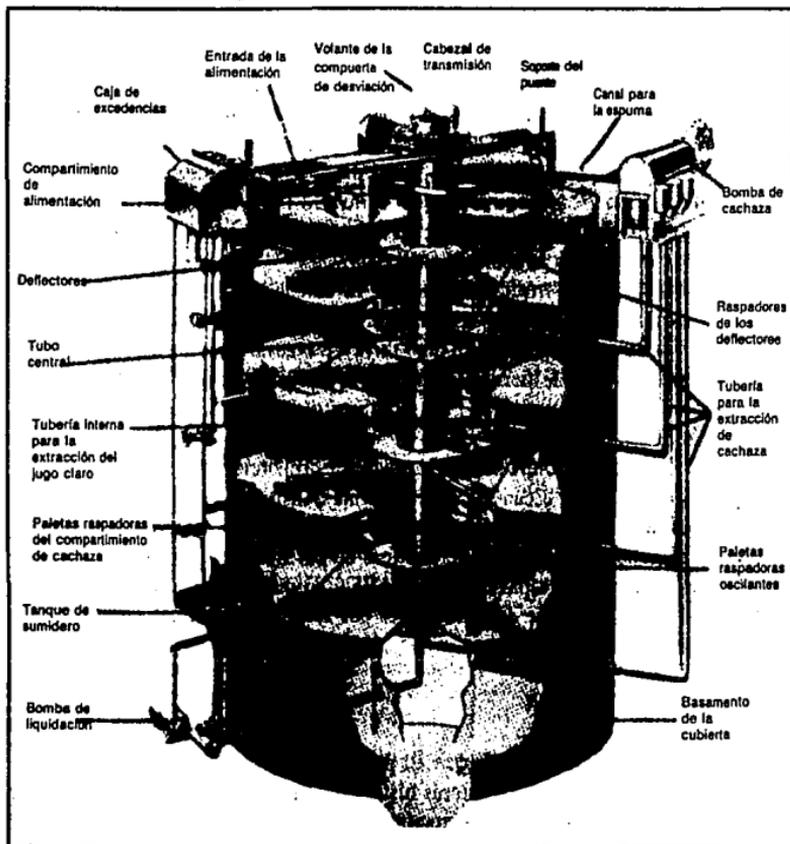
La clarificación remueve impurezas tanto solubles como insolubles, empleando cal, agentes clarificantes y calor. La lechada de cal, neutraliza la acidez del jugo, formando sales insolubles de calcio a un pH de aproximadamente 7. Se da un tiempo de reacción de aproximadamente 15 minutos después de los cuales se calienta el jugo alcalizado hasta su punto de ebullición o ligeramente arriba (90 a 115 °C), donde coagulan varios compuestos; el precipitado formado atrapa los sólidos en suspensión y las partículas más finas. Para el calentamiento del jugo se usan generalmente intercambiadores de calor de coraza y tubos, pero el uso de intercambiadores de placas ha demostrado alta eficiencia energética y operativa. Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación, la que se lleva a cabo en "clarificadores" continuos, para filtrarse posteriormente en cilindros rotatorios al vacío.

El jugo filtrado es recirculado al proceso antes de la adición de cal, o se une directamente con el jugo clarificado (lo cual no es recomendable); mientras que la torta de los filtros (cachaza) se usa generalmente como fertilizante en los campos. El lavado de la torta de los filtros con agua antes de su desalojo reduce las pérdidas de pol en la cachaza.

La clarificación con cal y calor es el método más antiguo que se conoce para la purificación del jugo, y en muchos sentidos es el más efectivo. Con una buena clarificación es posible conseguir una mejor operación en tachos, en centrifugación y en general en todas las etapas posteriores.

Es común el empleo de aditivos que ayudan a la clarificación, por ejemplo fosfatos solubles, polímeros floculantes, magnesia y otros más. En la operación de los clarificadores es importante contar con un tanque "flash" para la eliminación de agua en forma de vapor y de gases (aire y CO₂) antes de que entre el jugo, con el fin de evitar turbulencia que afecte la sedimentación; además es muy importante controlar el tiempo de reacción dentro del clarificador.

Figura 2.4 Clarificador Dorr-Oliver (Chen, 1991).



SULFITACIÓN.

El azúcar de consumo directo (azúcar estándar) se obtiene directamente del jugo de caña concentrado, sin el paso intermedio de la fabricación de un azúcar crudo que deba fundirse para su posterior refinación. Para la producción de estos azúcares se requiere de dióxido de azufre o de carbono además de cal, conociéndose como procesos de sulfitación y carbonatación respectivamente (en México se usa principalmente la sulfitación).

EVAPORACIÓN.

El jugo ya clarificado tiene aproximadamente la misma composición que el jugo extraído en los molinos (excepto las impurezas eliminadas en la purificación) y aproximadamente un 85% de agua. Dos terceras partes de esta agua se evaporan en "evaporadores al vacío de múltiple efecto", que constan generalmente de cuatro "cuerpos" en serie. El jarabe (meladura) sale en forma continua del último cuerpo con aproximadamente 65% de sólidos y 35% de agua.

Los vapores generados en cualquiera de los efectos de un evaporador pueden contener pequeñas gotas que lleven azúcar, lo que es siempre un inconveniente. Generalmente el vapor alimentado al primer y segundo efecto se usa después de su condensación como agua para alimentar a las calderas, mientras que el vapor condensado en el tercer y cuarto efecto se usa como agua de imbibición en molinos y en otros usos. El vapor que procede del último efecto se envía a un condensador barométrico cuya descarga puede arrastrar azúcar, lo que representa una pérdida monetaria y una descarga de contaminantes a las aguas receptoras. Esta descarga de contaminantes de los condensadores de paso único se ha convertido en un factor crítico para evaluar la operación de evaporadores y tachos al vacío.

El control de los arrastres se logra de dos formas:

- evitando el arrastre del líquido en los vapores generados (reducir la velocidad del vapor, lograr uniformidad en la velocidad de evaporación, presión absoluta, presión de vapor y nivel del líquido),
- separando el líquido arrastrado de la corriente de vapor (mediante separadores de arrastre).

Es además necesaria la detección de estos arrastres, que puede hacerse mediante la prueba de α -naftol (prueba cualitativa), o con algún detector automático.

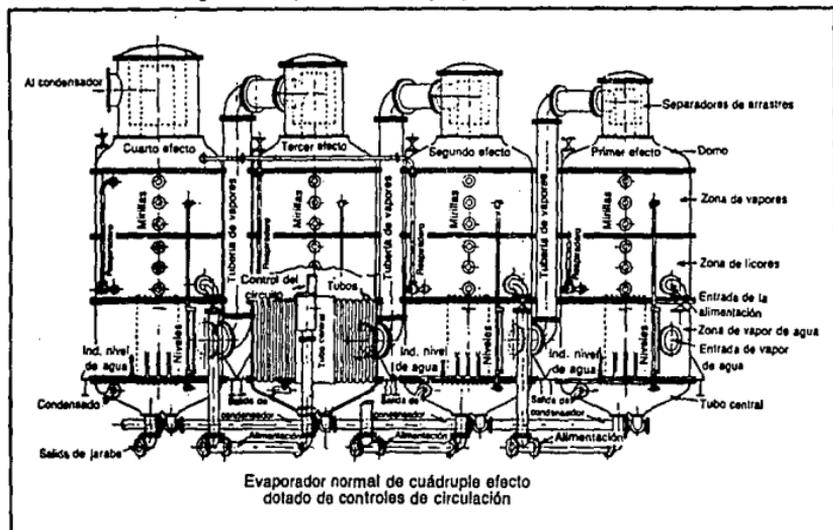
En la última década el costo de la energía se ha elevado de manera notable, estos aumentos han dado una mayor importancia a procurar eficiencia en las etapas de evaporación y cristalización que son los procesos que más energía consumen en la industria azucarera.

Al evaporar el agua contenida en el jugo las sales minerales se van depositando en el interior de los evaporadores formando una incrustación muy dura de tipo aislante, lo que requiere de una limpieza química periódica con sosa y ácido clorhídrico.

CLARIFICACIÓN DE LA MELADURA (OPCIONAL).

Se añade cal y ácido fosfórico al jugo que sale del último cuerpo del evaporador, después se aerea, calienta y adiciona un polímero floculante. A continuación el jarabe floculado se envía a un clarificador.

Figura 2.5 Evaporador de cuádruple efecto de calandria (Chen, 1991).



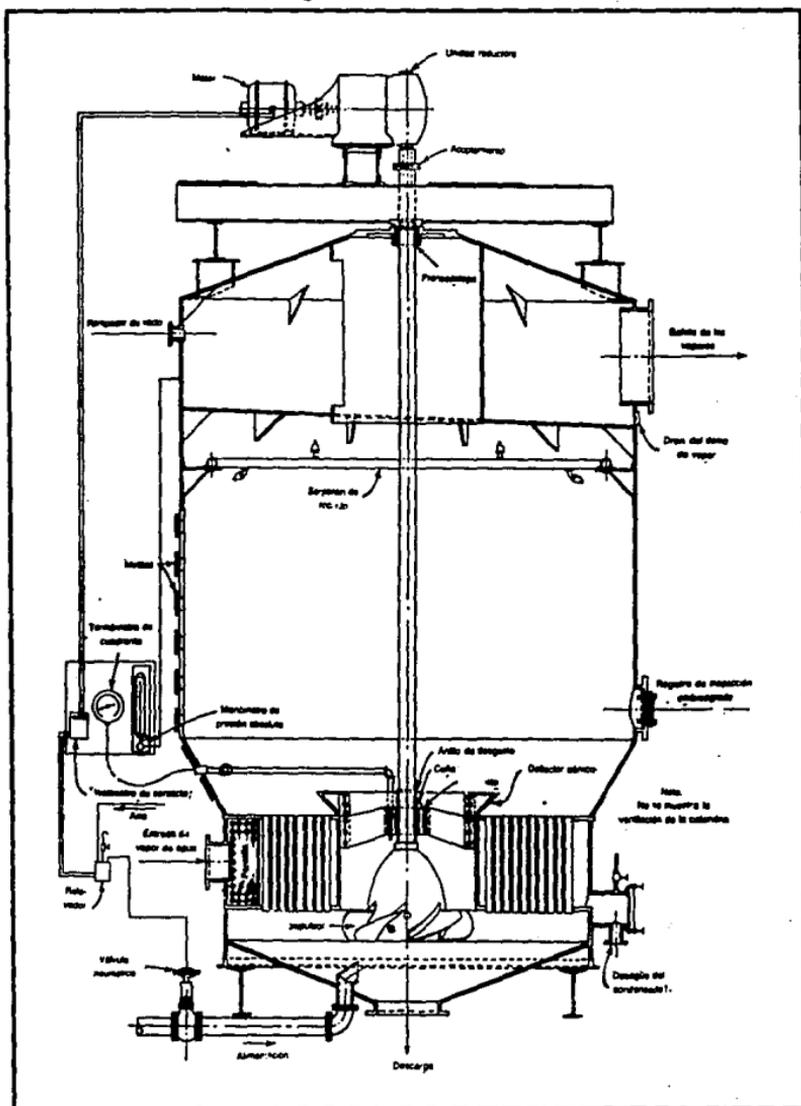
CRISTALIZACIÓN.

La cristalización se efectúa en evaporadores al vacío de simple efecto conocidos como "tachos", donde el jarabe se evapora hasta quedar saturado de azúcar. Entonces se añaden "semillas" que sirven de núcleos para los cristales de azúcar, al tiempo que se agrega más jarabe (Figura 2.6).

El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho, los cristales y el jarabe forman una masa densa conocida como "masa cocida", mientras que la "templa" (contenido del tacho) se descarga por medio de una válvula de pie a un "cristalizador".

Las aguas madres en las masa cocidas de baja pureza no pueden ser agotadas adecuadamente en los tachos, por ello después que la masa cocida se ha concentrado hasta la consistencia máxima posible en el tacho, se descarga al cristalizador donde prosigue la cristalización con agitación y enfriamiento lentos, hasta que las aguas madres se convierten en una miel considerablemente agotada.

Figura 2.6 Tacho con circulador.



CENTRIFUGACIÓN (PURGA).

La masa cocida que proviene del cristizador se lleva en primer lugar a un mezclador para impedir el asentamiento de los cristales, a continuación los cristales se separan de las mieles en máquinas giratorias conocidas como "centrifugas", que constan de un tambor cilíndrico suspendido de un eje y con paredes forradas en el interior con tela metálica

El tambor gira a velocidades de 1000-1800 r.p.m. mientras que los cristales de azúcar quedan retenidos por el revestimiento perforado. Las máquinas modernas son del tipo de alta velocidad, batch o continuas, provistas de control automático en todo el ciclo y de un sistema de lavado de los cristales. La miel final es un material denso y viscoso que contiene aproximadamente una tercera parte de sacarosa, una quinta parte de azúcares reductores y el resto de ceniza, compuestos orgánicos, no azúcares y agua (Figura 2.7).

El azúcar estándar o cruda se envía al área de secado por medio de transportadores que pueden ser del tipo de gusano, bandas sin fin cubiertas de hule o transportadores vibratorios.

Como etapas finales en la fabricación de azúcar crudo se encuentran las siguientes:

SECADO Y ENFRIADO con aire (por ejemplo con el secador Roto-Louvre), aunque el uso de lechos fluidizados ofrece mayores ventajas.

CRIBADO de partículas gruesas o basura, e inclusive el uso de magnetos para separar partículas metálicas.

EMPAQUE de azúcar en costales o a granel.

ALMACENAMIENTO.

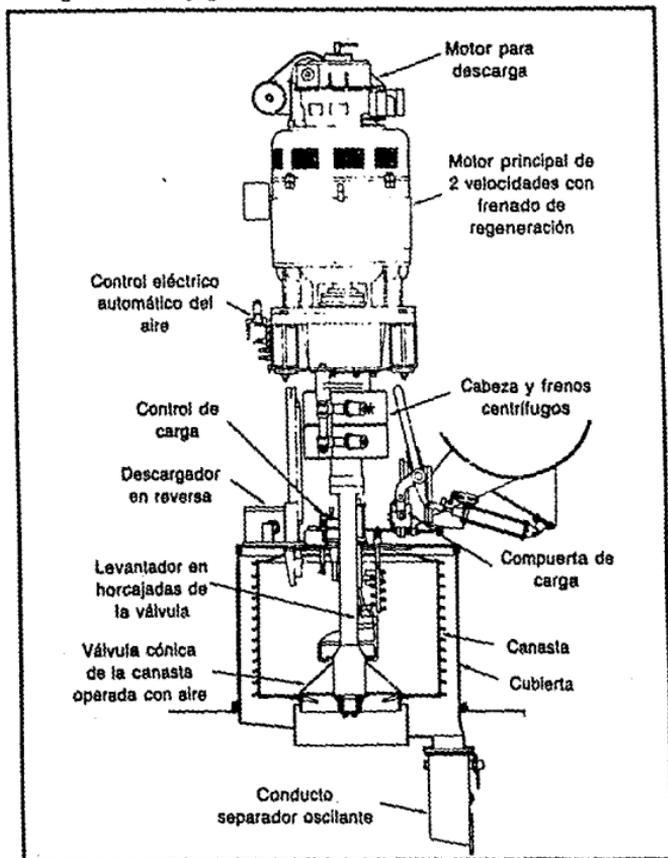
En la figura 2.9 se muestra el resumen del proceso de elaboración de azúcar blanco estándar.

GENERACIÓN DE VAPOR.

En los ingenios azucareros se cuenta con calderas de combustión de bagazo y de algún otro combustible auxiliar (por ejemplo combustóleo) para la generación del vapor necesario en el movimiento de equipos y en las etapas de calentamiento. Hugot indica que en una fábrica de azúcar se requieren entre 453 y 771 kg de vapor por tonelada de caña, equivalente a 0.2-0.34 toneladas de bagazo/tonelada de caña y que debe existir un exceso de bagazo de aproximadamente 0.06 toneladas de bagazo/tonelada de caña.

En términos generales, del vapor generado se usa de un 10 a un 12% para la generación de potencia, 70 a 78% con fines de evaporación, 1.2 a 3.3% como pérdidas de calor, 0.1 a 7.3% en usos generales, 9.7 a 13% como pérdida en los condensados (Chen, 1991).

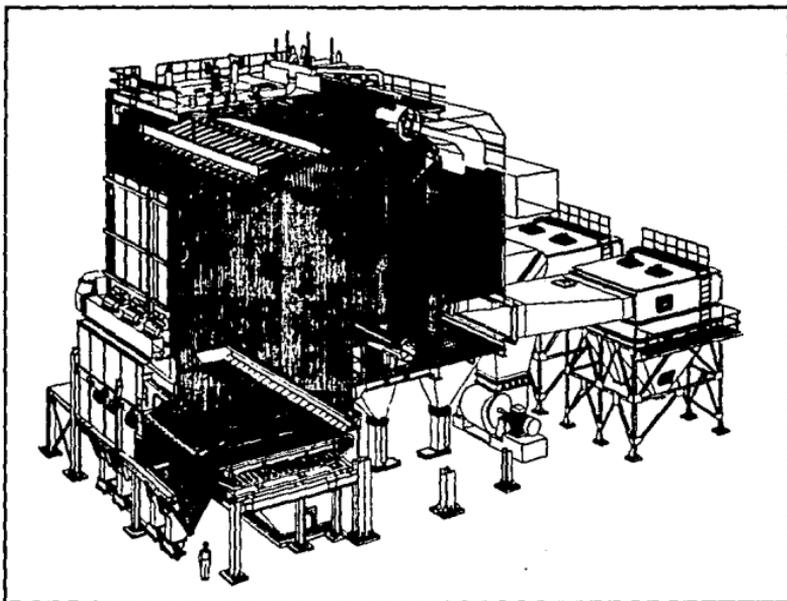
Figura 2.7 Centrifuga intermitente totalmente automatizada (Chen, 1991).



La tendencia actual es instalar calderas con capacidades cada vez mayores, y que además generen vapor de mayor presión (Alvarado, 1993).

La introducción de alimentadores esparcidos de bagazo en las calderas representa uno de los adelantos más notables en los últimos años para la combustión del bagazo. Por otra parte, la instalación de precalentadores de aire y de agua, de economizadores y deaeradores representa una fuente importante de ahorro de energía.

Figura 2.8 Caldera alimentada con bagazo (Chen, 1991).



GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

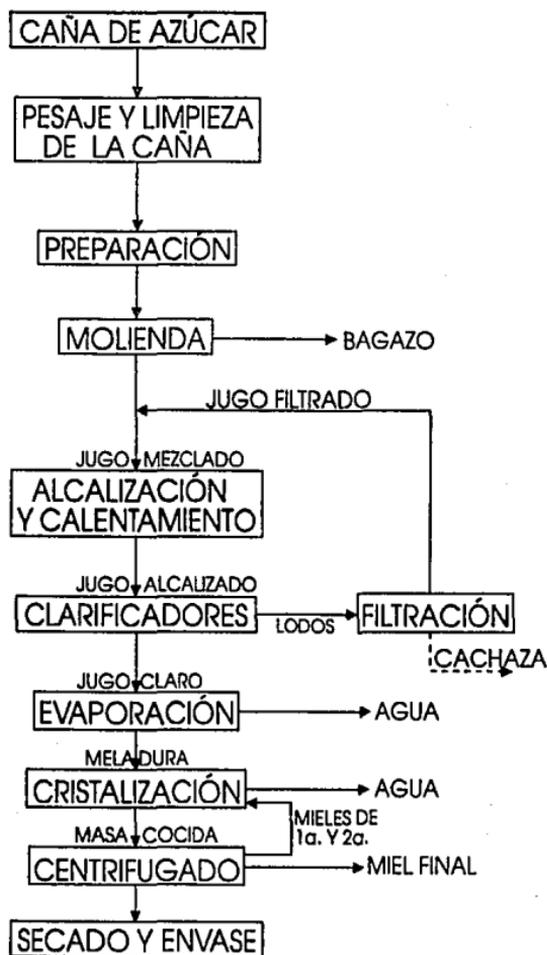
La combustión del bagazo para generar vapor en ingenios azucareros, y el uso de este vapor en turbinas es una práctica común en la industria azucarera. La generación conjunta de energía eléctrica y térmica, conocida como "cogeneración", ha sido usada desde hace mucho tiempo (si bien de manera no totalmente eficiente) en los ingenios para sustituir el consumo de la Comisión Federal de Electricidad y generar el vapor necesario en planta.

El interés actual es lograr la autosuficiencia en energía eléctrica, y estar en posibilidades de vender electricidad a otras industrias o a la población, lo que requiere la instalación de sistemas más eficientes, tales como calderas de alta presión, turbinas y turbogeneradores de alta eficiencia y un aprovechamiento óptimo de la energía dentro de la planta.

Para la generación de energía eléctrica generalmente se usa alguna de las siguientes opciones:

- a) Generación de electricidad por medio de un turbogenerador de condensación de vapor.
- b) Generación de energía eléctrica con turbinas de gas.

Figura 2.9 Diagrama de bloques de la elaboración de azúcar blanco estándar (Caballero, 1988)



REFINACIÓN DEL AZÚCAR.

La refinación del azúcar de caña requiere de grandes instalaciones y consta de 6 o 7 pasos aparentemente sencillos, pero que en la práctica resultan complicados (Figura 2.10).

AFINACIÓN.

Se elimina la película de mieles que está adherida a la superficie de los cristales del azúcar sin refinar. La miel de afinación es un subproducto que por lo general se envía a los tachos para ser agotada.

DISOLUCIÓN.

El azúcar lavado se disuelve en aproximadamente la mitad de su peso en agua en un tanque conocido como "fundidor", el cual cuenta con un dispositivo mezclador.

CLARIFICACIÓN.

El licor que sale del tanque de fundición contiene material insoluble como bagacillo, arcilla, arena y partículas finas suspendidas. La clarificación consiste en tratar el licor o los lavados de crudo con sustancias (ácido fosfórico y cal o bióxido de carbono y cal) y con calor para remover impurezas solubles y coloides.

FILTRACIÓN.

Tiene por objeto separar el precipitado de fosfato de calcio del licor. Existen varios métodos como la filtración a presión, filtración a presión con fosfatos, clarificadores tipo Williamson y clarificadores de espuma.

DECOLORACIÓN.

Es una operación de máxima importancia en la refinación del azúcar, el color es a menudo especificado por los consumidores del azúcar, y es por ello que constituye uno de los principales controles en toda refinería. La decoloración además del color remueve materiales coloidales, no azúcares orgánicos y compuestos inorgánicos que forman cenizas.

CRISTALIZACIÓN.

El licor resultante del proceso de decoloración llega a los tanques de almacenamiento de los tachos de refinado, claro como el agua, donde se concentra hasta la saturación.

CENTRIFUGADO.

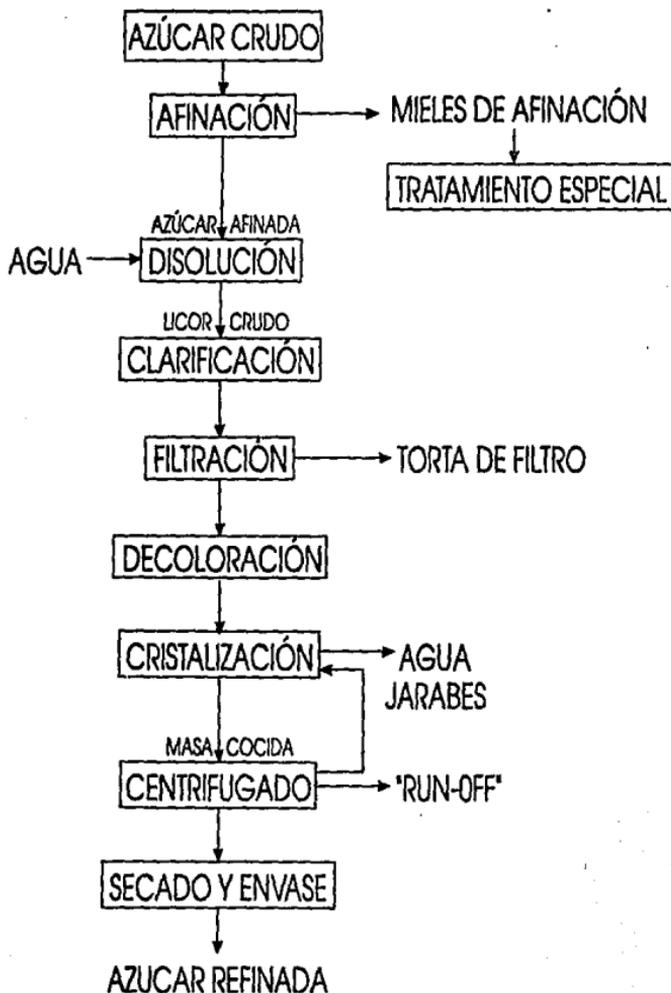
La separación de los cristales y del jarabe de las masas cocidas se realiza en máquinas centrífugas similares a las de las fábricas de azúcar estándar. Los azúcares blancos obtenidos se lavan cuidadosamente usando agua caliente para remover el jarabe adherido.

SECADO.

En las refinerías modernas se usa aire lavado y filtrado para evitar la entrada de polvo y microorganismos al azúcar.

El secado en lecho fluidizado ha ganado popularidad (no en México) gracias a su alta eficiencia con un menor consumo de energía y un requerimiento de espacio menor.

Figura 2.10 Diagrama de bloques de la refinación de azúcar (Caballero, 1988).



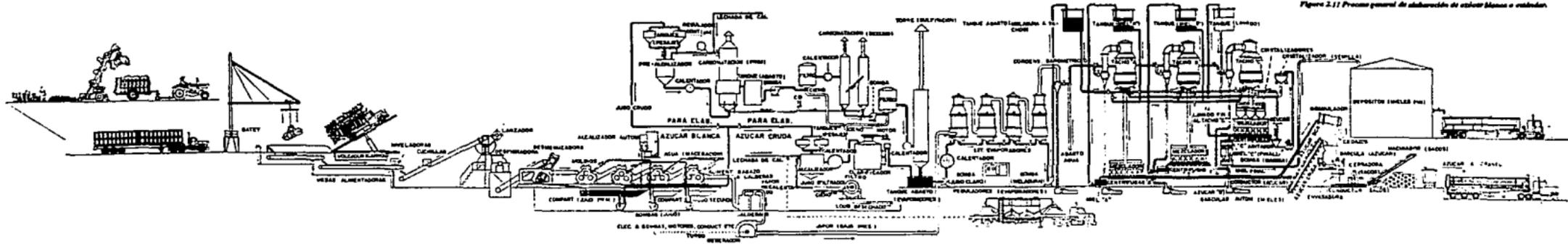


Figura 2.17 Proceso general de elaboración de azúcar blanco o candado.

II.3 ANÁLISIS AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

Resulta conveniente estudiar por separado los contaminantes generados por una industria como se indica a continuación:

- Descargas líquidas a cuerpos receptores.
- Emisiones gaseosas o particuladas.
- Residuos sólidos.

II.3.1 EFLUENTES LÍQUIDOS.

INTRODUCCIÓN.

Una tonelada de caña en campo se transforma aproximadamente en los siguientes productos:

350 kg de bagazo	35%
100 kg de azúcar	10%
60 kg de ceniza y tizne	6%
40 kg de miel final	4%
40 kg de cachaza	4%
100 kg de puntas de caña	10%
310 kg de agua evaporada	31%

Para la clasificación de los contaminantes del agua existen dos criterios (Elizondo, 1993):

- por su tamaño de partícula (partículas suspendidas, partículas coloidales y materia disuelta),
- por su naturaleza (biológicos, químicos inorgánicos, químicos orgánicos, pesticidas y contaminantes radiactivos).

Debe tomarse en cuenta que ningún cuerpo de agua puede considerarse como puro y que muchas de las impurezas presentes no pueden ser catalogadas como contaminantes, ya que esto depende de la concentración y naturaleza de las sustancias extrañas.

La demanda de agua en la industria puede clasificarse de dos formas:

- de acuerdo con el uso asignado,
- de acuerdo al tipo de industria que la demanda.

En el sector azucarero el empleo de agua se encuentra dividido aproximadamente en 51% para enfriamiento, 40% para proceso, 4% en calderas y 4.5% en usos generales.

El índice de consumo de agua en la industria azucarera puede establecerse en relación a la cantidad de caña molida o a la producción de azúcar alcanzada, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 2.10 Demanda y descarga nacionales de agua en la producción de azúcar (Azúcar S.A., 1984).

	Índice	Azúcar crudo	Azúcar estándar	Azúcar refinada	Promedio
Demanda	m ³ agua/ton de azúcar	328	216.8	341.2	294
	m ³ agua/ton de caña molida	29.86	16	18.2	19.8
Descarga	m ³ agua/ton de azúcar	330	196	224	239
	m ³ agua/ton de caña molida	30	15.6	19.6	29.1

Con base en los índices mostrados se estima que durante la zafra 1992/1993 se tuvo un consumo aproximado de agua de 1,200 millones de metros cúbicos y una descarga directa a cuerpos receptores de 973 millones de metros cúbicos.

Los ingenios tienen una gran necesidad de agua, de la cual se emplea la mayor parte en los condensadores barométricos de evaporadores y tachos, y para el lavado de caña. Otras operaciones con alto consumo de agua son: imbibición, reposición de agua para las calderas, lavado de la torta de cachaza, lavado de gases de chimenea, lavado de pisos, cuerpos y calandrias de evaporadores y tachos, y enfriamiento de chumaceras de molinos. (Figura 2.12)

La industria azucarera nacional carece en su gran mayoría de un control efectivo en las descargas de sus aguas residuales, y los sistemas rudimentarios que existen actualmente carecen de un control adecuado por parte de las autoridades de las empresas.

Los desechos líquidos que genera esta industria son en su mayoría de carácter orgánico y por tanto biodegradables, por lo que resultan apropiados los sistemas de tratamiento biológico.

Figura 2.12 Diagrama de efluentes que provienen de un ingenio que fabrica azúcar blanco estándar (Caballero, 1988).



MARCO LEGAL.

En el Diario Oficial de la Federación del 28 de Junio de 1993 se emite el: "Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-PA-CCA-002/93, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria productora de azúcar de caña".

A continuación se muestra un resumen del citado proyecto:

5.- ESPECIFICACIONES.

5.1 Las fuentes fijas a que se refiere esta norma deben cumplir con:

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

PARÁMETROS	Promedio diario.	Instantáneo.
pH (unidades de pH)	6 - 9	6 - 9
DBO (mg/l)	60	72
Sólidos sedimentables (ml/l).	1	1.2
Grasas y aceites (mg/l)	20	24

5.2 Los límites máximos permisibles de coliformes totales medidos como número más probable por cada 100 ml son:

5.2.1 1,000 como límite promedio diario y como límite instantáneo cuando se permita el escurrimiento de las aguas residuales de servicios o su descarga a un cuerpo de agua, mezcladas o no con las aguas residuales del proceso industrial. Sin límite en el caso de que las aguas residuales de servicios se descarguen separadamente y el proceso para su depuración prevea su infiltración en el terreno, de manera que no se cause un efecto adverso en los cuerpos receptores.

5.3 Condiciones particulares de descarga.

En el caso de que se identifiquen descargas que a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en esta norma causen efectos negativos en el cuerpo receptor, la SARH a través de la Comisión Nacional del Agua, fijará condiciones particulares de descarga para señalar límites máximos permisibles más estrictos de los parámetros siguientes: Temperatura, Cloro libre y Demanda química de oxígeno.

6.- MUESTREO.

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga.	Número de muestras.	Intervalo entre toma de muestras simples.	
		Mín.	Máx.
Hasta 8.	4	1	2
Más de 8 y hasta 12.	4	2	3
Más de 12 y hasta 18.	6	2	3
Más de 18 y hasta 24.	6	3	4

8.- VIGILANCIA.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos por conducto de la Comisión Nacional del Agua, es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma.

9.- SANCIONES.

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente, la ley de Aguas Nacionales y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

11.- CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES.

11.1 Esta norma oficial mexicana coincide parcialmente con las normas; Sugar Processing. Raw cane Processing -EPA 440/1-75-044. Beet-EPA 440/1-74-0026 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América.

12.- VIGENCIA.

12.1 La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

12.2 Se abroga el acuerdo por el que se expidió la norma técnica ecológica NTE-CCA-002/88 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 4 de Agosto de 1988.

Resulta curioso que el proyecto de norma oficial que se propone es prácticamente igual a la norma anterior, la cual a decir de los propios industriales fue y seguirá siendo "imposible de cumplir con la tecnología actual", principalmente en el caso de la DBO y de los sólidos sedimentables.

En la Ley de Aguas Nacionales, artículo 112, se establece que la explotación o aprovechamiento de aguas nacionales motivará el pago de las cuotas que establece la Ley Federal de Derechos; al igual que el uso de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de descargas de aguas residuales. Este pago es independiente del cumplimiento de la Ley General Del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

De acuerdo a la división del país en "Zonas de disponibilidad" (artículo 231) el cobro se hace como se indica a continuación (artículo 223):

- en la zona 1 se incrementa en un 75% el último trimestre que se haya pagado del año anterior, pero en ningún caso la cuota actual debe ser menor a 1.3 NS/m³,
- en la zona de disponibilidad 2: 0.9 ¢/m³,
- en la zona de disponibilidad 3: 0.32 ¢/m³,
- en la zona de disponibilidad 4: 0.24 ¢/m³.

Para efectos del artículo 223, el pago de derechos por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales que se utilicen en los ingenios azucareros, corresponderá al 60% de las cuotas establecidas en dicho artículo para las zonas de disponibilidad 2, 3 y 4.

El 1ro. de Octubre de 1991 entró en vigor el "Derecho por uso o Aprovechamiento de Bienes del Dominio Público de la Nación como Cuerpos Receptores de las descargas de Aguas Residuales".

- Pagarán este derecho las personas físicas o morales que descarguen aguas residuales con concentraciones de contaminantes por arriba de las normas establecidas.

- El contribuyente deberá tener un permiso de descarga de aguas residuales y solicitar su registro de descarga de aguas residuales (Anexo III).

- Para conocer la masa de contaminantes, el contribuyente debe determinar las concentraciones promedio de DQO y SST. A las concentraciones resultantes se le restarán las permisibles y el resultado se multiplicará por el volumen descargado durante el mes.

- Las concentraciones permisibles de DQO y SST, cuando no exista N.O.M. y/o condiciones particulares se indican en los artículos 278, 280 y 281 de la Ley Federal de Derechos.

- La Ley Federal de Derechos permite a los contribuyentes optar por el pago de este derecho calculándolo mediante el proceso de aplicación general o por el procedimiento simplificado (Figura 2.13).

- El pago por el desalajo de efluentes es el siguiente (vigente durante 1993):

I. Por metro cúbico de descarga de agua residual:

Zona de disponibilidad 1.	NS 0.5083
Zona de disponibilidad 2.	NS 0.1270
Zona de disponibilidad 3.	NS 0.0508
Zona de disponibilidad 4.	NS 0.0253

II. Por contaminante en el agua descargada:

a) Por kilogramo de demanda química de oxígeno en la descarga:

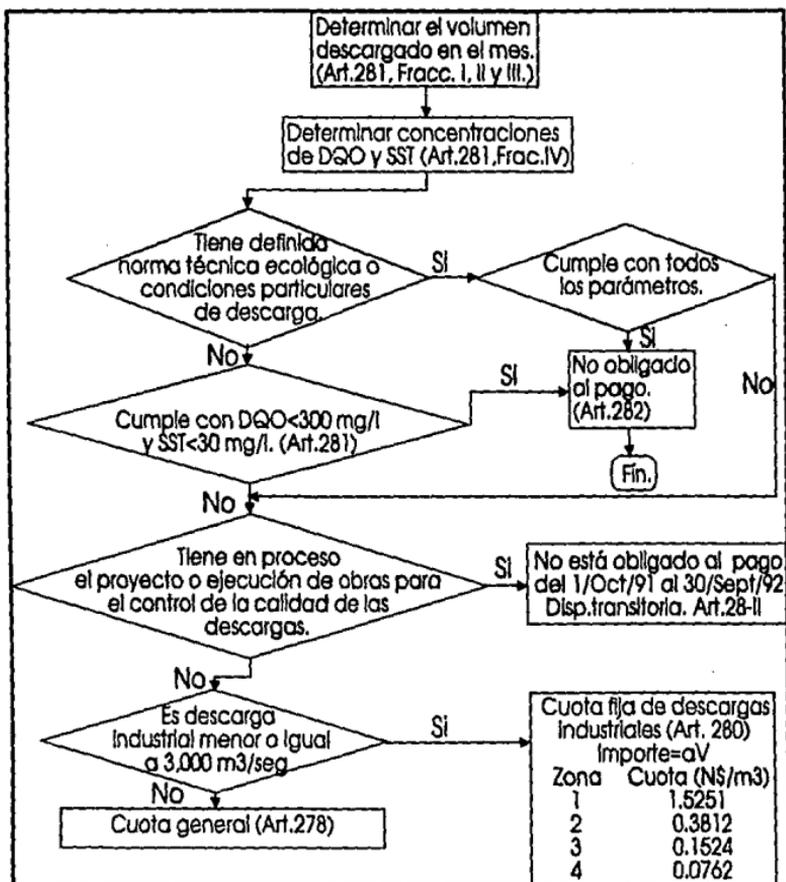
Zona de disponibilidad 1.	NS 0.3304
Zona de disponibilidad 2.	NS 0.0825
Zona de disponibilidad 3.	NS 0.0330
Zona de disponibilidad 4.	NS 0.0165

b) Por kilogramo de sólidos suspendidos totales en la descarga:

Zona de disponibilidad 1.	NS 0.5846
Zona de disponibilidad 2.	NS 0.1461
Zona de disponibilidad 3.	NS 0.0584
Zona de disponibilidad 4.	NS 0.0292

Cabe mencionar que en la "Ley Nacional de Aguas 1993" se indica que de no contar con un permiso para la descarga de aguas residuales puede ocurrir una suspensión de las actividades de la fábrica, o una multa de 500 a 10,000 salarios mínimos (artículo 120).

Figura 2.13 Diagrama de flujo para la determinación del importe por el derecho de descarga de aguas residuales (C.N.A., 1993).



En lo que respecta al uso de aguas residuales provenientes de la industria para uso agrícola, se encuentra la norma NTE-CCA-032/91 que establece los límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes en las aguas residuales para su disposición mediante riego agrícola (Diario Oficial, 24 Sept 1993).

<i>Parámetros físicos y químicos.</i>	<i>Niveles máximos permisibles.</i>
pH	6.5 a 8.5
Conductividad eléctrica (mmhos/cm).	2000
Aluminio (mg/l).	0.2
Arsénico (mg/l).	0.1
Cadmio (mg/l).	0.01
Cianuro (mg/l).	0.02
Cobre (mg/l).	0.2
Cromo (mg/l).	0.01
Hierro (mg/l).	5.0
Fluoruros (mg/l).	1.0
Manganeso (mg/l).	0.02
Níquel (mg/l).	0.05
Plomo (mg/l).	0.5
Zinc (mg/l).	2.0

En caso de ser necesario se establece que las condiciones particulares de descarga podrán señalar límites permisibles más estrictos para los parámetros ya mencionados, y en su caso aplicar otros más, por ejemplo acrilonitrilo, acroleína, coliformes fecales, compuestos alifáticos, DBO, ésteres, fósforo, grasas y aceites, metales pesados, nitrógeno total, plaguicidas y temperatura.

Puede concluirse que la legislación existente en nuestro país en materia de efluentes líquidos provenientes de la industria azucarera resulta incompleta, inadecuada y en ocasiones contradictoria. Incompleta en el sentido de que su aplicación no asegura que el daño ambiental que se pretende evitar sea el mínimo posible (principalmente en el caso del riego de cultivos con agua residual), inadecuada debido a que los parámetros que se proponen en la NOM-PA-CCA-002/93 se encuentran totalmente fuera de la realidad nacional, y contradictoria por las evidentes diferencias en cuanto a criterios y parámetros que propone SEDESOL por un lado y CNA por el otro. Todo lo anterior aunado a la situación que prevalece en el sector azucarero, y a la falta de una conciencia ambiental definida, da por resultado que esta industria no se encuentre cumpliendo con la legislación que en materia de efluentes líquidos existe actualmente.

PARÁMETROS AMBIENTALES DE LAS AGUAS RESIDUALES.**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, PRUEBA DE 5 DÍAS (DBO5).**

Mide la capacidad de consumo de oxígeno de la materia orgánica presente en un cierto efluente, y que es la cantidad requerida para lograr la descomposición de la misma (prueba de 5 días), se expresa en partes por millón o miligramos por litro. Su determinación se efectúa conforme a la norma mexicana NMX-AA-28.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).

Se usa para medir la cantidad total de oxígeno necesaria para la oxidación de la materia orgánica. Es posible correlacionar experimentalmente la DQO con la DBO para muchos tipos de desecho, lo que es muy útil, debido a que la DQO se determina en 3 horas mientras que la DBO requiere de 5 días. Su determinación se efectúa conforme a la norma mexicana NMX-AA-30.

OXÍGENO DISUELTO.

Parámetro de la calidad del agua que indica si la concentración de oxígeno es la adecuada para que los organismos acuáticos se mantengan en buen estado.

TEMPERATURA.

Constituye un regulador muy importante de los procesos naturales del medio acuático. Los microorganismos se ven afectados cuando la temperatura se aproxima a los 32 °C, además el oxígeno disuelto disminuye con el aumento de temperatura. Su determinación se hace conforme a la norma mexicana NMX-AA-7.

pH, ACIDEZ Y ALCALINIDAD.

Cambios extremos de pH pueden alterar el equilibrio fisiológico o destruir directamente la vida acuática. Su determinación se efectúa conforme a la norma mexicana NMX-AA-8.

SÓLIDOS.

Los sólidos totales son la suma de los sólidos suspendidos totales y los sólidos disueltos.

Los sólidos suspendidos totales (S.S.T.) están constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pase a través del filtro estándar de fibra de vidrio. Los S.S.T. son desagradables a simple vista, pero cuando se asientan en el lecho de un lago son más perjudiciales, pues forman depósitos de lodo que destruyen la fauna del fondo. Si estos depósitos contienen materia orgánica pueden agotar el oxígeno del lecho y producir gases nocivos.

Los sólidos disueltos (que en realidad no están totalmente disueltos) son aquellos que pasan a través de la capa filtrante de asbesto en un crisol Gooch.

Los sólidos sedimentables son los que se encuentran en suspensión y que después se depositan por la acción de la gravedad. Su determinación se efectúa conforme a la norma mexicana NMX-AA-34.

CONDUCTIVIDAD.

Es la capacidad del agua para transmitir la corriente eléctrica y depende de la naturaleza y concentración total de sustancias ionizadas contenidas, así como de la temperatura.

GRASAS Y ACEITES.

Son principalmente aceites, grasas, ceras, ésteres simples y otros compuestos de la misma categoría.

Las grasas y aceites en cuerpos de agua dificultan la reaeración natural de la misma, son tóxicas a ciertas especies de peces, pueden provocar incendios cuando están presentes en grandes cantidades, impiden el uso del agua para alimentar las calderas o sistemas de enfriamiento y provocan dificultades operativas en los sistemas de tratamiento. Su determinación se hace conforme a la norma mexicana NMX-AA-5.

COLIFORMES (NÚMERO MÁS PROBABLE BACTERIOLÓGICO, NMP).

El NMP es un medio para estimar la densidad probable de los organismos coliformes en el agua, y por lo tanto para establecer su calidad sanitaria.

Organismos coliformes. Son los organismos aerobios, anaerobios, facultativos y Gram-negativos, no esporulados que muestran crecimiento ya sea a 32 o a 37 °C en un medio de cultivo líquido lactoso con producción de ácido y gas dentro de un período de 40 horas.

Organismos coliformes fecales (termotolerantes). Organismos coliformes como se describen en el punto anterior y que tienen las mismas propiedades fermentativas a 44°C.

Su determinación se hace conforme a la norma mexicana NMX-AA-42.

DESCRIPCIÓN DE EFLUENTES, TRATAMIENTO O APROVECHAMIENTO.

En un ingenio azucarero si se considera una cantidad Q de caña, se requiere aproximadamente una cantidad de agua de 20Q en su procesamiento, la que puede reducirse hasta 0.9Q con un sistema de recuperación total de agua recirculable y hasta 1.3Q con una recuperación parcial (Chaux, 1992).

Tabla 2.11 Características generales de algunos efluentes de ingenios (Azúcar S.A., 1984).

<i>Efluente.</i>	<i>Principal contaminante.</i>
Servicio sanitario.	DBO, Sólidos sedimentables, bacterias coliformes.
Lavados ácidos y alcalinos.	pH
Agua de enfriamiento de molinos y lavado de pisos.	Grasas y aceite.
Cachaza.	DBO
Cenizas y purgas de calderas.	Sólidos sedimentables, pH
Agua de condensadores.	Temperatura, DBO.

Tabla 2.12 Demanda de oxígeno en efluentes de ingenios azucareros (Chaux, 1992).

Efluente.	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)
Agua de lavado de caña.	300 a 1,500	450 a 8,000
Agua de condensadores barométricos.	50 a 200	100 a 400
Lodo de filtros de cachaza.	2,900 a 10,000	6,000 a 20,000
Agua de lavado de pisos.	3,000 a 5,000	6,000 a 10,000

Tabla 2.13 Demanda de oxígeno en efluentes de refinерías de azúcar (Chaux, 1992).

Efluente.	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)
Lodo de filtros.	730	1,200 a 1,400
Carbonatación.	750 a 1,200	1,200 a 2,400
Agua de lavado de camiones.	15,000 a 18,000	22,000 a 36,000

CACHAZA.

Consiste en lodos formados por las impurezas de la caña, aniones inorgánicos y orgánicos que precipitan en la clarificación, además de arena y tierra.

Tabla 2.14 Composición típica de la cachaza.

	% Base seca.
Fibra	15-30
Azúcares	5-15
Proteínas (N x 6.25)	5-15
Cenizas	9-20
SiO ₂	4-10
CaO	1-4
P ₂ O ₅	1-3
MgO	0.5-1.5
Cera	2-5

La cantidad de cachaza que se produce en un ingenio varía de un 3 a un 10% en peso en relación a la caña molida.

Posibles aplicaciones de la cachaza:

- aplicaciones agrícolas

(compostear previamente la cachaza aumenta considerablemente su acción mejoradora beneficiando a la planta casi en el momento mismo de su aplicación),

- suplemento de alimento para animales,
- fabricación de cera de la caña de azúcar.

En México la cachaza se dispone de diversas maneras; se incorpora a sistemas de riego, en forma sólida se aplica directamente a los suelos cañeros, en algunos ingenios se envía la cachaza licuada a fosas de oxidación. En el ingenio Alvaro Obregón, en el estado de Quintana Roo, se construyó la primer planta de abono orgánico a partir de la cachaza y excedentes de bagazo, pero posteriormente se abandonó el proyecto (Caballero, 1988).

MIEL FINAL.

Conocida también como "melaza", es un subproducto de la fabricación o la refinación de azúcar estándar, siendo un líquido denso y viscoso que se separa de la masa cocida final de bajo grado después de haber agotado esta por sucesivas cristalizaciones, cuando ya no es posible cristalizar azúcar adicional mediante los métodos convencionales.

En este residuo se acumulan los no azúcares del jugo de la caña y cantidades apreciables de azúcares monosacáridos originales de la caña (glucosa y fructosa), además de los que se hayan formado por inversión de la sacarosa durante el proceso.

Tabla 2.15 Composición típica de la miel final (Caballero, 1988).

<i>Agua</i>			20%
<i>Constituyentes orgánicos:</i>			
<i>Azúcares:</i>	<i>Sacarosa</i>	32%	62%
	<i>Glucosa</i>	14%	
	<i>Fructuosa</i>	16%	
<i>No azúcares:</i>	<i>Materia nitrogenada, ácidos orgánicos libres y combinados, sustancias gomosas solubles.</i>		10%
<i>Constituyentes inorgánicos (cenizas)</i>			8%
<i>Total</i>			100%

Se obtienen entre 27 y 40 kg de miel final por tonelada de caña, esta miel es almacenada antes de ser conducida fuera del ingenio. El almacenamiento debe de cumplir con medidas de seguridad para evitar su autodestrucción espontánea, que la convierte súbita y violentamente en una masa sólida carbonizada que puede llegar a explotar.

La miel final tiene una gran cantidad de aplicaciones, entre las que destacan:

- alimento para ganado,
- producción de ron,

- producción de alcohol

(un subproducto valioso de la fermentación de la miel final es la "levadura agotada", pero existen muy pocas destilerías en México con el equipo necesario para recuperarla; el etanol puede utilizarse como combustible, como disolvente o como un producto intermedio, existiendo más de 70 productos químicos orgánicos que se han derivado del etanol; debe remarcarse la importancia del manejo de los residuos de la fermentación en la fabricación de alcohol, cuyo volumen es de 8 a 13 veces el volumen de alcohol producido),

- levadura comprimida,

- productos químicos orgánicos

(la miel puede fermentarse para producir compuestos como el ácido cítrico, acetona y butanol, glicerol, levadura, ácido itacónico, ácido glutámico y L - lisina, mientras que la producción de ácido láctico no se ha adoptado ampliamente).

En México se aprovecha la mayor parte de la miel final en la fabricación de alcohol y para la fabricación de alimento para ganado (aproximadamente un 50% del total de miel final del país), en menor grado se utiliza para la fabricación de L-lisina y ácido glutámico; el resto se vende en el extranjero, en lugar de aprovecharlo elaborando un producto de mayor valor agregado.

ACEITE "FUSEL".

Durante la fermentación alcohólica se forman, como productos secundarios, varios alcoholes superiores que en conjunto se conocen como "aceite Fusel", que se separan durante la destilación.

Tabla 2.16 Composición aproximada del aceite Fusel, (Caballero, 1988).

Alcohol etílico.	5.0 %
Alcohol n-propílico.	12.5 %
Alcohol isobutílico.	15.0 %
Alcohol amílico e isoamílico.	62.5 %
Residuo (punto de ebullición superior a 140 °C).	5.0 %

El aceite Fusel se produce a razón de 1.1 litros por tonelada de miel final fermentada, tiene valor comercial como solvente de lacas, por lo que puede venderse sin problemas. Sin embargo, errores administrativos o de proceso pueden hacer necesario desecharlo antes de iniciar la siguiente elaboración de alcohol. Esta práctica resulta muy peligrosa, puesto que el aceite Fusel además de tóxico es inflamable (Caballero, 1988).

VINAZAS.

La vinaza es un residuo de la fabricación de alcohol con elevado poder contaminante, el volumen de vinazas generado es de 8 a 13 veces el volumen de alcohol producido.

Tabla 2.17 Composición aproximada de la vinaza, base seca (Caballero, 1988).

<i>Sustancia.</i>	<i>Por ciento.</i>
Materia mineral.	29.0 %
Azúcares reductores.	11.0 %
Proteínas.	9.0 %
Ácidos volátiles.	1.5 %
Gomas.	21.0 %
Ácido láctico combinado.	4.5 %
Otros ácidos orgánicos:	
combinados.	1.5 %
glicerina.	5.5 %
varios (cera fenoles lignina etc.).	17.0 %

Para el tratamiento o reducción de la vinaza generada existen las siguientes técnicas:

- recirculación de la vinaza a la etapa de fermentación,
- aprovechamiento como material iniciador de levaduras,
- uso de nuevos procesos

(el proceso "Biosil" es un método para la producción continua de alcohol etílico, obteniendo un mayor rendimiento de alcohol, menor cantidad de "aceite fusel", además de solamente 5 litros de vinaza por cada litro de alcohol producido (S.R.H., 1975),

- como combustible

(la reutilización de vinazas para la producción de vapor permite contemplar una solución simultánea a problemas de tipo ecológico y energético (Chen, 1991),

- como fertilizante

(el uso de las vinazas en riego de cultivos es muy delicado, siendo necesario un estudio y control adecuados que requieren de la participación de agrónomos y biólogos, ya que de lo contrario se corre el riesgo de un grave problema de contaminación),

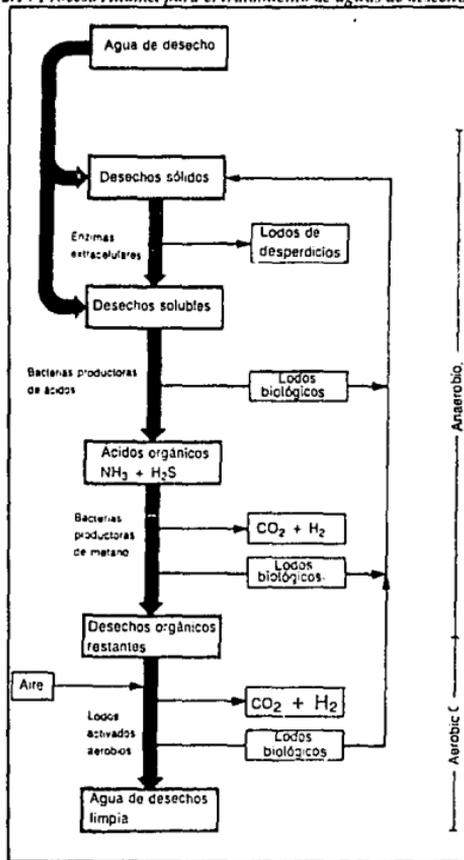
- como complemento en la alimentación de animales,
- tratado como efluente

(el tratamiento adecuado para la vinaza es de tipo biológico, un ejemplo es el proceso "Anamet", el cual consiste en una etapa anaeróbica seguida de una aeróbica (Figura 2.14).

Tabla 2.18 Resumen de los productos del procesamiento de la caña de azúcar en México (Zedillo, 1990).

Año.	Caña procesada	Azúcar. (x 10 ⁶ toneladas métricas)	Bagaço. (x 10 ⁶ toneladas métricas)	Melaza.	Cachaça.	Etanol. (x 10 ⁶ m ³)	Vinazas (x 10 ⁶ m ³)
1986	40.8	3.69	14.13	1.59	1.70	0.12	1.40
1987	41.4	3.74	13.82	1.53	1.37	0.073	0.81
1988	37.2	3.59	12.95	1.38	1.83	0.07	0.77
1989	35.5	3.47	11.62	1.32	1.17	0.068	0.76
1990	34.9	3.17	15.71	1.32	1.15	0.071	0.78

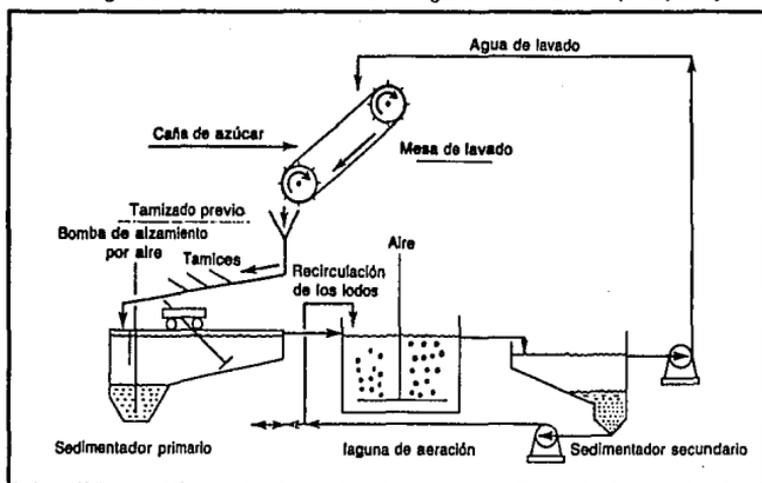
Figura 2.14 Proceso Anamnet para el tratamiento de aguas de desecho (Chen, 1991).



AGUA DE LAVADO DE CAÑA.

Existen varios equipos de limpieza en húmedo pero todos ellos requieren grandes cantidades de agua, la cual proviene generalmente de la descarga de los condensadores. El agua de lavado puede recircularse, pero finalmente debe ser desechada ya que se va concentrando de impurezas y de azúcares provenientes de la caña, por lo que adquiere una alta DBO y requiere de un tratamiento antes de su desalojo. Para ello el agua de lavado puede colectarse en una fosa de sedimentación para recircular el agua de la parte superior, al tiempo que los lodos y el material sedimentado pueden enviarse a un sistema de tratamiento biológico.

Figura 2.15 Sistema de recirculación del agua de lavado de caña (Chen, 1991).



En 1972 se desarrolló un sistema que consiste en una mesa alimentadora-lavadora con una inclinación de 45° , lo que permite usar el agua de lavado de una manera más eficiente (Figura 2.16). Con el objeto de retirar la caña utilizable de la corriente de agua y depositarla de nuevo en el transportador principal, en muchos ingenios de E.U.A. se ha instalado un transportador cribador móvil (Figura 2.17).

Una limpieza minuciosa de la caña da por resultado un menor desgaste del equipo de molienda y del sistema de bombeo de jugo, además disminuyen las pérdidas de sacarosa en la cachaza del filtro ya que se reduce la cantidad de lodo, y disminuyen los problemas operativos en las etapas de clarificación, filtración de jugo y combustión del bagazo.

En 1945 se inició la investigación sobre la limpieza en seco (por medio de aire); la ganancia de azúcar en este tipo de sistemas es de 5.3% con respecto a la limpieza en húmedo al registrarse una menor pérdida de Pol (Figura 2.18), sin embargo existen problemas por la emisión de partículas a la atmósfera.

Figura 2.16 Mesa de alimentación a 45° (Chen, 1991).

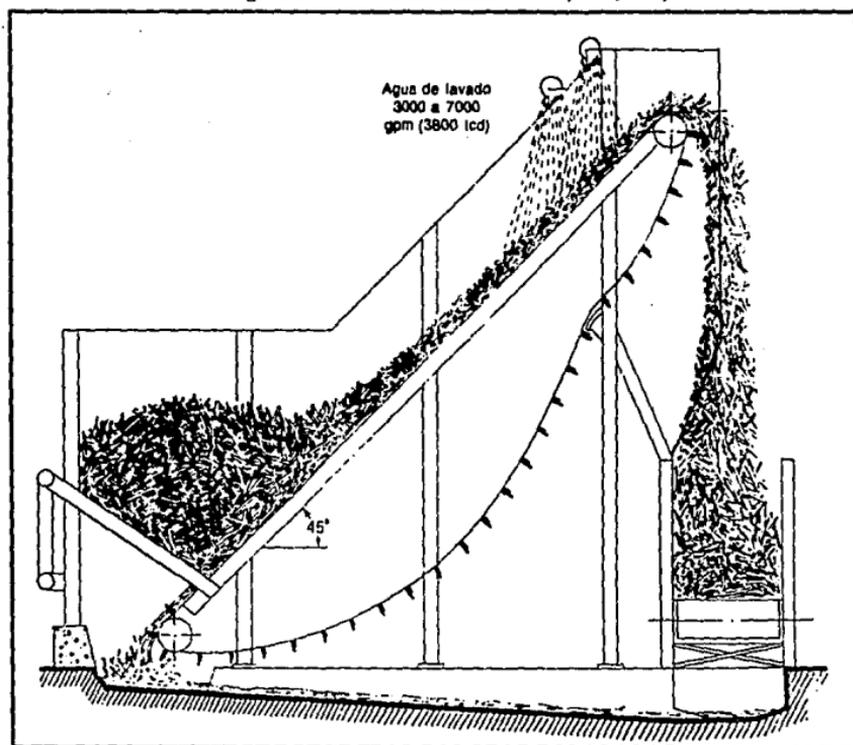


Figura 2.17 Transportador-Colador Tricon (Chen, 1991).

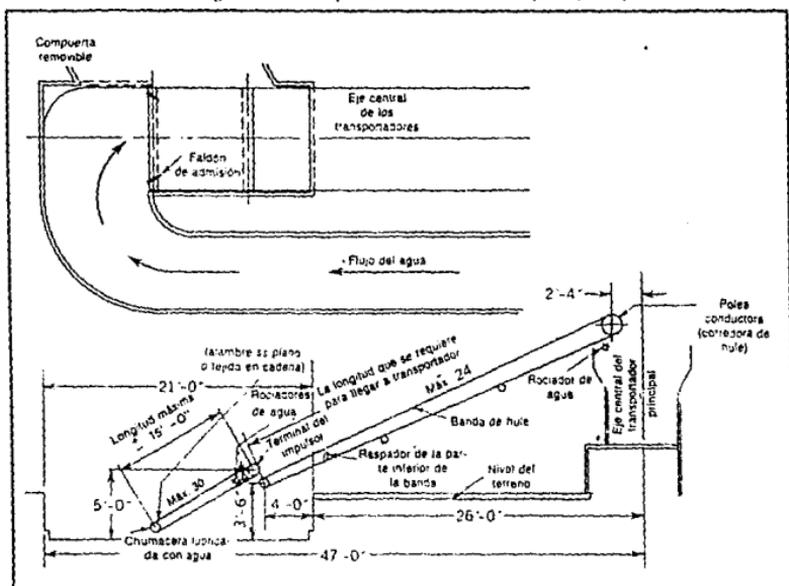
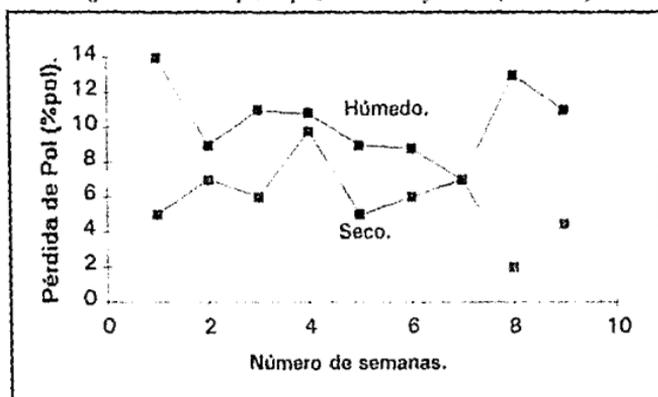


Figura 2.18 Pérdidas por limpieza en húmedo y en seco (Chen 1991).



AGUA DE CONDENSADORES.

En los condensadores barométricos de evaporadores y tachos se usa agua para condensar por contacto los vapores que se desprenden por la ebullición de las masas en cocimiento.

Los evaporadores y tachos sueltan pequeñas gotas de jugo (que en realidad son burbujas de vapor con una película de jugo), que son arrastradas por la corriente de vapor debido a su velocidad y al vacío existente. En ocasiones la autoevaporación del jugo en el evaporador forma una niebla que hace más difícil el control de los arrastres.

Un separador mecánico de arrastre funciona en base a cambios bruscos de velocidad o dirección, impacto sobre una pared, etc. Existen separadores internos (colocados dentro de los evaporadores) y externos, que pueden ser de 7 tipos: deflector de salpicaduras, deflector en zigzag, deflector corrugado, deflector curvo con ganchos, domo de vapor, separador centrífugo y mallas de alambre (Figura 2.20).

Si esta corriente de agua no es recirculada y tratada, tiende a elevar la temperatura del cuerpo de agua a donde se incorpore. Si la temperatura resultante de la descarga de este efluente en un río o lago es superior a 32 °C, ocurre lo que se conoce como "contaminación térmica", que daña la vida animal y vegetal ya que se reduce la cantidad de oxígeno disuelto en el agua; además que el azúcar y gases en solución (bióxido de carbono y amoníaco) de esta corriente reducen la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

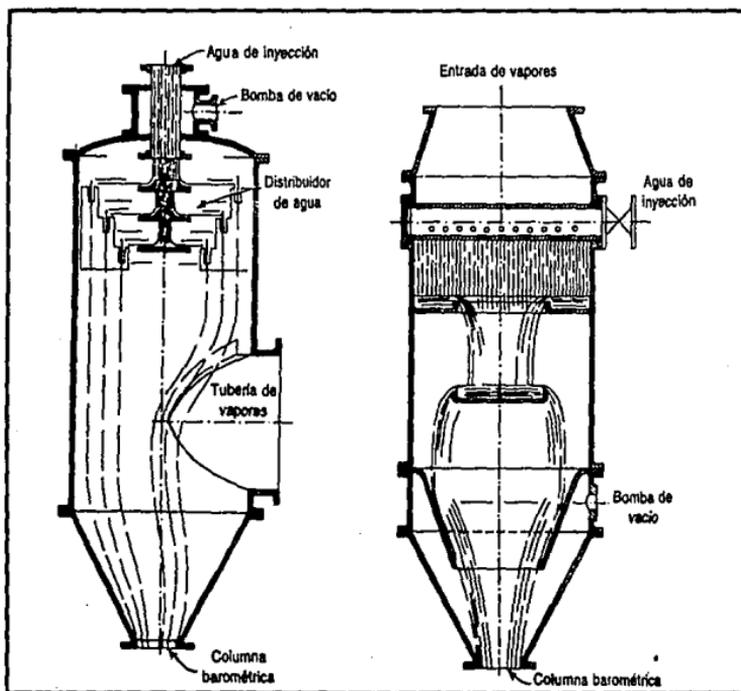
AGUA DE ENFRIAMIENTO DE CHUMACERAS.

Para el enfriamiento de las chumaceras de los molinos se utiliza agua, que generalmente resulta insuficiente, completando el enfriamiento con mangueras en el cabezote de los molinos para lograr el enfriamiento deseado mediante un baño exterior. Esta agua se junta generalmente con la de lavado de pisos y se encuentra contaminada principalmente por grasas, aceites y azúcares arrastrados. El tratamiento de este efluente consiste en emplear fosas separadoras de grasas y aceites, que de operar de forma eficiente permiten que esta descarga pueda ser recirculada.

El reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas establece un máximo tolerable de 70 mg/l de grasas y aceites, por otra parte la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos fija condiciones más estrictas:

Características.	El promedio mensual de 8 muestras en diferentes días no excederá de:	Ninguna muestra individual excederá de:	Carga máxima (kg/día)
Grasas y aceites	15 mg/l	20 mg/l	146

Figura 2.19 Condensadores barométricos a contracorriente y en paralelo (Chen, 1991).

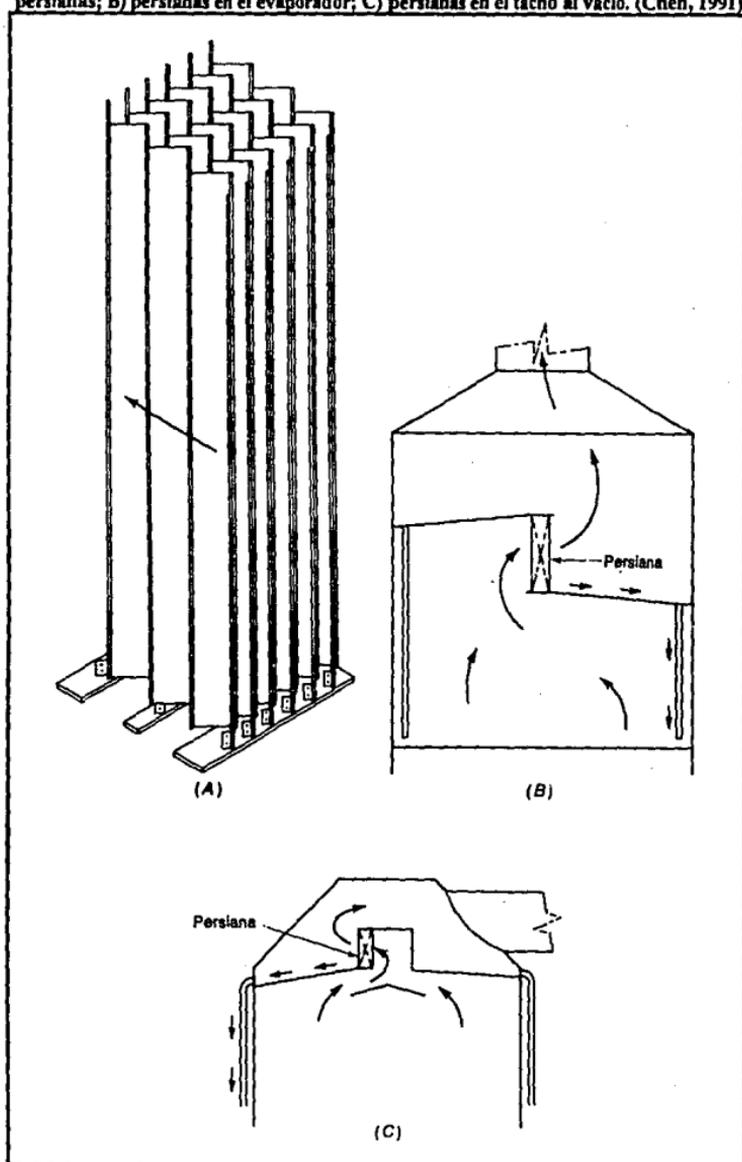


DESECHOS ÁCIDOS Y ALCALINOS.

Para su eliminación por mucho tiempo se recurrió a la descarga en corrientes superficiales de agua. Es evidente que esta práctica modifica bruscamente el pH de los cuerpos de agua a donde llegan estos desechos (esta limpieza química es periódica, normalmente cada fin de semana).

Actualmente en muchos ingenios se cuenta con fosas o tanques de neutralización para conseguir que el efluente salga con un pH entre 6 y 9, sin embargo su contenido de azúcares y sales sigue siendo alto.

Figura 2.20 Separador de arrastres de tipo de persianas verticales. A) Configuración de las persianas; B) persianas en el evaporador; C) persianas en el tacho al vacío. (Chen, 1991).



PURGAS DE CALDERAS.

Los sólidos presentes en el agua de alimentación de las calderas se concentran conforme se recircula el agua, y es necesario retirarlos ya sea en forma intermitente, periódica o continua, produciéndose aproximadamente 25 litros por tonelada de caña.

Tabla 2.19 Características promedio de las purgas de calderas (Azúcar S.A., 1984)

<i>Parámetro.</i>	<i>Concentración (mg/l).</i>
pH	10*
DBO	1,400
DQO	2,725
Nitrógeno orgánico.	19
Sólidos totales.	3,986
Sólidos totales flotantes.	2,848
Sólidos totales volátiles.	1,138
Sólidos suspendidos totales.	1,088
Sólidos suspendidos flotantes.	873
Sólidos suspendidos volátiles.	215
Sólidos disueltos totales.	937
Sólidos sedimentables (ml/l).	0.3

* Adimensional.

CONDENSADOS DE VAPOR.

Se obtienen de la condensación de vapores en calentadores y evaporadores, los condensados del primer y segundo efectos se usan como agua de alimentación de las calderas. El resto se usa de distintas formas en proceso, mientras que el exceso se envía a tanques de almacenamiento o a ríos o lagos, lo que representa un problema debido a su alta temperatura (aproximadamente 80 °C), su nivel de desoxigenación y alto contenido de azúcar y gases en solución (bióxido de carbono y amoníaco).

AGUAS NEGRAS.

En los ingenios se generan aguas negras por los servicios sanitarios de casas de empleados y por sanitarios en la fábrica.

La contaminación en este tipo de agua es provocada por materia mineral, orgánica, y microorganismos capaces de degradar la materia orgánica y provocar fermentaciones pútridas. Una de las principales características de este tipo de aguas es su biodegradabilidad (posibilidad de depuración mediante tratamiento biológico), debido a la existencia de una alimentación adecuada para las bacterias.

SISTEMAS EXISTENTES PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.

Un sistema de tratamiento debe calcularse para conseguir la eliminación total de los sólidos flotantes y suspendidos, para la reducción del 80 % (como mínimo) de la DBO presente en la carga residual, para la reducción del 90% de los sólidos sedimentables y para la reducción del 90 % del contenido bacteriano original (Kano, Muñoz, 1991).

En general un sistema de tratamiento comprende las siguientes etapas:

PRETRATAMIENTO.

Pueden usarse uno o varios de los siguientes dispositivos:

- 1) cribado (rejas de barras o rejillas),
- 2) desarenadores,
- 3) desmenuzadores,
- 4) tanques de pre-aireación,
- 5) trampas de grasa.

TRATAMIENTO PRIMARIO.

Tiene por objetivo separar la mayor parte de la materia sedimentable de las aguas residuales (aproximadamente se separa del 40-60% por medios físicos y mecánicos).

Se utilizan principalmente los tanques de sedimentación, los que se dividen en cuatro grupos: tanques sépticos, tanques de doble acción, tanques de sedimentación simple ascendente con eliminación mecánica de lodos y clarificadores de flujo ascendente con eliminación de lodos.

TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Es necesario usar este tratamiento cuando las aguas residuales provenientes del tratamiento primario tienen una gran cantidad de sólidos orgánicos, que no pueden ser asimilados por un cuerpo receptor sin sufrir daños.

Para el tratamiento de aguas residuales existen dos tipos de procesos: los fisicoquímicos y los biológicos, los primeros se usan generalmente en efluentes con contaminantes inorgánicos o con materia orgánica no biodegradable, mientras que los últimos se aplican cuando el contaminante es de tipo biodegradable.

Los procesos biológicos se dividen de acuerdo a la forma en que los microorganismos degradan la materia orgánica en presencia o ausencia de oxígeno, de tal forma existen los procesos aerobios y anaerobios.

PROCESOS AEROBIOS.

Lodos activados.

Es el proceso biológico más utilizado en México para el tratamiento de aguas residuales, habiendo sufrido múltiples adaptaciones para satisfacer aplicaciones particulares. Su eficiencia de purificación varía del 75 al 95% dependiendo del agua de desecho y de la concentración de bacterias que contenga el agua del tanque de aireación.

Un problema importante de estos equipos es la cantidad de lodo que se genera y que debe ser estabilizado de alguna forma antes de su disposición final, lo que aumenta considerablemente los costos de operación.

Aireación extendida.

Modificación del proceso de lodos activados que tiene la ventaja de disminuir la cantidad de lodos que se generan, los cuales por otra parte ya se encuentran relativamente estabilizados.

Filtros percoladores.

Clasificado dentro de los reactores biológicos de crecimiento fijo o biopelícula, los filtros percoladores cuentan con un medio empacado cubierto con biopelícula o cieno biológico, a través del cual el agua residual es "filtrada" (en realidad no ocurre una filtración ya que el mecanismo de eliminación es la difusión y asimilación microbiana).

Su eficiencia varía del 35 al 85%, pero puede lograrse una mayor eficiencia (hasta del 95%) instalando una segunda unidad que opere en serie con la primera.

Contactador biológico rotatorio.

También conocido como "bidiscos", está compuesto de una serie de compartimientos (hasta cuatro), donde se encuentran N discos separados ligeramente y montados sobre una flecha común, la superficie de los discos sirve como soporte para el crecimiento de la masa biológica. Este proceso tiene la ventaja de manejar tiempos de retención cortos, no requerir de recirculación de lodos y mantener costos de operación bajos.

Lagunas de estabilización.

Son estanques de tierra, mampostería o concreto donde se lleva cabo la degradación de la materia orgánica; los problemas que tiene este proceso son una mala calidad del efluente, mal olor, pérdidas de aguas por evaporación, gran requerimiento de área y no pueden usarse cuando el nivel freático se encuentra cerca de la superficie o en suelos permeables. Por otra parte entre sus principales ventajas se encuentra que requieren de un control mínimo en su operación, y mantienen bajos costos de inversión, operación y mantenimiento.

PROCESOS ANAEROBIOS.

Los procesos aerobios requieren del suministro de oxígeno, lo que representa un costo energético importante; mientras que en los anaerobios se producen lodos en menor cantidad, y lo suficientemente estabilizados como para ser desalojados directamente sin un tratamiento previo, a la vez que el agua tratada puede usarse en riego agrícola, ya que no se remueven los nutrientes del agua residual (Kano, Muñoz, 1991).

El desarrollo de la tecnología anaerobia ha dado lugar a tres generaciones de reactores. La primera comprende aquellos procesos donde la biomasa está en suspensión; en los de segunda generación los microorganismos son retenidos en el reactor, mientras que en los reactores de tercera generación los microorganismos se encuentran en forma de biopelícula.

Reactores de primera generación.

Fosa séptica y tanque Imhoff.

Lagunas anaerobias.

Digestor anaerobio convencional.

Digestor anaerobio completamente mezclado.

Reactor de contacto anaerobio.

Reactores de segunda generación.

Algunas ventajas de estos reactores son una mayor estabilidad y facilidad en su operación, menor volumen del reactor, resistencia a productos tóxicos y un arranque rápido después de periodos prolongados sin alimentación.

Filtro anaerobio.

Reactor tubular de película fija.

Reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB).

Reactores de tercera generación.

Estos reactores se encuentran a nivel de planta piloto, aunque ya existen algunas plantas en el mundo a nivel industrial. Son reactores de película fija, pero con un soporte tan pequeño que puede ser fluidizado en una corriente de recirculación (Noyola, 1991).

TRATAMIENTO TERCARIO.

La materia orgánica como detergentes, plaguicidas, compuestos sintéticos, colorantes y otros, prácticamente no sufre cambio alguno después de un tratamiento primario o secundario, por lo que se requiere de un tratamiento de tipo terciario.

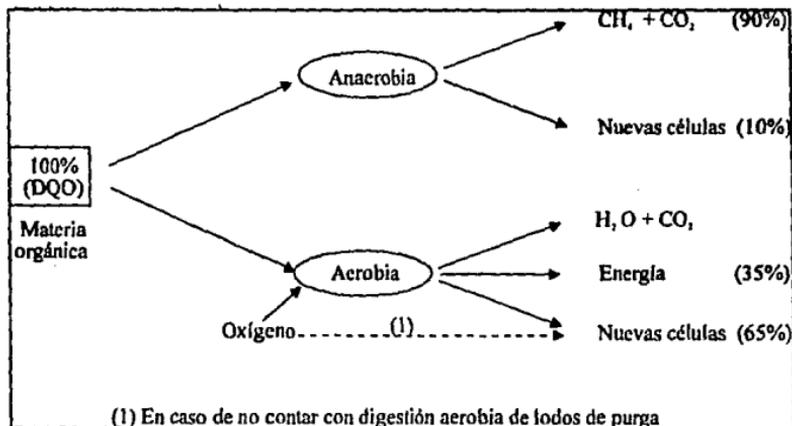
Ejemplos de tratamientos terciarios:

floculación, adsorción con carbón activado, intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa, destilación, congelación, flotación y desinfección (cloración).

COMENTARIOS.

En relación con los procesos biológicos para el tratamiento de efluentes existen ventajas y desventajas entre los procesos aerobios y anaerobios. Las principales características desde el punto de vista energético se observan en la siguiente figura.

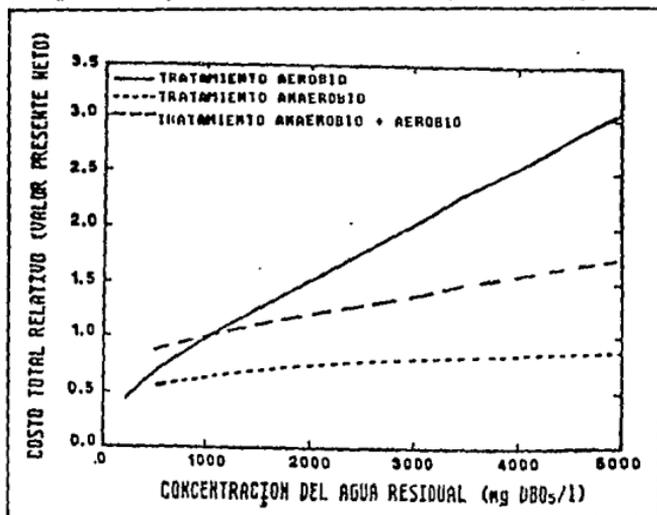
Figura 2.21 Flujo de energía en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales (Noyola, 1991).



Lo anterior tiene una serie de implicaciones importantes:

- el proceso anaerobio produce cinco veces menor cantidad de lodos de desecho que el aerobio,
- los lodos generados en los procesos anaerobios se encuentran lo suficientemente estabilizados para su desalajo directo,
- la energía del metano puede ser aprovechada como energía calorífica, mecánica o eléctrica de acuerdo a las necesidades de la región (se generan aproximadamente de 0.2 a 0.3 m³ de metano por kg de DQO eliminada a condiciones normales de T y P),
- un sistema de tratamiento que consista primero en un proceso anaerobio, para un tratamiento inicial del efluente, y a continuación en uno aerobio para su afinación, resulta ser la forma más eficiente para lograr una alta remoción de contaminantes de dicho efluente, a la vez que los costos totales (de instalación y operación) son menores que cuando estos procesos operan por separado (Figura 2.22),
- los procesos anaerobios muestran resistencia a largos períodos sin alimentación, lo que es adecuado en el caso de industrias de temporada (la azucarera por ejemplo).

Figura 2.22 Comparación de costos totales como valor presente neto (Noyola, 1991).



De los diferentes tipos de tratamientos anaerobios existentes, al parecer el reactor de lecho de lodos (UASB), es el que mejor responde a la situación nacional (Noyola, 1991).

Pese a lo ya manifestado los procesos anaerobios todavía siguen siendo considerados como muy inestables, difíciles de arrancar y operar, lo que frecuentemente se refleja en un desinterés de la industria; pero gracias al esfuerzo de los centros de investigación extranjeros y mexicanos la situación parece estar cambiando.

Tabla 2.20 Resumen de algunos dispositivos para el control de efluentes líquidos en la industria azucarera.

Agente contaminante.	Sistemas y equipos.
Agua de lavado de caña.	Envío a equipos clarificadores para separar tierra y arena antes de un tratamiento biológico secundario por la pérdida de azúcar en el agua (DBO > 20 mg/l)
Agua de enfriamiento de molinos.	Envío a fosas separadoras de grasas y aceites
Agua de condensadores.	Instalación de equipos de enfriamiento y recirculación al proceso.
Agua de limpieza de evaporadores.	Envío a un tanque de homogenización-neutralización y separación de sales.
Agua de purga de calderas.	Usar tanque de homogenización-neutralización y separación de sales
Aguas negras	Instalación de sistemas de tratamiento biológico.
Arrastre líquido de vinazas	Conducción a canales de riego; concentración para su uso como alimento; tratamiento aerobio y anaerobio para producir biogás y proteína (fase de experimentación)
Cachaza.	Conducción en forma suspendida por canales de riego; manejo en forma semisólida en tolvas para su envío al campo.

II.3.2 EMISIONES GASEOSAS O PARTICULADAS.

INTRODUCCIÓN.

Clasificación de los contaminantes del aire (Elizondo, 1993).

Pueden clasificarse en dos categorías:

- naturales,
- creados por el hombre.

Los contaminantes creados por el hombre pueden clasificarse en dos grandes grupos: *contaminantes primarios* (aquellos que proceden directamente de la fuente de emisión) y *contaminantes secundarios* (aquellos originados por la interacción química y/o fotoquímica entre los contaminantes primarios y los componentes normales de la atmósfera en presencia o ausencia de luz solar).

A pesar de las ventajas de los métodos científicos para la clasificación de partículas, el uso de una clasificación más simple con base en los métodos de formación de los contaminantes puede ser más conveniente (polvo, humo, gases o vapores y nieblas).

Las emisiones particuladas de la industria azucarera son: aquellas procedentes de las calderas (tizne y cenizas), de los sistemas de transporte y hornos de regeneración de tierra diátomea y carbón animal, del sistema de manejo y transporte del bagazo rumbo a calderas, y del secado de azúcar.

Los gases formados durante la fermentación del jugo, los gases incondensables debidos a la evaporación (principalmente amoníaco y bióxido de carbono) y los vapores de azufre debidos a la sulfitación no representan un problema importante en la industria del azúcar de caña (Chaux, 1992). Ningún problema ha sido atribuido al bióxido de azufre y al bióxido de nitrógeno en la industria azucarera si se opera adecuadamente (Chen, 1991).

MARCO LEGAL.

El 7 de Abril de 1993 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-PA-CCAT-019/93 (NE), con carácter de emergente para regular la contaminación atmosférica en fuentes fijas y establecer los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas (PST), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), y humo.

A continuación se muestran los puntos relevantes de dicha Norma Oficial:

2. CAMPO DE APLICACIÓN.

Es de observancia obligatoria para los responsables de lo equipos de calentamiento indirecto utilizados en la fuentes fijas que usan combustibles fósiles líquidos y gaseosos o cualquiera de sus combinaciones.

3. REFERENCIAS.

NMX-AA-09-1973. Determinación de flujo de gases en un conducto con un Tubo Pitot.

NMX-AA-10-1974. Determinación de emisión de material particulado contenido en los gases que fluyen por un conducto.

NMX-AA-35-1976. Determinación de dióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión.

NMX-AA-55-1976. Determinación de dióxido de azufre en gases en un conducto.

5. ESPECIFICACIONES.

5.1 Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y humo de los equipos de combustión de las fuentes fijas de esta norma oficial mexicana son los establecidos en las tablas 1 y 2.

5.1.1 Para los efectos de esta norma oficial mexicana, se consideran zonas críticas por las altas concentraciones de contaminantes de la atmósfera que registran las siguientes:

Zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, los centros de población de: Coatzacoalcos-Minatitlán, Estado de Veracruz; Irapuato-Celaya-Salamanca, Estado de Guanajuato; Tula-Vito-Apasco, Estado de Hidalgo; corredor industrial de Tampico-Madero-Altamira, Estado de Tamaulipas y la zona fronteriza norte.

6. REQUISITOS Y CONDICIONES PARA LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE COMBUSTIÓN.

6.2 CONDICIONES.

6.2.6 En caso de uso de otros combustibles no contemplados en la presente norma oficial mexicana, la Secretaría de Desarrollo Social establecerá las proporciones de formulación y mezcla que podrán utilizarse.

9. VIGENCIA.

9.1 La presente norma oficial mexicana de carácter emergente, tendrá una vigencia de seis meses y entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

9.2 Se abrogan los decretos por los cuales se expidieron las normas técnicas ecológicas NTE-CCAT-005/88, NTE-CCAT-007/88, publicados en el Diario Oficial el 18 de Octubre de 1988 y la NTE-CCAT-008/88, publicada el 19 de Octubre de 1988.

Pese a la existencia de la norma ya descrita, no existe una normatividad específica para el caso de la industria azucarera, y el establecimiento de sistemas de control en los ingenios nacionales está exclusivamente en función de las exigencias de las autoridades regionales.

Tabla 1. Equipo existente.

Capacidad MJ/hr (CC)	Tipo de combustible empleado.	Densidad de humo.	Partículas (PST) mg/m ³ (1)			Dióxido de azufre (ppm v) (1)			Óxidos de nitrógeno (ppm v) (1)			CO ppm (2)	
			Número de mancha u opacidad.	Zonas críticas.		RP	Zonas críticas.		RP	Zonas críticas.			RP
				ZMCM	Otras		ZMCM	Otras		ZMCM	Otras		
Hasta 3500 MJ/hr (100 cc)	Combustible /gasoleo	6										250	
	Otros líquidos.	5											
	Gaseosos.	4											
De 3501 a 43000 MJ/hr (101 a 1200 cc).	Líquidos.		100	300	400	1100	1650	2600	150	200	270	200	
	Gaseosos.								130	150	180		
De 43001 a 110000 MJ/hr (1201 a 3100 cc).	Líquidos.		70	250	350	1000	1500	2500	140	180	250	150	
	Gaseosos.								120	140	160		
Mayor de 110000 MJ/hr (3100 cc).	Líquidos.	10% (3)	70	200	300	800	1200	2200	130	150	230	100	
	Gaseosos.	10% (3)							100	130	150		

Tabla 2. Equipo de nueva instalación.

Hasta 43000 MJ/hr (1200 cc)	Cualquier tipo de combustible.	Deben cumplir con los límites indicados en la tabla 1 para la ZMCM y contar con tecnología de baja emisión de óxidos de nitrógeno.									150	
Mayores de 43000 MJ/hr (1200 cc)	Líquidos.	10% (3)	50	150	250	400	400	1500	100	140	200	100
	Gaseosos.	10% (3)							75	100	130	
Reparación conversión existentes.	mayor o re - de equipos	Deben cumplir con los límites indicados en la tabla 1 para la ZMCM y contar con tecnología de baja emisión de óxidos de nitrógeno.										

(1) Concentraciones referidas a 298 K, 760 mm Hg, 5% de oxígeno en volumen.

(2) Concentraciones referidas a condiciones de operación.

(3) % de opacidad.

RP: Resto del país.

ZMCM: Zona metropolitana de la ciudad de México.

CC: Caballo caldera.

DESCRIPCIÓN DE EFLUENTES, TRATAMIENTO O APROVECHAMIENTO.**BAGAZO.**

Es el combustible natural de los ingenios, su humedad no debe ser mayor del 50%, aunque en muchos ingenios en México llega a 54% (Caballero, 1988). Si la humedad es excesiva las calderas no pueden quemar el bagazo adecuadamente, recurriendo al empleo de combustibles auxiliares (en México se usa combustóleo). La producción aproximada de bagazo es de 250-300 kg de bagazo por cada tonelada de caña.

Tabla 2.21 Composición media del bagazo de caña (Caballero, 1988).

	<i>Porcentaje.</i>	<i>Porcentaje promedio</i>
Humedad.	46 a 52%	49.0%
Fibra.	43 a 52%	48.7%
Sólidos solubles (principalmente azúcar).	2.6%	2.3%

El transporte del bagazo de los molinos hacia las calderas causa una fuerte emisión de partículas, por su manejo en bandas transportadoras "descubiertas" que carecen de sistemas de control de emisiones. Esto provoca que las condiciones de trabajo en el área de calderas sean muy molestas, además de la posible aparición de casos de "bagatosis" en el personal por la aspiración de polvos de bagazo.

La solución de este problema es relativamente simple si se asegura un manejo adecuado del bagazo (transporte en conductos cerrados, sellado de las cámaras de recepción y de los hornos de quemado), evitando las emisiones a la atmósfera.

Se ha demostrado que el incremento en el uso de la termocompresión, o una mayor extracción de vapor para la ebullición de un tacho, resultan en un ahorro de hasta un 36% de bagazo (Chen, 1991). Si un ingenio es térmica y mecánicamente eficiente puede obtenerse hasta un 50% de bagazo sobrante, susceptible de ser comercializado.

Entre las múltiples aplicaciones del bagazo se encuentran las siguientes:

- fabricación de papel

(en México existe una fábrica papelera productora de pañuelos faciales y papel a partir de bagazo, que es considerada como la más grande del mundo (Chen, 1991),

- fabricación de tablas de fibra prensada para paredes y tablas aislantes,

- fabricación de tableros aglomerados,

- producción de alfa-celulosa,

- obtención de médula (puede utilizarse como combustible o forraje para el ganado),

- elaboración de plásticos,

- producción de Xilitol,

- elaboración de otros productos (carbón activado, fúrfural, proteínas, fermentación del metano, y como ingrediente en la composta para el cultivo de la caña).

Para cualquiera de las aplicaciones anteriores es necesario almacenar y transportar el bagazo, lo que es un problema importante debido su baja densidad (0.128 kg/l), su reducido tiempo de almacenamiento (2 meses antes de su fermentación con la producción de amoníaco, metano y gases orgánicos), y riesgo de combustión interna.

El costo aproximado para el almacenamiento de bagazo es de 45 N\$/ton de bagazo, y para su transporte es de 15 N\$/ton de bagazo (Alvarado, 1993).

El uso industrial del bagazo en México se observa en la tabla 2.22, el cual representa solamente el 2% del total del bagazo generado anualmente en el país, ya que el resto se quema en las calderas de los ingenios.

Tabla 2.22 Uso industrial del bagazo de caña en México (Zedillo, 1986).

<i>Industria.</i>	<i>Capacidad anual (toneladas métricas).</i>	<i>Producto.</i>
Celox S.A.		Celulosa blanqueada. (1)
Celulosa y Fibra Nales S.A. de C.V.		Celulosa blanqueada.
Mexicana de papel periódico.	100,000	Papel para periódico.
Compañía industrial San Cristóbal.	76,000	Pulpa y papel.
Fábrica de Celulosa El Pilar S.A.	22,500	Pulpa blanqueada.
Kimberley Clark de México S.A.	60,000	Pulpa.
Productora de papel S.A.	18,000	Pulpa.
Fibrasin.	40,000	Tablas de aglomerado.
Productos Furánicos Mexicanos.	18,000	Fúrfural (1).
Total de bagazo.	316,500	

(1) Actualmente no está en operación.

GASES DE CHIMENEA.

La composición de estos gases depende de la propia composición del bagazo que se queme, su humedad y la cantidad de aire usada.

*Tabla 2.23 Composición de gases de chimenea, combustión de 1 kg de bagazo
(Chaux, 1992).*

<i>Gas.</i>	<i>Peso (kg).</i>	<i>Porcentaje.</i>
Nitrógeno.	3.455	63.1
Oxígeno.	0.346	6.3
Agua.	0.784	14.3
Bióxido de carbono.	0.894	16.3

Además de los compuestos de la tabla anterior se produce una pequeña cantidad de monóxido de carbono por combustión incompleta, que se descarga en las chimeneas a gran altura diluyéndose por la acción del oxígeno atmosférico formando bióxido de carbono.

Considerando un consumo mundial de vapor de 550 kg/t.c. y que 1 kg de bagazo produce 2.25 kg de vapor (1 kg de combustóleo produce 16 kg de vapor), la producción de CO₂ sería de 218 kg/t.c. Por tanto la industria azucarera a nivel mundial emite anualmente 145 millones de toneladas de CO₂ y 46 billones de kilocalorías (Chaux, 1992).

Cuando se quema combustóleo en las calderas para la generación de vapor, los gases de combustión presentan además altas concentraciones de bióxido de azufre (el combustóleo pesado en México contiene aproximadamente un 3% de azufre).

Si las chimeneas de los ingenios están lo suficientemente altas, los gases de combustión que salen por ellas se dispersan y diluyen de tal forma que no provocan problemas, sin embargo lo más recomendable es restringir al máximo posible el consumo de combustóleo, ya que su uso constante es indicativo de una operación inadecuada en el ingenio, además del problema ecológico derivado de su consumo y el costo adicional que su uso implica.

CARBONCILLO (BAGACILLO A MEDIO QUEMAR O TIZNE).

Debido a que se usa en las calderas una cantidad de aire superior a la requerida de acuerdo a la fórmula estequiométrica, y a que el diseño de hornos, cámaras de combustión, ductos de chimenea y ventiladores es inadecuado, la velocidad de los gases de combustión es demasiado alta, lo que ocasiona que partículas sólidas a medio quemar salgan por la chimenea y después caigan por gravedad en los alrededores del ingenio.

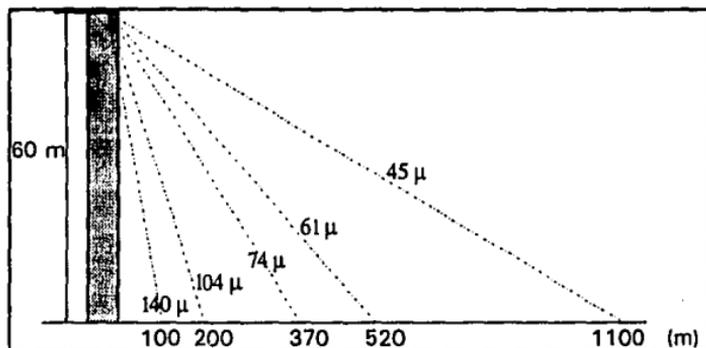
Como equipos de control pueden usarse los precalentadores de aire de alimentación a la caldera con gases de combustión, o los sistemas de recolección de partículas mediante equipos que operan en seco o en húmedo, además de un diseño adecuado de los equipos.

Se producen aproximadamente 5.5 kg/t.c. + 4.5 g/m³ de carboncillo (Chaux, 1992), el cual se transporta en la atmósfera, y dependiendo de su tamaño y de la velocidad del viento cae a la tierra de acuerdo a la figura 2.23 (se considera una chimenea de 60 metros y una velocidad moderada del viento).

Actualmente no existe una aplicación práctica del carboncillo, sin embargo se ha demostrado que su uso en los filtros rotatorios al vacío de la cachaza podría substituir al bagacillo, ya que su porosidad y su tamaño lo convierten en un excelente medio filtrante. El requerimiento de carboncillo en los filtros es de aproximadamente 4 kg/tonelada de caña, mientras que la cantidad que se produce en un ingenio es de aproximadamente 5.1 kg/tonelada de caña, lo que asegura el consumo de la mayor parte del efluente generado.

Se han hecho estudios sobre su uso en la fabricación de vidrio, bases de caminos y producción de fertilizantes con o sin la adición de cachaza, que no han resultado exitosos.

Figura 2.23 Distribución de partículas sólidas de una chimenea en función de su diámetro (A.T.A.M., 1977).



EMISIONES GENERADAS EN LAS OPERACIONES UNITARIAS DEL PROCESO.

Material particulado.

Las pérdidas de azúcar durante su secado implican un costo extra por su reprocesamiento, o por su pérdida total; así como un daño en los equipos, y la posible contaminación cuando se incorpora en corrientes de agua. Por ello debe asegurarse un manejo adecuado del azúcar con equipos de transporte y secado, que cuenten con sistemas de recuperación de partículas finas.

Bióxido de azufre.

Además de las emisiones de bióxido de azufre debidas a los sistemas de combustión, existe otra fuente de este compuesto en la etapa de sulfitación de azúcar que puede resultar nociva al ambiente. Sin embargo sigue siendo utilizada en la fabricación de azúcar estándar (donde no se tiene generalmente ningún sistema de control), pese a que se han descubierto procesos más eficientes (Talo-floc, uso de bentonita, doble centrifugación y afinación). Su efecto sobre las personas que laboran en hornos de azufre en buenas condiciones no es peligroso, pero es recomendable una revisión médica continua (Chaux, 1992).

Bióxido de carbono.

Además del bióxido de carbono que se produce durante la combustión, hay otra cantidad menor que se produce por la acción de enzimas de la levadura que transforman los azúcares en alcohol, con un desprendimiento de bióxido de carbono a razón de 160 kilogramos por tonelada de miel final.

Gases incondensables.

Proviene de los sistemas de evaporación, y están constituidos principalmente por amoníaco.

EQUIPOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

En el caso de efluentes particulados, los distintos equipos de tratamiento se basan en los siguientes principios físicos: fuerzas gravitacionales, fuerzas inerciales, filtración, atracción electrostática y aglomeración de partículas.

Para efluentes gaseosos los mecanismos físicos que rigen el funcionamiento de los equipos de control son principalmente los siguientes: absorción, adsorción y condensación.

EQUIPOS PARA EL CONTROL DE PARTÍCULAS.

- Colectores mecánicos.

Adecuados para el control de partículas grandes, por lo que generalmente se usan como un pretratamiento antes de un equipo más eficiente. Se les divide en cámaras de sedimentación y en ciclones.

- Precipitadores electrostáticos.

Estos equipos son muy confiables y mantienen una alta eficiencia en el manejo de partículas ionizables; sin embargo tienen altos costos de inversión, operación y mantenimiento.

- Filtros de bolsa.

Su funcionamiento es independiente del flujo manejado, son equipos de alta eficiencia y su temperatura máxima de operación es de 280 °C (depende del material de las bolsas).

- Lavadores.

Estos equipos son los más comunes para controlar emisiones inorgánicas, sin embargo el manejo del agua resultante puede ser un problema, los problemas de corrosión son mayores que en los sistemas en seco, regularmente tienen altos requerimientos de potencia y la caída de presión es alta, además de un alto costo de mantenimiento.

EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE GASES Y VAPORES.

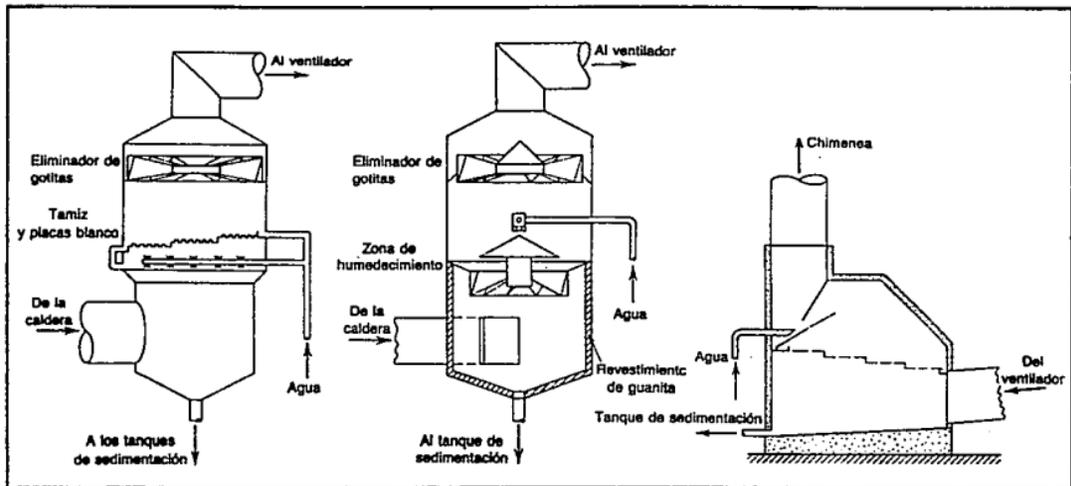
Las técnicas y equipos usados dependen de las propiedades específicas del gas a ser controlado, y se clasifican en:

- equipos de absorción (torres empacadas, torres de platos, torres de rociado, lavador de chorro de líquido y tanques agitados),

- equipos de adsorción (adsorvedores de lecho fino, adsorvedores de lecho profundo),

- equipos de combustión.

(Una revisión detallada se realiza en la obra de López y Casero, 1991, pp. 95-166)



ANÁLISIS AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA AZUCARERA: EFUEVENTES GASEOSOS

Figura 2.24 Lavadores de gases (de izquierda a derecha) "Peabody", "Brandt-Ducon" y "Tongat" (Chen, 1991).

II.3.3 RESIDUOS SÓLIDOS.

INTRODUCCIÓN.

Los residuos sólidos pueden clasificarse en (Elizondo, 1993):

RESIDUOS URBANOS.

Conformados por desechos alimenticios, desechos combustibles (plásticos, textiles, hules, piel, madera, muebles), desechos no combustibles (vidrio y metales), así como desechos de construcción y demolición.

Tabla 2.24 Composición típica de los residuos urbanos (Elizondo, 1993).

Componente.	% Peso.
Desechos alimenticios.	35.64
Otros(madera, polvo, ceniza, hule, piel, etc.).	23.77
Cartón.	7.92
Papel.	7.92
Vidrio.	6.63
Plásticos.	4.95
Jardinería.	4.95
Pañales desechables.	2.97
Metales ferrosos.	1.98
Metales no ferrosos.	0.99

RESIDUOS INDUSTRIALES.

Se clasifican en peligrosos, potencialmente peligrosos y no peligrosos, dependiendo de sus características físicas, químicas y biológicas, y del tipo de industria que los generó.

Se llama "Residuo industrial peligroso" (R.I.P.) a aquel que se encuentra comprendido en la tabla 1, 2, 3 o 4 de la norma NOM-CRP-001-ECOL/93, o si presenta una o más de las siguientes características a las que se llama clave CRETIB (Diario Oficial, Oct, 1993).

- Corrosividad.

Un residuo es corrosivo cuando en solución acuosa presenta un pH menor o igual a 2, o mayor o igual a 12.5; o cuando en estado líquido es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 1020) a una velocidad de 6.35 mm por año a una temperatura de 55°C.

- Reactividad.

Un residuo es reactivo si bajo condiciones normales de P y T se combina o polimeriza sin detonación; es capaz de producir radicales libres; al ponerse en contacto con agua o HCl o NaOH reacciona violentamente formando gases, vapores o humos; o desprende gases o vapores tóxicos.

- *Explosividad.*

Un residuo es peligroso por su explosividad si tiene una constante de explosividad igual o mayor a la del dinitrobenceno; o es capaz de producir una reacción explosiva a condiciones normales de T y P.

- *Toxicidad.*

Un residuo es peligroso por su toxicidad cuando el lixiviado de la muestra que resulta de aplicar la norma NOM-CRP-002-ECOL/1993 contiene alguno de los compuestos listados en las tablas 5, 6 y 7 de dicha norma, en una concentración mayor a la permitida.

- *Inflamabilidad.*

Un residuo es peligroso por su inflamabilidad cuando:

- en solución acuosa contiene más de 24% de alcohol en volumen,
- es líquido y tiene un punto de inflamación menor a 60°C,
- no es líquido pero es capaz de causar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos,
- se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes.

- *Biológico infecciosas (B).*

Un residuo con características biológico infecciosas se considera peligroso cuando:

- contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección,
- contiene toxinas que causen efectos nocivos a los seres vivos.

RESIDUOS ESPECIALES.

Abarca los desechos hospitalarios (residuos de hospitales y laboratorios clínicos), los residuos radiactivos y los desechos de los centros de investigación.

MARCO LEGAL.

En materia de residuos industriales peligrosos se ha hecho un esfuerzo importante para elaborar una normatividad más precisa (NOM-CRP-001-ECOL/93, 002, 003 004 y 005), el cual debe continuar hasta que se asegure que todos los R.I.P. generados en el país sean tratados adecuadamente antes de su desalojo. En contraparte, en el caso de los residuos no peligrosos no existe una reglamentación definida que controle su desecho.

En el caso de los residuos sólidos provenientes de ingenios azucareros (los cuales no son peligrosos) sólo se cuenta, en el mejor de los casos, con condiciones particulares de descarga o disposiciones de autoridades locales para regular su desalojo. Sin embargo para su disposición debe de considerarse el sitio donde se dispondrán los residuos y el costo económico, legal, social o ambiental que esta práctica implique (algunas de las sustancias usadas en los ingenios si tienen características CRETIB, por lo que se requiere de medidas de seguridad adicionales en sus instalaciones).

DESCRIPCIÓN DE EFLUENTES, TRATAMIENTO O APROVECHAMIENTO.**CENIZA.**

Las cenizas que deja la combustión del bagazo son extraídas casi siempre de manera manual de los hornos de las calderas, y su disposición consiste en transportarlas por medio de camiones de volteo a campos de los alrededores o rellenos sanitarios. En ingenios de reciente construcción las cenizas se extraen mecánicamente de los hornos en forma licuada, se tratan en un sedimentador y los lodos se separan en lechos de secado para usarse como abono agrícola (Azúcar S.A., 1984).

La cantidad de cenizas que se produce en un ingenio es de 0.3% a 1.0% en peso del total de caña molida si se quema todo el bagazo resultante de la molienda. Esto implica que en una zafra promedio de 150 días, se tiene que disponer de aproximadamente 20 toneladas diarias de ceniza fuera del ingenio.

Tabla 2.25 Composición promedio de las cenizas procedentes de la combustión del bagazo (Caballero, 1988).

<i>Compuesto.</i>	<i>Porcentaje (%).</i>
SiO ₂	62
Al ₂ O ₃	3
Fe ₂ O ₃	6
CaO	6
MgO	5
K ₂ O	12
Na ₂ O	3
P ₂ O ₅	2
MnO	1

Ya que la composición de la ceniza tiene cierta similitud con la mezcla de arena y álcalis usada en la fabricación de vidrio, es posible fabricar botellas de vidrio de mediana calidad. Además se han hecho pruebas para usar la ceniza como base para carreteras y como fertilizante con o sin la adición de cachaza. Se ha probado que puede conseguirse un rendimiento adicional del 20% de caña por hectárea y una producción adicional del azúcar del 20% por hectárea al aplicarse 48 toneladas de ceniza/hectárea (Chen, 1988).

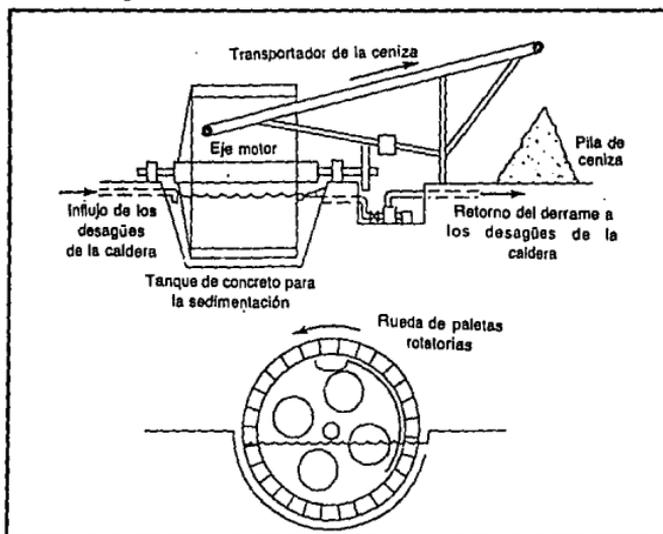
CARBONCILLO O TIZNE.

El tizne y otras partículas que provienen de los sistemas de tratamiento de las chimeneas se desalojan de los ingenios en forma sólida o semisólida. En el caso de sistemas de tipo húmedo, el agua resultante es tratada por medios físicos y químicos para separar el material sólido y recircular el agua a las chimeneas.

Como agentes que ayudan a la sedimentación y coagulación se usan algunas de las siguientes sustancias:

- coagulantes para orientación de la carga eléctrica de las partículas y formación del floculo: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ (característica ácida) y $Na_2Al_2O_4$ (característica alcalina),
- coagulantes que ayudan a terminar la formación del floculo: agentes de peso (arcillas), adsorbentes (carbón, aluminio) y polielectrolitos (inorgánicos y orgánicos).

Figura 2.25 Sistema "húmedo" de eliminación de carboncillo.



RESIDUOS DEL MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE CAÑA Y BAGAZO.

En el área de almacenamiento de caña puede ocurrir un deterioro de la caña o de otro material orgánico, además de una acumulación de basura y tierra, con el consiguiente mal aspecto y olor, además de la pérdida de Pol en la caña. El cuidado en el manejo de la caña, así como el mantenimiento constante del área de almacenamiento y una molienda rápida, evitan los problemas ya mencionados.

CAPÍTULO III

ESTUDIO AMBIENTAL DEL INGENIO

III.1 PROCEDIMIENTO

La auditoría se efectuó con base en el "Audit and reduction manual for industrial emissions and wastes", editado por la UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) y la UNEP (United Nations Environment Programme) en 1991. En este manual se habla del interés manifestado por la ONU acerca del llamado "sustainable development" (desarrollo sostenible) de las naciones en vías de desarrollo, el cual es obstaculizado por la industria contaminante que prevalece en esos países. Lo que hace necesario un mayor control en los desechos de sus industrias, tomando como punto de partida el origen de los mismos, previniendo su generación y controlando su descarga (las etapas de la auditoría se muestran en la figura 3.1).

Una auditoría puede complementarse con los pasos que se indican a continuación (López, Casero, 1991).

Planeación de la auditoría. Se plantean los objetivos y el alcance de la auditoría, elaborando los cuestionarios pertinentes, estableciendo el número de auditores y la duración de la auditoría.

Elaboración o adaptación de un manual de auditoría. Su contenido básico es el siguiente: introducción (describe la estructura básica de la empresa para familiarizar al equipo auditor), plan de la auditoría, protocolo de la auditoría, cuestionario pre-visita (contestado por personal de la planta), formación del equipo auditor, cuestionarios de auditoría y por último la realización de la auditoría.

Entrevista post-auditoría. Se cambian impresiones con el personal encargado de la planta y se discuten las recomendaciones propuestas por los auditores.

Elaboración del informe. Deben reportarse todas las observaciones pertinentes acerca de los problemas localizados, indicando la metodología que se siguió y las conclusiones y recomendaciones finales.

Instrumentación de las recomendaciones propuestas. Las auditorías son de poca utilidad si no se ponen en marcha las medidas correctivas pertinentes, por lo que debe indicarse qué acciones tomar y como hacerlo. Este es el objetivo final de una auditoría y donde se evalúa su utilidad.

Figura 3.1 Etapas de la auditoría ambiental.

FASE I. PREEVALUACIÓN.

PREPARACIÓN DE LA AUDITORÍA.

- Paso 1. Preparar y organizar recursos y al equipo auditor.
- Paso 2. Dividir el proceso en operaciones unitarias.
- Paso 3. Construir el diagrama de flujo de proceso con base en el paso anterior.
- Paso 4. Efectuar un reconocimiento detallado de las instalaciones del ingenio en base a las operaciones unitarias.

FASE II. BALANCE DE MATERIA Y DE ENERGÍA.

ENTRADAS Y SALIDAS DEL PROCESO.

- Paso 5. Balance global del proceso.
- Paso 6. Determinar entradas y salidas por operación unitaria.
- Paso 7. Registro del uso del agua.

REGISTRO DE EFLUENTES.

- Paso 8. Registro de efluentes líquidos.
- Paso 9. Registro de efluentes gaseosos o particulados.
- Paso 10. Registro de efluentes sólidos.
- Paso 11. Resultados y análisis del balance de materia y de energía.
- Paso 12. Balance de exergía.

FASE III. SÍNTESIS.

IDENTIFICAR LAS OPCIONES DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES.

- Paso 13. Inventario de las descargas de efluentes y jerarquización considerando distintos criterios.
- Paso 14. Lista de opciones para el control de efluentes y análisis preliminar.

EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES.

- Paso 15. Estudio de factibilidad técnico-económica.

PROGRAMA DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES.

- Paso 16. Desarrollo e instrumentación del programa.

III.2 DESARROLLO

III.2.1 FASE I. EVALUACIÓN PRELIMINAR.

Este ingenio inició sus operaciones desde hace más de 50 años, durante este tiempo ha desempeñado un papel importante dentro del desarrollo económico de la región. Sin embargo se ha mantenido con graves rezagos tecnológicos, que son característicos de la industria azucarera nacional, pese a que desde su privatización (en 1989) se hacen esfuerzos por modernizar su funcionamiento, incluyendo una mayor atención a los problemas ambientales derivados de la actividad del ingenio.

El gobierno federal a través de la Secretaría de Desarrollo Social (antes SEDUE) y la Comisión Nacional del Agua, otorga cada vez una mayor importancia al control de efluentes contaminantes. En el caso de efluentes en cuerpos de agua, la Comisión Nacional del Agua en Octubre de 1991 emitió un nuevo derecho federal titulado "Derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales" (consultar página 40).

Este derecho establece nuevas y mayores cuotas por las descargas contaminantes en cuerpos de agua (ríos, lagos, lagunas, mares, etc.), tomando como parámetros a la DQO y los SST. Como ya se ha mencionado en los ingenio azucareros se tiene un elevado consumo y descarga de agua, es por ello que esta nueva disposición coloca a la industria del azúcar en una situación comprometida.

PREPARACIÓN DE LA AUDITORÍA.

- Preparar y organizar recursos y al equipo auditor.

Para efectuar la auditoria se contó con la ayuda del superintendente del laboratorio de fábrica, quien ha sido el encargado de los asuntos relativos al área ambiental del ingenio. A la vez que se permitió el acceso al laboratorio y equipo existente para la determinación de los parámetros que fue posible evaluar (en el laboratorio de fábrica se hacen solamente pruebas de control de calidad del azúcar, de agua de calderas, de control de proceso y análisis de materia prima, por ello no es posible efectuar una análisis adecuado de los efluentes del ingenio).

El propósito del presente trabajo es realizar un estudio ambiental completo del ingenio, por tanto se toman en cuenta los efluentes en agua, aire y tierra. Por otra parte se busca obtener el máximo provecho del manual de la O.N.U.D.I., por lo que se aplica un balance de materia a toda la planta y otro por cada operación unitaria del proceso. Sin embargo, debido a la falta de datos y a la imposibilidad de medir todas las entradas y salidas de cada operación unitaria, es necesario estimar muchas de las mismas.

Se cuenta con planos de localización de la planta, diagramas de flujo y registros de estudios ambientales previos (estudio isocinético y perimetral), realizados por compañías privadas.

No se miden ni se analizan periódicamente los efluentes líquidos, por lo que es necesario elaborar un diagrama del arreglo de los canales de desalojo de aguas de desecho, medir los flujos de entrada y salida, hacer pruebas en el laboratorio del ingenio y mandar muestras para su análisis a otros laboratorios.

- Características de la región:

Temperatura media máxima de 34.6 °C.

Temperatura media anual de 22.0 °C.

Temperatura media mínima de 8.8 °C.

Precipitación media anual de 729.4 mm

Vientos reinantes, dirección sureste, velocidad de 1 m/seg.

La caña proviene principalmente de seis ejidos de la región; las tierras son de origen aluvial, con topografía plana y ligeramente ondulada, drenaje superficial mediano, texturas medianas y pesadas, erosión leve, pH alcalino y de fertilidad mediana.

Es evidente la presencia de plagas de la caña de azúcar, que sin embargo no representa actualmente un problema muy significativo.

- Características del proceso:

Operación semi automática.

Capacidad de diseño = 550 ton. azúcar/día.

Capacidad máxima = 500 ton. azúcar/día.

Operación las 24 hrs. del día, 7 días a la semana y 25 semanas al año.

Proceso intermitente.

Licencia de SEDESOL en trámite.

Materia prima: caña de azúcar.

Producto: azúcar estándar.

Subproductos: miel final.

Servicios auxiliares requeridos: vapor de calderas, energía eléctrica, combustóleo industrial y aire de instrumentos.

- Dividir el proceso en operaciones unitarias.

Se hace un estudio de la documentación existente y de las características del proceso, identificando las operaciones unitarias del mismo.

(Las instalaciones de la planta se muestran en la figura 3.2).

Las operaciones unitarias en las que se dividió el proceso se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Operaciones unitarias del ingenio.

<i>Operación unitaria.</i>	<i>Función.</i>
1) Recepción en batey.	Recepción, almacenamiento y lavado de la caña.
2) Extracción.	Extracción del jugo de la caña por medio de molinos.
3) Sulfitación.	Decoloración del jugo mezclado con gases de azufre.
4) Alcalización y calentamiento.	Neutralizar la acidez del jugo y precipitar impurezas en el mismo.
5) Clarificación.	Sedimentación de los lodos del jugo clarificado.
6) Evaporación.	Concentrar la sacarosa en el jugo.
7) Cristalización.	Cristalizar la sacarosa del jugo.
8) Centrifugación.	Separar los cristales de la miel.
9) Secado y envase.	Secar los cristales de azúcar con aire caliente y envasar en costales de 50 kg.
10) Generación de vapor.	
11) Generación de energía eléctrica.	

- Construir el diagrama de flujo de proceso con base en las operaciones unitarias.

El diagrama de flujo se muestra en la Figura 3.3

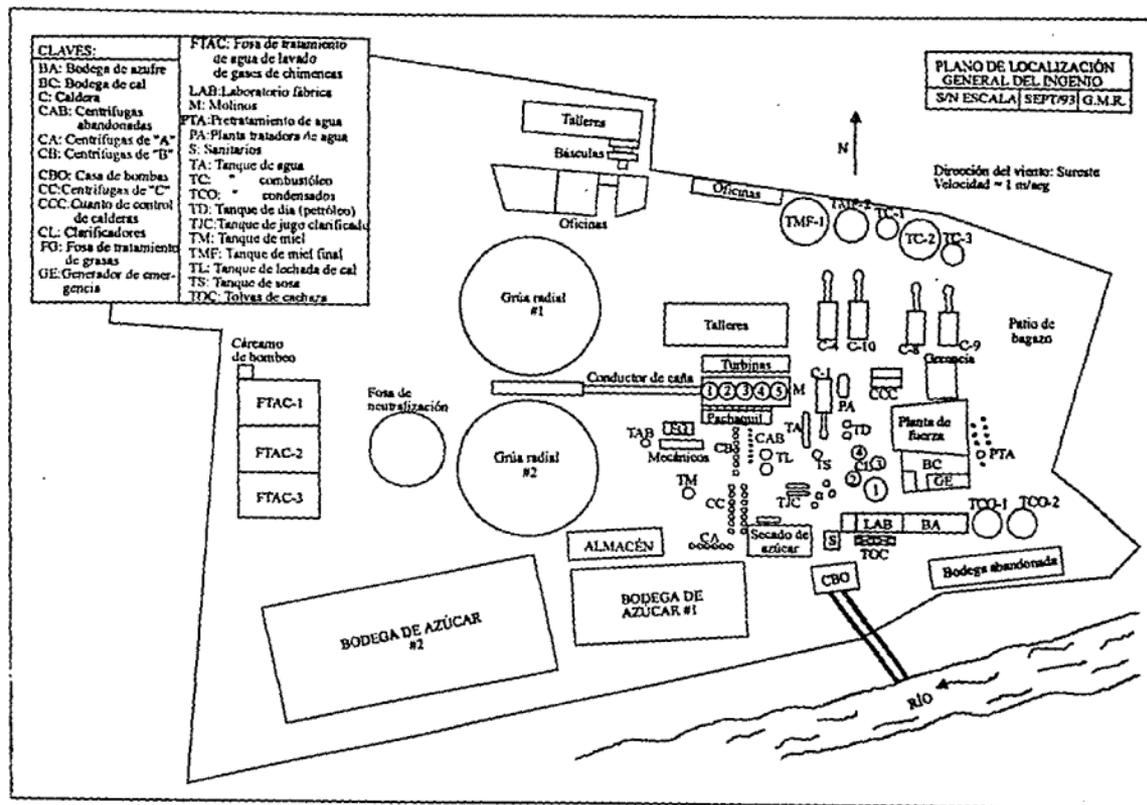
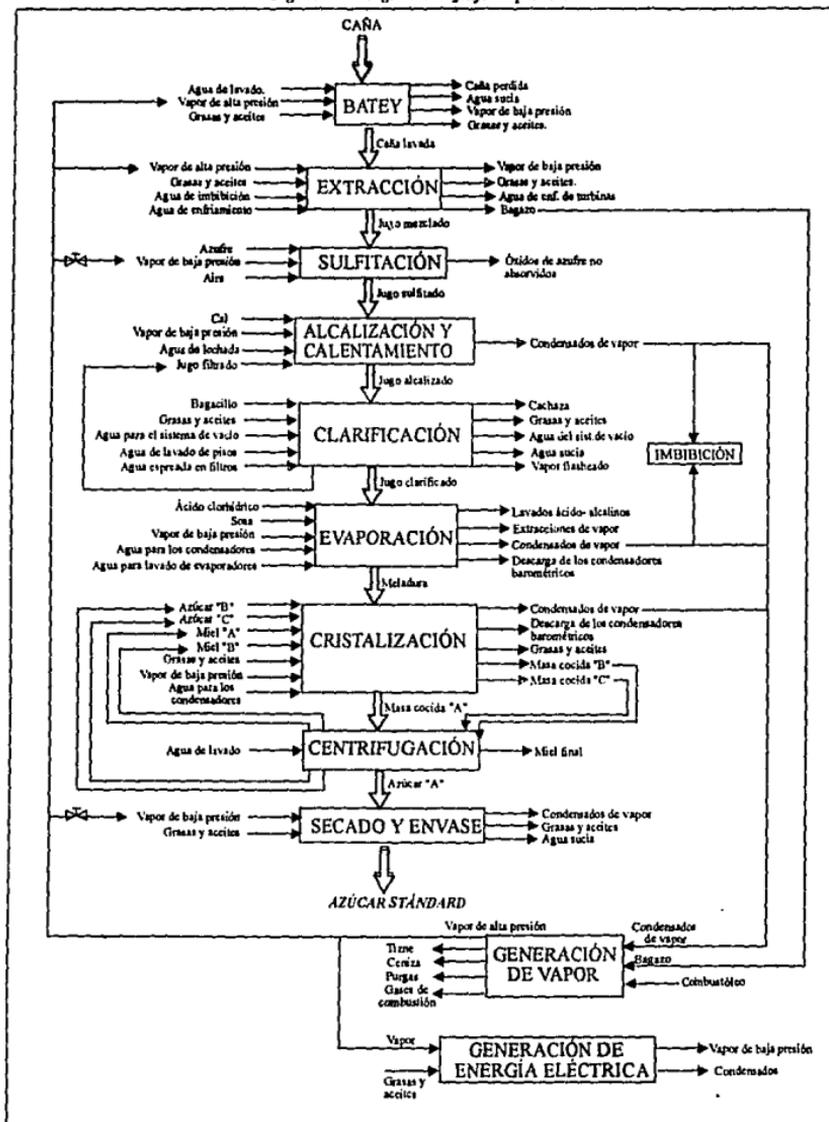


Figura 3.2 Plano de distribución general del ingenio.

Figura 3.3 Diagrama de flujo de proceso.



- Reconocimiento detallado de las instalaciones del ingenio con base en las operaciones unitarias consideradas.

Transporte.

Para transportar la caña al ingenio se usan camiones de redilas de distintas capacidades; la caña que se abastece al ingenio tiene un alto contenido de punta, hojas y tierra, y su porcentaje en fibra varía del 11 al 13%.

Recepción en batey.

La caña se recibe en bultos encadenados de 6 toneladas aproximadamente, y se descarga de los camiones con 2 grúas radiales autoestables de 6 toneladas como máximo, a razón de 150 toneladas de caña por hora (t.c.h.) como descarga teórica. La caña es apilada en el suelo de donde se transporta a 2 mesas lavadoras empleando las mismas grúas:

	Ancho (m)	Largo (m)
Mesa lavadora #1.	6.85	8.85
Mesa lavadora #2.	7.15	8.20

La falla de cualquiera de las grúas causa una alimentación discontinua del molino, lo que provoca paros del mismo.

El agua para el lavado de la caña en las mesas, proviene de la salida de las piernas de los condensadores barométricos de evaporadores y tachos. Ya que la alimentación en las mesas no es constante, es recomendable controlar el flujo de agua de lavado, pues en muchas ocasiones no hay caña que lavar y sin embargo el agua continúa fluyendo. Cuando esto ocurre, el agua sin utilizar se reúne con otras descargas contaminantes en la salida del ingenio hacia riego, incrementando el volumen de la descarga.

La caña lavada se transporta al molino por medio de 2 conductores colineales de tablillas de acero. La preparación de la caña para la molienda se lleva a cabo en un juego de cuchillas accionado por turbina de 1000 HP a 4,500 r.p.m., y a continuación por una desfibradora de martillos de tipo Unigrator, accionado por turbina de 700 HP a 3,600 r.p.m., obteniéndose de esta forma de un 70 a un 90% de celdas rotas.

La zona de recepción de la caña presenta encharcamientos y lodazales ya que no se encuentra pavimentada, mientras que en el área de lavado parte de la caña se pierde al caer de las mesas lavadoras o al ser recogida por las grúas, observándose caña en descomposición en varias secciones del batey. El canal de salida del agua de lavado, al arrastrar trozos de caña y basura, presenta continuamente problemas de azolve, que es necesario remediar manualmente.

En el sitio donde se encuentra la desfibradora y a lo largo del conductor hacia el molino hay gran cantidad de fibra de caña tirada, que no es recogida de manera periódica, por lo que se encuentra en estado de descomposición dando un mal aspecto al lugar.

Extracción.

El tándem de molinos está compuesto por 5 unidades de vírgenes inclinadas tipo Fulton, con las siguientes características:

Molino	Mazas		Turbina	
	Diámetro (m)	Longitud (m)	HP	r.p.m.
1	1	1.8	1,100	4,500
2	1	1.8	1,000	4,500
3	1	1.8	1,000	4,500
4	1	1.8	700	4,500
5	1	1.8	700	4,500

Un primer colado del jugo extraído se hace a través de un tamiz con cepillos transportadores, el bagacillo separado se descarga por medio de transportadores helicoidales (gusanos) hacia la entrada del 1o. y 2o. molinos. Para extraer la arena del jugo del primer colado se utiliza un transportador de rastrillos de madera con 2 hilos de cadena, el segundo colado lo realizan dos coladores del tipo DSM instalados en paralelo.

La imbibición que se utiliza es simple o compuesta, y del 200% de la fibra, con agua a 60 °C. El equipo de bombeo de molinos consta de 3 bombas centrífugas de 38 litros/seg con motor de 30 H.P. para el lavado de las charolas, 2 bombas centrífugas de 76 litros/seg con motor de 125 H.P. que envían jugo mezclado a proceso, y una bomba centrífuga que maneja el agua de imbibición que se aplica con espreas.

En la zona de molinos se genera una gran cantidad de agua aceitosa y grasosa por el enfriamiento en chumaceras y cabezotes de los molinos. Parte de esta agua es recolectada en una fosa separadora de grasas, la que se encuentra en muy mal estado y no funciona adecuadamente. El agua grasosa restante es enviada directamente a una pequeña laguna, que no está acondicionada para este fin y que no recibe ningún tipo de mantenimiento.

Las bombas de jugo extraído se encuentran en una fosa cerrada con una bomba de achique (pachaquil), que sirve de contenedor de los derrames de jugo, sin embargo el jugo acumulado se deteriora rápidamente por las malas condiciones que prevalecen en ese sitio.

La operación de los molinos es irregular, ya que es necesario parar cuando la caña no se alimenta en forma adecuada, o cuando surge un problema de tipo mecánico en el molino (lo cual es muy frecuente).

El bagazo que sale del último molino pasa sobre una tela perforada, donde dos ventiladores succionan el bagazo fino (bagacillo) y lo envían a la zona de clarificación para que sirva de filtro ayuda en los filtros de cachaza, el resto del bagazo se envía a calderas y el jugo mezclado (jugo extraído del 1er. y 2do. molinos) es bombeado a la torre de sulfitación en el último piso de la planta.

Sulfitación.

El jugo mezclado se envía al cuarto piso de la planta donde se encuentra la torre de sulfitación, de estructura de madera y 7 m de alto con una chimenea de 2 m en la parte superior, donde se descargan los gases de azufre que no son absorbidos por el jugo.

Los gases de azufre (óxidos de azufre) se obtienen de un horno alimentado manualmente con azufre sólido, que se encuentra en la planta baja de la fábrica (se observa azufre tirado en los alrededores del horno).

El jugo mezclado entra por la parte superior de la torre, mientras que el jugo sulfitado sale por el fondo de la misma, de donde se distribuye en dos básculas, una de 4,165 kg y otra de 4,125 kg de capacidad para el pesaje del jugo.

Alcalización y calentamiento.

El tanque alcalizador #1 de 25,000 litros recibe el jugo sulfitado y lo envía hacia el tanque alcalizador #2 de 15,000 litros. En este tanque se adiciona cal, la cual proviene de 2 tanques de lechada de cal de 2,728 lts. agitados mecánicamente. Debe mencionarse que la cal está en movimiento continuo en un circuito, ya que de lo contrario se formarían "tapones" en la tubería que pueden causar derrames de lechada al piso.

La alimentación de cal en los tanques de lechada se realiza manualmente con bultos de 50 kg que son transportados en carretilla desde la bodega. Se observa bastante cal tirada junto a los tanques, dando un aspecto desaseado a la zona.

El jugo alcalizado que sale del tanque #2 es calentado en 6 intercambiadores de calor, 2 de 115 m² y 4 de 228 m² de superficie de calefacción. Se utilizan únicamente los 4 últimos, los dos primeros para el 1er. calentamiento con vapores del primer efecto del evaporador y los dos restantes para el 2do. calentamiento con vapor de escape, los dos intercambiadores de 115 m² se usan cuando los otros se encuentran en limpieza.

Clarificación.

Se cuenta con 4 clarificadores con las siguientes características:

Clarificador	Diámetro (m)	Capacidad (lts.)
1	6.70	220,000
2	11.0	692,000
3	7.92	320,000
4	6.70	220,000

De los cuales uno o dos está en uso, mientras los otros están en limpieza. El jugo alcalizado caliente, previo flasheo de gases y adición de floculantes, entra por la parte superior del clarificador, mientras que los lodos separados salen por el fondo y por un canal que sale de la parte superior.

Los lodos que salen por el canal llegan a un tanque donde se mezclan con el bagacillo, el cual sirve como medio filtrante en los filtros rotatorios al vacío. Los recipientes de forma ciclónica que reciben al bagacillo no están sellados adecuadamente, por lo que se observa bagacillo acumulado en los alrededores de los recipientes y flotando en el ambiente.

Existen 2 filtros rotatorios al vacío donde se filtra y recupera jugo eliminando la cachaza, mientras que aspersores de agua bañan la cara externa de cada cilindro. La cachaza adherida a la superficie de los cilindros se separa con una cuchilla, siendo entonces desalojada con un transportador helicoidal hacia las tolvas para su transporte fuera del ingenio.

En esta sección de la planta se observan los siguientes problemas:

- los filtros rotatorios al vacío carecen de un sistema de desalojo de tierra y lodo acumulados, por lo que es necesario detener el filtro para vaciar el lodo que cae directamente al suelo ensuciando más la zona,
- parte de los lodos que salen de los clarificadores se descargan en un tanque cilíndrico que carece de una salida adecuada, por lo que se derraman y caen en un canal que los transporta a la salida del ingenio hacia riego,
- no se controla adecuadamente el agua de aspersión que se aplica en los filtros, por lo que una parte de esta cae al piso como una "lluvia ligera",
- el piso en esta zona se limpia con un chorro de agua, que permanece abierto aun cuando no se esté usando.

El jugo filtrado en los cilindros rotatorios al vacío se recircula a la etapa de alcalización, mientras que el jugo clarificado se almacena en dos recipientes cilíndricos de 6 m. de largo, de donde se envía a evaporación por medio de dos bombas (continuamente se detectan fugas de jugo en estas bombas, lo que representa una pérdida monetaria significativa y una generación de contaminantes).

Evaporación.

Existen 2 cuádruples efectos, ambos con extracción de vapor del primer efecto para un 1er. calentamiento del jugo alcalizado en intercambiadores de calor.

El jugo clarificado entra a un preevaporador de donde se envía al múltiple efecto. El uso de los cuádruples efectos es alternado, se usa el primero cuando el segundo está en limpieza y viceversa. El vapor del último efecto entra a un condensador barométrico, donde la temperatura de la pierna barométrica es de aproximadamente 45 °C.

Se generan desechos ácidos y alcalinos por el lavado semanal de los cuerpos de los evaporadores.

Cristalización.

La meladura proveniente de los evaporadores se cristaliza en tachos al vacío:

- tachos #1, #2, #3 y #4 se utilizan para templeas de "A",
- tachos #9, #10 y #11 se utilizan para templeas de "B" (actualmente el tacho #9 no está en uso),
- tachos #5, #6, #7 y #8 se utilizan para templeas de "C" (actualmente los tachos #7 y #8 no están en uso).

Se emplea el sistema de tres templeas o masas cocidas A, B y C, que consiste en cristalizar la meladura proveniente de los evaporadores en las tachos de A, mientras que en los tachos de B y C se cristaliza miel de una pureza menor.

Se cuenta además con 2 graneros cilíndricos horizontales, con una capacidad de almacenamiento de 54 m³ cada uno; el primero para grano de "B" y el segundo para grano de "C" y dos semilleros de 22 m³ para azúcar de C.

La masa de A (que sale de los tachos de A), se recolecta en dos portatemplas en forma de "U" con capacidad de 32 m³ cada una, con agitación por medio de aspas; de donde se alimenta a las centrifugas de A.

La masa de B se recolecta en cuatro portatemplas en forma de "U", con capacidad de 32 m³ cada una, con agitación por medio de aspas para alimentar las centrifugas de B.

La masa de C se recolecta en cinco portatemplas en forma de "U", con capacidad de 36 m³ cada una, las que cuentan con un sistema de enfriamiento y uno de agitación (es en este equipo donde se hace el refundido del azúcar perdido durante el secado), estas portatemplas alimentan las centrifugas de C.

En la sección de portatemplas hay derrames de masa de A, B o C, las que tienen una consistencia espesa, y al no ser recogidas se endurecen poco a poco. Todos los mecanismos de agitación requieren de grasa para su correcto funcionamiento, por lo que se forman pequeños charcos en el suelo, junto a los engranes que mueven las aspas.

Centrifugación.

Para templeas de A se usa una batería de 5 centrifugas "batch" automáticas, de estas centrifugas se obtiene el azúcar estándar que se envía a secado, y miel A que sirve de alimentación a los tachos de B.

Para templeas de B se cuenta con una batería de 7 centrifugas "batch" automáticas, de esta batería se obtiene el azúcar B que puede adicionarse al azúcar estándar o servir como semilla en los tachos A, y la miel B que sirve de alimentación a los tachos de C.

Para templeas de C se utiliza una batería de 5 centrifugas continuas y 5 intermitentes, de estas dos baterías se obtiene azúcar C que se usa como semilla de los tachos A o B, y miel final como subproducto del proceso.

En la sección de centrifugas de C, a nivel de piso se observan charcos y fugas de miel, los canales de desagüe se encuentran parcialmente bloqueados por la miel acumulada. La limpieza se realiza con mangueras de agua, sin embargo el agua de desecho es incorporada al canal de salida al río, incrementando la DQO de este efluente.

La zona de las centrifugas de B se encuentra con mayor acumulación de azúcar, miel y basura en el suelo que la anterior.

En la zona de las centrifugas de A se observan pérdidas de azúcar, que cae al suelo y se mezcla con charcos de agua o permanece adherida a las paredes externas del ducto donde se transporta atrayendo insectos.

En general se observa en el área de centrifugado una falta de atención en las operaciones que allí se realizan, un mantenimiento inadecuado y una necesidad de aplicar medidas para el manejo adecuado de sus efluentes.

Secado y envase.

El azúcar A húmeda conducida por un transportador helicoidal entra a un elevador de canchales de 15 m de altura, al llegar a la parte superior el azúcar cae en un ducto que la desaloja en un cilindro cónico de 4 m de alto y 5 m de altura, en cuya base se recibe aire extraído por tres ventiladores. A continuación el azúcar entra a un secador cilíndrico tipo Roto-Louvre de 3.0 m de diámetro y 12.7 m de largo, el mecanismo giratorio del cilindro requiere de grasa lo que puede formar charcos mezclándose con el azúcar perdida.

En el extremo final del secador las partículas de mayor tamaño son separadas, el resto se envía por un ducto vertical a una criba donde se separan basura y cristales de azúcar de mayor tamaño al desecho (el cribado del azúcar se hace con una malla al aire libre, lo que provoca que todas las partículas finas de azúcar se pierdan en la atmósfera). Las partículas separadas se guardan en sacos de 50 kg para su posterior refundido, mientras que el azúcar ya cribado se envía a una tolva de azúcar que en la parte inferior tiene una máquina para el pesado y envasado de costales de 50 kg que son enviados a dos bodegas.

Como ya se ha mencionado en esta sección se aprecia una cantidad significativa de azúcar tirada en el suelo, lo que representa un desperdicio de recursos y una fuente potencial de contaminantes debido a su posible incorporación en cuerpos receptores.

Generación de vapor.

Existen cinco calderas acuotubulares, acondicionadas para quemar bagazo o combustible pesado.

Características de las calderas:

Caldera #1.

- Marca Babcock & Wilcox, de tubos rectos, de un domo y superficie de calefacción de 1,845 m², no cuenta con precalentador de aire.
- Capacidad nominal = 40,834 kg/hr de vapor sobrecalentado a T = 260 °C y P = 17.6 kg/cm².
- Chimenea de concreto de 48 m.

Caldera #4.

- Marca Babcock & Wilcox, de tubos rectos, un domo y superficie de calefacción de 1,375 m², no cuenta con precalentador de aire.
- Capacidad nominal = 31,760 kg/hr de vapor sobrecalentado, T=260°C y P=14 kg/cm².
- Chimenea de lámina de fierro de 30 m.

Caldera #8.

- Marca Babcock & Wilcox, de tubos rectos, 4 domos con superficie de calefacción de 881 m², no cuenta con precalentador de aire.
- Capacidad nominal = 27,223 kg/hr de vapor saturado, T = 203 °C y P= 14 kg/cm².
- Chimenea de lámina de fierro de 30 m.

Caldera #9.

- Marca Babcock & Wilcox, de tubos curvos, 2 domos y una superficie total de calefacción de 2,211 m², si cuenta con precalentador de aire.
- Capacidad nominal = 68,058 kg/hr de vapor sobrecalentado, T = 260 °C y P= 21 kg/cm².
- Chimenea de lámina de fierro de 30 m.

Caldera #10.

- Marca Dallas Boiler, de tubos curvos, 2 domos y una superficie total de calefacción de 2,211 m², si cuenta con precalentador de aire.
- Capacidad nominal = 68,058 kg/hr de vapor sobrecalentado, T = 260 °C y P = 21 kg/cm².
- Chimenea de concreto de 55 m.

El cabezal general de vapor directo trabaja a una presión de 17.6 kg/cm² y 260 °C de temperatura, el combustible pesado se acondiciona con 2 intercambiadores de calor a una temperatura de 110 °C y después se inyecta a los quemadores a una presión de 12 kg/cm².

El bagazo que proviene de los molinos se maneja con 3 transportadores de tablillas verticales, las calderas 9 y 10 tienen 2 transportadores auxiliares cada una para alimentar las celdas de los hornos, mientras que el retorno de bagazo se hace con un transportador del mismo tipo de los anteriores.

El agua de alimentación proviene casi en un 100% de los condensados en distintas partes de la planta, excepto al inicio de la zafra cuando se usa una planta de tratamiento Diaztor de 56,775 ton/hr. El agua se inyecta a las calderas a una temperatura de 90-95 °C y a una presión de 21 kg/cm²; existe un deareador para el agua de alimentación de las calderas con capacidad de 90,720 kg/hr; que no se opera por carecer de instrumentación adecuada.

Generalmente sólo 3 calderas operan al mismo tiempo, la #9, la # 10 y la #4, en caso de que alguna de ellas tenga que parar se usa la #1.

Todas las chimeneas cuentan con un sistema anticontaminante para el lavado de los gases y así evitar la emisión de partículas al ambiente, con lo que se ha controlado este problema. Mientras que por el uso de combustóleo pesado como combustible auxiliar continúan las emisiones de gases de azufre.

En el área donde se encuentran las chimeneas hay una gran cantidad de bagazo flotando en el ambiente, lo que causa molestias para respirar y trabajar adecuadamente.

Generación de energía eléctrica.

Se cuenta con tres turbogeneradores, dos de ellos marca General Electric, con capacidad de generación de 1,500 kw cada uno, 480 volts a 3,600 r.p.m., ambos obsoletos por los años que tienen de servicio y de construcción.

El tercer turbogenerador es marca AEG Kanis, con turborreductor y capacidad de generación de 3,000 kw, 440 volts, 4,920 amperes a 1,800 r.p.m.

Se tiene un transformador de 2,000 k.v.a., 23,000/480 volts y 2,408 amperes, para respaldo con la C.F.E., capaz de absorber el 50% de la carga total.

La demanda total de carga en las condiciones actuales es de 3,914 amperes, con un factor de potencia de 0.8.

La planta de emergencia opera con diesel, y es de 650 kw, 480/227 volts a 1,800 r.p.m., sin embargo no funciona actualmente.

Las únicas emisiones de esta sección son descargas de vapor agotado y una corriente de agua relativamente limpia usada para el enfriamiento de las turbinas, la que se descarga en el canal de salida a riego.

III.2.2 FASE II. BALANCE DE MATERIA Y DE ENERGÍA.

Para localizar en qué operaciones unitarias ocurre una emisión importante de contaminantes, o para saber si hay pérdida de materia prima, insumos o producto en el proceso, es necesario efectuar un balance de materia y energía global de toda la planta y otro por cada operación unitaria.

Para los cálculos se tomaron los datos que aparecen en el informe de corrida correspondiente a la zafra 1991-1992 (tabla 3.2), además durante la visita al ingenio en 1993 se obtuvieron registros de las condiciones de operación de la planta, complementando estos con los que aparecen en un estudio previo en el ingenio (Azúcar S.A., 1986). Sin embargo, ya que este proceso es de tipo intermitente (debido principalmente a los constantes paros en molinos y batey) es difícil establecer un balance que represente de manera continua la operación del ingenio. Resulta conveniente considerar un lapso en el cual el proceso presente un comportamiento aproximadamente continuo, y ya que el registro del tiempo perdido durante la zafra es una práctica habitual en los ingenios, puede obtenerse un "tiempo de molienda efectiva", que resulta ser la base de cálculo adecuada para el balance.

Es necesario hacer estimaciones en prácticamente todas las operaciones unitarias en las que se dividió al proceso, debido a que no se registran todas las entradas en cada operación y mucho menos se evalúan pérdidas o salidas (el principal interés en los ingenios se encuentra en los balances de sacarosa y sólidos).

ENTRADAS Y SALIDAS DEL PROCESO.

De acuerdo a los datos de la tabla 3.2 se considera un tiempo de molienda efectiva de 15 hrs/día, los valores numéricos mostrados se obtuvieron de tres formas distintas:

- IC : Calculado de acuerdo al Informe de corrida del ingenio, zafra 1991/1992.
- OP : Obtenido en planta.
- ES : Valor estimado.

La memoria de cálculo se muestra en el Anexo IV.

Tabla 3.2 Datos del informe de corrida.

<i>Datos de molienda. Corrida. A la fecha.</i>			<i>Tiempo perdido(hrs) Corrida. A la fecha.</i>		
Días de zafra	4	175	Fábrica	10.5	578.2
Hrs. y min. zafra	92	4,196	Personal	28.5	366.4
Hrs. y min. molienda	49.55	2,543	Días festivos	0.0	25.1
Hrs. y min. perdidos	42.05	1,652.5	Campo	2.25	58.15
% (tpo.perd./tpo.tot.)	45.74	39.39	Lluvias	0.0	624.25
Tons.caña molida	9,483.3	515,299.3	Total.	42.05	1,652.55
Tons.caña molida/día	2,370.8	2,944.57	Elec.gen. KWH	250,700	7,226,000
Tons.caña molida/hr	189.98	202.628	Cons.elec. C.F.E.	6,000	355,000
Tons.caña molida/24 h	4,599.6	4,863	<i>Sección de campo. Corrida. A la fecha.</i>		
Imbibición % caña	37	35.4	Tons.caña cortada	8,251,745	515,299
Tons. jugo mezclado	9,964	541,874	Tons.caña molida	9,278	501,668
Ext.jugo abs. %caña	77.5	79.58	% de caña quemada	100	100
Ext.pol % pol caña	89.61	91.39	Mat.extraña % caña	2.165	2.645
Bagazo % caña	31.94	30.24	Tons.mat.extraña	205.36	13,631.36
Tons.azúcar estándar	1,565.4	56,090.4	Hectareas cosech.	182.2	5,950.65
Tons.miel final	1,089.4	21,031.74	Vehiculos acarreo	60	107
Azúcar P. y E. %caña	9.27	10.88	<i>Balance de Pol (toneladas).</i>		
Eficiencia fábrica	69.9	77.23	Perd. bagazo	130.126	6,234.46
Recup.tot.red.fábrica	79.6	81.521	Perd. miel final	195.45	8,150,301
Lts. combustóleo	251,990	6,486,658	Perd. cachaza	18.81	791
Lts. comb./ton. caña	26.57	12.58	Perd.indeterminadas	32.824	1,314.24
Kg azufre/ton. caña	0.095	0.117	Azúcar P y E	876.29	55,941.41
Kg cal/ton. caña	1.352	1.298	Pol en caña	1,253,510	72,431.43
Kg sosa/ton. caña	0.0	0.159	<i>Balance de sólidos (toneladas).</i>		
Kg ác. mur./ton.caña	0.0	0.091	Sól. azúcar P y E	879.17	56,069
gr. floculante/ton.caña	10.54	4.64	Sól.miel final P y E	414.15	19,246.23
Cachaza % caña	4.5	4.43	Sól.cachaza	75.37	4,011.66
			Sól.indeterminados	123.711	3,431.54
			Sól.totales	1,492.4	82,758.51

Tabla 3.2 (Continuación)

<i>Datos analíticos.</i>	<i>%fibra</i>	<i>Brix</i>	<i>Pol</i>	<i>Pureza</i>	<i>%Humedad</i>	<i>pH</i>
Caña	Corrida	13.28		13.2		
	A la fecha	12.74		14.06		
Bagazo		41.59	5.86	4.3	52.55	
		42.12	5.12	4.0	52.76	
Cachaza		9.57		4.41	72.77	
		9.13		3.46	73.30	
Jugo desmenzado		17.89	14.2	79.35		
		17.81	14.93	83.82		
Jugo absoluto		20.30	15.24	75.07		
		20.18	16.11	79.82		
Jugo mezclado		14.98	11.27	75.27		5.17
		15.27	12.22	79.99		5.25
Jugo clarificado		14.86	11.58	77.95		6.49
		15.17	12.6	83.06		6.78
Meladura		56.7	46.37	81.79		6.14
		56.55	47.91	84.71		6.45
Masa cocida A		92.54	79.56	85.98		
		92.16	81.41	88.33		
Miel A				71.69		
				75.09		
Masa cocida B		94.70	72.18	76.22		
		95.17	74.08	77.84		
Miel B				57.32		
				57.23		
Masa cocida C		96.86	63.10	65.15		
		97.58	60.91	62.42		
Miel final		90.76	39.74	43.78	50.72	5.96
		91.51	38.75	42.35	51.20	5.98
Azúcar				99.68	0.044	
				99.73	0.038	

- Balance global de proceso.**Entradas:**

- 203 ton/hr de caña. (IC)
- 0.0149 ton/hr de grasa y aceite. (IC)
- 0.023 ton/hr de azufre. (IC)
- 0.26 ton/hr de cal. (IC)
- 0.0009 ton/hr de floculante. (IC)
- 0.018 ton/hr de ácido muriático. (IC)
- 0.032 ton/hr de hidróxido de sodio. (IC)
- 2.295 ton/hr de combustóleo. (IC)
- 426 ton/hr de aire. (OP)
- 3,091 ton/hr de agua de alimentación. (OP)

Salidas:

- 22.051 ton/hr de azúcar estándar. (IC)
- 8.27 ton/hr de miel final. (IC)
- 8.9 ton/hr de cachaza. (IC)
- 0.005 ton/hr de azúcar perdida. (ES)
- 0.38 ton/hr de caña perdida. (ES)
- 1.407 ton/hr de sólidos perdidos como meladura. (OP)
- 0.052 ton/hr de bagazo perdido. (ES)
- 0.0002 ton/hr de azufre perdido. (ES)
- 0.0013 ton/hr de cal perdida. (ES)
- 0.0149 ton/hr de grasa y aceite. (IC)
- 0.094 ton/hr de óxidos de azufre no absorbidos en el jugo (sulfitación). (ES)
- 480 ton/hr de gases de combustión. (OP)
- 45 ton/hr de tizne semisólido. (OP)
- 0.875 ton/hr de cenizas de calderas. (ES)
- 5.07 ton/hr de purgas de calderas. (ES)
- 3.68 ton/hr de vapor de escape. (ES)
- 12.91 ton/hr de vapor flasheado en clarificadores. (OP)
- 12.3 ton/hr de vapor de baja y condensados no localizados. (OP)
- 33.6 ton/hr de condensados a almacenamiento. (OP)
- 5.4 ton/hr de exceso de condensados desalojados. (OP)
- 3,065.4 ton/hr de agua de desecho. (OP)
- 11 ton/hr de agua para usos generales de planta y pérdidas indeterminadas. (ES)

Entradas - Salidas = 6.21 ton/hr

Figura 3.4 Balance global del proceso.

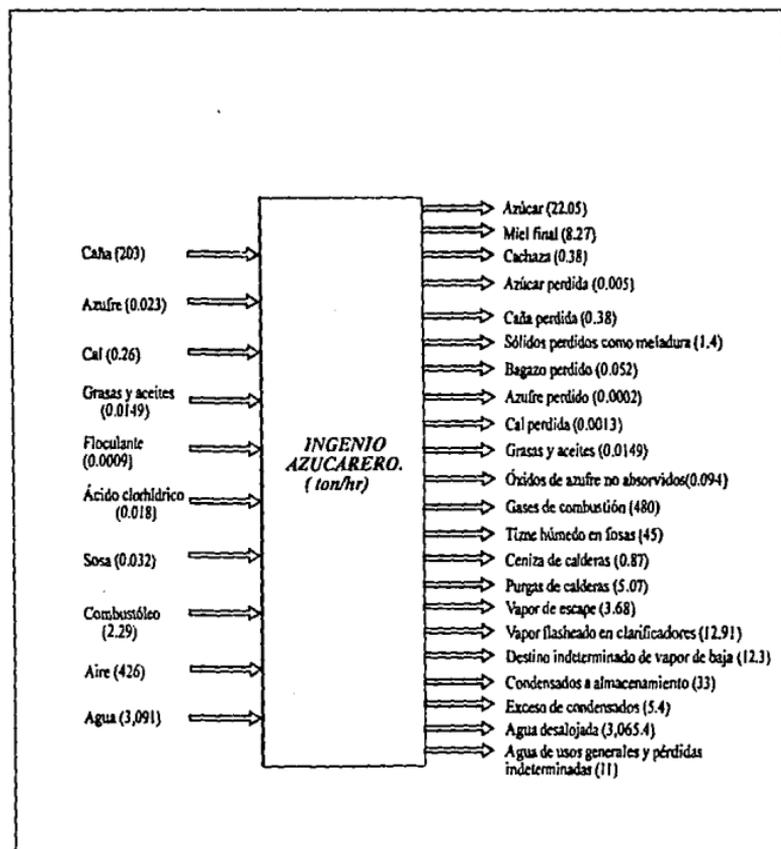


Tabla 3.3 Materia prima y pérdidas durante su manejo.

Materia prima.	Cantidad de materia prima (ton/hr)	Materia prima comprada (ton/hr).	Almacenamiento.	Pérdidas estimadas (ton/hr).
Caña.	203	203	A ciclo abierto.	0.38 ton/hr
Aceites.	0.0149	0.015	Tambos en almacén.	
Azufre.	0.023	0.023	A granel en bodega.	2×10^{-4}
Cal.	0.26	0.26	A granel en bodega.	1.33×10^{-3}
Floculante.	9×10^{-4}	9×10^{-4}	Bodega.	
Sosa.	0.032	0.032	Tanque de almacenamiento.	
Ácido muriático.	0.018	0.018	Tanque de almacenamiento.	
Combustóleo.	2.3	2.3	Tanque de almacenamiento.	
Bagazo.	61.23		A ciclo abierto.	0.052

Tabla 3.4 Costo de algunos insumos y productos del ingenio.

Insumo	Costo
Caña	85 NS/ton
Agua	0.027 NS/m ³
Electricidad	0.163 NS/KWH
Combustóleo	0.24 NS/l
Grasas y aceites	2.72 NS/l
Ácido clorhídrico	0.31 NS/l
Sosa	0.67 NS/kg
Floculante	17.6 NS/kg
Azufre	0.25 NS/kg
Cal	0.20 NS/kg
Camiones de transporte (cachaza, tizne, caña y ceniza).	85,000 NS/viaje
Miel	200 NS/ton
Azúcar estándar	1,595 NS/ton

- Balance por operación unitaria.Batey.**Entrada:**

- 203 ton. caña/hr. (IC)
- 468 ton/hr de agua de lavado de caña (Regularmente comienza a las 7:30 a.m. y termina a la 1:00 a.m.). (OP)
- 13.3 ton/hr de vapor de alta presión para turbinas. (OP)
- 0.002 ton/hr de grasa y aceite. (ES)

Salida:

- 202.63 ton caña/hr. (ES)
- 0.37 ton/hr de caña perdida durante el lavado. (ES)
- 468 ton/hr de agua de lavado de caña. (OP)
- 13.3 ton/hr de vapor de baja presión. (OP)
- 0.002 ton/hr de grasa y aceite. (ES)

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = 0.0$$

Extracción.**Entrada:**

- 202.63 ton/hr de caña. (ES)
- 71.73 ton/hr de agua de imbibición. (OP)
- 39.6 ton/hr de agua para enfriamiento de molinos. (OP)
- 44.49 ton/hr de vapor de alta presión para turbinas. (OP)
- 0.008 ton/hr de grasa y aceite. (ES)

Salida:

- 213.08 ton/hr de jugo mezclado. (OP)
- 61.28 ton/hr de bagazo. (OP)
- 39.608 ton/hr de agua grasosa. (OP)
- 44.49 ton/hr de vapor de baja presión (OP).

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = 0.0$$

Balance de Brix:

Extracción.	%Brix.	Ton/hr	
		Brix.	Total.
Caña.	17.6	35.67	202.63
Imbibición.			71.73
Total.		35.67	274.36
Bagazo.	5.12	3.14	61.28
Jugo mezclado	15.20	32.54	213.08
Total.		35.67	274.36

Balance de Pol:

Extracción.	% pol.	Ton/hr.	
		Pol.	Total.
Caña.	14.06	28.49	202.63
Imbibición.			71.73
Total.		28.49	274.36
Bagazo.	4	2.45	61.28
Jugo mezclado.	12.22	26.04	213.08
Total.		28.49	274.36

(El balance no permite identificar las pérdidas de pol o de brix que en realidad existen).

Sulfitación.

Entrada:

- 213.08 ton/hr de jugo mezclado. (OP)
- 0.023 ton/hr de azufre. (IC)
- 0.11 ton/hr de aire. (ES)
- 0.346 ton/hr de vapor de baja presión. (OP)

Salida:

- 213.12 ton/hr de jugo sulfitado. (ES)
- 0.093 ton/hr de óxidos de azufre no absorbidos en el jugo. (ES)
- 0.346 ton/hr de vapor condensado. (OP)
- 0.0002 ton/hr de azufre perdido. (ES)

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = 0.0$$

Alcalización y calentamiento.

Entrada:

- 213.12 ton/hr de jugo sulfitado. (ES)
- 34.47 ton/hr de jugo recirculado de los filtros de cachaza. (ES)
- 0.26 ton/hr de cal. (IC)
- 3.72 ton/hr de agua para lechada de cal. (ES)
- 23.05 ton/hr de vapor de baja presión para calentamiento. (OP)

Salida:

- 251.31 ton/hr de jugo alcalizado. (ES)
- 23.05 ton/hr de vapor condensado. (OP)
- 0.0013 ton/hr de cal perdida. (ES)

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = 0.258 \text{ ton/hr}$$

Clarificación.

Entrada:

- 251.31 ton/hr de jugo alcalizado. (ES)
- 80.64 ton/hr de agua del sistema de vacío de los filtros rotatorios. (OP)
- 63.47 ton/hr de agua de lavado de pisos y equipo. (OP)
- 8.62 ton/hr de agua de lavado de los filtros rotatorios. (ES)
- 0.91 ton/hr de bagacillo como filtro-ayuda de los filtros rotatorios. (ES)
- 0.0015 ton/hr de grasa y aceite. (ES)

Salida:

- 204.48 ton/hr de jugo clarificado. (ES)
- 34.47 ton/hr de jugo filtrado que se recircula a alcalización. (ES)
- 8.9 ton/hr de cachaza. (IC)
- 80.64 ton/hr de agua del sistema de vacío de los filtros rotatorios. (OP)
- 63.47 ton/hr de agua desechada. (OP)
- 12.91 ton/hr de vapor flasheado antes de los clarificadores. (ES)
- 0.0015 ton/hr de grasa y aceite. (OP)

Entrada - Salida = 0.01

Balance de brix:

Clarificación.	% brix.	Ton/hr.	
		Brix.	Total.
Jugo alcalizado.	13.63	34.26	251.31
Bagacillo.	5.12	0.047	0.91
Agua filtros.			8.62
Total.		34.307	260.84
Jugo clarificado.	15.17	31.01	204.48
Cachaza.	17.57	1.58	8.9
Jugo filtrado.	4.97	1.71	34.47
Vapor.			12.91
Total.		34.3	260.76

Balance de pol:

Clarificación.	% Pol.	Ton/hr.	
		Pol.	Total.
Jugo alcalizado.	10.92	27.43	251.3
Bagacillo.	4	0.07	0.91
Agua filtros.			8.62
Total.		27.47	260.84
Jugo clarificado.	12.6	25.76	204.48
Cachaza.	3.46	0.31	8.9
Jugo filtrado.	4.05	1.4	34.47
Vapor.			12.91
Total.		27.47	260.76

Evaporación.**Entrada:**

- 204.478 ton/hr de jugo clarificado. (ES)
- 852.418 ton/hr de agua para el condensador barométrico. (OP)
- 3.55 ton/hr de agua de lavado de evaporadores. (ES)
- 84.1 ton/hr de vapor de escape. (OP)
- 0.018 ton/hr de ácido muriático. (IC)
- 0.032 ton/hr de hidróxido de sodio. (IC)

Salida:

- 53.776 ton/hr de meladura. (OP)
- 872.628 ton/hr de agua del condensador más el vapor condensado. (OP)
- 152.79 ton/hr de condensados usados en proceso. (OP)
- 61.8 ton/hr de vapor de extracción. (OP)
- 3.6 ton/hr de lavados ácido y alcalino. (OP)

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = 0.0018$$

Balance de brix:

Evaporación.	% Brlx.	Ton/hr.	
		Brix.	Total.
Jugo clarificado.	15.17	31.019	204.48
Total.		31.019	204.48
Meladura.	56.56	30.414	53.776
Agua evaporada.		0.605	150.7
Total.		31.019	204.476

Balance de pol:

Evaporación.	% Pol.	Ton/hr.	
		Pol.	Total.
Jugo clarificado.	12.6	25.764	204.48
Total.		25.764	204.48
Meladura.	47.91	25.764	53.776
Agua evaporada.			150.7
Total.		25.764	204.476

Considerando que la Pol se conserva en la operación (lo cual no es del todo exacto), se observa una disminución en el brix atribuible al arrastre de azúcar en los evaporadores, y a que la sacarosa se hidroliza y destruye por calentamiento y pH ácido

Cristalización.

Entrada:

- 52.37 ton/hr de meladura. (OP)
- 31.76 ton/hr de miel "A". (OP)
- 24 ton/hr de miel "B". (OP)
- 13.51 ton/hr de azúcar "B". (OP)
- 7.46 ton/hr de azúcar "C". (OP)
- 1784.75 ton/hr de agua para los condensadores barométricos. (OP)
- 47 ton/hr de vapor de baja presión. (OP)
- 0.003 ton/hr de grasa y aceite. (ES)

Salida:

- 44.6 ton/hr de masa cocida de "A". (OP)
- 27.2 ton/hr de masa cocida de "B". (OP)
- 14.75 ton/hr de masa cocida de "C". (OP)
- 1827.3 ton/hr de agua de los condensadores más el vapor condensado. (OP)
- 47 ton/hr de condensados usados en proceso. (OP)
- 0.003 ton/hr de grasa y aceite. (ES)

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = 0.0$$

(1.406 ton/hr de meladura no se ha localizado de la evaporación a la cristalización).

Balance de brix:

Tachos "A".	% Brix.	Ton/hr.	
		Brix	Total.
Meladura.	56.55	29.615	52.369
Azúcar "B" *.	85	11.486	13.512
Total.		41.101	65.881
Masa de "A".	92.16	41.101	44.597
Agua evaporada.			21.284
Total.		41.101	65.881
Tachos "B".			
Azúcar "C".	91.48	6.824	7.459
Miel "A" *.	60	19.05	31.757
Total.		25.87	39.216
Masa de "B".	95.17	25.87	27.191
Agua evaporada.			12.025
Total.		25.87	39.216
Tachos "C".			
Miel "B" *.	60	14.39	23.986
Total.		14.39	23.986
Masa de "C".	97.58	14.39	14.748
Agua evaporada.			9.238
Total.		14.39	23.986

* (Brix estimados)

Centrifugación.

Entrada:

- 44.59 ton/hr de masa cocida de "A". (OP)
- 27.19 ton/hr de masa cocida de "B". (OP)
- 14.74 ton/hr de masa cocida de "C". (OP)
- 0.98 ton/hr de agua de lavado de cristales. (ES)

Salida:

- 22.056 ton de azúcar estándar húmeda. (IC)
- 11.50 ton/hr de azúcar "B". (OP)
- 7.45 ton/hr de azúcar "C". (OP)
- 22.54 ton/hr de miel "A". (OP)
- 15.68 ton/hr de miel "B". (OP)
- 8.27 ton/hr de miel final. (IC)

Entrada - Salida = 0.004

(Es evidente que a la salida de las centrifugas la cantidad de azúcar B, C y de mieles A y B es menor que a la entrada de las mismas en los tachos, esto se debe a que se efectúa un lavado con agua en las centrifugas y a que se agrega agua para el bombeo de azúcares y mieles a tachos).

Secado y envase.

Entrada:

- 22.056 ton/hr de azúcar. (IC)
- 6.5 ton/hr de vapor. (OP)
- 0.0004 ton/hr de grasa y aceite. (ES)

Salida:

- 22.051 ton/hr de azúcar. (ES)
- 0.005 ton/hr de azúcar perdida. (ES)
- 6.5 ton/hr de vapor condensado. (OP)
- 0.0004 ton/hr de grasa y aceite. (ES)

Entrada - Salida = 0.0

(Existe una cantidad aproximada de 0.02 ton/hr de azúcar perdida durante el secado y el envase, la cual teóricamente se envía en su totalidad a un evaporador de refundición. Sin embargo al parecer esto no es aplicado adecuadamente, por lo que se considera un valor estimado de 0.005 ton/hr de azúcar que ya no es recuperada.)

Generación de vapor.

Entrada:

- 60.32 ton/hr de bagazo. (ES)
- 2.29 ton/hr de combustóleo. (IC)
- 109 ton/hr de agua de alimentación. (OP)
- 426 ton/hr de aire de combustión. (ES)
- 93 ton/hr de agua de lavado de gases de chimenea. (OP)

Salida:

- 3.44 ton/hr de tizne. (OP)
- 0.875 ton/hr de cenizas. (ES)
- 480 ton/hr de gases de combustión. (OP)
- 5.07 ton/hr de purgas. (ES)
- 109 ton/hr de vapor de alta presión. (OP)
- 93 ton/hr de agua de lavado de gases de chimenea. (OP)

Entrada - Salida = 0.135

Generación de energía eléctrica.

Entrada:

- 33.31 ton/hr de vapor. (OP)
- 133.2 ton/hr de agua de enfriamiento. (OP)

Salida:

- 33.31 ton/hr de vapor de baja presión. (OP)
- 130.75 ton/hr de agua. (OP)
- 2.45 ton/hr de agua no localizada. (OP)

Entrada - Salida = 0.0

- Registro del uso del agua.

Este ingenio se encuentra a la orilla de un río de mediano tamaño que proporciona agua que es usada en los condensadores barométricos de los evaporadores y en el proceso. El agua después de ser utilizada para la condensación del vapor se divide en dos corrientes, una de ellas se usa para el lavado de caña en el batey, mientras que la otra es regresada al río.

Se realiza una segregación parcial de los contaminantes líquidos del ingenio, ya que prácticamente todos los efluentes con mayor poder contaminante se envían hacia un canal de riego de cultivos de caña y de maíz, mientras que el resto se envían al río. Lo anterior disminuye los problemas legales del ingenio, ya que si bien es cierto que existen restricciones para el uso de efluentes industriales en riego de cultivos, estas son mucho menores que las restricciones para la descarga de efluentes en cuerpos nacionales de agua.

El balance de agua del ingenio se observa en la figura 3.5, los valores reportados fueron obtenidos con base en las mediciones en planta y en los resultados del balance de materia y de energía (balance de vapor).

Tabla 3.5 Registro del uso del agua.

Operación unitaria.	Limpieza (ton/hr).	Enfriamiento (ton/hr).	Proceso (ton/hr).	Otros usos (ton/hr).
Batey.	468			
Extracción.	Variable.	39.6	71.73	
Sulfitación.				
Alcalización y calentamiento.				3.72
Clarificación.	63.47	84.8		
Evaporación.	3.6	852.42		
Cristalización.		1788.75		
Centrifugación.	Variable.			0.981
Secado y envase.				
Generación de vapor.			109	
Generación de energía eléctrica.		133.2		
Total.	664.7	2765.6	181.73	4.7

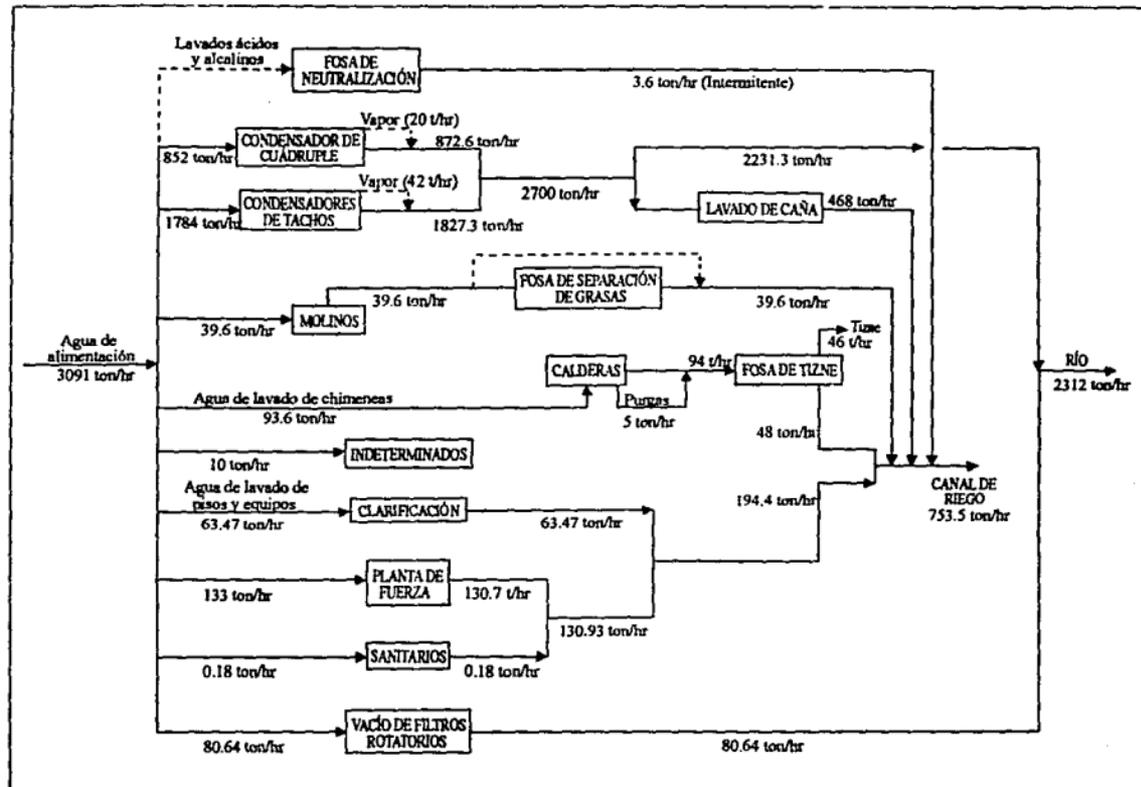


Figura 3.5 Balance de materia y de energía

REGISTRO DE EFLUENTES.**Efluentes líquidos.**

Como ya se ha mencionado, los efluentes líquidos generados en el ingenio se desechan de dos formas:

- Salida a río.
 - Sistema de vacío de filtros rotatorios.
 - Sistema de condensadores barométricos.
 - Lavado de pisos de la zona de centrifugación.
- Salida a canal de riego.
 - Agua de lavado de caña.
 - Agua del sistema de tratamiento de gases de chimenea.
 - Descarga de la fosa de tratamiento de grasa.
 - Descarga de la fosa de neutralización de desechos ácidos y alcalinos.
 - Agua de lavado de pisos de la zona de clarificación.
 - Agua proveniente de la planta de energía eléctrica.
 - Desechos de sanitarios.

Por otra parte hay dos descargas intermitentes que son altamente contaminantes y que deben ser suprimidas.

- Descarga de exceso de condensados al río.
- Desalojo al río de parte de la corriente destinada a riego.

Para el manejo de las corrientes arriba mencionadas no existe un sistema de drenajes adecuado, y la configuración del sistema existente no es del todo conocida por el personal del ingenio. Es por ello que se efectuó un seguimiento del drenaje de las instalaciones, el cual se muestra en la figura 3.6

Figura 3.6 Sistema de drenajes del ingenio.

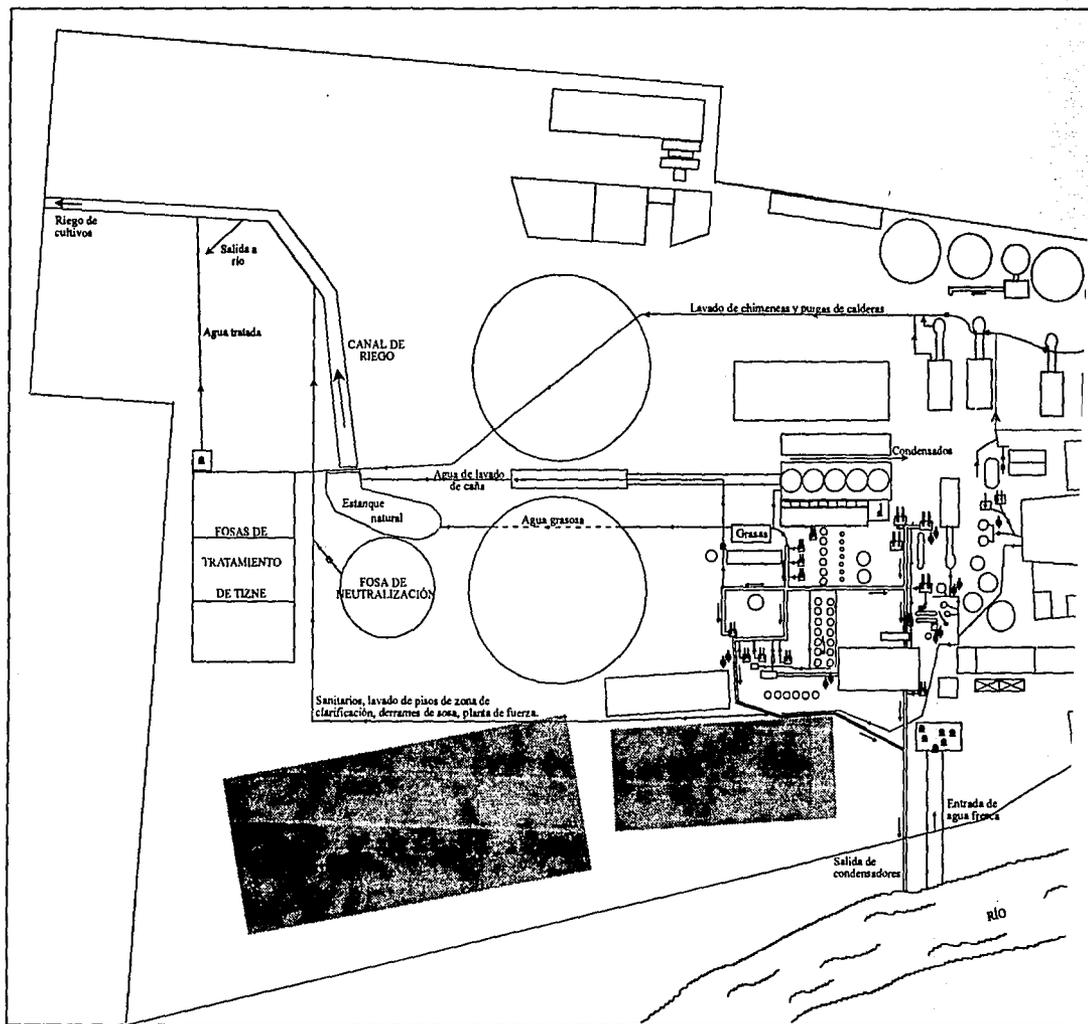
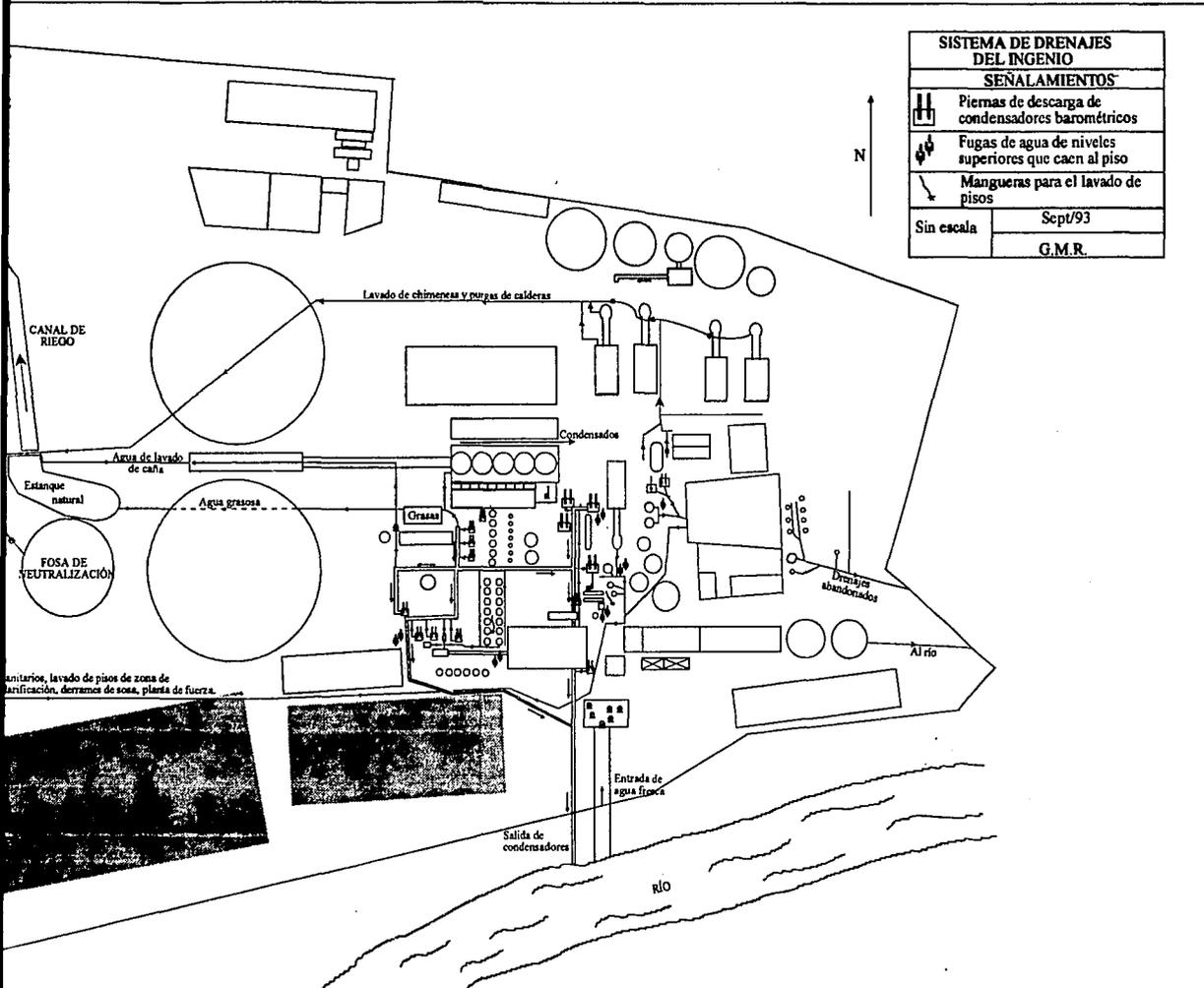


Figura 3.6 Sistema de drenajes del ingenio.



Descripción de efluentes.*- Sistema de vacío de filtros rotatorios.*

Para mantener el vacío en los filtros rotatorios de cachaza se requiere de un circuito de agua, la cual se contamina fácilmente con materia orgánica antes de ser desechada en una pierna barométrica hacia el río. Esta corriente aun cuando es pequeña ($80.6 \text{ m}^3/\text{hr}$), debido a su alto contenido orgánico incrementa la DBO de la descarga al río y dificultaría la operación de un equipo de recirculación en caso de ser instalado.

- Sistema de condensadores barométricos.

En cuanto a volumen, este efluente es el más importante de los que se generan en el ingenio ($2,700 \text{ m}^3/\text{hr}$). Una parte se aprovecha para el lavado de caña ($468 \text{ m}^3/\text{hr}$) y otra se desecha en el río ($2,231 \text{ m}^3/\text{hr}$), esta última es la que puede provocar cobros elevados como lo establece la Ley Federal de Derechos (Véase pág. 39), lo que justificaría el uso de un sistema de recirculación.

- Lavado de pisos de la zona de centrifugación.

Incluye agua de lavado de pisos, derrames de miel o azúcar y fugas en bombas de jugo.

- Agua de lavado de caña.

Este efluente de alto poder contaminante se envía al canal de riego sin ningún tipo de tratamiento, lo que pone en duda su efecto benéfico para los cultivos. Además de su alta DBO, arrastra consigo una cantidad importante de trozos de caña.

- Agua de lavado de los gases de chimenea.

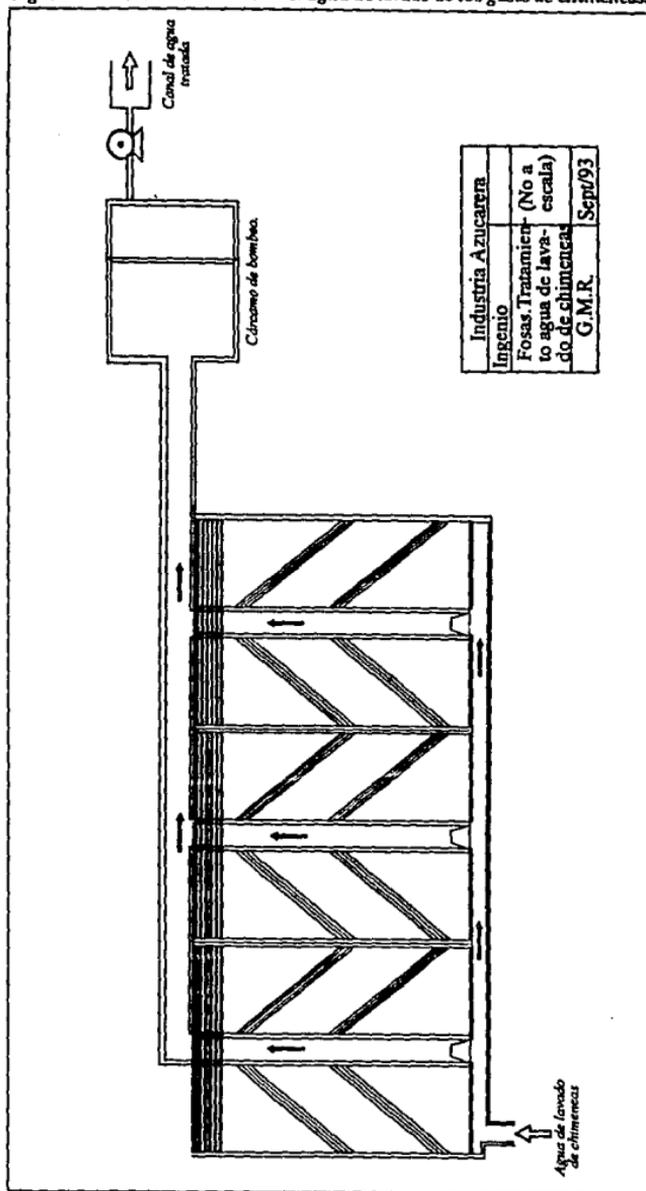
El agua del sistema de lavado de gases de las chimeneas se envía a tres fosas de tratamiento de agua, donde por decantación se separa el residuo sólido que es retirado en camiones de volteo, mientras que el agua tratada es incorporada al canal de riego.

La operación de las fosas no es la adecuada, en primer lugar la corriente de agua que proviene de los lavadores de gases de chimeneas se maneja con una bomba, que presenta múltiples interrupciones en su operación (durante cualquiera de estas interrupciones la corriente contaminante que proviene del sistema de lavado de gases se incorpora sin ningún tratamiento en la salida hacia riego). Por otra parte no se usa ningún floculante que ayude a la precipitación, y la operación de las fosas carece de control e inspección adecuados, lo que se ve reflejado en una calidad deficiente del efluente tratado (Figura 3.7).

- Agua contaminada con grasas y aceites.

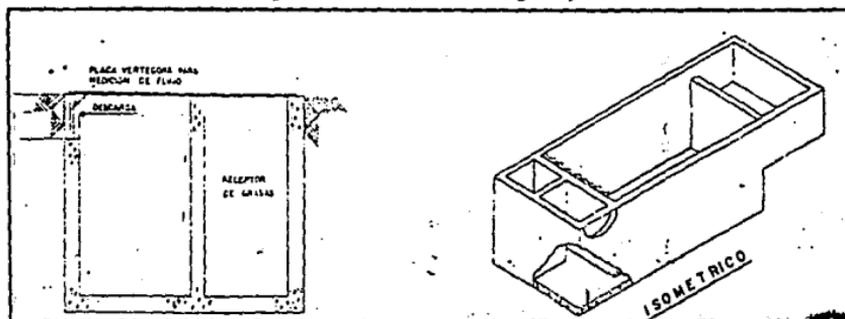
El agua para lavado y enfriamiento en la zona de molinos se envía a una fosa para retener grasa y aceite, la cual se encuentra operando desde la zafra 1988/1989. Existe la posibilidad de construir una segunda fosa, ya que la capacidad de la primera ha sido rebasada, por otro lado la fosa actual se encuentra muy deteriorada por falta de mantenimiento, y por tanto su funcionamiento es deficiente (Figura 3.8).

Figura 3.7 Fosas de tratamiento del agua de lavado de los gases de chimeneas.



El efluente ya tratado más una cantidad indeterminada que no recibe tratamiento, se envían a un pequeño estanque natural, previo al canal de salida a riego, este estanque no está acondicionado para recibir ningún tipo de descarga contaminante (sin embargo recibe desechos de sanitarios y de molinos), por lo que presenta grasa y materia orgánica flotante.

Figura 3.8 Fosa de tratamiento de grasas y aceites.



- Agua de lavado de pisos de la zona de clarificación.

En el área de clarificación existe una gran pérdida de cachaza y de lodos de los clarificadores, que en algunos sitios forman pequeños "pantanos". La limpieza de esta sección de la planta se efectúa con chorros de agua (que permanecen abiertos aun cuando no estén siendo utilizados), lo que produce un efluente con alto contenido orgánico, el cual se mezcla con una corriente de agua que proviene de la planta de energía eléctrica (agua relativamente limpia) y que conduce el desecho hacia el canal de riego.

- Agua de enfriamiento de turbinas.

Esta agua se usa para el enfriamiento de turbinas en molinos y en la planta de generación de electricidad, por lo que se encuentra relativamente limpia. Sin embargo al mezclarla con el agua de lavado de pisos de la zona de clarificación se contamina y aumenta el volumen de la descarga final a riego.

- Desechos de sanitarios.

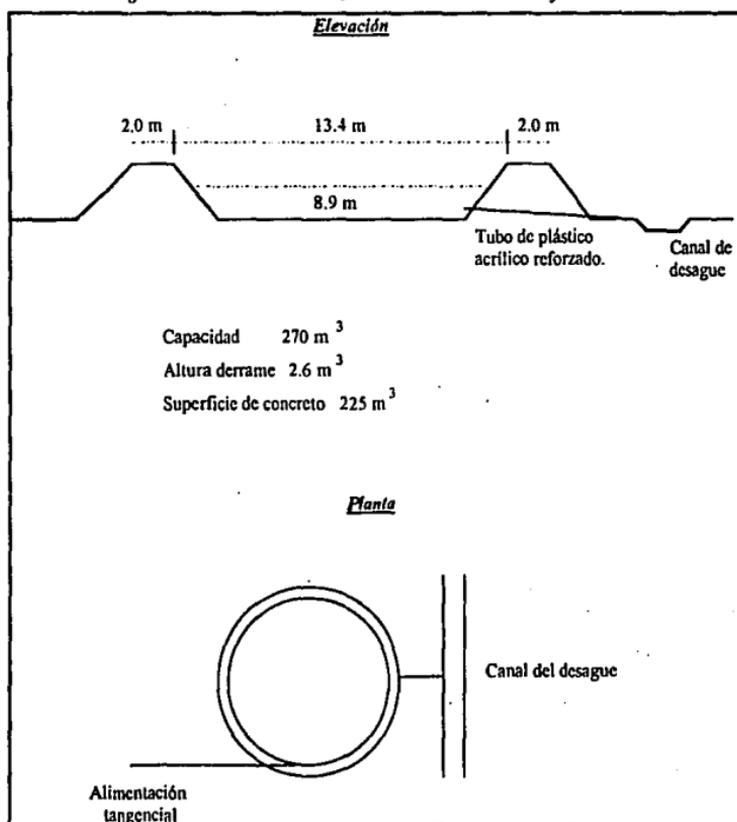
Actualmente se planea una reubicación de los sanitarios existentes y una conexión con la red de drenaje municipal, que evitará el envío de aguas negras directamente al canal de riego (como ocurre hasta el momento).

- Desechos ácidos y alcalinos.

Para el tratamiento del residuo proveniente del lavado de evaporadores se cuenta con una fosa de neutralización fabricada de concreto, la cual teóricamente no desaloja efluente alguno ya que se basa en la evaporación del efluente y posterior descarga de sales retenidas. Sin embargo esto no ocurre así, ya que existe una descarga que es muy ácida (con un pH de aproximadamente 1), y que debe ser dosificada antes de incorporarse al canal de riego para no afectar el pH de este (Figura 3.9).

Existen derrames ocasionales en el tanque de almacenamiento de sosa que no son enviados a la fosa de neutralización, sino que se descargan directamente al canal de salida a riego, lo que provoca variaciones en su pH.

Figura 3.9 Fosa de neutralización de desechos ácidos y alcalinos.



Medición y caracterización de efluentes en puntos seleccionados.

Sitios de medición y muestreo.

- (1) Agua de alimentación proveniente del río.
- (2) Descarga al río.
- (3) Descarga a canal de riego.
- (4) Agua de lavado de caña.
- (5) Salida de fosa de neutralización de desechos ácidos y alcalinos.
- (6) Exceso de condensados a río.
- (7) Agua de lavado de gases de chimenea.
- (8) Salida de fosas de tratamiento de agua de lavado de gases de chimenea.

El flujo de las distintas corrientes se determinó con base en la medición del área transversal de flujo y a la velocidad del mismo.

Tabla 3.6 Registro de efluentes líquidos.

<i>Operación unitaria.</i>	<i>Descarga a canal de riego (ton/hr).</i>	<i>Descarga a río (ton/hr).</i>	<i>Reuso (ton/hr).</i>	<i>Salida total (ton/hr).</i>
Batey.	468 (OP)			468 (OP)
Extracción.	39.6 (OP)			39.6 (OP)
Clarificación.	63.5 (OP)	80.64 (OP)		144.1 (OP)
Evaporación.	3.6 (OP)	872.63 (OP)	152.8 (OP)	876.23 (OP)
Cristalización.		1827.3 (OP)	47 (OP)	1827.3 (OP)
Centrifugación.	Indeterminado.	Indeterminado.		
Generación de energía eléctrica.	130.75 (OP)			130.75 (OP)

En el laboratorio del ingenio el análisis consistió en Temperatura, pH, Sólidos totales, Sólidos disueltos, Sólidos suspendidos y Determinación cualitativa de azúcar con α -naftol. Además se enviaron muestras a laboratorios para la medición de DQO, DBO, Grasas y aceites, Coliformes totales, Relación de Absorción de Sodio (RAS) y Conductividad eléctrica. En un principio se planteó la posibilidad de realizar la medición de DQO en el laboratorio del ingenio, sin embargo se abandonó la idea ante la falta de recursos.

Debido a la fuerte variación en los parámetros considerados, se realizó un promedio de los valores obtenidos de distintas fuentes y con fechas distintas, por lo que debe tomarse en cuenta que los valores mostrados en la tabla 3.7 son aproximados. Es recomendable que se realice un mayor número de pruebas con muestreos más rigurosos, para así obtener valores mensuales y por zafra que resulten más representativos.

Corriente.	Flujo (m ³ /hr)	Temp (°C).	pH	DQO (µg/l)	DBO (µg/l)	Sólidos totales (µg/l).	Sólidos disueltos (µg/l).	Sólidos susp. (µg/l).	Azúcar presente.	Grasa y aceite (µg/l).	Coliformes totales (NMP/100 ml).	RAS	Conductividad eléctrica (µmho/cm ³).
(1)	3,091	23	7.5	165	55	436	259	177	-	42.5	207,000	8.0	662
(2)	2,312	33	7.14	213	107	454	242	212	+	61	240,000	7.13	656
(3)	753.5	31	7.17	3,015	373	10,150	9,657	393	+	73	501,000	7.3	673
(4)	468	29	6.7	2,106	-----	2,970	1,210	1,760	+	-----	-----	-----	-----
(5)	3.6 *	27	1.8	-----	-----	-----	-----	-----	+	-----	-----	-----	-----
(6)	4.5 *	88	7.1	-----	-----	-----	-----	-----	-	-----	-----	-----	-----
(7)	93.6	45	7.2	-----	-----	29,549	7,641	21,908	-	-----	-----	-----	-----
(8)	47.8	39	7.3	-----	-----	1,659	393	1,226	-	-----	-----	-----	-----

* : Flujo intermitente.

Tabla 3.7 Análisis de muestras en laboratorio.

Con base en los resultados obtenidos en la tabla anterior es posible hacer las siguientes observaciones:

- El agua que el ingenio toma del río se encuentra contaminada con materia orgánica, sólidos, grasas y aceites, y coliformes. Lo que debe ser considerado en la emisión de condiciones particulares de descarga acordes con la situación de este ingenio, y que sin embargo no exime la responsabilidad de los industriales en el cuidado de sus efluentes.

- Se observa que TODOS los valores propuestos en la norma NOM-PA-CCA-002/93 (Página 38) no están siendo cumplidos (DBO, sólidos sedimentables, grasas y coliformes totales).

- La aplicación de la normatividad propuesta en la Ley Nacional de Aguas (Pag. 39) implicaría un pago de N\$ 585,807 al año por concepto de consumo de agua y descarga de efluentes a cuerpos nacionales de agua, considerando que el ingenio se localiza en la zona de disponibilidad III. Debe aclararse que esta legislación no está siendo aplicada en el caso de los ingenios azucareros, y que en muchos de los mismos la situación puede considerarse como "irregular".

- La descarga del canal de riego presenta como principales contaminantes a los sólidos, a la materia orgánica representada en la DBO y a los coliformes totales. Es muy importante efectuar un estudio más profundo de esta corriente y determinar su efecto en los terrenos y en los cultivos que sean regados con ella.

- El exceso de condensados del proceso se manda al río, lo que es inadecuado principalmente por su elevada temperatura, a pesar de representar un flujo relativamente pequeño.

- La eficiencia de las fosas de tratamiento del agua de lavado de los gases de las chimeneas se observa en las corrientes 7 y 8. Lo que a primera vista aparece como una eficiencia por demás satisfactoria (~ 97.13%), que equivale a la remoción de 2,685 kg/hr de sólidos y a que el efluente ya tratado arrastre 79.3 kg/hr de sólidos, puede provocar problemas operativos de azolve al arrojar 1.2 toneladas de sólidos diariamente al canal de riego, exclusivamente por la descarga del agua de lavado de gases (está por demás mencionar el problema que se provoca cuando el circuito de tratamiento se encuentra suspendido y el efluente se descarga directamente al canal de riego).

Efluentes gaseosos o particulados.

Existen dos tipos de contaminantes generados en este ingenio, gases (de combustión y óxidos de azufre de sulfitación) y material particulado (bagazo, azúcar y tizne).

Para la caracterización de los gases de combustión se muestran los resultados del estudio isocinético realizado por una compañía privada, y en el caso del material particulado se muestran resultados del estudio perimetral efectuado por la misma compañía.

El registro de pérdidas de bagazo, azúcar y óxidos de azufre no absorbidos que aparece en la tabla 3.8 es aproximado, ya que no es posible obtener un valor exacto con los medios con los cuales se dispuso.

Descripción de efluentes.

- Bagazo perdido.

El transporte de bagazo de los molinos hacia las calderas se efectúa en conductores descubiertos, lo que provoca pérdidas hacia la atmósfera que causan molestias en el personal que labora en esta sección de la planta.

- Azúcar perdida.

En el área de secado y envase existe una emisión importante de partículas finas de azúcar que no es controlada, en teoría el azúcar al acumularse en el piso es recuperada y enviada a un tacho de "refundido", sin embargo esta recuperación no es rigurosa y además al permitir que el azúcar caiga al piso se incorpora basura que dificulta el reprocesamiento.

- Tizne de calderas.

Existe una fuerte emisión de partículas de carboncillo en las chimeneas, por lo que a finales de la zafra de 90/91 se instaló un separador húmedo de partículas en las calderas 1, 4, 9 y 10. Los separadores usan varios depuradores para atrapar diferentes tamaños de partículas por medio de una lluvia de agua a contracorriente, la materia sólida atrapada se envía a un drenaje común por medio de un cono fluido que impide taponamientos, el agua contaminada se conduce a tres fosas de tratamiento para separar el residuo sólido.

- Gases de combustión.

Por el uso de combustóleo como combustible auxiliar se incorpora en los gases de chimenea una cantidad apreciable de óxidos de azufre y de nitrógeno, principalmente después de un paro de molinos que provoca falta de bagazo para las calderas. Como en el caso de la mayoría de las industrias ubicadas en áreas rurales, no existe una legislación rigurosa que regule estas emisiones, ya que el daño que provocan no es apreciable, sin embargo debe considerarse el tomar medidas que eviten prácticas irrestrictas.

- Óxidos de azufre en el área de sulfitación.

El horno que se usa para la combustión del azufre es bastante viejo, no se controla ni se conoce la cantidad de oxígeno alimentado al horno, ni la cantidad de gases de azufre que es absorbida por el jugo. El valor mostrado en la tabla 3.8 se obtiene considerando una relación equimolar de oxígeno alimentado y una absorción del 90% en el jugo mezclado.

Tabla 3.8 Registro de efluentes gaseosos o particulados.

<i>Operación unitaria.</i>	<i>Contaminante.</i>	<i>Ton/hr</i>
Extracción.	Pérdida de bagazo.	0.052 (ES)
Sulfitación.	Óxidos de azufre.	0.093 (ES)
Secado y envase.	Pérdida de azúcar.	0.005 (ES)
Generación de vapor.	Gases de combustión.	480
	Material particulado	0.1

- Resultados del estudio isocinético.

Este tipo de estudios se llevan a cabo en una industria por diversas razones, conocer la situación de la planta con respecto a la legislación existente (en caso de existir), cumplir con algún requerimiento legal, obtener la información requerida para el diseño de algún equipo de control o evaluar la operación de los equipos ya existentes.

Para la validación oficial de estos estudios debe de cumplirse con las siguientes normas:
 NOM-AA-09-1973. Determinación del flujo de gases por medio del tubo Pitot.

NOM-AA-10-1974. Determinación de la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto.

NOM-AA-23-1980. Concentración atmosférica, terminología.

NOM-AA-35-1976. Determinación del bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión.

NOM-AA-55-1980. Contaminación atmosférica, fuentes fijas. Determinación de bióxido de azufre en gases que fluyen por un conducto.

Los resultados se muestran en las tablas 3.9 y 3.10, mientras que el equipo empleado se muestra en la figura 3.10.

Tabla 3.9 Dimensiones de los ductos o chimeneas.

<i>Identificación.</i>	<i>chimenea #4</i>	<i>chimenea #9</i>	<i>chimenea #10</i>
Forma.	cilíndrica	cilíndrica	cilíndrica
Altura física (m).	30	30	66
Tipo de tiro.	Forzado	Forzado	Forzado
Diámetro interior base (m).	2.30	2.85	3.40
Puertos.	4 puertos a 27.4 m	4 puertos a 27.4 m	4 puertos a 27.4 m

Figura 3.10 Tren de muestreo de gases y partículas.

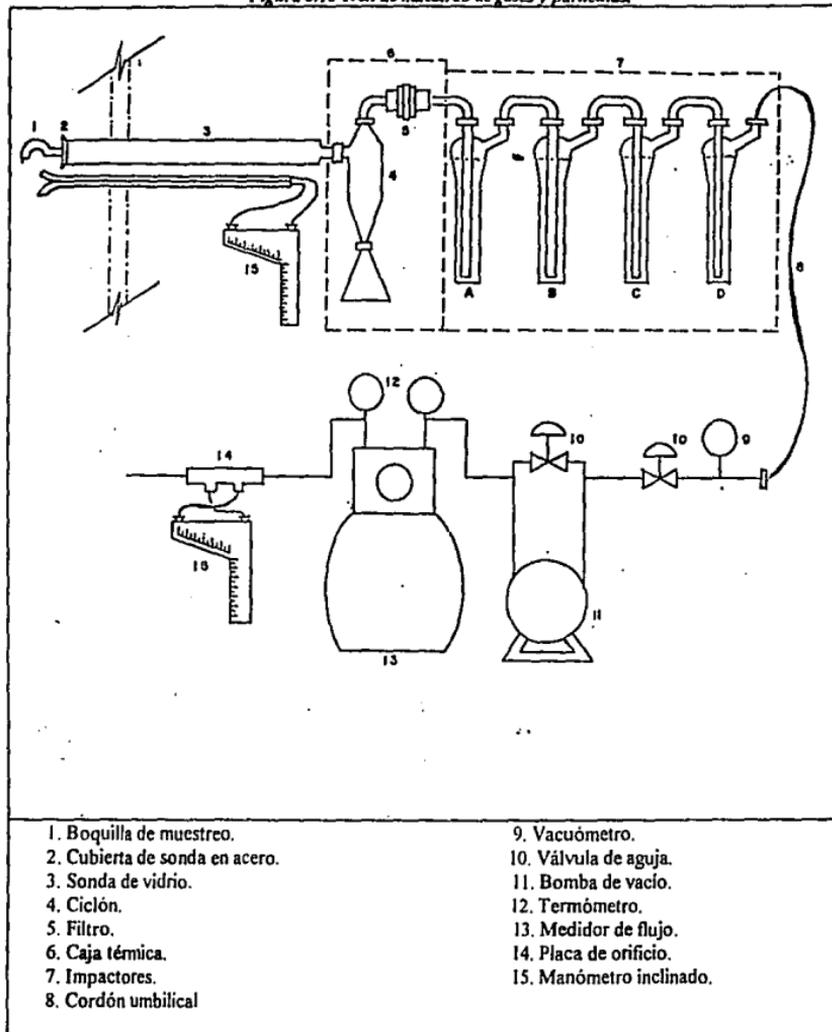


Tabla 3.10 Resultados del estudio isocinético.

	Caldera #4		Caldera #9		Caldera #10		Unidades
	M.def #1	M.def #2	M.def #1	M.def #2	M.def #1	M.def #2	
Peso molecular.	27.5801	28.089	27.4115	27.8013	28.1448	27.559	g/g-mol
Densidad de los gases.	1.231	1.253	1.223	1.241	1.256	1.230	kg/m ³
Velocidad de gases en chimenea.	7.65	8.63	8.72	9.01	8.99	9.61	m/seg
Gasto vol. a condiciones de chimenea.	1365.81	1540.60	3292.41	3404.67	4899.52	5239.50	m ³ /min
Gasto volumétrico a condiciones normales.	927.25	1046.04	2234.16	2309.09	3291.15	3252.16	m ³ /min

M.def = Muestra definitiva.

Tabla 3.10 (Continuación).

Caldera.	Contaminante.					
	Material particulado (kg/ton de bagazo).		Bióxido de azufre (kg/hr).		Óxidos de nitrógeno (kg/ton de bagazo).	
	Emisión.	Criterio o norma.*	Emisión.	Criterio o norma.**	Emisión.	Criterio o norma***
#4	1.54	7.26	1.14	20.67	0.17	0.54
#9	1.51	7.26	18.82	44.32	0.15	0.54
#10	1.82	7.26	1.0	44.32	0.14	0.54
Evaluación	Satisfactoria.		Satisfactoria.		Satisfactoria.	

* Como criterio comparativo se consideró el valor requerido en E.U.A. para calderas similares que utilizan bagazo al 50 % de humedad como combustible.

** Para calderas que consumen bagazo la emisión máxima de óxidos de azufre se considera como 0.1% en peso del valor consumido.

*** Para calderas que consumen bagazo la emisión máxima de óxidos de nitrógeno se considera como 0.54 kg/ton de bagazo al 50% de humedad.

Con base en los resultados obtenidos pueden hacerse las siguientes observaciones:

- no se cuenta con elementos para confirmar los valores de bagazo perdido, óxidos de azufre no absorbidos y azúcar perdida mostrados en la tabla 3.8,
- el valor de los gases de combustión y el material particulado mostrados en la tabla 3.8 se tomaron de los resultados del estudio isocinético,
- no debe olvidarse que no se cuenta con una norma específica que permita evaluar la situación del ingenio en cuanto a sus efluentes gaseosos o particulados.

Sin embargo puede indicarse que la instalación de lavadores de gases en las chimeneas del ingenio ha significado una reducción considerable en sus emisiones de material particulado (contaminante que provoca mayor número de quejas por parte de los residentes de la población vecina); y que a pesar que el consumo de combustible se mantiene elevado, las emisiones de bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno se mantienen como "satisfactorias" de acuerdo al criterio indicado en el estudio isocinético.

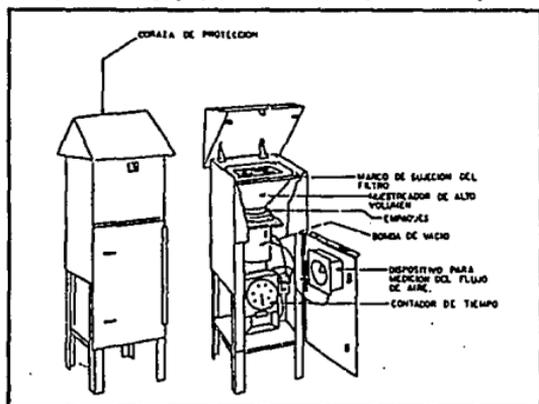
- Resultados del estudio perimetral.

El muestreo perimetral es el procedimiento por el cual se determina la concentración neta de contaminantes particulados provenientes de una o varias fuentes, colocando sitios de muestreo en forma simultánea viento arriba y viento abajo.

El equipo de muestreo es de alto volumen (HI-VOL), debido a que los contaminantes no sólo provienen de chimeneas.

El equipo de muestreo consta de una fuente de poder de 110 volts, muestreador de alto volumen con medidor de flujo calibrado, filtros de fibra de vidrio y material para manejo de filtros.

Figura 3.11 Equipo para el muestreo de partículas suspendidas.



Los resultados se muestran en las tablas 3.11 y 3.12

Tabla 3.11 Calidad del aire (IMECA).

Calidad.	Puntos.	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ (PPM)	CO (PPM)	NO ₂ (PPM)	O ₃ (PPM)
Buena.	0-50	175	0.07	7.0	0.02	0.07
Satisfactoria.	51-100	275	0.13	13.0	0.21	0.11
No satisfactoria.	101-200	275	0.13	13.0	0.21	0.11
Mala.	201-300	675	0.60	32.0	1.20	0.40
Muy mala.	301-500	1000	1.0	50.0	2.0	0.60

Tabla 3.12 Resultados del estudio perimetral.

Coordenada.	Peso colectado (gr).	Volumen (m ³) cond.norm.	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	Norma o criterio máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	Evaluación.
Norte.	2.078	1599	1299.5	275	Muy mala.
Sur.	0.98	1722.4	555.8	275	No satisfactoria.
Este.	3.50	2036.7	1722.2	275	Muy mala.
Oeste.	0.77	1743.1	445.9	275	Satisfactoria.
Sureste.	1.55	2021.1	767	275	Mala.
Suroeste.	0.53	2086	254	275	Buena.
Noreste.	2.78	1688	1658	275	Muy mala.
Noroeste.	3.81	1627.7	2345.7	275	Muy mala.

Cabe mencionar que los resultados indudablemente fueron afectados por el almacenamiento de bagazo al aire libre, las calles de terracería que rodean al ingenio y los fuertes vientos que se presentaron durante el muestreo.

No existiendo otro criterio disponible se utilizó la escala del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), considerando solamente el material particulado (PST) que se observa en la tabla 3.11 para la evaluación de la calidad del aire en las instalaciones del ingenio, que como se observa en la tabla 3.12 puede considerarse como "mala".

En resumen los equipos de lavado de gases en las chimeneas funcionan adecuadamente, sin embargo la calidad del aire de la fábrica está siendo afectada negativamente por operaciones independientes a las propias calderas.

Efluentes sólidos.

Los efluentes sólidos generados en el ingenio provienen en su mayoría del proceso de clarificación (cachaza) y del quemado de bagazo en los hornos de calderas. Como ya se ha mencionado este tipo de residuos no presenta características peligrosas, ni representa un problema serio para su disposición en depósitos a cielo abierto, pero es importante que se evite su incorporación en cuerpos de agua.

Descripción de efluentes.

- Azúcar perdida.

Los polvos finos de azúcar (sección anterior) se pierden durante el secado, y las partículas separadas durante el cribado, junto con el azúcar recogida del suelo son guardadas en sacos de 50 kg para su posterior reprocesamiento o desalojo.

- Ceniza de calderas.

Es el producto de la combustión de bagazo en los hornos de las calderas, el cual es enviado cada turno hacia un patio a cielo abierto donde se enfría por contacto con la atmósfera, para ser después retirado en camiones de volteo hacia campos o caminos como material de relleno. El costo para su disposición es de aproximadamente N\$ 250 diarios.

- Tizne de calderas.

La corriente de agua proveniente del sistema de lavado de gases de chimenea contiene una gran cantidad de partículas sólidas que son separadas físicamente por medio de tres fosas de tratamiento (Figura 3.7). El efluente tratado se incorpora al sistema de riego (sin embargo la remoción de partículas no es la adecuada), mientras que el residuo sólido se transporta hacia terrenos de cultivo como material de relleno. El costo de instalación fue de N\$180,000 y el costo de operación es de aproximadamente N\$ 4,000 semanales.

Tabla 3.13 Análisis del tizne de calderas del ingenio.

Parámetro.	Unidad.
Humedad.	61.11%
Materia orgánica.	24.84%
pH	7.0
Nitrógeno.	20.11%
Magnesio.	0.6%
Calcio.	2.5%
Cenizas (base seca).	70.0%
Potasio.	0.77%
Fósforo.	3.69%

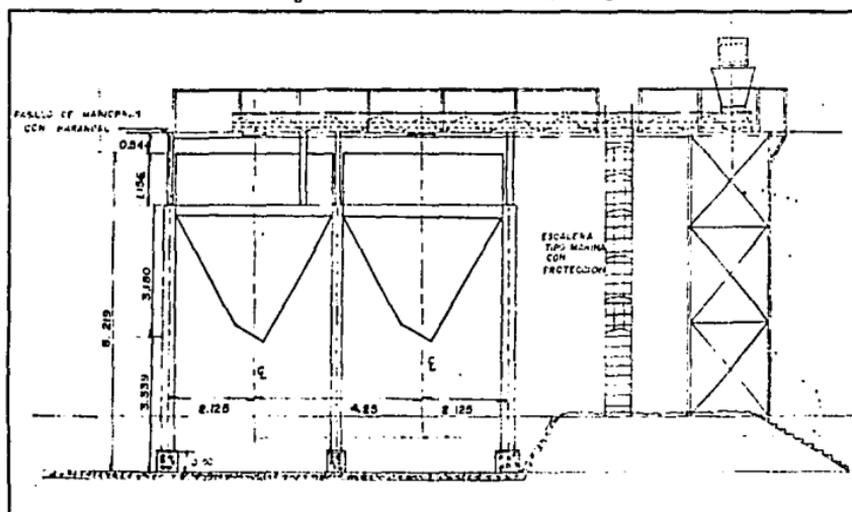
- *Cachaza.*

A partir de la zafra 1991/1992 este residuo se maneja en forma semisólida a través de un sistema de recolección compuesto por un conductor de banda y gusano que alimenta dos tolvas con capacidad de 8 hrs. de almacenamiento continuo. Los lodos se retiran del ingenio con camiones de volteo y se distribuyen a los campos cañeros como mejoradores del suelo. La inversión inicial es de NS 170,000, mientras que el costo de operación es de aproximadamente NS 850 al día.

Tabla 3.14 Análisis fisicoquímico de la cachaza del ingenio.

Parámetro.	Porcentaje.
Humedad.	66.19
pH	6.0
Flash point.	Negativo.
Insolubles en ácido.	68.5
Materia orgánica.	31.5
Plomo.	Negativo.
Arsénico.	Negativo.

Figura 3.12 Sistema de recolección de cachaza.



- *Caña perdida.*

Durante el lavado de la caña en batey existe una pérdida importante de trozos de caña que son arrastrados por la corriente de agua hacia el canal de riego. Esto significa un doble problema al existir pérdidas de materia prima, y provocar problemas de taponamientos en el canal de riego.

- *Bagazo perdido.*

Debido al manejo del bagazo en bandas transportadoras descubiertas a la salida de los molinos y a su almacenamiento temporal en un patio a cielo abierto, existe una pérdida evidente de este material, que sin embargo no es tomada en cuenta y mucho menos es cuantificada.

- *Azufre perdido y Cal perdida.*

Las pérdidas de estos materiales ocurren principalmente durante el almacenamiento y transporte, los que son inadecuados. Las bodegas de azufre y cal no tienen el piso pavimentado, carecen de una puerta de acceso que restrinja el paso, y el transporte hacia el horno de sulfitación y los tanques de lechada se hace en carretillas manuales.

Tabla 3.15 Registro de efluentes sólidos.

<i>Operación unitaria.</i>	<i>Efluente.</i>	<i>Ton/hr</i>
Batey.	Caña perdida.	0.38 (ES)
Extracción.	Bagazo perdido.	0.052 (ES)
Sulfitación.	Azufre perdido.	2×10^{-4} (ES)
Alcalización.	Cal perdida.	1.33×10^{-3} (ES)
Clarificación.	Cachaza.	8.97 (CP)
Evaporación.		
Cristalización.		
Centrifugación.		
Secado y envase.	Azúcar perdida*.	5×10^{-3} (ES)
Generación de vapor.	Tizne.	3.44 (CP)
	Ceniza.	0.068 (ES)
Generación de electricidad.		

* Se considera un 25% de azúcar no recirculada a proceso.

Tabla 3.16 Resumen de características CRETIB de sustancias manejadas en el ingenio.

<i>Materias primas</i>			
<i>Clave CRETIB.</i>	<i>Nombre comercial y químico.</i>	<i>Estado físico.</i>	<i>Almacenamiento.</i>
Inflamable	Caña de azúcar	Tallo sin hojas	Patio
Reactivo	Cal fina (óxido de calcio)	Polvo blanco	Sacos en bodega
Reactivo Inflamable	Azufre	Cristales amarillos	A granel en bodega
Corrosivo	Ácido muriático (clorhídrico)	Líquido amarillo	Tanque fibra de vidrio
Corrosivo	Sosa cáustica, hidróxido sodio	Líquido ámbar	Tanque de acero
Reactivo	Aqua 810 (polacrilamida)	polvo blanco	sacos
<i>Combustibles</i>			
Inflamable	Combustóleo	Líquido viscoso negro	Tanques de acero
Inflamable	Bagazo de caña (fibra y celulosa)	Fibroso	Patio a cielo abierto
<i>Producto</i>			
Inflamable	Azúcar (sacarosa)	Sólido	Sacos en bodega
<i>Subproducto</i>			
Corrosivo	Miel incristalizable	Líquido muy viscoso	Tanques de acero

Actualmente no existe una legislación que regule los desechos sólidos provenientes de ingenios azucareros, y puede decirse que esta no es absolutamente necesaria dado el carácter no peligroso de estos desechos; sin embargo si se requiere de una "Clasificación General" que permita agrupar residuos sólidos de distintas industrias, y especifique claramente el manejo y disposición adecuados para cada residuo de acuerdo a sus características.

La mayor parte de los desechos sólidos provenientes del ingenio se deben a un manejo inadecuado de los insumos o productos del mismo, lo que hace pensar en un doble interés para asegurar su control (ambiental y económico). Es importante encontrar una utilización práctica de los residuos generados en calderas y hacer un mejor aprovechamiento de la cachaza generada en el ingenio, lo que puede reducir el gasto que implica actualmente su disposición.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA.

Como se ha mencionado anteriormente, establecer un balance de materia al nivel de detalle que se requiere para localizar y cuantificar emisiones no deseadas en un proceso es bastante complejo, más aun cuando no se cuenta con los elementos suficientes para registrar todas y cada una de las entradas y salidas de cada operación unitaria y del proceso global.

En el balance desarrollado existe una cantidad importante de corrientes "estimadas", lo que influye necesariamente en los resultados que se obtienen. No es posible efectuar un análisis más completo sino se cuenta con las herramientas necesarias, pese a ello puede considerarse que los valores mostrados en este estudio reflejan de manera apropiada la situación que prevalece en este ingenio, y que constituyen una base adecuada para un estudio posterior.

- En el "Balance global" se observa una pérdida no identificada de 6.21 ton/hr, lo que se atribuye a salidas de proceso que no están siendo consideradas y que pueden convertirse en descargas contaminantes.

- En la etapa de alcalización se observa una pérdida no identificada de 0.258 ton/hr.

- En la etapa de evaporación se identificó un arrastre de sólidos (brix) de 0.605 ton/hr.

- No se han localizado 1.4 ton/hr de meladura que se pierden en la etapa de evaporación y de cristalización.

- En la etapa de generación de vapor se observa una pérdida no idéntificada de 0.135 ton/hr.

- La distribución de grasas y aceites no se registra en ninguna de las operaciones del proceso, por lo que los valores mostrados son aproximados.

- En molinos la ecuación "fundamental" que indica Caña + Agua de imbibición = Bagazo + jugo mezclado, es por demás inexacta y no permite la detección de las pérdidas de pol, que deben de ser muy altas. En consecuencia el balance de esta operación unitaria resulta inadecuado.

- No existe un método para confirmar los valores estimados de azúcar, caña, bagazo, azufre y cal perdidos en el proceso.

- El horno de sulfitación carece de todo tipo de instrumentos de medición y tampoco se registra el grado de absorción de los gases de azufre en el jugo mezclado.

- No se registra la cantidad de agua o de cal usada en el tanque de lechada, el control de esta operación se basa en el pH del jugo alcalizado.

- Se desconoce la cantidad de bagacillo usado como filtro ayuda en los filtros de cachaza, tampoco se registra el agua de lavado de la torta de cachaza ni la cantidad de jugo filtrado que se recircula.

- La cantidad de agua adicionada a las mieles o azúcares que se regresan a tachos no está determinada, el valor obtenido se obtuvo "cerrando" el balance de materia en cristalización y centrifugación.

- El brix de la miel "A" y "B" no se registra en el ingenio por lo que se supuso un valor de 60 brix.

- El balance en tachos no permite la detección de pérdidas por arrastre al asignar un valor de cero al Brix y Pol del agua evaporada.

- Muchos de los valores que se muestran en el informe oficial de corrida son valores promedios y que están por tanto sujetos a redondeos, errores experimentales y otras fuentes de error.

- El considerar una base de cálculo en la cual la operación del ingenio muestre un comportamiento continuo (en este caso se considera 1 hora) puede ser una herramienta adicional para evaluar la operación de la planta. Pero debe tomarse en cuenta que la operación del ingenio varía considerablemente de zafra en zafra y aún de semana a semana, por lo que en ocasiones se prefiere considerar un balance por zafra. Sin embargo el efectuar un balance considerando un intervalo de tiempo muy amplio puede dar lugar a "redondeos" y arreglo de cifras.

Como se aprecia existe una marcada limitación en la exactitud de los resultados obtenidos, sin embargo se considera que la metodología empleada es correcta y que la localización de las fuentes de error en los cálculos permitirá su posterior corrección, lo que puede dar lugar al desarrollo de un modelo de simulación y control de toda la planta.

El balance de energía del ingenio consistió solamente en realizar un balance de vapor con el fin de completar el balance de materia, ya que no se cuenta con aparatos para la medición del vapor que es utilizado en las diferentes secciones de la planta; pero es recomendable que se efectúe un balance de energía completo del proceso para determinar la eficiencia energética con la que se está trabajando en este ingenio.

Los resultados del balance de materia se ilustran en la figura 3.13

El ciclo de vapor en un ingenio se observa en la figura 3.14 y los resultados del balance de vapor se observan en las figuras 3.15 y 3.16

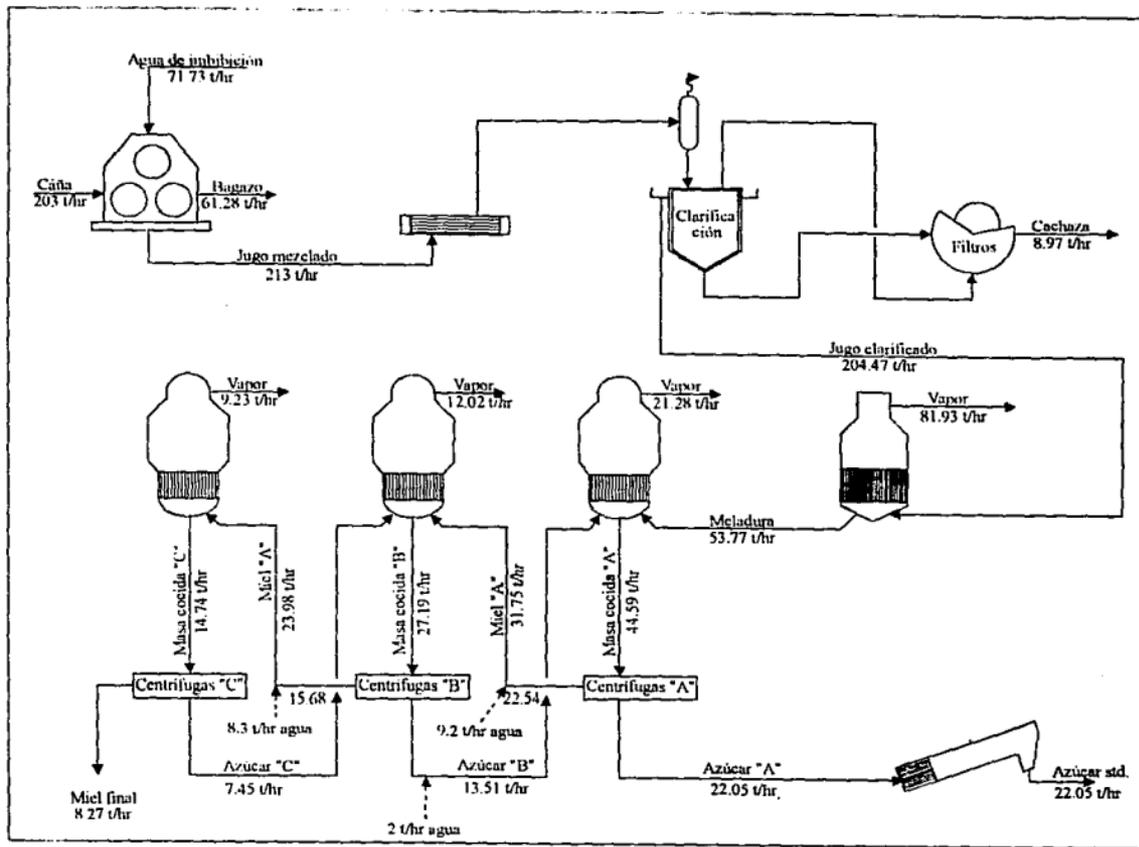


Figura 3.13 Balance de materia del ingenio (referido al material azucarado).

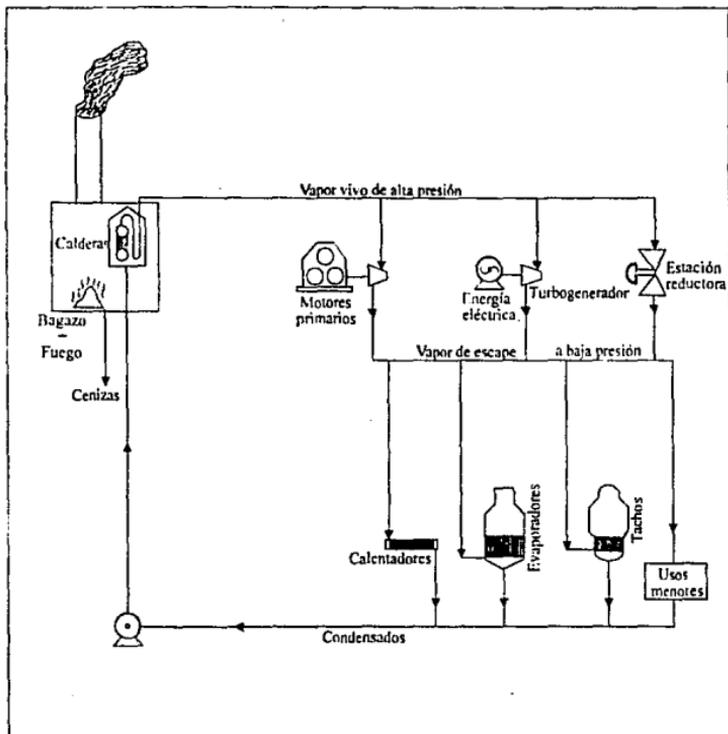
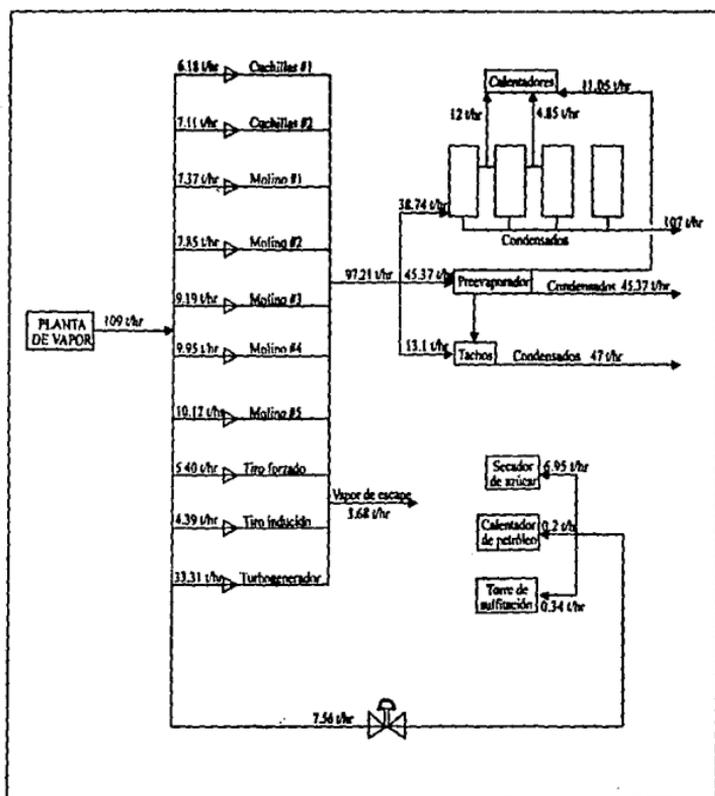
Figura 3.14 Diagrama de un ingenio visto como una planta de generación de fuerza.

Figura 3.15 Consumos de vapor en el ingenio.



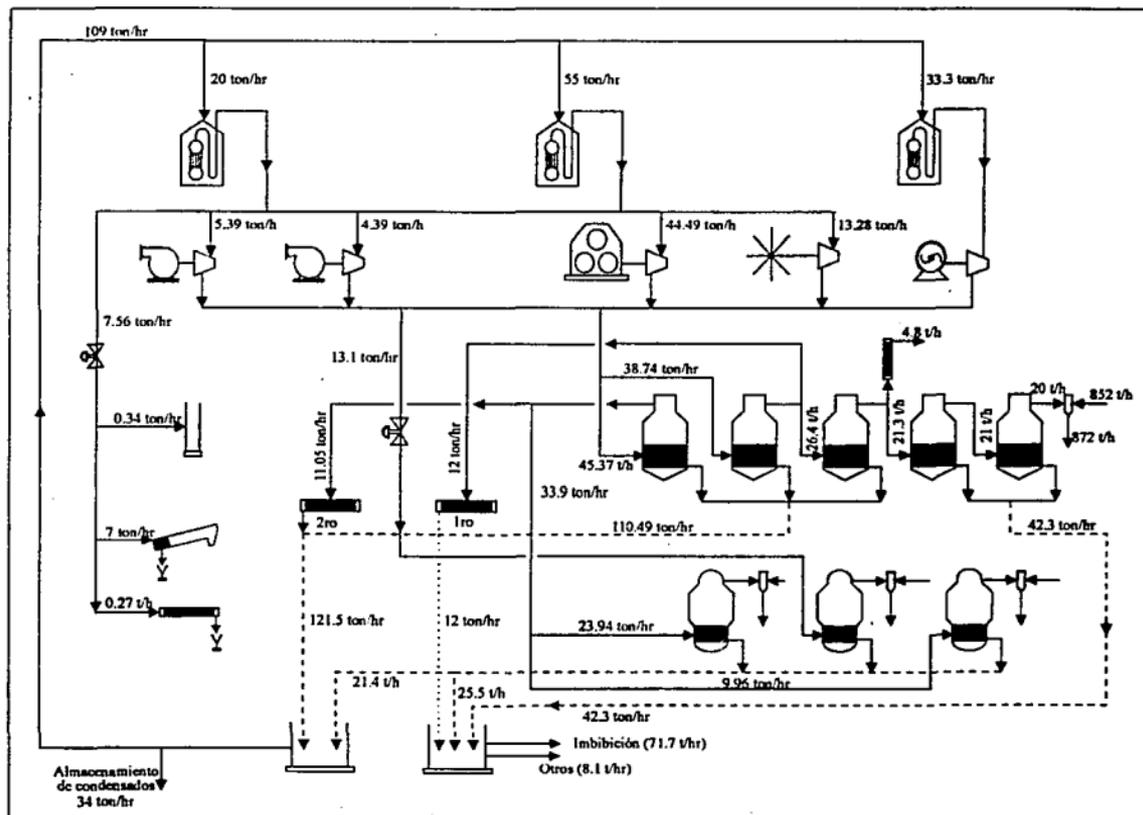


Figura 3.16 Consumos de vapor en el ingenio por secciones.

BALANCE DE EXERGÍA.

La exergía se define como "una energía que es transformable a cualquier otra forma de energía, dentro de las restricciones impuestas por las condiciones del medio ambiente", esto demuestra la capacidad restringida que tiene la energía para ser transformada, especialmente a energía eléctrica o mecánica. En contraste con la energía la exergía puede ser generada, utilizada o destruida en caso de no ser aprovechada.

Lo anterior adquiere una gran importancia para el ingeniero, ya que en un proceso industrial no se requiere solamente de energía, sino de que ésta sea convertible o transformable, es decir, se requiere de exergía (Mandoki, 1990).

Para diferenciar la exergía de la energía se escoge arbitrariamente como unidad la kilowatt-hora (KWH) para la primera. Para determinar la magnitud de la exergía deben definirse las características de la fuente, del sumidero y la eficiencia del turbogenerador; la exergía específica (exergía por libra de vapor) "x" puede calcularse con la fórmula:

$$x = \frac{\Delta h_t - T_0 \Delta s}{3412}$$

La finalidad de un balance de exergía es conocer cuanto se genera, donde y como se consume. Para efectuar un balance es recomendable elaborar en primer término un diagrama donde se muestren los generadores y consumidores de exergía.

El criterio usado para determinar la exergía generada es la energía eléctrica que se obtendría del vapor producido, si se alimenta a un turbogenerador que condensa a 20°C por encima de la temperatura del agua de enfriamiento con una eficiencia del 75%. La diferencia entre la exergía generada y la exergía consumida representa la exergía desperdiciada, además un incremento de entropía (por ejemplo en estaciones reductoras de presión, turbinas de baja eficiencia, etc.) implica una reducción de exergía.

El balance de exergía debe de ser reportado periódicamente en forma resumida, y debe de contener la siguiente información:

- Exergía generada durante el mes.
- Exergía utilizada como trabajo.
- Exergía utilizada como calor.
- Exergía no utilizada.
- (Exergía no utilizada/Exergía utilizada)*100

El balance de exergía es el punto de partida para el análisis de exergía, cuya función es dar respuesta a las siguientes preguntas:

1. ¿ En que puntos se pierde exergía, y cuanto se pierde en cada uno de ellos?
2. ¿Por qué se pierde exergía en esos puntos?
3. ¿Como se puede evitar que se pierda exergía en esos puntos?

Los resultados obtenidos en el ingenio se muestran en la figura 3.17 y en las tablas 3.17 y 3.18, los cálculos efectuados se muestran en el anexo IV.

Tabla 3.17 Resultados del balance de exergía.

Exergía generada (KW).	20029.5
Exergía consumida como trabajo (KW).	5587
Exergía de calentamiento (KW).	10352.49
Exergía aprovechada (KW).	15939.5
Exergía no aprovechada (KW).	4089.95
(Exergía no utilizada/Exergía utilizada)*100	25.65%

Análisis de exergía.

1. Los primeros sitios donde se observa una pérdida de exergía evidente son las dos válvulas reductoras de presión:

$$X_{v.1} = 304.41 \text{ kw}$$

$$X_{v.2} = 66.45 \text{ kw}$$

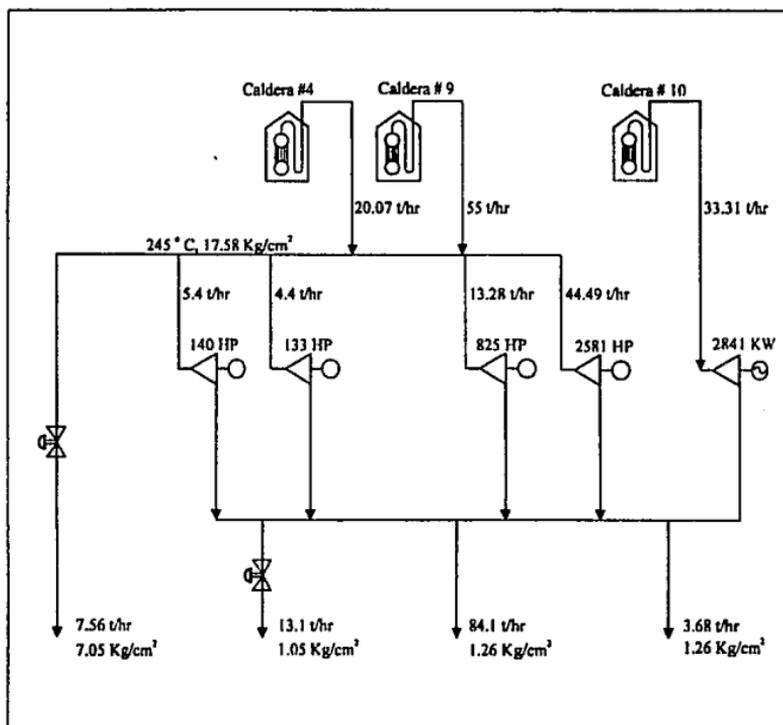
Otras pérdidas se deben seguramente a las eficiencias de las turbinas:

Tabla 3.18 Análisis de las eficiencias de las turbinas.

HP	Debe consumir (KW).	Consumo (MV*x).	Eficiencia*0.75 (l)	Diferencia (KW).
309.768	231	534.85	32.4	303.78
516.28	385.14	615.52	46.93	230.37
516.28	385.14	638.31	45.25	253.17
516.28	385.14	701.41	41.18	316.27
516.28	385.14	795.35	36.31	410.21
516.28	385.14	861.78	33.51	476.64
516.28	385.14	876	32.97	490.85
140	104.4	467.32	16.76	362.88
133	99.218	380.63	19.55	281.41
TURBOGENE RADORES.	2,841.47	2,890.83	73.72	49.37
TOTAL.	5,587	8,762	47.82	3,174.97

(1) Para comparar con turbinas de 73% de eficiencia.

Figura 3.17 Generación y consumo de exergía.



Otras pérdidas radican en el vapor de escape y usos generales no contemplados en la figura 3.17:

$$X_{vap.perd.} = 351.23 \text{ kw}$$

$$\Sigma \text{ Pérdidas de exergía} = 3900 \text{ kw}$$

Lo que indica que existen pérdidas indeterminadas de 189 kw que deben de ser localizadas y corregidas.

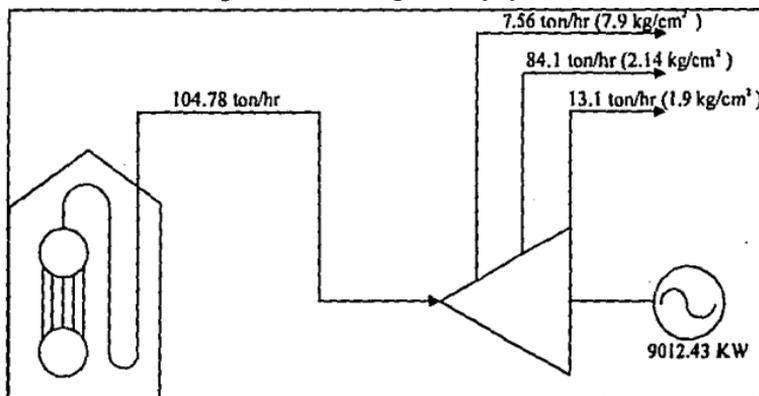
2. Las eficiencias de las turbinas son bastante bajas (a excepción de los turbogeneradores) como se observa en la tabla 3.18, donde se considera que una turbina con una eficiencia del 75% resulta adecuada.

3. Para la instalación de un sistema cogenerativo sería necesario un solo turbogenerador con tres extracciones: una de 7.56 ton/hr de vapor de 8 kg/cm^2 , una de 84.1 ton/hr de vapor de 2.14 kg/cm^2 y otra de 13.1 ton/hr de vapor de 1.9 kg/cm^2 , además de un condensador para producir 9,012.43 kw con una eficiencia del 75%. El turbogenerador actual se descartaría, así como las turbinas motrices que serían substituidas por motores eléctricos.

Considerando un consumo de 5,587 kw en motores, sobrarían 3,425.32 kw. Por otra parte el consumo de vapor sería de 104.78 ton/hr en lugar de las 109 ton/hr que se consumen actualmente

El sistema propuesto operaría bajo el régimen de subproducto electricidad, por lo que es conveniente ahorrar una cantidad extra de vapor mediante técnicas de recompresión o bombas de calor.

Figura 3.18 Sistema cogenerativo propuesto.



En los ingenios azucareros la cogeneración es utilizada en términos restringidos, ya que no se aprovechan todas las ventajas existentes (en la mayoría de los casos las plantas de fuerza de los ingenios están subutilizadas). Sin embargo, a nivel nacional la industria azucarera posee el mayor grado de autoabastecimiento de energía eléctrica (consultar tabla 3.19), lo que hace evidente que con las modificaciones actuales en materia legal sobre generación de energía eléctrica, el sector azucarero podría no solo alcanzar una autosuficiencia eléctrica del 100%, sino además estar en posibilidad de vender sus excedentes (situación que ya se plantea en algunos ingenios, pero que requiere aún de arreglos con la Comisión Federal de Electricidad).

Tabla 3.19 Resumen de autoabastecimiento eléctrico durante 1984 (Alvarado, 1993).

Tipo de industria.	Grupos electrogeneradores.					Grado de cogeneración. (%)	Eléctricidad.		Grado de autoabastecimiento (%).	Notas.
	No.de plantas.	No.de unidades.	Potencia total.	Con vapor.	Con gas.		Generación (GWH)	Consumo (GWH)		
Azúcar.	68	206	360	360	0	100	450	469	96	
Química.	27	33	151	148	3	100	821	N.D.	N.D.	(a)
Papel.	21	29	189	151	38	100	442	N.D.	N.D.	(a)
Minera.	14	16	64	64	0	73	129	N.D.	N.D.	(a)
Petroquímica básica.	8	28	505	180	325	56	1461	2129	69	(b)
Refinación de petróleo.	7	31	381	361	20	78	1257	1897	66	(c)
Siderúrgica integrada.	6	35	424	249	175	88	1219	2959	41	
Cerveza.	4	11	30	30	0	100	139	N.D.	N.D.	
Téxtil.	3	3	11	11	0	100	39	N.D.	N.D.	
PEGI.	1	11	177	151	26	100	927	N.A.	N.A.	(d)
TOTAL.	159	403	2292	1705	587		6884	N.D.	N.D.	

(a) El dato de generación en GWH se ha estimado en base a datos parciales.

(b) Incluye plantas de tratamiento de gas natural y la terminal marítima de Pajaritos, Veracruz.

(c) Datos de 1981 que no han variado significativamente durante 1992.

(d) PEGI=Planta Eléctrica del Grupo Industrial Monterrey.

N.A.= No aplicable.

N.D.=No disponible.

El objetivo fundamental de proponer sistemas cogenerativos más eficientes en ingenios azucareros, es obtener la máxima potencia que sea posible del combustible usado mediante el uso eficiente del vapor, la reducción de las pérdidas por condensados y enfriamiento con agua, aprovechando además el flujo de gases de las calderas de vapor y las turbinas de gas, lo que repercute en un ahorro del 25 al 40% de combustible (Alvarado, 1993).

Para conseguir lo anterior se requiere de lo siguiente:

1) Mejorar la operación y diseño en calderas y en los departamentos con alto consumo de vapor de la fábrica (motores primarios y sistema de calentamiento de jugos).

Como una clasificación general de los ingenios en México, de acuerdo a su consumo de vapor se consideran los siguientes valores (kg de vapor/tonelada de caña):

- fábrica vieja, parcialmente electrificada: límite máximo de 600 para azúcar mascabado, 650 para estándar y 700 para refinada,

- fábrica modernizada, calderas de media presión, cuádruple efecto: se conservan los mismos parámetros que para el caso anterior,

- fábrica moderna, calderas de alta presión, evaporadores de cinco efectos: límite máximo de 585 para azúcar mascabado, 635 para estándar y 685 para refinada,

- fábrica futura, totalmente electrificada, procesos continuos en todos los departamentos: 300 a 350 kg de vapor/ton de caña.

En 1988 de los 65 ingenios existentes en México 58 de ellos mostraban un consumo de vapor muy elevado (Caballero, 1988).

2) Secar el bagazo antes de alimentarlo a las calderas para mejorar su poder calorífico como combustible (Tabla 3.20), reducir el consumo de combustóleo y a la vez contar con un exceso del 10 al 15% de bagazo.

Existen básicamente tres métodos para el secado de bagazo (Alvarado, 1993):

- uso de secadores rotatorios cilíndricos que aprovechen el flujo de gases de las chimeneas siempre que se encuentren a una temperatura superior a los 260 °C, reduciendo la humedad del bagazo de un 50 a un 35%,

- uso de secadores neumáticos, con capacidad de 1.1 ton/hr,

- uso del secador tipo "Swedish".

(El precalentamiento del aire de alimentación a la caldera resulta tan benéfico para el ahorro del bagazo como deshidratar el bagazo).

Tabla 3.20 Valor calorífico del bagazo y energía aprovechable (Alvarado, 1993).

Contenido de humedad (%).	Valor calorífico neto (kJ/kg).	Peso de bagazo (kg).	Energía aprovechable (MJ).
55	6,565	111.1	729.4
50	7,574	100	757.4
45	8,582	90.9	780.1
40	9,591	83.3	789.9
35	10,599	76.9	815.1
30	11,608	71.4	828.8
25	12,616	66.7	841.5
20	13,625	62.5	851.6
15	14,633	58.8	860.4
10	15,642	55.6	869.7
5	16,550	52.6	875.8

3) Generación de mayor electricidad para procurar su venta a la red pública, gracias al uso de:

a) Turbogeneradores de condensación de vapor.

Se requiere de una alimentación constante de bagazo para la generación de vapor que alimente al turbogenerador, lo que resulta problemático cuando existen paros continuos en molinos o cuando no es época de zafra.

b) Turbinas de gas para además generar vapor.

Se efectúan pruebas para el uso de turbinas de gas por inyección de vapor, lo que reduciría notablemente los costos de operación. Los resultados obtenidos son alentadores como se observa en la tabla 3.21.

Tabla 3.21 Comparación entre una turbina de vapor y una de gas (Alvarado, 1993).

	Turbogenerador con turbina de vapor.		Vapor inyectado a turbina de gas.	
	Mediana (10 MW)	Grande (27 MW)	Mediana (20 MW)	Grande (50 MW)
Generación de kWh por tonelada de caña (aun fuera de zafra).	200	220	450	475
Costo de generación (US\$ cent/kWh).	6.0	5.0	4.1	3.8

4) Reducir los tiempos perdidos en el ingenio que provocan discontinuidad en el proceso.

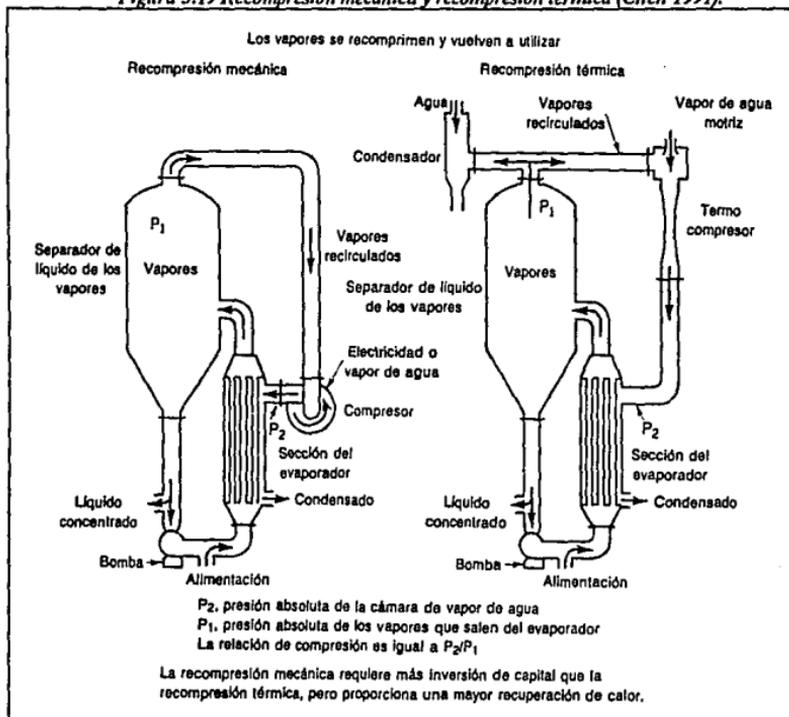
5) El uso de la recompresión de vapor presenta ventajas muy importantes en cuanto al uso eficiente del vapor y el ahorro de combustible (del 28% hasta el 36% de bagazo).

La recompresión de vapor puede ser de dos tipos:

- la recompresión térmica requiere menos capital de inversión pero produce una más baja recuperación de calor, usa un chorro de vapor para reforzar la recompresión de parte del vapor de jugo lo que eleva la presión y la temperatura,

- la recompresión mecánica generalmente se aplica a todo el vapor de jugo que sale del evaporador, por lo regular la energía mecánica requerida para el compresor es baja comparada con la energía recuperable del vapor de jugo, sin embargo el costo se eleva considerablemente a medida que se requieren relaciones más altas de compresión.

Figura 3.19 **Recompresión mecánica y recompresión térmica (Chen 1991).**



6) Instalación de equipos para el ahorro de energía (recuperación de calor en precalentadores y economizadores, precalentamiento de agua de calderas y recalentamiento de vapores).

III.2.3 FASE III. SÍNTESIS.

IDENTIFICAR LAS OPCIONES DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES.

Inventario y ordenamiento de efluentes.

El ordenamiento de los efluentes contaminantes se efectuó de acuerdo a la secuencia que siguen las operaciones unitarias en el proceso.

- 1) Agua de lavado de caña.
- 2) Caña perdida en batey.
- 3) Grasas y aceites.
- 4) Bagazo perdido en transporte de molinos a calderas.
- 5) Generación de agua grasosa.
- 6) Azufre perdido en sulfitación.
- 7) Cal perdida en alcalización.
- 8) Taponamientos eventuales en el circuito de cal.
- 9) Pérdidas de cachaza durante su manipulación.
- 10) Desalojo de tierra acumulada en filtros rotatorios.
- 11) Fugas de agua en distintas partes del ingenio.
- 12) Agua usada en condensadores barométricos.
- 13) Bagacillo perdido antes de filtros de cachaza.
- 14) Fugas en bombas de jugo clarificado.
- 15) Lavados ácidos y alcalinos.
- 16) Exceso de condensados.
- 17) Pérdidas de meladura, miel o masa cocida en evaporadores y tachos.
- 18) Fugas de agua y pérdidas de azúcar en centrifugas.
- 19) Azúcar perdida en secado y envase.
- 20) Tizne generado por la combustión de bagazo en calderas.
- 21) Gases de combustión en chimeneas.
- 22) Aguas negras del ingenio.
- 23) Maquinaria vieja abandonada en terrenos del ingenio.
- 24) Basura y falta de mantenimiento en algunas áreas.
- 25) Descargas del ingenio hacia río.
- 26) Descargas del ingenio hacia canal de riego.
- 27) Mantenimiento inadecuado en batey.
- 28) Pérdidas de jugo mezclado en molinos y pachaquil (degradación de sacarosa).
- 29) Generación de óxidos de azufre en sulfitación.
- 30) Agua proveniente de planta eléctrica.
- 31) Pérdidas de miel final.
- 32) Derrames en portatemplas.
- 33) Generales.

Lista de opciones para el control de efluentes.

Existen varios procedimientos para obtener una serie de opciones que den solución a problemas de contaminación (y en general a cualquier tipo de problema), por ejemplo la lluvia de ideas, el análisis de campos de fuerza y los diagramas causa-efecto. Esta búsqueda de opciones es la clave del llamado "estudio descriptivo" (Pojasek, 1991), que evita que un estudio ambiental sea relegado a una simple búsqueda de soluciones a problemas similares para su adaptación, o al uso de soluciones "estándar".

Durante la búsqueda de opciones es recomendable tomar en cuenta los siguientes aspectos (Berglund, Lawson, 1991):

1) El diseño del producto manufacturado debe ser el punto de partida para el desarrollo de programas contra la contaminación con base en tres aspectos: evitar que los productos se incorporen al medio ambiente como contaminantes, facilitar su remoción del ambiente en caso de ocurrir contaminación, y por último incrementar su capacidad de reprocesamiento.

2) Mejorar el diseño del proceso existente, donde se generan contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos. Estos contaminantes pueden clasificarse como "Intrinsecos" (inherentes a los productos consumidos o al proceso utilizado) o "Extrinsecos" (que tienen su origen en la operación de la planta). Eliminar los efluentes intrinsecos resulta complicado y costoso ya que se requiere de cambios en el proceso (nuevas tecnologías o equipos), mientras que los efluentes extrinsecos se controlan por lo general mediante procedimientos administrativos, mantenimiento regular, sustituciones menores de materiales o equipos, entrenamiento de operadores, apoyo gerencial y modificaciones en los servicios auxiliares del proceso.

3) Buscar una mayor integración de la planta modificando su configuración geográfica.

4) Elaborar un sistema adecuado de información y control (instalación de controladores de proceso en áreas específicas).

5) Mejoramiento de los recursos humanos, asegurándose de que los empleados se encuentren motivados, sean entrenados y recompensados por sus aportaciones.

6) Investigación y desarrollo efectivos.

7) Organización adecuada que asegure el apoyo en todos los niveles de una compañía (comenzando por la gerencia) hacia los programas de control de contaminación.

Una vez que se tienen todas y cada una de las opciones de solución para un problema determinado, se realiza una "Evaluación preliminar" de ellas con el fin de identificar las que resulten más favorables y sean sujeto de un estudio más profundo, que en este caso es un estudio de "Factibilidad técnico-económica".

Lista de opciones que se proponen de acuerdo al inventario de descargas contaminantes de la página 139.

1) Agua de lavado de caña.

- (a) Recircular el agua de lavado.
- (b) Emplear mesas de lavado de 45°.
- (c) Optar por limpieza en seco.
- (d) Controlar el flujo de agua de lavado.
- (e) Instalar un sistema de tratamiento para la caña arrastrada por el lavado (cribado, sedimentación, etc.).
- (f) Uso de un transportador colador Tricon.
- (g) Instalación de un sistema de tratamiento biológico para el agua de lavado.
- (h) No lavar o limpiar.
- (i) Emplear sistemas de limpieza de caña desde el propio campo de cultivo.

2) Caña perdida en batey.

- (a) Colocar una malla de alambre que rodee al canal de agua de lavado de caña para evitar la caída de basura.
- (b) Instalar cribas de retención en el canal de lavado.
- (c) Reducir las pérdidas de la caña desfibrada en el transportador.
- (d) Mejorar el almacenamiento y alimentación de la caña a las mesas (uso de plataformas hidráulicas).
- (e) Uso de un transportador colador Tricon.

3) Grasas y aceites.

- (a) Colocar recipientes que capten la grasa que cae de los engranes.
- (b) Uso de materiales que requieren menor lubricación.
- (c) Uso de nuevos lubricantes.
- (d) Quemado de la grasa en los hornos de las calderas.
- (e) Uso de trampas de grasa más eficientes.

4) Bagazo perdido.

- (a) Evitar pérdidas en el transporte hacia calderas con el uso de conductos cubiertos.
- (b) Mejorar las técnicas de almacenamiento de bagazo.

5) Generación de agua grasosa.

- (a) Acondicionamiento de una fosa de tratamiento adecuada (empleo de surfactantes, instalación de desnatadores y dimensiones apropiadas).
- (b) Usar un sistema de difusión en lugar de molinos para extraer la sacarosa.

6) Azufre sólido perdido en sulfitación.

- (a) Almacenaje adecuado de azufre (pavimentar suelo y colocar puertas de acceso en la bodega, arreglar el camino de acceso de los camiones).
- (b) Transportar el azufre al horno de sulfitación en carretillas suficientemente profundas.
- (c) Instalar una rampa de acceso al horno.
- (d) Sulfitar con SO_2 líquido.

7) Cal sólida perdida en alcalización.

- (a) Almacenaje adecuado de cal (pavimentar el suelo y colocar puertas de acceso).
- (b) Uso de cal a granel en suspensión inyectada directamente al tanque de lechada.
- (c) Transporte y manejo adecuados de los sacos de cal.

8) Taponamientos eventuales en el circuito de cal.

- (a) Inyección de agua limpia cuando no se esté alcalizando jugo.
- (b) Alcalizar en forma de sacarato.
- (c) Trampas de sólidos en el circuito sin que sea necesario cerrar el flujo.
- (d) Usar mangueras de hule tramado en lugar de tubos.
- (e) Aumentar velocidad de flujo.

9) Pérdidas de cachaza durante su manipulación y manejo como residuo.

- (a) Procurar su venta como abono orgánico (posible mejoramiento de propiedades).
- (b) Reducir pérdidas en el transporte hacia las tolvas (al parecer no todos los lodos de los clarificadores se envían a los filtros de cachaza).
- (c) Dar un mantenimiento adecuado a toda esta zona, la cual se encuentra muy sucia.
- (e) Emplear bombas de lodos en lugar de bandas.
- (f) Emitir procedimientos de operación precisos.

10) Desalojo de tierra acumulada en los filtros rotatorios.

- (a) Instalar un circuito de drenado de tierra en los filtros hacia las tolvas de cachaza.
- (b) Elaborar medidas correctivas cuando uno de los filtros sufra un desperfecto (actualmente la falla de un filtro hace que los dos tengan que detenerse).
- (c) Eliminar tierra del jugo mezclado con hidrociclones.

11) Fugas de agua en distintas partes del ingenio.

- (a) Minimizar fugas en llaves o accesorios.
- (b) Instalar líneas de tubería para el desalojo de fugas en caso de ocurrir.
- (c) Asegurar un mantenimiento preventivo adecuado.

12) Agua usada en condensadores barométricos.

- (a) Instalación de condensadores de superficie.
- (b) Aplicar métodos de recompresión de vapor.
- (c) Instalar separadores de arrastre eficientes.
- (d) Aumentar el uso de vapores de extracción para calentamiento y cristalización.

13) Bagacillo perdido antes de los filtros de cachaza.

- (a) Usar aspersores de agua para retener el bagacillo.
- (b) Sellado de la cámara de recepción del bagacillo.
- (c) Instalar un sistema de control de emisión de partículas en el interior del recipiente de recepción de bagacillo.

14) Fugas de bombas en jugo clarificado.

- (a) Uso de materiales más resistentes para el sellado (sellos mecánicos).
- (b) Efectuar un mantenimiento constante.
- (c) Colocar recipientes de jugo eventualmente derramado con sistemas de recuperación.

15) Desechos ácidos y alcalinos.

- (a) Evitar derrames de espuma en el tanque de almacenamiento de sosa.
- (b) Neutralizar de manera efectiva el efluente.
- (c) Disminuir la incrustación en evaporadores mediante agentes químicos.
- (d) Mejorar la calidad del agua usada en proceso.
- (e) Optar por otro sistema de limpieza (mecánica, electroquímica).

16) Exceso de condensados.

- (a) Reducir el consumo de vapor en proceso (por ej. con recompresión de vapor).
- (b) Incrementar la capacidad de almacenamiento de condensados.
- (c) Usar los condensados para usos generales de la planta.
- (d) Efectuar una evaporación súbita del condensado.
- (e) Distribución de agua a industrias o negocios vecinos.

17) Pérdidas de meladura, miel o masa cocida en evaporadores y tachos.

- (a) Colocar separadores de arrastre en evaporador y tachos.
- (b) Procedimientos escritos para mejorar técnicas operativas.
- (c) Optimizar los sistemas de control de proceso.

18) Fugas de agua y pérdidas de azúcar en centrifugas.

- (a) Evitar fugas o derrames de miel, masa cocida o azúcar (procedimientos escritos).

- (b) Mantener limpio el piso para una posible recuperación de azúcar, aislando el área de centrifugas para un manejo adecuado de fugas.
- (c) Instalar sellos mecánicos en bombas.

19) Azúcar perdida durante el secado y envase.

- (a) Manejar el azúcar en ductos cerrados.
- (b) Separar y recuperar los polvos finos de azúcar (equipos en húmedo o en seco).
- (c) Mejorar los mecanismos de control para el llenado de sacos.
- (d) Enviar a reprocesamiento todo el azúcar perdido.
- (e) Aislar el área de secado para asegurar una máxima recuperación del producto.

20) Tizne generado por la combustión de bagazo en calderas.

- (a) Mejorar la operación de las fosas de tratamiento de tizne y recircular el agua de lavado de gases.
- (b) Optar por un tratamiento en seco del tizne.
- (c) Disposición como fertilizante mejorando sus propiedades.
- (d) Usarlo como sustituto de bagacillo en los filtros de cachaza.
- (e) Instalar sedimentadores en las fosas de tratamiento de tizne.
- (f) Mejorar el diseño de las calderas para no emitir tizne.
- (g) Recircular el tizne a los hornos de las calderas.

21) Gases de combustión de calderas.

- (a) Mejorar la combustión y la operación de las calderas.
- (b) Reducir el consumo de combustóleo en calderas.
- (c) Reducir los paros constantes en calderas (debidos principalmente a molinos).
- (e) Aumentar la eficiencia de los lavadores de gases de las chimeneas con agentes químicos.

22) Aguas negras del ingenio.

- (a) Instalar una planta de tratamiento biológico.
- (b) Envío hacia la red pública de drenaje (la que sin embargo no cuenta con ningún tipo de tratamiento).
- (c) Efectuar una redistribución y un reacondicionamiento de baños.

23) Maquinaria vieja abandonada en terrenos del ingenio.

- (a) Limpiar las zonas sin construir del ingenio.
- (b) Vender la maquinaria inútil como chatarra.
- (c) Construir una bodega o acondicionar una sección de la planta para almacenar ordenadamente la maquinaria que se pueda usar en un futuro.

24) *Basura y falta de mantenimiento en algunas áreas.*

- (a) Limpiar las zonas que se encuentren descuidadas (espacio potencialmente aprovechable).
- (b) Efectuar campañas de limpieza y concientización.

25) *Descargas del ingenio hacia el río.*

- (a) Recirculación de agua de los condensadores barométricos (torres de enfriamiento, albercas de aspersión, enfriadores de aire, etc.)

26) *Descargas del ingenio hacia el canal de riego.*

- (a) Segregación de efluentes.
- (b) Instalación de un sistema de tratamiento biológico de la descarga final.
- (c) Usar sistemas de tratamiento primario y secundario en el canal de riego.
- (d) Asegurar el buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento ya existentes, lo que reduciría el grado de contaminación de la descarga final.

27) *Mantenimiento inadecuado en batey.*

- (a) Pavimentar el área de batey.
- (b) Construir canales de desagüe en batey.
- (c) Asegurar un mantenimiento constante en esta zona.

28) *Pérdidas de jugo mezclado en molinos y pachaquil (degradación de la sacarosa).*

- (a) Mejorar la operación del pachaquil: limpieza y desinfección constantes, evitar la acumulación de jugo por más de 48 hrs. para evitar la degradación bacteriana.
- (b) Eliminar el pachaquil con bombas inatascables y filtros rotativos modernos.

29) *Generación de óxidos de azufre en sulfitación.*

- (a) Controlar el flujo de gases de azufre (en ocasiones no se está sulfitando jugo, pero la corriente de gases es continua).
- (b) Regular el grado de sulfitación deseado mediante la concentración de los óxidos de azufre (actualmente se desconoce el grado de sulfitación del jugo).
- (c) Usar SO₂ líquido.
- (d) Cambiar el horno por otro más eficiente.
- (e) Tratar los gases que salen de la torre de sulfitación.

30) *Agua proveniente de la planta eléctrica y de los enfriadores de las turbinas.*

- (a) Segregación (agua relativamente limpia).
- (b) Instalar un circuito cerrado para el agua de enfriamiento de las turbinas.

31) Pérdidas de miel final.

- (a) Evitar derrames al cargar las pipas (emitir procedimientos escritos).
- (b) Evitar derrames en los tanques de almacenamiento.

32) Falta de mantenimiento en portatemplas.

- (a) Evitar acumulación de miel en el piso que puede mezclarse con grasa o basura.
- (b) Instalar recipientes para la recuperación de grasa o de miel.

33) Generales.

- (a) Controlar el acceso al ingenio.
- (b) Promover el pavimentado y mantenimiento de los caminos aledaños al ingenio.
- (c) Eliminar las fuentes de ruido más intensas del proceso (por ej. las bombas de vacío).
- (d) Mejorar el aspecto en general del ingenio (sembrar arboles y pasto, mantener el orden y limpieza en las instalaciones, etc.).

Análisis preliminar de las opciones propuestas.

Como ya se mencionó este análisis tiene por objetivo localizar las opciones más favorables para el control de cada uno de los efluentes del ingenio que se muestran en la página 139, para que sean objeto de un estudio más riguroso.

En este análisis preliminar consideramos 8 aspectos a evaluar de cada una de las opciones:

I. Reducción en el volumen o grado de contaminación del efluente.

II. Reducción en costos de tratamiento o disposición.

III. Costo de inversión y operación menor.

IV. Menor tiempo de instalación.

V. Mayor facilidad de instalación.

VI. Ventajas económicas de la instalación.

VII. Reducción de problemas operativos.

VIII. Menor necesidad de personal especializado.

Para la evaluación se asigna un número negativo (que indica características desfavorables) o positivo (que indica características favorables) para cada uno de los ocho aspectos ya mencionados, se suma o resta el puntaje asignado generando un total que es el que señala que opción u opciones son las más adecuadas para el control de cada efluente.

La escala de evaluación empleada es la siguiente:

-2 = Muy desfavorable; -1 = Desfavorable; 0 = Regular; 1 = Favorable; 2 = Muy Favorable.

El análisis se hace para todas las opciones de cada efluente, a manera de ejemplo en la tabla 3.22 se observan los resultados en el caso de la opción más favorable para cada uno de los efluentes considerados.

Tabla 3.22 Análisis preliminar de las opciones propuestas más favorables.

Problema	Solución	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total.
1)	(d)	1	0	1	1	1	0	1	0	5
2)	(a)	1	0	2	2	2	1	-2	-1	5
3)	(a)	1	0	2	2	2	0	0	1	9
4)	(a)	2	0	2	2	2	1	1	1	11
5)	(b)	1	0	0	1	1	0	1	1	5
6)	(c)	1	0	2	2	1	1	1	1	9
7)	(a)	1	0	1	1	1	1	1	1	7
8)	(b)	2	0	0	1	1	2	2	1	9
9)	(b)	2	0	1	2	1	0	1	-1	6
10)	(a)	0	0	2	2	2	0	1	1	8
11)	(b)	0	0	1	2	1	1	1	1	7
12)	(c)	2	2	1	1	1	2	0	1	10
13)	(b)	2	0	2	1	1	0	1	1	8
14)	(c)	1	0	2	2	2	1	0	1	9
15)	(a)	2	0	1	1	2	1	2	1	10
16)	(c)	2	0	0	1	1	1	2	0	7
17)	(a)	2	1	1	1	2	2	1	1	11
19)	(a)	2	2	2	2	2	2	1	2	15
20)	(d)	1	1	1	1	1	1	1	0	7
22)	(b)	0	0	1	1	2	0	1	0	5
23)	(b)	2	0	1	1	1	1	1	1	8
25)	(a)	2	0	-1	1	1	2	2	-1	6
26)	(a)	1	0	1	2	2	1	1	1	9
27)	(a)	2	0	1	1	1	1	1	0	7
28)	(a)	2	0	-1	0	1	2	2	-1	5
29)	(d)	1	1	0	1	1	1	1	1	7
30)	(a)	2	1	1	1	1	1	0	0	7
31)	(a)	1	0	1	1	1	1	1	-1	5
32)	(a)	2	0	1	1	0	1	1	-1	5

Estudio de factibilidad técnico-económica.

Existe un gran número de publicaciones que indican la manera en que se realizan los estudios de factibilidad económica, en general se considera que el punto de partida es una cotización adecuada de los equipos requeridos con base en un cálculo preciso de las especificaciones que se requieren, el contar con proveedores confiables y comparar distintas cotizaciones también es importante. Además el análisis de costos del proyecto debe considerar el costo de escalación (tiempo en el que la cotización es válida), el costo de instalación, el costo de los equipos auxiliares, el costo de transporte del equipo, el pago en efectivo por anticipado, los costos de operación y mantenimiento y el costo de salvamento del equipo (Rusell, 1985).

Como medidas de la rentabilidad generalmente se considera la **tasa de recuperación de la inversión**, el **tiempo de recuperación de la inversión "R.I."** (número de años que se requieren para que las ganancias o ahorros sumados, sin tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo, igualen al costo del proyecto), **valor presente neto "V.P.N."** (flujo de efectivo que genera el proyecto en años subsecuentes de acuerdo al tiempo de depreciación que le corresponde con base en la aplicación de una tasa de interés seleccionada), **tasa interna de recuperación "R.O.I."** (es la tasa de interés a la cual los flujos de efectivo esperados, que se calculan en valor presente neto, igualen al monto de la inversión original).

Finalmente para la evaluación completa de la rentabilidad de un proyecto pueden seguirse los siguientes pasos (Alvarado, 1993):

- análisis técnico de las opciones,
- análisis financiero preliminar,
- análisis económico, tomando en cuenta parámetros económicos y financieros,
- análisis financiero, evaluando varios escenarios con diferentes esquemas de financiamiento,
- análisis de sensibilidad sobre el mejor escenario financiero.

Durante la realización del estudio de factibilidad técnica es importante tomar en cuenta que requerimientos se necesitan para la instrumentación de las opciones consideradas.

Si la opción involucra solamente aspectos referentes al personal o a procedimientos operativos debe considerarse que departamentos serán afectados, que entrenamiento requiere el personal y que mecanismos se necesitan para asegurar el cumplimiento de las modificaciones. En caso de que se requieran cambios en equipos o materiales deben considerarse otros aspectos.

Una forma ilustrativa de analizar el costo de la instalación de dispositivos anticontaminantes es conocer de que manera repercute sobre el costo total del producto que se elabora. En primer lugar se obtiene el costo de producción actual por tonelada del producto, a continuación se suman los costos de adquisición, instalación, operación y mantenimiento del equipo anticontaminante al costo total de producción y se observa el efecto en el costo por tonelada del producto.

Debe realizarse un estudio comparativo entre la situación actual y la esperada con las medidas consideradas; cuando no sea posible establecer valores cuantitativos de una serie de beneficios (salud de los trabajadores, mejoramiento del ambiente local, etc.) pueden asignarse criterios cualitativos o recurrir a la ayuda de economistas y expertos de la materia.

En el caso de este ingenio azucarero, basándose en el análisis preliminar efectuado, debe realizarse el estudio de factibilidad técnico-económica de todas las opciones que ofrezcan mejores resultados. Sin embargo, debido a la gran cantidad de opciones que se han propuesto, y a las restricciones de tiempo que existen, sólo se muestra a manera de ejemplo el estudio técnico-económico de la opción propuesta para el control del efluente #25 de la página 145, que es la descarga hacia el río, la cual es además una de las más importantes del ingenio.

Además se hace un breve análisis de la corriente de agua residual que se usa en riego de cultivos de caña y maíz (efluente #26).

- DESCARGA A RÍO.

Se consideran las siguientes medidas de control:

- I. Segregación total de la descarga de los condensadores.
- II. Colocación de separadores de arrastre.
- III. Construcción de una laguna de aspersión.
- IV. Instalación de una torre de enfriamiento.

Se propusieron además las siguientes alternativas a cada medida de control:

- a) No tratar la corriente contaminante.
- b) Tratar el 25% de la corriente.
- c) Tratar el 50% de la corriente.
- d) Tratar el 75% de la corriente.
- e) Tratar el 100% de la corriente.

Para el estudio económico se consideraron dos posibles escenarios:

1. Sistema de cuotas que se aplica actualmente.
2. Sistema de cuotas conforme a la Ley Federal de Derechos 1993.

Como medidas de la rentabilidad se emplearon las siguientes:

- El valor presente neto con una tasa de interés equivalente al $CPP + 3$ ($CPP =$ Costo Porcentual Promedio nacional).
- El retorno de la inversión y la recuperación de la inversión.

Los cálculos para el diseño y costo de una laguna de aspersión se efectuaron de acuerdo al trabajo de Fernando Castañeda (Castañeda, 1976) y a las especificaciones del Manual del ingeniero Químico (Perry, 1992). El arreglo de la alberca se muestra en la memoria de cálculo del anexo V.

Para la torre de enfriamiento se solicitó una cotización a Industrial Mexicana de torres marca Bac-Pritchard de la serie 4000 para las opciones b, c, d y e.

En el escenario I el consumo de agua se cobra a razón de 0.027 NS/m³ de agua, mientras que la descarga de efluentes no se cobra (considerando que no se cobran multas por parte de SEDESOL).

En el escenario II el consumo de agua se cobra a razón de 0.00192 NS/m³ de agua, mientras que las descargas contaminantes se cobran conforme a la Ley de descargas contaminantes a cuerpos nacionales de agua (página 40).

Se considera una vida útil de 10 años de cada una de las medidas de control, por lo que las medidas de rentabilidad (valor presente neto y retorno de la inversión) se aplicaron a ese intervalo de tiempo.

Los resultados se observan en la tabla 3.23; en la figura 3.20 se observa el costo de las opciones de tratamiento en valor presente neto durante los 10 años de vida de los equipos; en la figura 3.21 el consumo y descarga de agua actual se compara con los posibles sistemas de recirculación del efluente; en la figura 3.22 se muestra el resumen del proyecto y en la figura 3.23 el resumen económico de ingeniería (formatos propuestos por Segura, 1992). La memoria de cálculo correspondiente se observa en el anexo V.

Tabla 3.23 Resultados del estudio económico.

Medida de control.	Casa.	Escenario I			Escenario II		
		VPN (NS)	ROI	RI (años)	VPN (NS)	ROI	RI (años)
III	a	-2,526,719	-----	-----	-4,478,713	-----	-----
	b	-2,516,186	-----	-----	-3,196,257	-----	-----
	c	-2,489,273	-----	-----	-1,879,414	-----	-----
	d	-1,483,130	-----	-----	-674,508	-----	-----
	e	-2,432,000	-----	-----	772,961	~ 7.1	11.7
IV	a	-2,526,719	-----	-----	-4,478,713	-----	-----
	b	-2,058,549	-----	-----	-2,738,620	-----	-----
	c	-1,586,542	-----	-----	-994,684	-----	-----
	d	-640,141	-----	-----	794,245	8.06	10.7
	e	-643,156	-----	-----	2,493,011	35.87	3.9

Resultados.

- La segregación de la descarga de los condensadores (medida de control I), evitando la incorporación de fugas de jugo clarificado y de agua de lavado de pisos proveniente del área de centrifugación y de secado, es la primera medida que debe ser implantada debido a su bajo costo y facilidad de aplicación. Independientemente de la aplicación de cualquier otra medida de control se considera que la segregación de este efluente debe asegurarse en un corto plazo.

- Con la instalación de separadores de arrastre (medida de control II), es posible una reducción del 90% en la carga contaminante de esta corriente. La cotización fue proporcionada por la compañía "Sugarequip (PTY) Ltd." para separadores de persianas verticales en cada uno de los efectos.

- En el caso "a" (no adoptar ninguna medida de control) de acuerdo al escenario I, el pago por consumo de agua (suponiendo que no existan nuevas disposiciones legales) durante los siguientes 10 años equivale en valor presente a gastar NS 2,526,719.

- Para el escenario I (condiciones actuales de pago o cualquier otra menos estricta) de acuerdo al V.P.N. de la tabla 3.23, no es posible recuperar la inversión efectuada en una torre de enfriamiento o una alberca de aspersión, sin embargo el pago por consumo de agua se reduce de un 50 a un 75% del pago actual y esto reduce significativamente la cantidad que debe pagarse. Mientras que en el escenario II (o en otro marco legal más estricto) resulta plenamente justificable la inversión en una torre de enfriamiento para el manejo del 100% del efluente.

- Conforme a la tabla 3.23 en cualquiera de los casos considerados resulta más adecuada la instalación de una torre de enfriamiento que una alberca de aspersión.

- Los costos de bombeo elevan considerablemente el costo de operación en las albercas de aspersión, las que además requieren de grandes áreas de terreno, de condiciones geológicas favorables y presentan pérdidas importantes de agua por arrastre.

- Resulta favorable reducir el consumo de agua en el proceso, ya que los costos por consumo de agua serían menores y se favorecería la adaptación de una torre de enfriamiento.

Especificaciones de la torre de enfriamiento seleccionada.

-Marca: BAC PRITCHARD, modelo: 4471-4, tipo Doble flujo cruzado.

Condiciones de diseño.

- Flujo: 11,200 GPM, Pérdidas por arrastre: 0.02%

- Temp.de entrada: 45 °C, Temp.de salida: 28.5 °C, Temp.de bulbo húmedo: 24 °C

Especificaciones generales.

4 celdas; 8,6 m de largo de cada celda; 8,9 m de ancho de cada celda; 6,4 m de alto de cada celda; 160 km/hr de diseño de carga al viento y estructura de madera de pino tratada a presión.

Dimensiones del depósito.

- 34 m de largo y 6 m de ancho.

Equipo mecánico.

- 4 ventiladores, diámetro de ventiladores: 16', con 4 motores de 75 H.P. cada uno.

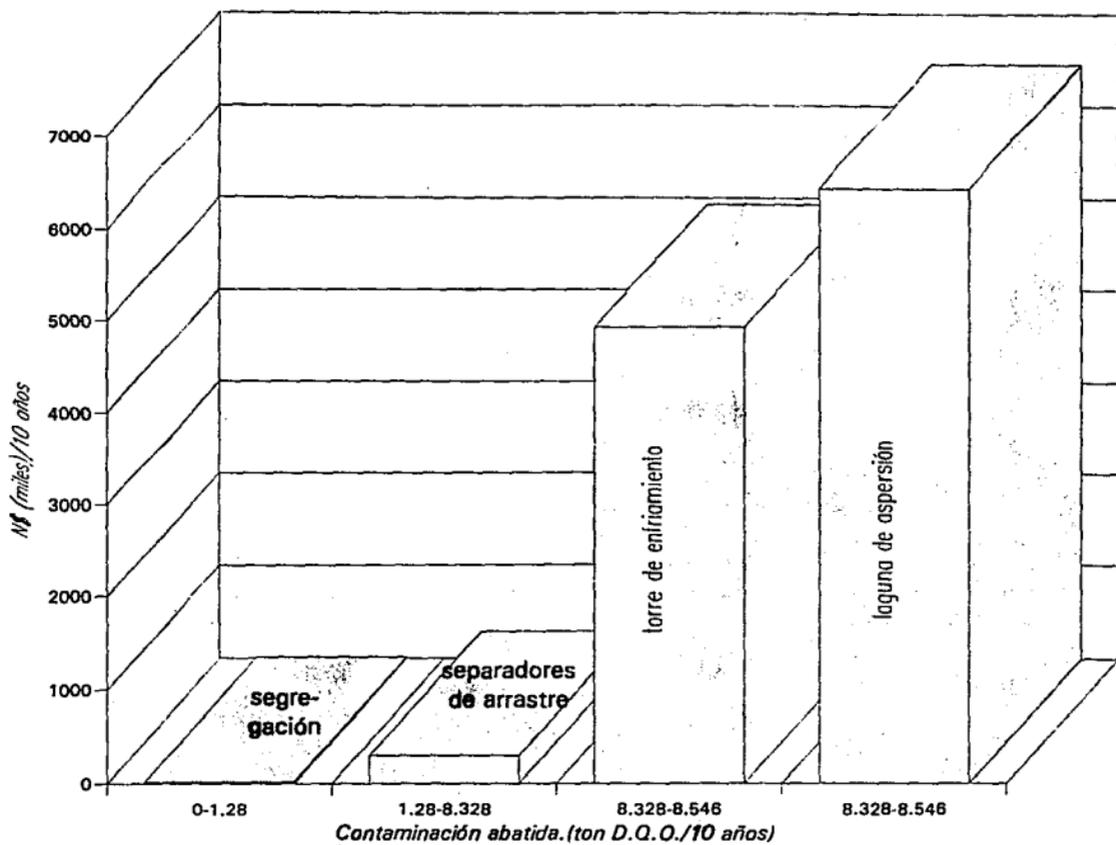


Figura 3.20 Costo de las opciones de tratamiento propuestas.

Figura 3.21 Consumo y descarga de agua considerados.

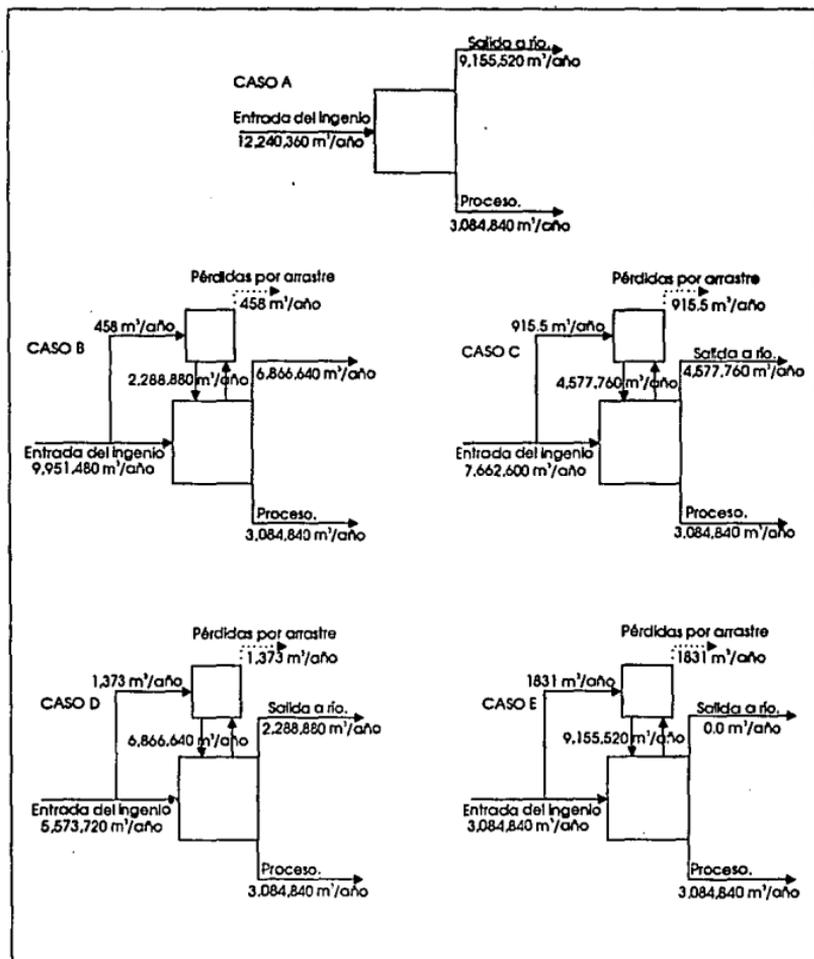


Figura 3.22 Resumen del proyecto.

FECHA: 25/OCTUBRE/1993		CLAVE DEL PROYECTO: ING-001	
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO. <i>Las nuevas disposiciones legales con respecto a las cuotas por el consumo y descarga de agua en México, y el alto requerimiento de esta en los ingenios azucareros nacionales, justifican la instalación de un sistema de recirculación en la descarga más importante en cuanto a volumen de esta industria, que es el agua usada en los condensadores barométricos.</i> <i>Después de considerar una serie de alternativas se concluyó que la más adecuada es la instalación de una torre de enfriamiento para el manejo del 100% de la corriente que actualmente es descargada al río.</i> <i>El análisis financiero se basa considerando la aplicación de la legislación vigente (la que sin embargo no es aún aplicada).</i>		TIPO DE INVERSIÓN	
		Reemplazo esencial.	
		Reducción de costos.	
		Control contaminación.	X
		Mejoramiento de calidad.	
		Estrategia corporativa.	
		FINANCIEROS	
		Costo (NS)	1,513,287
		VPN (NS)	2,493,011
		R.O.I	35.87 %
		Recup. de inversión	4 años
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO. <i>Se propone la instalación de una torre de enfriamiento con capacidad de 11,200 GPM para el enfriamiento de una corriente de 2,312 m³/hr de 45 °C a 28 °C. Es necesaria la construcción del depósito y la instalación de la tubería e instrumentación requerida, además para la correcta operación de la torre es necesaria la segregación total de la corriente recirculada y la instalación de separadores de arrastre en tachos y cuádruple.</i>		AHORROS	
		Anual ~ 421,000 NS	
		Único	
APROBACIONES.			
Sptd. departamento.		Gerencia ingenio	
Sptd. general.		Gerencia técnica	
Dirección general.			

Figura 3.23 Resumen económico de ingeniería.

FECHA: 25/OCTUBRE/1993		CLAVE DEL PROYECTO: ING-001
INGENIO:		
PROYECTO: <i>Instalación de torre enfriamiento.</i>		COSTO (NUEVOS PESOS).
1	PRELIMINARES	
2	EDIFICIOS Y OBRAS CIVILES.	47,560
3	TECHOS Y REVESTIMIENTOS.	
4	ACABADO DE EDIFICIOS	
5	CONSTRUCCION DE ACERO ESTRUCTURAL	
6	EQUIPOS PRINCIPALES	812,690
7	FLETES, SEGUROS Y FIANZAS	25,750
8	MONTAJE DE EQUIPOS	
9	SERVICIOS PARA LA PLANTA	150,350
10	LICENCIAS Y PERMISOS	43,000
11	PREOPERACIÓN Y ARRANQUE	40,000
12	PLATAFORMAS DE ACCESO Y ESCALERAS	
13	INFLACIÓN ACUMULADA (MÁXIMO 1 AÑO)	134,000
14	TUBERÍAS Y VÁLVULAS	32,500
15	AISLAMIENTO TÉRMICO	
16	VENTILACIÓN Y COLECCIÓN DE POLVOS	
17	AIRE ACONDICIONADO	
18	SEGURIDAD	
19	DERECHOS U HONORARIOS DE INGENIERIA	85,845
20	COSTO DE CONTRATISTAS VARIOS	85,845
21	COSTOS DE IMPORTACIÓN	
22	ALQUILER DE EQUIPOS, HERRAMIENTA	
23	ELÉCTRICOS E INSTRUMENTACIÓN	34,340
24	OTROS COSTOS	85,000
25	IMPREVISTOS	85,000
TOTAL		1,513,287
DISPONIBILIDAD DE CAPITAL N\$		EXACTITUD DE LA ESTIMACIÓN ± 15 %
PROPUESTO POR: <i>Gilberto Moreno R.</i>		APROBADO POR:

- DESCARGA A RIEGO.

El aprovechamiento de aguas residuales urbanas o industriales para riego agrícola es una práctica difundida en mayor o menor grado en el mundo entero. Sin embargo no siempre se cuenta con las condiciones que aseguren que esta actividad no tenga efectos adversos en el cultivo, en el terreno, en la salud de las personas o en el medio ambiente.

La legislación mexicana en este sentido resulta incompleta (página 42), y el desconocimiento y falta de apoyos en el campo se ven reflejados en un bajo rendimiento y en productos de mala calidad.

Para la clasificación del "*Agua no residual usada en riego de cultivos*" existen los siguientes criterios:

- clasificación USDA (Cruz, 1989) que se muestra en la figura 3.24 y que se basa en la determinación de Conductividad Eléctrica (CE) y Relación de Adsorción de Sodio (RAS),

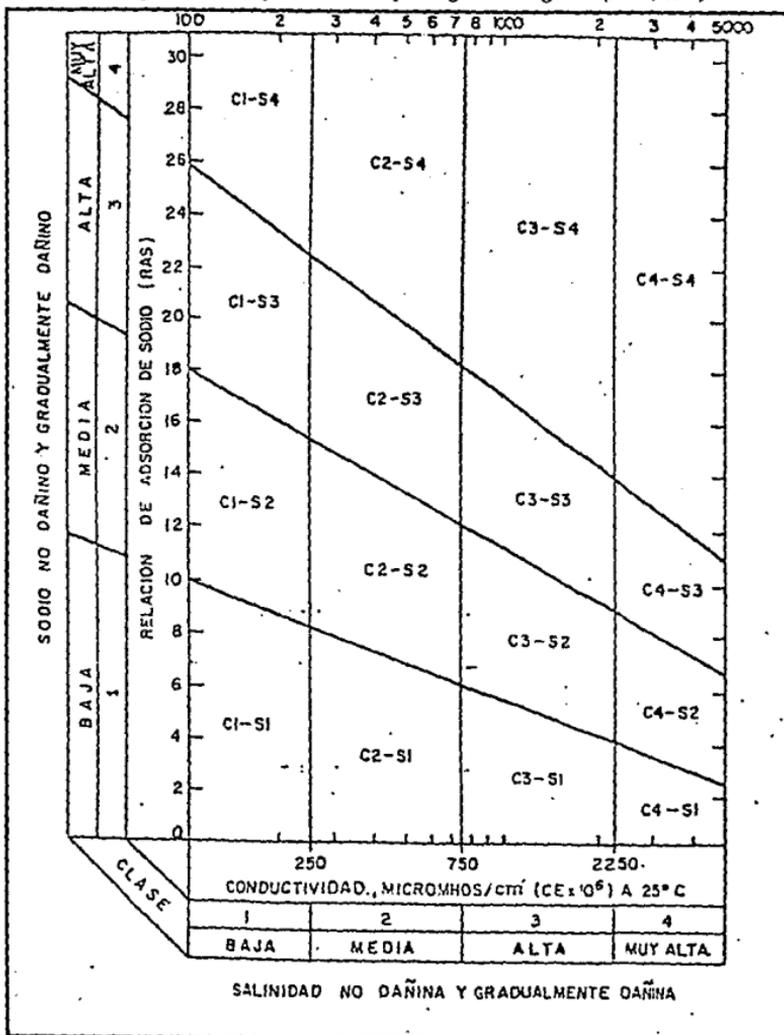
- con base en índices de conductividad, salinidad equivalente (SE), salinidad potencial (SP), RAS, carbonato de sodio residual (CSR), boro (B) y cloro (Cl), se clasifica al agua residual como buena (B), condicionada (C) y no recomendable (N),

- una clasificación simplificada y que complementa a la anterior consiste en agregar unas siglas que indiquen el factor crítico del agua utilizada como se muestra en la tabla 3.24.

Tabla 3.24 Claves usadas en la clasificación simplificada de aguas no residuales (Cruz, 1989).

<i>Factor crítico.</i>	<i>Índice utilizado.</i>	<i>Clave.</i>
1. Sales solubles.	Estimadas con CE.	1a
	Estimadas con SE.	1b
	Estimadas con SP.	1c
2. Sodio.	Estimado con RAS.	2a
	Estimado con CSR.	2b
3. Elementos tóxicos.	Boro.	3a
	Cloruros.	3b

Figura 3.24 Clasificación USDA para aguas de irrigación (Baca, 1977).



Para la clasificación del "Agua residual usada en riego agrícola" es necesario considerar las condiciones climatológicas de la región, las propiedades físicas y químicas del suelo, la tolerancia del cultivo (principalmente a sales), y las prácticas operativas en el riego.

Considerando Salinidad, Infiltración del agua, Toxicidad y problemas varios es posible establecer una serie de directrices para interpretar la calidad del agua como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 3.25 Directrices para interpretar la calidad del agua para riego (Cruz, 1989).

Problema potencial.	Unidad.	Grado de restricción de uso.		
		Ninguno.	Ligero a moderado.	Severo.
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua para el cultivo).				
CEa	µmhos/cm	<700	700-3000	>3000
SST	mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltración (reducción de la misma, evaluar con CE y RAS)				
RAS= 0-3 y CEa=		>0.7	0.7-0.2	<0.2
3-6		>1.2	1.2-0.3	<0.3
6-12		>0.9	1.9-0.5	<0.5
12-20		>2.9	2.9-1.3	<1.3
20-40		>5.0	5.0-2.9	>2.9
Toxicidad de iones (afecta a ciertos cultivos).				
Sodio (Na).				
Riego por superficie	RAS	<3	3-9	>9
Riego por aspersión	me/l	<3	>3	
Cloro (Cl).				
Riego por superficie	me/l	<4	4-10	>10
Riego por aspersión	m ³ /l	<3	>3	
Nitrógeno (NO ₃ -N) (1)	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonato (HCO ₃)	me/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Rango normal de 6.5 a 8.4		

(1) Nitrógeno en forma de nitrato expresado en términos de nitrógeno elemental.

Los análisis de laboratorio necesarios para la caracterización del agua residual usada en riego requieren de una precisión de $\pm 5\%$ y deben de constar de lo siguiente:

- Salinidad.

Salinidad potencial.

Porcentaje de sodio posible

Contenido de sales: conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales.

Cationes y aniones (me/l): calcio, magnesio, sodio, cloro, carbonatos, bicarbonatos y sulfatos.

- Nutrientes (mg/l).

Nitrógeno en forma de nitrato y en forma de amonio.

Fósforo como fosfato.

Potasio.

- Varios.

Boro, RAS, DBO, DQO, temperatura, sólidos totales, sólidos disueltos, pH, coliformes fecales y totales, detergentes, grasas y aceites, dureza, metales pesados y sustancias peligrosas.

En general la materia orgánica presente en el agua residual mejora las condiciones físicas y la fertilidad de los suelos (los microorganismos transforman la materia orgánica en N, P y S). Por otra parte la materia orgánica tiene la función de liberar oxalatos y lactatos lo que incrementa la disponibilidad de P para los cultivos.

Las sales contenidas en las aguas residuales (sólidos disueltos totales) incrementan la presión osmótica del suelo y dificultan la absorción del agua y nutrientes en las raíces de las plantas. Esto se presenta cuando existen concentraciones elevadas de Na, Ca, Mg, carbonatos, cloruros, etc., los que compiten por los sitios de intercambio desplazando compuestos esenciales para el desarrollo de los cultivos.

De todas las reacciones de intercambio la más importante es la de intercambio de sodio por calcio, el suelo se deflocula y pierde su estructura, disminuyendo su permeabilidad al aire y al agua, formando costras e impidiendo que los cultivos se desarrollen normalmente.

Resulta interesante indicar que la concentración de sales presentes en el agua de riego, al momento de incorporarse en el terreno aumenta aproximadamente 5 veces por la evaporación del agua, lo que puede provocar problemas de salinidad en el suelo.

Resultados.

Las características del agua residual del ingenio que se usa en el riego de cultivos de caña de azúcar y maíz se muestran en la tabla 3.7, y con base en las mismas es posible establecer las siguientes conclusiones respecto a esta agua:

- el agua es de salinidad media y baja en sodio, lo que indica que su uso se encuentra restringido a cultivos resistentes a la sal y se clasifica por tanto como C2-S1,
- de acuerdo a otra nomenclatura el agua puede clasificarse como C/1a (agua condicionada para uso agrícola por conductividad eléctrica),
- con base en los valores de CE y RAS que aparecen en la tabla 3.25 (considerando que hay una cantidad importante de parámetros que no han sido determinados), esta agua presenta restricciones moderadas en su uso,
 - el agua presenta un exceso de sólidos disueltos totales (9,657 mg/l), lo que restringe significativamente su uso, también se observa un exceso de sólidos totales y de sólidos suspendidos totales, que supera incluso los valores característicos de las aguas negras,
 - la temperatura del agua es elevada (~ 31 °C), sin embargo se encuentra dentro de los límites recomendados (<33.5 °C). El pH se encuentra también dentro de los límites permitidos (6.5-8.5), mientras que las grasas y aceites superan el valor característico de las aguas negras (60 mg/l) y los límites propuestos por la S.R.H. (20 mg/l),
 - la DBO de esta agua (370 mg/l) supera con mucho el valor recomendado en la literatura (<100 mg/l), mientras que la DQO (3,015 mg/l) supera notoriamente el valor característico de las aguas negras usadas en riego de cultivos (455 mg/l),

En cuanto a coliformes fecales no existen especificaciones para el riego de cultivos que se procesan industrialmente, sin embargo se recomienda que el agua utilizada haya recibido un tratamiento en una laguna de estabilización durante 8 o 10 días, o en un sistema equivalente (Pescod, 1992). En cuanto a nematoides intestinales (*Ascaris*, *Trichuris* y *Uncinaria*) se especifica una media aritmética de huevos por litro menor a 1 (no se cuenta con esa determinación en el agua del ingenio).

Los suelos que existen en la región son de origen aluvial, drenaje superficial mediano, textura mediana y pesada, erosión leve, pH alcalino y de fertilidad mediana, por lo que no son los más adecuados para el riego con agua residual.

Es importante que se disminuya el contenido de sales en el agua de riego, ya que los cultivos de maíz y de caña de azúcar están clasificados como "moderadamente sensibles" a la salinidad (Pescod, 1992).

Es necesaria una caracterización completa del agua residual que se está usando en riego agrícola, que incluya los parámetros que ya se han indicado, con lo que se estaría en posibilidades de emitir un juicio más preciso del efecto de esta agua sobre el terreno y los cultivos.

No se cuenta con información para determinar si el agua residual está siendo usada de manera adecuada en los terrenos de cultivo, en los documentos del ingenio se indica que el agua para el riego de 7,954 has. de terreno proviene en un 85% de presas y en un 15% de pozos profundos, pero no se menciona en cuantas hectáreas se usan los 753 m³/hr de agua residual del ingenio. También se desconoce la lámina de riego y la frecuencia con que se está aplicando en los terrenos, lo que hace pensar que no existen las condiciones para un uso adecuado de esta agua, y que por consiguiente una parte de la misma está siendo regresada al río.

Es muy importante la supervisión de personal especializado que evalúe la calidad del agua que se está usando, la cantidad aplicada, el efecto a corto y mediano plazo de esta actividad, y aplique los mecanismos necesarios para que el aprovechamiento del agua residual en la agricultura sea en realidad una práctica benéfica.

Para el control del agua residual del ingenio que es destinada a riego se proponen las siguientes medidas:

- asegurar el buen funcionamiento de los equipos de control que desalojan sus descargas en el canal de riego (trampa de grasas y fosas de separación de tizne),
- la corriente de salida de la fosa de neutralización no debe incorporarse al canal de riego, ya que su contenido de sales es considerable. Por otra parte los derrames de sosa que ocurren ocasionalmente incrementan la cantidad de sales que se adiciona a los terrenos,
- aplicar la cantidad requerida de agua (determinación de lámina de riego, evapotranspiración del cultivo y frecuencia de riego),
- determinar el método de riego adecuado (superficial, por surco, por aspersión, etc.),
- debido a la salinidad del agua de riego resulta importante que un exceso de agua sea irrigado para que remueva las sales que se han acumulado por la evapotranspiración (proceso conocido como lixiviación),
- deben de revisarse periódicamente los niveles de sal en el suelo,
- instalar trampas de grasa en distintas partes del canal de riego y limpiarlas constantemente,
- es conveniente enfriar y homogeneizar el agua residual antes de utilizarla en el riego, ya que así existe menos riesgo de que los sólidos obstruyan los poros del suelo.
- los terrenos deben de regarse por turnos, con una periodicidad de dos años para este tipo de suelo, y sin exceder de 300 a 400 m³/hectárea cada 10 o 15 días.

- debido a la alta relación carbono/nitrógeno en este tipo de agua debe de establecerse un sistema de irrigación "por turnos", de tal forma que no se aplique intensivamente durante las primeras etapas de crecimiento de los cultivos, que es cuando las plantas necesitan más nitrógeno,
- separar la materia flotante que proviene en su mayoría del lavado de caña.

La organización mundial de la salud indica que para cultivos que se consumen indirectamente es necesario un tratamiento primario y secundario del agua residual que se use para el riego (Cruz, 1989), sin embargo en varios países (incluyendo México) se usa solamente un pretratamiento y sólo en ocasiones un tratamiento primario.

Como pretratamiento se propone la instalación de un sedimentador primario el cual tiene un costo aproximado de 880,000 N\$ (Zamudio, 1993) para el manejo de 753 m³/hr.

Como ya se mencionó el agua residual de un ingenio azucarero por su alta carga orgánica resulta ideal para la aplicación de sistemas de tratamiento biológicos. Sin embargo no existen elementos suficientes que justifiquen el costo que representa su instalación y mantenimiento:

Costo de instalación aproximado para un reactor anaerobio de lechos de lodos (UASB) ~ N\$ 2,440,000 para el manejo de 753 m³/hr (Noyola, 1991).

En algunas partes del mundo ha dado buenos resultados usar el llamado "Sistema de almacenamiento" (Chaux, 1992) que propone el uso directo de aguas residuales en cultivos sin un tratamiento previo de tipo biológico o químico. Consiste en un contenedor inicial donde el agua permanece por uno o dos días dando tiempo para su enfriamiento y homogeneización, pero sin permitir la degradación orgánica. Un segundo contenedor envía la cantidad de agua requerida a los cultivos, evitando así que esta agua sea incorporada a un lago o río cuando no es usada en riego.

Donde las condiciones geográficas lo permiten resulta ventajosa la instalación de un sistema de tratamiento conocido como SAT (Soil Aquifer Treatment), que consiste en permitir que un agua residual parcialmente tratada se infiltre en un área de terreno controlada y alcance un manto acuífero subterráneo. El terreno sirve como un filtro natural para la remoción de prácticamente todos los sólidos suspendidos, materia orgánica, bacterias, microorganismos, fósforo y metales pesados. Por último el agua filtrada se colecta y envía a los terrenos de cultivo (Pescod, 1992).

DESARROLLO E INSTRUMENTACIÓN DE UN PROGRAMA PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES.

Un programa de reducción de contaminantes puede desarrollarse en varias etapas (Berglund, Lawson, 1991), después de un período de entrenamiento y cuando se realiza una auditoría ambiental, deben atacarse en primer término los problemas más evidentes, sencillos y económicos, que por lo regular corresponden a efluentes extrínsecos.

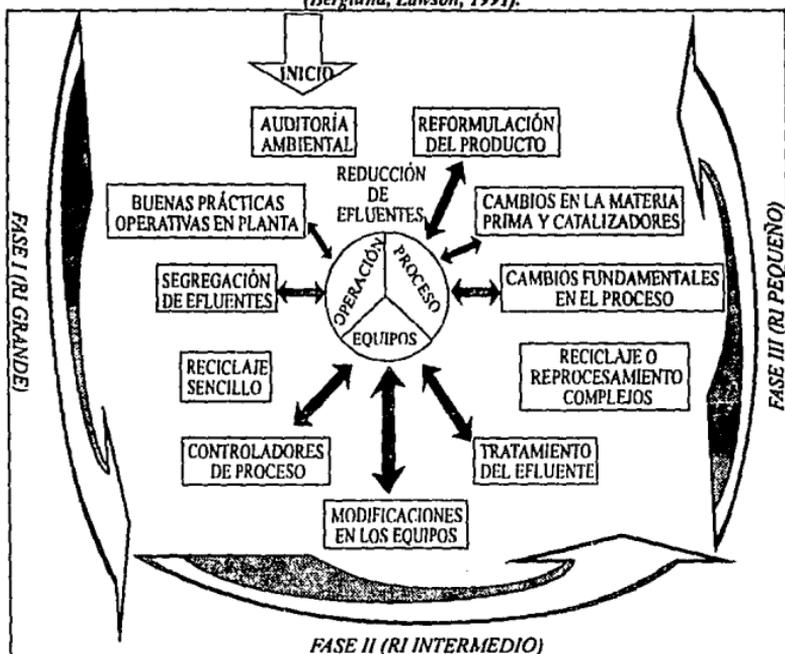
La fase I que se muestra en la figura 3.25 incluye prácticas adecuadas en el manejo de materias primas, productos y subproductos, segregación de efluentes, reciclado de materiales que no requieren un tratamiento complejo, y otras prácticas operativas de una planta. Estas actividades generan un retorno de la inversión (RI) casi inmediato.

La fase II implica operaciones más costosas y complejas, generalmente asociadas con modificaciones de equipos y/o procesos, instalación de controladores de proceso y puede incluir la instalación de equipos para un tratamiento más riguroso (por ejemplo para la recirculación de algunas corrientes). Estas operaciones tienen un RI pequeño a corto plazo y necesitan de un estudio que justifique su puesta en marcha.

La fase III se aplica en el caso de programas muy avanzados, ya que se busca una reducción de efluentes intrínsecos con base en complicados procesos de recirculación de corrientes o materiales, cambios fundamentales del proceso, materia prima o catalizadores, o en una reformulación del producto. Debido al largo tiempo que por lo general se requiere para el reembolso de las inversiones necesarias, estas opciones se plantean generalmente para el caso de nuevas unidades industriales.

Para la elaboración del Programa de Reducción de Contaminantes a seguir en el ingenio, ya que no se cuenta con el estudio técnico-económico de cada una de las opciones propuestas (la mayoría de las propuestas de las fase I no lo requiere), se sigue el criterio usado en el análisis preliminar mostrado en la página 146 con base en el valor numérico asignado, tomando en cuenta que un mejor resultado en el control de los contaminantes generados puede requerir de una combinación de varias opciones que no necesariamente tiene el mismo valor numérico.

Figura 3.25 Desarrollo de un programa de reducción de contaminantes
(Berglund, Lawson, 1991).



Fase I. (Corto plazo).

1) Agua de lavado de caña.

- Reducir el flujo de agua del lavado con la instalación de un sistema de control, suspendiendo el flujo cuando no haya caña en las mesas lavadoras o cuando la banda transportadora se encuentre parada.

2) Caña perdida en batey.

- Colocar una malla de alambre que rodee el canal de agua de lavado que se encuentra debajo de la banda transportadora y las mesas lavadoras, para evitar la pérdida de caña.

- Reducir pérdidas de caña desfibrada, evitando que caiga al piso y regresando a la banda la que ha caído, con un sistema de recuperación automático o semi-automático.

- Mejorar el almacenamiento de caña en el batey (evitar degradación de la caña y abandono de la misma), delimitando el área claramente y asegurándose de moler toda la caña en un tiempo razonable (emitir procedimientos escritos); además debe mejorarse la alimentación de la caña a las mesas ya que falta continuidad y hay pérdidas de caña por su manejo en grúas, esto puede corregirse con sistemas de volteo de camiones directamente en las mesas lavadoras.

La caña debe molerse tan pronto como sea posible después del corte, para evitar pérdidas por inversión (especialmente la caña quemada que está sujeta a un deterioro muy rápido), el tiempo entre el corte y la molienda debe ser menor a 48 hrs. Además deben coordinarse de manera adecuada las actividades del jefe de campo y del jefe de fábrica (consultar anexo I).

3) Grasa y aceite de lubricación.

- Colocar recipientes que colecten de manera eficiente la grasa que llega a caer al piso.

- Usar lubricantes con características más apropiadas, por ejemplo el sistema "Tribol" que consiste en aplicar una capa delgada de un grasa especial con spray. Dicha grasa tiene una capacidad de lubricación muy alta, lo que reduce notablemente la cantidad requerida y por tanto su incorporación en agua.

- Recolección de la grasa en una fosa de tratamiento que funcione adecuadamente, considerando su posterior quemado en calderas.

4) Bagazo perdido en molinos y durante el transporte a calderas.

- Evitar pérdidas en molinos con la instalación de charolas deflectoras, emplear ductos cerrados para el transporte del bagazo hacia las calderas.

5) Generación de agua grasosa.

- Acondicionamiento de una fosa de tratamiento adecuada (con la capacidad suficiente para tratar todo el efluente y en buenas condiciones), agregar tensoactivos para romper la emulsión grasa-aceite, remover la grasa mecánica o manualmente de forma periódica para su quemado en calderas y considerar la recirculación del agua de enfriamiento de molinos después de su tratamiento.

- Uso de lubricantes con características apropiadas, por ejemplo el sistema Tribol.

6) Azufre sólido perdido en la etapa de sulfitación.

- Almacenaje adecuado de azufre (pavimentar el piso de la bodega, colocar una puerta de acceso en la entrada, arreglar el camino y la zona de llegada de los camiones).

- Transportar adecuadamente el azufre al horno (uso de carretillas adecuadas).

- Construir una rampa para un acceso más sencillo al horno.

(Considerar la posibilidad de cambiar el horno por otro más eficiente).

7) Cal sólida perdida en la etapa de alcalización.

- Manejo adecuado de la cal (vaciar y transportar correctamente los bultos de cal).

- Almacenaje adecuado de la cal (pavimentar el piso de la bodega, colocar una puerta de acceso en la entrada, revisar condiciones de los bultos que se reciben).

(Un procedimiento reciente consiste en el manejo de cal a granel, transportándola en carros tanque, lo que reduce considerablemente las pérdidas, mejora el control de la operación y reduce los costos de la misma.)

8) Taponamientos eventuales en el circuito de cal.

- Alcalizar en forma de sacarato (mezclar la cal en una parte de jugo, la que se adiciona después al resto del jugo).

9) Pérdidas de cachaza durante su manipulación y manejo como residuo.

- Reducir pérdidas durante su manejo hacia las tolvas, además al parecer no todos los lodos se filtran en los cilindros rotatorios al vacío. Se considera la construcción de una fosa que reciba toda la cachaza perdida, para su posterior envío hacia las tolvas.

- Mantenimiento adecuado, la zona se encuentra muy sucia, sin embargo debe evitarse el desperdicio de agua que es frecuente al limpiar los pisos con manguera.

10) Desalojo de tierra acumulada y lodo en los filtros rotatorios.

- Instalar un sistema para la salida de la tierra acumulada hacia las tolvas.
- Instalar sistemas de funcionamiento independientes en los filtros de cachaza, ya que actualmente la falla en uno de ellos provoca el paro de los dos.

11) Fugas de agua en distintas partes del ingenio.

- Asegurarse de que no haya fugas en llaves o accesorios, mediante un buen mantenimiento.
- Colocar una línea de desagüe para fugas eventuales de agua, evitando mezclar esta corriente con otras ya contaminadas.

12) Agua usada en condensadores barométricos.

- Usar separadores de arrastre eficientes para evitar pérdidas de azúcar en la corriente de salida de los condensadores.

(Existe además la posibilidad de usar los vapores del último efecto para precalentar alguna corriente de proceso).

13) Bagacillo perdido antes de los filtros de cachaza.

- Sellado de la cámara de recepción de bagacillo.

14) Fugas en bombas de jugo clarificado.

- Colocar recipientes de contención para fugas ocasionales que cuenten además con mecanismos de recuperación.
- Mantenimiento constante de estas bombas (posible instalación de sellos mecánicos especiales).

15) Desechos ácidos y alcalinos.

- Evitar derrames de sosa (al parecer al recircular la sosa, ésta se almacena en un tanque, pero bajo ciertas condiciones de humedad se forma una espuma que cae al piso de donde es removida con chorros de agua, el efluente se descarga en la salida a riego) o enviarlos a la fosa de neutralización.
- La incrustación en los evaporadores disminuye significativamente con el uso de agentes químicos anti-incrustantes, con lo que se reduce también el uso de sosa y ácido muriático.

16) Exceso de condensados.

- Efectuar un flasheo del condensado de vapor en cada efecto del evaporador para usar el vapor flasheado en el siguiente efecto.

- Usar los condensados en proceso para el lavado de gases de chimeneas, lavados en los molinos (con agua suficientemente caliente se reduce la acción microbiana), lechada de cal, etc.

17) Pérdidas de meladura, miel o masa cocida en evaporadores y tachos.

- Colocar separadores de arrastre en evaporadores y tachos.

- Optimizar manejo de la miel en tachos para evitar pérdidas (elaborar procedimientos de operación escritos).

18) Fugas de agua y azúcar perdida en centrifugas.

- Mantener limpio el piso y "aislar" esta área para una posible recuperación de azúcar y un manejo adecuado de fugas, no agregar este efluente a la corriente de salida de los condensadores barométricos.

- Mejorar el manejo de masa cocida, miel o azúcar en centrifugas (procedimientos escritos).

19) Azúcar perdida en secado y envase.

- Transportar el azúcar en ductos cerrados.

- "Aislar" el area de secado para asegurar la máxima recuperación de azúcar.

20) Tizne generado por la combustión de bagazo en calderas.

- Usarlo como sustituto de bagacillo en los filtros rotativos.

- Mejorar la remoción de sólidos en las fosas (usar floculantes y mejorar la operación).

21) Gases de combustión en chimeneas.

- Mejorar el funcionamiento de los lavadores de gases con la adición de agentes químicos.

22) Aguas negras del ingenio.

- Redistribuir y acondicionar baños.

- Envío de aguas negras a red pública.

23) Maquinaria vieja en terrenos del ingenio.

- Venta como chatarra a una fundidora de los equipos más deteriorados.
- Limpiar las zonas "libres" (sin construcciones) del ingenio.
- Acondicionar una zona de la planta para el almacenamiento ordenado de equipos que puedan ser usados en un futuro.
- Sembrar áreas verdes en las instalaciones.

24) Basura y falta de mantenimiento en algunas áreas.

- Limpiar las zonas que estén descuidadas (espacio potencialmente aprovechable)
- Implantar programas de capacitación y concientización del personal sobre el cuidado del área de trabajo.

25) Descargas del ingenio hacia el río.

- Recirculación de agua de enfriamiento de los condensadores barométricos.

(Es muy importante que el exceso de condensados no sea arrojado al río debido a su alta temperatura, y que se suprima una salida secundaria del canal de riego que actualmente se desaloja también en el río, no solo por el daño ambiental que provocan sino además por los problemas legales que involucran).

26) Descargas del ingenio hacia el canal de riego.

- Uso de rejas, y desarenadores para evitar el azolve del canal (Tratamiento primario).
- Disminuir las características contaminantes de esta corriente mediante el buen funcionamiento de los equipos que desalojan el efluente tratado en el canal de riego.

(Es importante efectuar un estudio riguroso para la evaluación de la calidad del agua usada en el riego intensivo de cultivos de caña y maíz, su efecto en los cultivos, el terreno, las personas y el ambiente).

27) Mantenimiento inadecuado en batey.

- Pavimentar esta sección.
- Construir un sistema de desagüe para evitar encharcamientos.
- Evitar acumulación de caña y basura.

28) Pérdidas de jugo mezclado en molinos y pachaquil (degradación de sacarosa).

- Mejorar el funcionamiento del pachaquil: limpieza adecuada, desinfección periódica, evitar acumulación de jugo por más de 48 hrs debido a la degradación de sacarosa, no mezclar jugo "fresco" con jugo fermentado, ya que de hacerlo equivale a estar "alimentando" a las bacterias que degradan la sacarosa.

(Existe la posibilidad de eliminar el pachaquil con el uso de bombas especiales para el manejo de fluidos con una gran cantidad de partículas suspendidas conocidas como "chokoless pumps").

29) Generación de óxidos de azufre en sulfitación.

- Controlar el grado de sulfitación deseado regulando la concentración de óxidos de azufre.

- Controlar el flujo de gases de azufre, suprimiéndolo cuando no haya jugo que sulfitar.

(Es importante regular la entrada de oxígeno al horno, asegurándose de usar aire desecado para evitar la formación de ácido sulfúrico, cosa que no se hace actualmente).

30) Agua proveniente de planta eléctrica y enfriadores de las turbinas.

- Segregación directa a riego, ya que es agua relativamente limpia, o a usos generales de la planta (lavado de pisos, sanitarios).

- Instalar un circuito cerrado para el enfriamiento de las turbinas.

31) Pérdidas de miel final.

- Evitar derrames al cargar las pipas con la aplicación de procedimientos escritos y una fosa de recuperación de miel derramada.

- Evitar derrames en los tanques de almacenamiento con el uso de procedimientos escritos y la instalación de alarmas y mirillas.

32) Falta de mantenimiento en portatemplas.

- Evitar la acumulación de miel en el piso, basura o aceite derramados (mantenimiento adecuado).

- Evitar fugas en chumaceras.

33) Generales.

- Tener un acceso más estricto al ingenio.

- Prohibir la defecación al aire libre.

- Restringir la preparación de alimentos o el fumar en el área de secado y envase del azúcar.

- Disminuir los tiempos perdidos ocasionados por molinos (uso de alimentadores forzados de bagazo para disminuir los atascamientos).

Este ingenio presenta un tiempo perdido total muy elevado (26 % del tiempo total de la zafra), principalmente por fallas en molino, mientras que los tiempos perdidos en ingenios en otros países son del orden de un 8 % del total de la zafra.

Fase II (Mediano plazo).*1) Agua de lavado de caña.*

- Uso de un transportador-colador marca Tricon, que evita las pérdidas de caña.
- Uso de mesas de lavado de 45° de inclinación, lo que mejora el lavado de la caña, disminuye la cantidad de azúcar perdida y reduce la ceniza en el bagazo.
- Eliminar trozos de basura en el canal de agua de lavado con un sistema de cribado.

2) Caña perdida en el batey.

- Eliminar pérdidas de caña por el lavado mediante un sistema de cribado en el canal.
- Uso de un transportador-colador Tricon.

4) Bagazo perdido.

- Emplear técnicas adecuadas para el almacenamiento de bagazo, por ejemplo la formación de "pellets" o el uso de silos de almacenamiento.

8) Taponamientos eventuales en el circuito de cal.

- Instalación de trampas de cal que eviten el taponamiento del circuito.

9) Pérdidas de cachaza durante su manipulación y manejo como residuo.

- Construcción de una planta de composteo para su venta como abono orgánico.

12) Agua usada en condensadores barométricos.

- Aplicar recompresión de vapor (mecánica o térmica) en los cuerpos del cuádruple.
(Es importante aumentar la eficiencia de los evaporadores del cuádruple y usar al máximo las extracciones de vapor para el calentamiento de corrientes en proceso).

13) Bagacillo perdido antes de los filtros de cachaza.

- Aspersión inmediata de agua en el bagacillo cuando éste llegue a la cámara de recepción.

15) Desechos ácidos y alcalinos.

- Neutralizar de manera adecuada al efluente.

16) Exceso de condensados.

- Aumentar la capacidad de almacenamiento de condensados instalando más tanques.
- Reducir el consumo de vapor en el proceso.

19) Azúcar perdida en secado y envase.

- Separar los polvos finos después del secado en un ciclón.
- Mejorar el sistema de control de llenado de los sacos.
- Obtener un tamaño más homogéneo en tachos.
- Reprocesar todo el azúcar perdido (procurar que el azúcar se encuentre en las mejores condiciones posibles).

20) Tizne de calderas.

- Disposición como material de relleno o mejorar propiedades (posible uso como fertilizante).
- Instalar sedimentadores para la afinación del efluente ya tratado en las fosas.
- Reinyección a calderas.

21) Gases de combustión en chimeneas.

- Mejorar combustión y operación en calderas (desechar el bagazo, precalentar el aire de alimentación, deaerar el agua de alimentación).
- Reducir el consumo de combustóleo y evitar discontinuidad en el proceso, la cantidad de combustóleo que se quema es un índice de la eficiencia de la planta de vapor y de toda la planta, ya que, como se ha mencionado, el bagazo producido debe bastar para la generación del vapor necesario. Es recomendable instalar medidores del vapor generado en las calderas, así como en los puntos de consumo de cada uno de los departamentos de la fábrica.
- Controlar y medir el agua usada en imbibición para mantener una humedad adecuada del bagazo.
- Aislar adecuadamente las tuberías de vapor y equipos.

33) Generales.

- Uso de materiales resistentes a la corrosión (plásticos), para tuberías y accesorios, es conveniente substituir tuberías de fierro.
- Orden y limpieza en las instalaciones.
- Emitir procedimientos de operación, seguridad y mantenimiento general.

Fase III (Largo plazo, o aplicables en la construcción de una planta nueva).

- Evitar tiempos perdidos, lograr mayor continuidad en el proceso, disminuir consumos de vapor, lograr mayor eficiencia en turbinas y calderas (usar vapor a más alta presión), precalentar el aire y agua de alimentación en calderas. Todo lo anterior reducirá el consumo de combustóleo a cero y habrá posibilidades de contar con un excedente de bagazo (30% del total), el cual puede ser comercializado.

- Usar limpieza de caña en seco, que reduce pérdidas de azúcar y suprime el tratamiento de agua de lavado.

- Usar un sistema de difusión de caña en lugar del tándem de molinos, lo que representa menores costos de inversión y operación, además de una mejor extracción de azúcar de la caña y un mejor esquema energético.

- Usar condensadores de superficie en lugar de los barométricos.

- Instalar plantas de tratamiento biológico (aerobio o anaerobio), en Europa esto es muy frecuente, y específicamente el proceso "Anamet" proporciona una cantidad de metano suficiente para la operación de calentadores y secadores en la fábrica.

Existen diversas formas de evaluar el progreso obtenido por un programa de reducción de contaminantes, una de ellas es el llamado "porcentaje de efluentes" (Benforado, 1991):

$$\text{Porcentaje de efluentes} = (\text{Efluentes/Salidas totales de la fábrica}) \times 100$$

Este criterio es útil no solamente para evaluar el avance logrado por el programa, sino para conocer la viabilidad del desarrollo de un nuevo producto confrontado con el costo de tratamiento o disposición de los efluentes generados en su procesamiento.

Con base en el balance global del proceso el porcentaje de efluentes actual es de 79.48%, es importante evaluar el porcentaje de efluentes óptimo que sirva de parámetro para las acciones que se proponen en el programa de reducción.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

- La industria azucarera del país requiere de una estrategia general de modernización y de incremento sustancial de la eficiencia, que debe incluir aspectos relativos a la contaminación ambiental, tomando en cuenta la situación de este sector y las expectativas que existen a futuro. Esta estrategia debe ser gradual, ya que se reconoce que el control de la contaminación no sólo es un problema de tipo económico o legal, sino de educación y conciencia, lo que requiere de tiempo, conocimientos y entrenamiento.

- Una parte importante de los efluentes de esta industria no se consideran como residuos peligrosos, y tienen su origen en prácticas inadecuadas y descuidos del personal durante el proceso, por lo que contar con buenas medidas de control y limpieza es el primer paso para prevenir y controlar la contaminación que se genera en la operación de los ingenios.

- La precaria situación económica que prevalece en esta industria dificulta las erogaciones en materia de control ambiental, inclusive en el caso de las medidas de costo relativamente razonable que se proponen en este trabajo.

- El sistema actual de pago de la caña y la falta de un control de proceso que principie con un muestreo y análisis correctos de la propia caña de azúcar, determinan el desinterés en la eficiencia en el campo y en los propios ingenios, ya que las pérdidas de sacarosa son de algún modo "compartidas" por los cañeros y los industriales al iniciar el control de la sacarosa con el análisis del jugo mezclado, sin tomar en cuenta las pérdidas que ocurren en batey y en molinos, que pueden ser significativas.

Un sistema basado en la calidad individual de una caña analizada antes de su procesamiento, estimularía a los productores a entregar caña con mayor contenido de sacarosa, fresca, libre de impurezas y a un precio más alto; mientras que los ingenios buscarían incrementar la recuperación de sacarosa, para no correr el riesgo de pagar por azúcar que no les fuese posible recuperar. Esto independientemente de las ventajas operativas que se obtendrían al procesar caña de mayor calidad.

Además la reducción de las pérdidas de sacarosa durante el procesamiento de la caña de azúcar disminuiría los costos de producción, tan sólo con una revisión de la tecnología existente y un mayor control en cada etapa del proceso.

- En materia legal, la realización de auditorías ambientales es una herramienta importante para el control de emisiones contaminantes en industrias. Una auditoría permite conocer dónde, cómo y cuánto se está generando de contaminantes, la situación legal de la fábrica, y las medidas que pueden adoptarse para su control. Sin embargo las compañías que realizan dichas auditorías tienen procedimientos operativos muy variables, utilizan distintos enfoques, y manejan precios que oscilan entre los 15 y 140 mil nuevos pesos. Esta diversidad provoca dudas en los industriales acerca de la legitimidad de estos estudios, pero ya que SEDESOL otorga validez a un cierto formato, contenido y metodología resulta conveniente consultar con la propia SEDESOL qué compañías son las que se recomiendan para estos trabajos. De cualquier forma la creación de departamentos de control ambiental internos en las propias industrias, resulta muy valiosa para lograr una mejor operación en la planta, una reducción de sus efluentes y un tratamiento de los mismos.

- El sector azucarero ocupa el segundo sitio en cuanto a índices de consumo y descarga de agua a nivel nacional (Página 6 y 36), por lo que las nuevas disposiciones legales en materia de agua lo colocan en una situación comprometida (Página 77). Los ingenios azucareros se encuentran amparados ante la legislación que se propone en la Ley Federal de Aguas, y muchos de ellos carecen de la documentación que esta ley exige. Si bien es cierto que el interés del gobierno federal en el cuidado de las aguas nacionales (Página 38) está por demás justificado, no debe perderse de vista la difícil situación en que se encuentra gran parte del sector industrial mexicano (Página 16), que en el caso del azúcar sencillamente provoca que actualmente la ley sobre descargas líquidas (NOM-PA-CCA-002/93) no sea cumplida y que no se observen posibilidades de que lo sea en un corto plazo (Página 42).

- La mayoría de los ingenios azucareros no efectúan una medición y análisis adecuados de sus descargas líquidas contaminantes, sin embargo no es necesario exigirles que realicen un análisis completo dentro de sus propios laboratorios; lo recomendable es efectuar una caracterización simplificada que incluya parámetros básicos, pero de medición sencilla en los ingenios (temperatura, pH, DQO, sólidos totales, SST, conductividad eléctrica y RAS), y enviar muestras compuestas de agua residual para su análisis completo en laboratorios especializados (Página 112 y Página 160).

- En el caso de emisiones a la atmósfera (Página 63) y de residuos sólidos (Página 72) no existe una normatividad específica para la industria azucarera, y su control está en función de las disposiciones que determinen las autoridades regionales.

- Algunas acciones que el gobierno y los industriales deben tomar para fomentar el control de los contaminantes emitidos por la industria azucarera son las siguientes:

- crear un inventario y una base de datos de investigaciones, progresos, tecnologías y recomendaciones que en materia ambiental se encuentren disponibles para la industria azucarera, y asegurar una difusión eficiente de dicha información,
- otorgar mayores incentivos para la prevención de la contaminación y eliminar barreras administrativas,
- adoptar una "política ecológica nacional" que enfatice la importancia de la reducción en la emisión de contaminantes y el reciclaje como primeras opciones antes de su tratamiento o disposición,
- coordinar de manera efectiva las estrategias adoptadas por las diferentes secretarías que emiten, vigilan o sancionan conforme a la normatividad vigente (actualmente existen diferencias e incluso contradicciones entre las diferentes dependencias gubernamentales),
- contar con personal capacitado y responsable, no sólo para la vigilancia en el cumplimiento de la legislación existente, sino para prestar asistencia y orientación al público que así lo solicite,
- fomentar campañas educativas y de entrenamiento del personal en las plantas y de la población en general.

- El ingenio en estudio no cuenta con un registro para la descarga de aguas residuales (Página 40) lo que puede provocar severas sanciones, y tampoco se ajusta a las cuotas que se establecen para la explotación o aprovechamiento de las aguas nacionales, por lo que su situación legal es considerada como "irregular". En este sentido es de llamar la atención que mientras la ley establece un pago por consumo de agua de 0.00192 N\$/m³, actualmente en el ingenio el agua se paga a razón de 0.027 N\$/m³; además si se aplica la ley se tendrían que pagar aproximadamente 585,800 N\$/año por concepto de descargas contaminantes al río, mientras que actualmente no se realiza este pago (Página 113 y 150).

Por otra parte los parámetros que se proponen en la NOM-PA-CCA-002/93 no están siendo cumplidos en el ingenio (a excepción del pH).

- Con respecto a las emisiones de este ingenio a la atmósfera, y con base en el estudio isocinético (Página 117) puede indicarse que las emisiones de material particulado, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno provenientes de las chimeneas del ingenio son "satisfactorias". En cuanto al material particulado presente, el estudio perimetral (Página 119) muestra que la calidad del aire en las instalaciones del ingenio se considera como "muy mala".

- Con respecto a los residuos sólidos del ingenio (Página 123), su disposición no representa un problema ambiental importante dado su carácter no peligroso (siempre y cuando no se incorporen en cuerpos de agua), pero implica un gasto significativo que debe reducirse mediante una operación adecuada en proceso (disminuir las pérdidas de caña, bagazo, azufre y cal, mejorar los sistemas de recolección de basura y manejar adecuadamente la cachaza), y un mejoramiento de la tecnología existente (reducción del tizne generado en chimeneas, aprovechamiento del tizne en los filtros de cachaza, mejoramiento de las propiedades de la cachaza mediante técnicas de composteo).

- A pesar de las limitaciones que presenta el balance de materia y de energía (Página 124), este ha permitido registrar en el proceso global 6 ton/hr que no se han localizado, y que pueden convertirse en un efluente contaminante del proceso. También se han cuantificado pérdidas significativas de materia en las operaciones de alcalización, evaporación, cristalización y generación de vapor sin que se haya determinado hasta el momento el destino del material faltante.

- En el balance de exergía (Página 131) se observa una eficiencia muy baja en las turbinas del ingenio, lo que provoca un elevado consumo de vapor. También se observa que existen 189 kw de exergía desperdiciada cuyo origen no ha sido localizado.

Un sistema cogenerativo eficiente cubriría todas las necesidades de energía del ingenio, y se obtendría un sobrante de 2,425 kw que podría venderse como energía eléctrica, además el consumo de vapor se reduciría en 4.2 ton/hr (aún cuando no se modificara la eficiencia de las turbinas).

- Es importante que se aumente la eficiencia energética del ingenio, lo que puede lograrse con el uso de calderas y turbinas de alta presión que se encuentren bien diseñadas, reducción de los tiempos perdidos en el ingenio, recompresión de vapor en los evaporadores, instalación de precalentadores de aire, secadores de bagazo y economizadores de vapor, además de instalar sistemas de recuperación de calor (Página 138). Por otra parte, el consumo de combustóleo es un indicativo de que no existe una operación energéticamente adecuada en el ingenio, independientemente del problema ambiental y el costo económico que su uso implica (Página 67).

- En el "Programa para la reducción de contaminantes" se proponen acciones específicas a corto, mediano y largo plazo para el control de los efluentes de este ingenio (Página 166). En este programa y con base en el estudio de factibilidad (Página 152), se proponen 3 medidas para el control de la descarga al río (entre ellas la instalación de una torre de enfriamiento), también se reconoce la necesidad de efectuar un estudio para determinar los efectos que se producen al regar cultivos de caña y maíz con agua residual proveniente del ingenio (Página 161).

Además se recomienda la creación de un departamento de control ambiental que realice las siguientes funciones:

- establecer los balances de materia y de energía que permitan el control de las operaciones unitarias del proceso y de los efluentes generados en cada una de ellas,
- colaborar con los ingenieros de proceso para asegurar una operación eficiente y limpia en la planta,
- establecer programas operativos de capacitación y concientización del personal del ingenio,
- reducir los efluentes del ingenio con fundamento en el esquema básico de "reducción de contaminantes" (lo que requiere de un conocimiento preciso del proceso); "recirculación de contaminantes" (aprovechamiento de subproductos); y "tratamiento" de los mismos (lo que requiere no sólo de identificar el equipo de tratamiento más apropiado de acuerdo a las características del efluente, sino de conocer la operación y mantenimiento requeridos),
- acondicionar y dirigir el laboratorio de control ambiental,
- proponer, planear, analizar y efectuar proyectos ambientales, de proceso y/o energéticos (evaluación del impacto ambiental de los proyectos),
- atender los asuntos legales referentes a la contaminación ambiental (permisos, reglamentos, sanciones y auditorías externas),
- incluir aspectos relativos a la contaminación ambiental en reuniones de consejo (mostrar problemas, avances, resultados, reportes, etc.),
- creación y manejo de una imagen, filosofía y política ambientales del ingenio.

- Es importante indicar que a decir de los propios industriales, el ingenio donde se desarrolló el presente estudio es, en términos generales, el más adelantado del país en cuanto a equipos de control y manejo de efluentes se refiere.

Sin embargo, en un futuro cercano se espera que adquieran todavía más importancia los asuntos relativos a la contaminación ambiental, ahorro de energía, eficiencia operativa en los procesos de producción, seguridad industrial y calidad de los productos, por lo que es necesario que se les conceda la atención suficiente y se sienten las bases para proyectos que no serán ya un "gasto inútil" o un "lujo innecesario", sino una necesidad evidente e impostergable.

- Es notorio el abandono y despreocupación que existe en buena parte de los ingenios nacionales: instalaciones viejas, equipos obsoletos, tecnologías inapropiadas, falta de personal capacitado, negligencia hacia los problemas ambientales, considerar que en una agroindustria el orden y la limpieza no son necesarios, y la falta de recursos en fábrica y campo conforman un panorama difícil de superar. Sin embargo la agroindustria cañera tiene la oportunidad de convertirse en un elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo de la actividad económica de nuestro país, si es capaz de aprovechar todas las posibilidades que brinda la caña de azúcar como materia prima en la manufactura de una gran variedad de productos. Lo que requiere que cada sector involucrado asuma su responsabilidad: el cañero produciendo una materia prima de óptima calidad, el industrial aprovechándola de manera integral (y con un esquema productivo que no agreda al medio ambiente), el gubernamental con políticas coherentes con la situación nacional, y los centros de investigación y enseñanza dando respuesta a la problemática tecnológica que se presente.

La reducción y el control de los efluentes contaminantes que se generan en la industria a nivel mundial representa un reto muy grande, pero no es tiempo de soslayar responsabilidades o de restar importancia a los problemas existentes, ya que el futuro de la vida en nuestro planeta está siendo decidido en estos momentos por cada uno de nosotros.

A título personal considero que este trabajo de tesis ha representado un aprendizaje muy valioso en mi área de interés, que es la ingeniería ambiental. Además de significar un reto constante al darme la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos, resolver problemas, enfrentar distintas situaciones, conocer nuevos lugares y personas, en resumen, de adquirir experiencia.

Por otra parte estoy plenamente consciente de las limitaciones de este estudio, pero también reconozco su valor en cuanto a su metodología, a las alternativas de solución que se proponen y a los posibles beneficios que pueda retribuir a este ingenio (y a otros más) al servir de punto de partida para otros estudios.

BIBLIOGRAFÍA.

Alvarado Rosas Maricel, (1993). Evaluación de la autosuficiencia energética de un ingenio azucarero. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM, México.

Asociación de Técnicos Azucareros de México (A.T.A.M.), (1977). Memorias del VII Congreso Nacional. México.

Azúcar S.A. de C.V., (1984). El medio ambiente. Industria azucarera y protección ambiental. México.

Azúcar S.A. de C.V., (1986). Diagnóstico y optimización de generación y uso de energía térmica en ingenios azucareros. México.

Baca Aguilar Ramón, (1977). Aplicación de efluentes industriales en irrigación. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM, México.

Berglund R.L., (1991). Preventing pollution in the chemical process industries. Chem. Eng., Sept., pp 120-127.

Caballero Pichardo Fernando, (1988). El ingenio azucarero visto como fuente de contaminación. Comunicación personal, México D.F.

Castañeda Ramos Fernando (1976). Planteamiento para la resolución de un problema de contaminación industrial de aguas. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM, México.

Cepero Martín José A., (1983). Métodos de tratamiento para aguas residuales de la industria cañera. Tesina de maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

Chaux Didier, (1992). Environmental guideline on cane sugar processing and refining. Second draft. U.N.I.D.O., EUA.

Chen C.P. James, (1991). Manual del azúcar de caña. 1 ra. edición, Ed. Limusa, México.

Comisión Nacional del Agua, (1992). Ley de aguas Nacionales. México.

Comisión Nacional del Agua, (1993). Ley federal de derechos en materia de agua. México.

Cruz Briano Roberto, (1989). Las aguas residuales, tratamiento y uso agropecuario. Tesis de licenciatura, U.A.CH., Chapingo, México.

Danell Sánchez Juan, (1993). El azúcar, con el amargo sabor de la crisis. Revista Época, 16 de Agosto, pp 19-24.

Diario Oficial de la Federación, (1988). 4 de Agosto, pp 4-5.

Diario Oficial de la Federación, (1988). 18 de Octubre, pp 10-23.

Diario Oficial de la Federación, (1992). 4 de Junio, pp 32-76.

Diario Oficial de la Federación, (1992). 17 de Julio, pp 32-50.

Diario Oficial de la Federación, (1993). 7 de Abril, pp 5-16.

Diario Oficial de la Federación, (1993). 28 de Junio, pp 5-9.

Diario Oficial de la Federación, (1993). 22 de Octubre, pp 2-71.

Durán Carmen, Noyola Adalberto, Poggi Hector y Zedillo Luis E., (1991). Biological degradation of wastes, Biodegradation of process. Industry wastewater. Case problem: Sugarcane Industry. Elsevier Publishers, England.

Elizondo Azuela Gabriela, (1993). Estudio del problema de la contaminación en México: Caso de una industria textil contaminante. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM, México.

Gaceta UNAM, (1993). 10 de Junio, pp 8-9.

Gaceta UNAM (1993). 29 de Julio, pp 14-15, 20-21.

García Chávez Luis R, (1992). La agroindustria cañera de México frente a la apertura comercial. Pub. CIESTAAM, U.A.CH., Chapingo, México.

GEPLACEA, (1992). Situación tecnológica de América Latina y el Caribe. En Memorias, XXVI asamblea, México.

- Kano Ma. Teresa, Muñoz Graciela, (1991). Dimensionamiento y selección técnico-económica de procesos de tratamiento de aguas residuales: ejemplo de aplicación utilizando computadoras personales. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM, México.
- Kirck Othmer, (1969). Encyclopedia of Chemical technology. 2nd. Edition, Ed. John Wiley & Sons., Vol. 19, pp 221-224, USA.
- López Isela, Gordon Jorge, (1981). Metodología para la realización de auditorías ambientales en plantas industriales. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM, México.
- Mandoki Weitzner Jorge, (1990). Manual de exergía y cogeneración. Pub. CELANESE Mexicana, México.
- Noyola Robles Adalberto, (1991). Tratamiento anaerobio de aguas residuales: una experiencia de adaptación de tecnología en México. En Memorias de las conferencias de tratamiento de aguas residuales en América Latina, México.
- O' Brien Lyn, Gelardi Robert, (1991). Alternative Sweeteners. Marcel Dekker Inc., USA.
- Pescod M.B., (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. F.A.O., Irrigation and drainage paper # 47, Rome.
- Pojasek Robert B., (1991). For pollution prevention: be descriptive, not prescriptive. Chem. Eng., Sept., pp 136-139.
- S.R.H., (1975). Estudio sobre usos del agua, métodos y costos para el control de la contaminación del agua residual en la industria azucarera. México.
- Segura H. Guillermo, (1992). Instructivo para resúmenes de proyectos. Comunicación personal, México D.F.

U.N.E.P., U.N.I.D.O., (1991). Audit and reduction manual for industrial emissions and wastes. United Nations publication, Technical Series Report #7.

Zamudio Preciado Alejandro, (1993). Evaluación de una planta prototipo para tratamiento aerobio de aguas residuales industriales, empleando un sistema de biodiscos. Caso tipo: vinazas de ingenio azucarero/alcoholero. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM, México.

Zedillo Luis Eduardo, (1986). Aprovechamiento de los subproductos de la caña de azúcar en México. Situación actual y perspectivas. I.M.P.A., México.

ANEXOS.

Anexo I. Aspectos microbiológicos de la elaboración de azúcar de caña.

El tiempo entre el corte de la caña y la molienda debe ser de 12 a 18 horas como máximo debido a que *Leuconostoc* crece rápidamente, sobre todo en la caña quemada y picada (en la caña verde la formación de dextrano es menor).

El dextrano puede ser fabricado a partir de la caña de azúcar, básicamente para uso médico (expansor del plasma sanguíneo), sin embargo su formación durante la fabricación de azúcar reduce el rendimiento de sacarosa, provoca alteraciones en el tamaño de los cristales en tachos, falsea lecturas polarimétricas, aumenta la viscosidad del jugo y disminuye la filtrabilidad.

En la zona de molinos existe una pérdida importante de azúcar, que sin embargo no es conocida (pérdidas indeterminadas) ya que el control de la sacarosa en los ingenios comienza desde el pesaje del jugo mezclado. En molinos un puño de bagazo deteriorado puede infectar al jugo que se encuentre en contacto con él, por ello deben evitarse esquinas muertas en los molinos, usar canales de autolimpieza, usar transportadores que se limpien fácilmente, aplicar regularmente chorros de agua caliente o vapor a presión (lo que puede reducir el problema hasta en un 60%), y aplicar biocidas para evitar al máximo el crecimiento bacteriano.

Con temperaturas de 65°C y un pH de aproximadamente 6.5, el crecimiento bacteriano disminuye en el jugo extraído, sin embargo hay bacterias hipertermófilas que soportan hasta 95°C y que por tanto no mueren en la etapa de clarificación.

El deterioro durante el almacenamiento del azúcar se debe principalmente a hongos que se incorporan durante el centrifugado (con el agua de lavado) o el almacenamiento (polvo transportado en el aire). Existe una serie de compuestos químicos para controlar este problema, pero un control adecuado de la humedad y buenas condiciones de almacenamiento parecen ser suficientes, además existen evidencias de que el almacenaje de azúcar a granel disminuye los problemas de deterioro del azúcar.

Anexo II. Análisis de las pérdidas de azúcar durante su fabricación.

En un ingenio que fabrica azúcar crudo o estándar, la materia prima es la caña de azúcar, la que sin embargo no es analizada adecuadamente antes de su procesamiento. Por ello no se concede la importancia debida a las pérdidas en fábrica, especialmente a aquellas cuyo origen se desconoce. Es posible que pérdidas importantes de pol sean pasadas por alto (debido a la incertidumbre en algunos cálculos), lo que puede significar grandes pérdidas económicas, que podrían evitarse (al menos en parte) con un mayor cuidado y atención.

Un balance de azúcar es perfectamente justificable en un ingenio, pese a que por regla general el control en el proceso comienza después de la extracción de jugo. Las grandes pérdidas que se sabe ocurren desde el momento en que la caña se ha cortado hasta que se efectúa la molienda, y las propias pérdidas en molinos, no forman parte de los sistemas de control en los ingenios.

Clasificación de las pérdidas.

Se clasifican en dos clases: determinadas e indeterminadas. El control normal de un ingenio determina las pérdidas de pol (sacarosa) en el bagazo, en la cachaza y en la miel final, sin embargo también ocurren pérdidas químicas como inversión o descomposición de la sacarosa.

Pérdidas determinadas.

- Pérdidas en el bagazo.
- Pérdidas en la cachaza.
- Pérdidas en la miel final.

Pérdidas indeterminadas.

- Pérdidas en tierra de nadie. Estas nunca aparecen en los informes del balance de fábrica y sin embargo existen. Pueden ser de tipo directo debido al mal manejo de la caña, e indirecto por la compra de caña en bruto sin relacionarla con el contenido real de azúcar.

- Pérdidas en el lavado de caña. Representan aproximadamente un 2.5% de la producción total.

- Pérdidas aparentes. Se trata de pérdidas no reales, pero pueden ser una parte importante en el desarrollo de un balance de pérdidas. Ocurren generalmente por errores en el pesaje de la caña, jugo o azúcar, por un análisis erróneo u estimaciones incorrectas.

Es evidente que los mismos errores que causan las pérdidas aparentes, al operar en forma contraria encubren las pérdidas verdaderas y hacen que las cifras de la fábrica aparezcan mejor de lo que en realidad son.

- Pérdidas mecánicas. Se trata de fugas o derrames de soluciones azucaradas, sin embargo en una fábrica bien controlada estas pérdidas se encuentran minimizadas.

- La determinación de las pérdidas por arrastre en los tachos y evaporadores, pese a ser relativamente sencilla generalmente no se realiza, y no obstante que los separadores de arrastre modernos eliminan prácticamente en su totalidad este tipo de pérdidas, es preciso un análisis continuo del agua de los condensadores.

- Pérdidas por inversión y descomposición. El control del pH es un factor importante en la disminución de las pérdidas por inversión (se recomienda un valor de 7 o más), la estimación de estas pérdidas es una operación complicada existiendo métodos indirectos y otros analíticos. Aún en condiciones muy estables de pH la sacarosa se descompondrá por inversión, por lo que es aconsejable efectuar un balance de azúcar invertido, así como un balance de sacarosa para obtener mayor información.

Una de las mejores indicaciones de las pérdidas por inversión y descomposición de la sacarosa es la cantidad de mieles producidas, en comparación con las que deberían producirse según el cálculo basado en los no azúcares que entran. La producción de más mieles que las indicadas por los sólidos que se alimentan, indica que se está produciendo un exceso de sólidos de no sacarosa por inversión o descomposición, o ambos en el proceso.

La detección y prevención de las pérdidas de azúcar implica problemas de gran complejidad. En caso de existir una pérdida excesiva es necesario localizar posibles robos, fugas o pérdidas mecánicas, pero rara vez estas pérdidas ascienden a un porcentaje apreciable en un ingenio bien controlado.

Pese a la aplicación de un sistema riguroso de control de pérdidas, se reconoce que no es posible localizar de 1/2 a 2/3 partes de todo el azúcar perdido en un ingenio empleando las técnicas actuales.

Anexo IV. Memoria de cálculo del balance de materia y de energía.

Balance de materia.

I) Consideraciones.

- En batey se hicieron solamente los cálculos ya indicados en la página 96.
- En molinos el porcentaje de agua de imbibición es de 35.4% en caña, y el bagazo es de 30.2% en caña.
- En sulfitación considerando una reacción equimolar de azufre y oxígeno del aire, se calculó la cantidad requerida de este último (79% N₂ y 21% O₂).
- En alcalización y calentamiento se consideró una lechada de cal al 6.6%.
- En clarificación se usa aproximadamente 14 kg agua/ton. de caña para el lavado de los filtros, 4.5 kg de bagacillo/ton. de caña como medio filtrante y se recircula el 400% del agua aplicada a los filtros.
- En evaporación no se efectuaron más consideraciones que las ya señaladas.

II) Procedimiento.

1) Balance de pureza:

Casa de azúcar	Ton/hr		% pureza
	Pol	Brix	
Azúcar	21.9	22.04	99.77
Miel final	3.2	7.56	42.34
Total	25.2	29.6	
Meladura (1)	25.2	29.6	85.09

(1) Meladura teórica alimentada a los tachos con base en el azúcar y miel final producidos.

2) Se listan las purezas de cada una de las sustancias que participan en el balance:

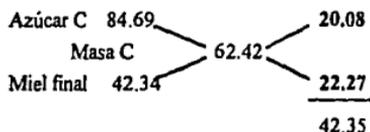
<i>Cristalización y centrifugación.</i>	<i>% Pureza.</i>
Meladura	85.09 (CP)
Azúcar	99.77 (IC)
Masa A	88.33 (IC)
Miel A	75.09 (IC)
Masa B	77.84 (IC)
Miel B	57.23 (IC)
Masa C	62.42 (IC)
Miel final	42.34 (CP)
Azúcar C (semilla)	84.69 (IC)

(CP): Calculado en planta.

(IC): Informe de corrida

3) Con la Cruz de Cobenze (procedimiento simplificado) se encuentra el porcentaje de azúcar y miel en la masa cocida antes de centrifugarse.

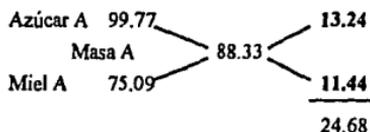
Templa "C":



$$\% \text{ Azúcar C} = (20/42.35) 100 = 47.41$$

$$\% \text{ Miel final} = 52.58$$

Templa "A":



$$\% \text{ Azúcar A} = 53.64$$

$$\% \text{ Miel A} = 46.35$$

4) Considerando los siguientes valores de brix:

Azúcar C: 91.48 (IC)

Masa A: 92.16 (IC)

Masa B: 95.17 (IC)

Masa C: 97.58 (IC)

Miel A: 60 (Supuesto)

Miel B: 60 (Supuesto)

Miel final: 91.51 (IC)

Se calculan las toneladas de brix de cada material y del balance correspondiente:

Material	Cálculo	Ton/hr brix
Meladura		29.61
Azúcar		22.04
Miel final		7.56
Masa "C"	7.56/0.5258	14.39
Azúcar de "C"	14.39 - 7.56	6.82
Miel de "B"	miel B \cong masa C	~ 14.39
Masa de "B"	~ miel A + azúcar C	~ 25.87
Azúcar de "B"	masa B - miel B	11.48
Miel de "A"	masa A - azúcar A	19.05
Masa de "A"	22.04/0.5364	41.10
Azúcar "A"		22.04

5) Se plantea entonces el balance de materia por tacho.

Tachos "A"	% Brix	Ton/hr	
		Brix	Total
Meladura	56.55	29.61	52.36
Azúcar "B"	85*	11.48	13.51
Total		41.10	65.88
Masa "A"	92.16	41.10	44.59
Agua evaporada		21.28	
Tachos "B"			
Azúcar "C"	91.48	6.82	7.46
Miel "A"	60*	19.05	31.75
Total		25.87	39.21
Masa "B"	95.17	25.88	39.21
Agua evaporada.			12.02
Tachos "C"			
Miel "B"	60*	14.39	23.98
Total		14.39	23.98
Masa "C"	97.58	14.39	14.74
Agua evaporada			9.23

* Brix estimados.

Balance de energía (balance de vapor).

El cálculo del consumo de vapor en las diferentes secciones de la planta se explica a continuación (debe mencionarse que no existe ningún medidor de flujo para confirmar los valores obtenidos):

- Demanda en batey y molinos.

Se usan correlaciones aproximadas, considerando un valor de 12 HP/ T.F.H. para el primer juego de cuchillas y de 20 HP/T.F.H. para el segundo (T.F.H. = toneladas de fibra por hora), en el ingenio se muele un promedio de 25.814 T.F.H., y se considera un consumo específico en las turbinas de 43.87 y 30.29 $\frac{\text{lb}}{\text{HP}} \cdot \text{hr}$ respectivamente.

Ejemplo Primer juego de cuchillas:

$$12 \frac{\text{HP}}{\text{T.F.H.}} * 25.814 \text{ T.F.H.} = 309.76 \text{ H.P.}$$

$$309.76 \text{ H.P.} * 43.87 \frac{\text{lb / HP}}{\text{hr}} = 13,592.3 \text{ lb / hr} = 6.17 \text{ ton / hr}$$

En los molinos se considera un consumo de 20 HP por T.F.H. en un molino de una batería de 15 mazas y consumos específicos de 31.42, 33.48, 39.15, 42.42 y 43.12 $\frac{\text{lb / HP}}{\text{hr}}$

- En la planta eléctrica se tiene un consumo de 2841.46 KW = 3810.41 HP y se considera un consumo específico de 19.28 $\frac{\text{lb / HP}}{\text{hr}}$

- En el ventilador de tiro inducido de la caldera #9 de 140 HP se considera un consumo específico de 84.83 $\frac{\text{lb / HP}}{\text{hr}}$ y en el ventilador de tiro forzado de la caldera #10 se considera un consumo específico de 72.73 $\frac{\text{lb / HP}}{\text{hr}}$

- En los secadores de azúcar se supone un consumo unitario de 300 kg. de vapor por tonelada de caña, lo que arroja un consumo total de 6.6 ton. de vapor/hr.

- En el calentador de combustóleo se efectúa el balance de calor con la ecuación:

$$Q = WCp\Delta T, \text{ con } W = 3,647 \text{ kg/hr}$$

$$Cp = 0.5 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 110 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ y } T_1 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ya que se conocen las condiciones de T y P del vapor se obtiene su ΔH de tablas de vapor. Por último se obtiene el vapor requerido: Cantidad de vapor = $Q / \Delta H$

Este mismo procedimiento se efectúa en los calentadores primario y secundario de jugo alcalizado y en los tachos de A, B y C.

- En el evaporador de múltiple efecto se establece el siguiente balance calor:

J_{ent} = Jugo de entrada al efecto.

J_{sal} = Jugo de salida del efecto.

V_{ent} = Vapor de entrada al efecto.

V_{ext} = Vapor extraído del efecto.

A_{evap} = Agua evaporada del efecto.

Q = Calor aplicado al efecto.

λ = Calor latente de vaporización del agua evaporada en el efecto.

ΔH = Calor sensible del vapor en el efecto.

Se realizó un programa de cómputo en Qbasic iterando el valor del agua evaporada en el primer efecto hasta que cumpliera con la condición de que el jugo de salida del último efecto fuera de 53.76 ton/hr (las extracciones de vapor del efecto 1 y 2 son conocidas).

$$J_{ent1} = 160.6$$

$$V_{ent2} = A_{evap1} - V_{ext1}$$

$$J_{ent2} = J_{ent1} - A_{evap1}$$

$$Q2 = V_{ent2} * \lambda2$$

$$A_{evap2} = Q2 / \Delta H2$$

$$V_{ent3} = A_{evap2} - V_{ext2}$$

$$J_{ent3} = J_{ent2} - A_{evap2}$$

$$Q3 = V_{ent3} * \lambda3$$

$$A_{evap3} = Q3 / \Delta H3$$

$$V_{ent4} = A_{evap3}$$

$$J_{ent4} = J_{ent3} - A_{evap3}$$

$$Q4 = V_{ent4} * \lambda4$$

$$A_{evap4} = Q4 / \Delta H4$$

$$J_{sal4} = J_{ent4} - A_{evap4}$$

$$J_{sal4} = 53.76$$

Los valores obtenidos de cada una de las variables se muestran en la figura 3.16 de la página 129.

Balance de exergía.

Como ya se indicó el balance de exergía está referido a la generación y consumo de vapor, sin considerar la exergía química del proceso.

1) Cálculo de la exergía generada (conforme a la figura 3.17 de la página 132).

Con $P = 280$ psia y $T = 522$ °F se obtiene "h" y "s" del vapor de alta presión generado:

$$h = 1271.9 \text{ BTU/lb} \quad s = 1.59 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}.$$

Se obtienen las condiciones del sumidero con $T = T$ agua de enfriamiento + 20 °C y con P del vapor saturado a esa temperatura, $P = 1.03$ psia y $T = 102$ °F. Se lee la entalpía y entropía del líquido saturado (h_f y s_f) y de vaporización (h_{fg} y s_{fg}) a esas condiciones.

$$h_f = 70.8 \text{ BTU/lb}, \quad s_f = 0.134 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$$

$$h_{fg} = 1035.5 \text{ BTU/lb}, \quad s_{fg} = 1.84 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$$

Se aplica la ecuación:

$$h_{c,t} = h_f + \left(\frac{s - s_f}{s_{fg}} \right) * h_{fg}$$

$$h_{c,t} = 890.59 \text{ btu/lb}$$

$$\Delta H_t = 1271.9 - 890.59 = 381.31 \text{ BTU/lb}$$

$$\Delta H_r = (381.31) * 0.75 = 285.98 \text{ BTU/lb}$$

$$x = 285.98/3412 = 0.083 \text{ KWH/lb}$$

$$X = x * Q_{\text{vapor}}$$

$$X = 238,958.7 \text{ lb/hr} * 0.083 \text{ KWH/lb} = 20,029.52 \text{ KW}$$

2) Exergía consumida como trabajo.

Se obtiene sumando las potencias de todos los equipos que trabajan con vapor y multiplicándolas por el factor de conversión de HP a KW (1 HP = 0.746 KW).

3) Exergía de calentamiento en proceso.

Se obtiene como en el paso 1, pero las condiciones de baja presión ya no son las del sumidero, sino las indicadas por la presión del vapor de baja usado en los calentadores de jugo, en los tachos y en el cuádruple efecto.

4) La exergía consumida es la suma de 2 y 3, mientras que la exergía no aprovechada es la diferencia con el paso 1.

Las pérdidas de exergía en las válvulas de expansión se calculan como en el paso 1, pero las condiciones de baja presión son las alcanzadas por las propias válvulas.

(Para una descripción más detallada consultar el "Manual de exergía y cogeneración" de Jorge Mandoki).

Anexo V. Memoria de cálculo del estudio de factibilidad técnico-económica de una torre de enfriamiento y una alberca de aspersión.

Torre de enfriamiento.

Se consideró un sobrediseño del 10% del flujo calculado (642 l/seg) para las torres de enfriamiento, la temperatura de bulbo seco del aire es de ~ 29 °C, la temperatura de bulbo húmedo es de 24 °C y la velocidad del viento es de 1 m/seg.

Se ejemplifica el estudio económico de torres de enfriamiento con el caso "E" (consultar página 150).

Costos directos.

Equipo + Instalación.		812,689 N\$	①
Instrumentación y tubería (4% de ①).	32,507	845,147	
Depósito de concreto + accesorios.	13,260	858,457	②

Costos indirectos.

Fletes, seguros y fianzas (3% de ②).	25,753		
Instalación eléctrica (4% de ②).	34,338		
Acondicionamiento de terreno (4% de ②).	34,338		
Servicios de ingeniería y supervisión (10% de ②)	85,845		
Licencias y permisos (5% de ②).	42,923		
Retribuciones del contratista (10% de ②).	85,845		
Varios (10% de ②).	85,845		
Contingencias (10% de ②).	85,845		
Total.	480,735	1,339,192	③

Considerando una duración máxima de 1 año del proyecto desde su propuesta (10% de inflación acumulada).

	133,919		
Preoperación y arranque.	40,175		
		1,513,287	④

Gastos de operación.

4 motores * 75 HP/motor = 275 HP

275 HP * 0.7457 KW/HP * 24 hr/día * 180 días/año * 0.163 N\$/KWH

∴ Costo de energía eléctrica = 144,000 N\$/año (suponer un aumento anual de 1.15 %)

Costos de mantenimiento.

Se supone un 0.5% de la inversión fija con incremento del 0.5% cada dos años.

Consumo de agua.

Consumo = Agua requerida en proceso (para usos distintos al agua de condensadores)

+ Agua de reposición en torre de enfriamiento

$$= 3,084,840 \text{ m}^3/\text{año} + 1831 \text{ m}^3/\text{año} = 3,086,671 \text{ m}^3/\text{año}$$

Costo del agua que se paga actualmente (situación existente) = 0.027 NS/m³

Pago efectuado = NS 83,340

Ahorros obtenidos.

Por consumo de agua.

$$\begin{aligned} \text{Pago ahorrado} &= 9,153,698 \text{ m}^3/\text{año} * 0.027 \text{ NS/m}^3 \\ &= 247,150 \text{ NS/año.} \end{aligned}$$

Por descarga contaminante.

Ya que se está considerando la situación existente (y no la que debería aplicarse de acuerdo a la nueva legislación), se considera que la descarga de contaminantes no produce pago de multas. En caso contrario (escenario II), el ahorro por disminuir la descarga contaminante aumenta considerablemente (a 580,000 NS/año).

Con base en los gastos y ahorros señalados se obtienen los flujos de efectivo en cada uno de los años de la vida útil del equipo (10 años), y se aplican distintos indicadores económicos (Valor presente neto, Retorno de la inversión y Tiempo de recuperación de la inversión) para evaluar la factibilidad del proyecto (consultar página 151).

Laguna de aspersión.

El cálculo de las lagunas de aspersión se ejemplifica nuevamente con el caso E.

Se proponen dos pasos para el enfriamiento de la corriente de agua, el primero consta de una tubería con 273 rociadores de agua, y el segundo de una tubería con 136 rociadores.

La profundidad de la alberca es de 1.22 m, el espesor de las paredes es de 0.15 m, la separación de las paredes a los rociadores es de 8 m.

La altura del chorro es de 6 m, el diámetro de cada chorro es 6.5 m, la capacidad de los rociadores es de 2.58 l/seg y su presión de descarga es de 7 psi.

Tubería #1 (273 rociadores).

Se calculan las pérdidas por fricción en los rociadores (hf1) y las pérdidas por fricción en el tubo (hf0).

$$hf1 = Kq1^2 = (1 * 10^4)(0.9134^2) = 83.4 \text{ (lb/lb)ft} = 25.46 \text{ (Kg/Kg)m}$$

$$K = \text{cte} = 1 * 10^4, q1 = 2.58 \text{ l/seg} = 0.09134 \text{ ft}^3/\text{seg}$$

$$hf = hf1 (1 - \gamma_p^2) = 83.4 (1 - 0.99^2) = 1.66 \text{ (lb/lb)ft} = 0.5067 \text{ (kg/kg)m}$$

$$\gamma_p = \text{cte} = 0.99.$$

$$hf0 = 3hf = 4.98 \text{ (lb/lb)ft} = 1.52 \text{ (kg/kg)m}$$

Cabeza dinámica total = $hf_l + hf + hf_D = 27.48$ m de agua.

Cabeza estática por Δ altura = 6 m

Cabeza estática por Δ presión:

$$\frac{(P_2 - P_1)\rho}{144} * 0.3048 = \frac{(7 \text{ psi})62.42 \text{ lb/ft}^3}{144} * 0.3048$$

= 0.924 m de agua

Cabeza total = $27.487 \text{ m} + 6 \text{ m} + 0.924 \text{ m} = 34.41$ m de agua

$$bhp = \frac{Q * H * S_g}{76.16 \eta} = \frac{(706)(34.4)(1)}{(76.16)(0.75)} = 425$$

η = Eficiencia estimada de las bombas.

Considerando una operación continua de 22 hrs diarias:

$$bHP = 425 * (22/24) = 389 \text{ HP}$$

Tubería #2 (136 rociadores).

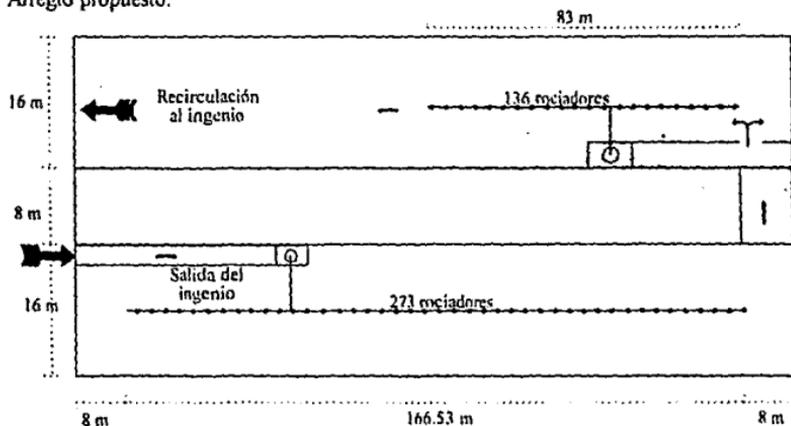
Se realiza el mismo cálculo que para la tubería #1, pero con un flujo de 353 l/seg.

$$bhp = \frac{Q * H * S_g}{76.16 \eta} = \frac{(353)(34.4)(1)}{(76.16)(0.75)} = 212.65$$

$$bhp = 212.65 * \frac{22}{24} = 195$$

bhp total = 584 HP

Arreglo propuesto:



Costos directos.

Costo del equipo.		NS 61.765	①
Costo del depósito (concreto).	414,800		
Instalación del equipo.	71,484		
Instrumentación y tubería.	21,922	NS 569,972	②

Costos indirectos.

Fletes, seguros, fianzas (3% de ②).	17,100		
Instalación eléctrica (4% de ②).	22,798		
Excavaciones y acondicionamiento del terreno (20% de ②).	85,000		
Ingeniería y supervisión (3% de ②).	17,100		
Licencias y permisos (5% de ②).	28,498		
Contratista (10% de ②).	57,000		
Contingencias (10% de ②).	57,000		
Varios (10% de ②).	57,000		
Total.	341,983	NS 911,956	③

Considerando una duración del proyecto de 1 año desde su propuesta, se considera el 10% de inflación anual acumulada.

10% de inflación anual acumulada.	86,067		
Preoperación y arranque.	27,358		

NS 1,030,510 ④

Gastos de operación.

$584 \text{ HP} * 0.7457 \text{ KW/HP} * 24 \text{ hr/día} * 180 \text{ días/año} * 0.163 \text{ NS/KWH}$
 $= 306,000 \text{ NS/año}$ (considerar un aumento del 1.15% anual).

Gastos de mantenimiento.

Se considera el 0.5% anual, con incrementos del 0.5% cada año.

Consumo y ahorro de agua.

Consumo de agua = Agua de proceso (no usada en condensadores) + Agua de reposición por arrastre.

$$= 3,084,840 \text{ m}^3/\text{año} + 499,392 \text{ m}^3/\text{año} = 3,584,232 \text{ m}^3/\text{año}$$

Pago efectuado por consumo de agua = NS 96,774

Ahorros obtenidos.

Resultan iguales a los de la torre de enfriamiento (página 189).

Los resultados del análisis económico aplicando los indicadores económicos ya mencionados, se observan en la tabla 3.23 de la página 151.

Anexo Vi. Glosario.

Bagazo. Residuo de la caña prensada en un molino o un tren de molienda. Los bagazos se denominan sucesivamente bagazo del primer molino, bagazo del segundo molino, hasta llegar al bagazo del último al que se le llama bagazo final o simplemente bagazo.

Brix (acrómetro brix). Estrictamente hablando Brix es el porcentaje en peso de los sólidos en una solución pura de sacarosa. Por acuerdo general se considera que el Brix representa los sólidos aparentes en una solución azucarada cuando se determina por el hidrómetro Brix u otra medida de densidad convertida a la escala Brix (sin embargo esto es cierto solamente en el caso de soluciones de azúcar pura).

Caña. Materia prima recibida por el ingenio y que incluye caña limpia, basura, agua, etc. La caña tal como se recibe es la "caña en bruto", al separar la basura se obtiene la "caña neta".

Extracción. Parte de un compuesto de la caña que es extraída en la molienda, los componentes usuales de esta expresión son: jugo, brix, pol y sacarosa. Por ejemplo "extracción de pol" indica pol en el jugo mezclado como porcentaje de pol en la caña.

Fibra. Materia seca insoluble en agua, que incluye tierra y piedras; la verdadera fibra o celulosa no se determina en un ingenio.

Jurabe. Jugo concentrado proveniente de los evaporadores, antes de que la cristalización haya separado el azúcar (conocida como meladura).

Jugo absoluto. Todos los sólidos disueltos en la caña más toda el agua, es decir la caña menos la fibra. Debido a la presencia de la llamada agua coloidal es difícil definir el jugo tal como se encuentra en la caña, el jugo extraído durante la molienda es menor al jugo absoluto (podría considerarse entonces como el jugo teórico).

Jugo clarificado. Producto terminado del proceso de clarificación.

Jugo mezclado. Es la mezcla del jugo primario (jugo extraído sin diluir) y del secundario (jugo diluido) que se envía a proceso después de la extracción en molinos.

Masa cocida. Es el jarabe concentrado en el que la azúcar ha cristalizado, sus componentes son los cristales y el licor madre. Las masas cocidas se designan con distintos nombres, números o letras para indicar su pureza relativa o el número de cosechas de cristales que se van a extraer.

Miel final. En una centrifuga al separar cristales de azúcar de las aguas madre, a estas últimas se les llama miel, y se designan por nombres, números o letras que corresponden a los de las masas cocidas. Las mieles finales son el residuo líquido del cual ya no puede extraerse más azúcar en forma económica.

Pureza. Es el azúcar de caña (generalmente pol) presente en términos de porcentaje de la materia sólida (generalmente brix). Puesto que el azúcar puede expresarse como Pol o sacarosa, y los sólidos como Brix, sólidos por refractómetro o sólidos por secado, la pureza se expresa de distintas formas.

Rendimiento. Azúcar comercial producido sin tomar en cuenta su composición.

Semilla. Masa cocida o grano de azúcar usado como pie de templa para una masa cocida.

Sacarosa, pol y polarización. Desde hace tiempo existe cierta confusión en el uso de estas expresiones, sin embargo la "sacarosa" es el compuesto químico llamado así, también llamado sucrosa o azúcar de caña. "Pol" es el valor obtenido por polarización directa del peso normal de una solución en un sacarímetro. Polarización es el método aplicado, mientras que Pol es el resultado.