

T
333.7
F866
C. 2

Escuela Superior Politécnica del Litoral

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA

**“ELABORACION DEL MANUAL DE AUDITORIA AMBIENTAL
PARA LA INDUSTRIA”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de

INGENIERO MECANICO




Presentada por:

KAREEN ALEXANDRA FREIRE DEL POZO

Guayaquil - Ecuador

1 9 9 4


94-09-14
DR. ALFREDO BARRIGA
DECANO
FAC. ING. MECANICA


ING. RODOLFO PAZ
DIRECTOR DE
TESIS


DR. WOLFGANG GARSKE
MIEMBRO DEL
TRIBUNAL

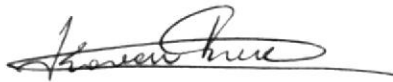

DR. FRANCISCO ROMAY
MIEMBRO DEL
TRIBUNAL



DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis de Grado corresponden al autor y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(REGLAMENTO DE TESIS DE GRADO)



KAREEN ALEXANDRA FREIRE DEL POZO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su fidelidad.

Al ingeniero Rodolfo Paz, al doctor

Wolfgang Garske y al señor Gabriel

Bastidas , por la valiosa ayuda

brindada para la culminación de

este trabajo.

DEDICATORIA

A mi madre

A mi abuelita

A mis hermanos

RESUMEN

La tesis se basa en la elaboración del Manual de Auditoría Ambiental desarrollado para diversos tipos de Industrias, y se ilustra con la aplicación de un caso que corresponde al de la empresa Muebles El Bosque S.A., con el fin de determinar su situación actual en cuanto al consumo de recursos naturales y residuos generados y hacer las recomendaciones necesarias para su optimización o la reducción de impactos ambientales con los consiguientes ahorros de capital y conservación del medio para las futuras generaciones.

La Auditoría Ambiental puede describirse como una serie de acciones a través de las cuales se busca promover el uso eficiente de los recursos por medio de la reducción de la generación de residuos en la misma fuente, esto es, en la instalación industrial, ya sea vigilando el proceso, el producto o la operación.

La Auditoría Ambiental se compone dos partes: la Auditoría Ambiental Preliminar (AAP) y la Auditoría Ambiental Detallada (AAD). En conjunto, implican una familiarización con los procesos y operaciones de la instalación en estudio, debiendo informarse sobre las partes consumidoras de recursos y energía, la eficiencia de este consumo, analizar mejoras, ahorros, inversiones de capital y

tiempos. Así se establece un diagnóstico cualitativo y cuantitativo de la situación y se plantean soluciones a los problemas identificados.

A lo largo del trabajo se estudia la problemática ambiental general, el alcance del manual, el diseño y etapas del plan de manejo ambiental, su relación con el recurso humano y la aplicación de éste en la Auditoría Ambiental Preliminar de Muebles El Bosque y se considera también el Marco Legal Ambiental del Ecuador.

INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE CUADROS	XV
INDICE DE FIGURAS	XXII
INDICE DE REGLAMENTOS	XXIII
INTRODUCCION	XXIV
OBJETIVO	XXV
CAPITULO I IMPORTANCIA Y FUNDAMENTOS	
1.1 Organización y Alcance del Manual	26
1.2 Importancia de la Protección y Auditoría Ambiental.....	27
1.2.1 Objetivos	27
1.2.2 ¿Qué es el Mejoramiento Ambiental y qué no lo es? ...	28
1.2.3 La Jerarquía del Manejo Ambiental	29
1.2.4 Beneficios del Programa de Auditoría Ambiental	29
1.3 El Mundo Empresarial y sus Conflictos con el Medio	31
1.4 La Actividad Ambiental en el Ecuador a Nivel Industrial	32
1.5 Principales Efectos en el Ambiente de los Efluentes Indus- triales	32
1.6 Consideraciones Legales Ambientales	37
CAPITULO II EL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	
2.1 Modo de Diseñar un Plan de Manejo Ambiental	39
2.1.1 Planes de Vigilancia y de Auditoría	39
2.2 Pasos de un Programa de Auditoría Ambiental	40

2.2.1	Revisar Programa de Administración de Recursos	40
2.2.2	Efectuar Auditoría Ambiental Preliminar	41
2.2.3	Desarrollar el Plan de Acción de Auditoría Ambiental Detallada	41
2.2.4	Determinar la Cobertura de la Auditoría Ambiental Detallada	42
2.2.5	Efectuar el Plan de Auditoría Ambiental Detallada ...	42
2.2.6	Evaluación de Datos Obtenidos	43
2.2.7	Identificar Oportunidades de Mejora Ambiental	44
2.2.8	Desarrollo e Implementación del Plan de Acción	44
2.2.9	Mantenimiento y Mejoramiento del Programa	45
CAPITULO III CONDUCCION DE LA AUDITORIA AMBIENTAL PRELIMINAR		
3.1	Organización de Recursos	46
3.1.1	Recursos Humanos/Estructuración del Tiempo	46
3.1.2	Instrumentación	47
3.2	Identificación del Proceso y Datos Requeridos	47
3.2.1	Formulación de Datos	48
3.3	Reunión de Datos	49
3.3.1	Entrevistas	49
3.3.2	Inspección Visual y Recorrido de Planta	53
3.4	Análisis de Datos	56
3.4.1	Desarrollo de Base de Datos	56
3.4.2	Evaluación de Datos	58
3.5	Desarrollo de Plan de Acción	65

CAPITULO IV DESARROLLO DE UNA AUDITORIA AMBIENTAL DETALLADA

4.1 Estudio de las Fuentes de Contaminación de Aire, Agua y Suelo 66

4.1.1 Recolección de Datos 66

4.1.2 Cálculo de las Cargas de Desechos y Contaminación y Evaluación del Problema General de los Desechos y Contaminación en el Area de Estudio 67

4.1.3 Actividades Generadoras de Desechos y Contaminación Factores de Carga Respectivos 67

4.1.4 Auditoría Ambiental Detallada de las Fuentes de Contaminación y Desechos 69

4.2 Estudio Energético Detallado 74

4.2.1 Auditoría Energética Detallada de Calderos 75

4.2.2 Auditoría Energética Detallada de Sistemas de vapor . 93

4.2.3 Auditoría Energética Detallada de Secadores 100

4.2.4 Auditoría Energética Detallada de Hornos 109

4.2.5 Sistemas Eléctricos 124

4.3 Tecnología para Tratamiento de Desechos 143

4.3.1 Tecnología para Tratamiento de Emisiones al Aire 143

4.3.2 Tecnología para Tratamiento de Aguas Residuales 156

4.3.3 Tecnología para Tratamiento de Residuos Sólidos 176

CAPITULO V MANTENIMIENTO DEL PROGRAMA DE AUDITORIA AMBIENTAL

5.1 Relación con el Recurso Humano 188

5.1.1 Integración del Programa al Plan de la Empresa 188

5.1.2 Educación del Personal 189

5.1.3 Mantenimiento de la Comunicación Interna 190



5.1.4	Programa de Incentivos a los Empleados	192
5.1.5	Alcance Público y Educación	192
5.2	Diseño de Productos Ambientalmente Compatibles	193
5.2.1	Etapas en el Avalúo del Ciclo de Vida	195
5.2.2	Metas en el Diseño o Rediseño de Productos	196
5.2.3	El Reciclaje	196
5.3	Los Residuos Tóxicos	199
5.3.1	Breve identificación de los Residuos Tóxicos	200
5.3.2	Evaluación de los Residuos Tóxicos	201
5.3.3	Medidas de Mitigación y Rehabilitación Ambiental	206
5.4	Medidas de Mitigación para aquellas Industrias con Mayor Po- tencial de Deterioro Ambiental	213
5.4.1	Productos Cárnicos	214
5.4.2	Productos del Mar	215
5.4.3	Refinerías de Azúcar	217
5.4.4	Bebidas Espirituosas	218
5.4.5	Preparación y Teñido del Cuero	220
5.4.6	Fabricación de Pulpa, Papel y Cartón	222
5.4.7	Fabricación de Pinturas, Barnices y Lacas	224
5.4.8	Fabricación de Cemento, Cal y Yeso	225

CAPITULO VI INSTRUMENTACION

6.1	Medición de Temperatura	227
6.1.1	Termómetro de Vidrio	228
6.1.2	Psicrómetro	228
6.1.3	Termómetro de Disco	229
6.1.4	Termocupla	229

6.1.5	Pirómetros	232
6.2	Medición de Flujo	234
6.2.1	Medidor de Orificio	234
6.2.2	Tubo de Pitot y Manómetro	236
6.2.3	Velocímetro	237
6.2.4	Medidor de Flujo Ultrasónico	238
6.2.5	Rotámetro	240
6.2.6	Medidor de Flujo Tipo Turbina	240
6.2.7	Medidor de Desplazamiento Positivo	241
6.3	Medición de Presión	241
6.3.1	Indicador de Tiro	243
6.4	Análisis de Gases	244
6.4.1	Temperatura del Aire de Combustión	246
6.4.2	Temperatura y Composición de los Gases de Combustión	246
6.4.3	Tiro de la Caja de Fuego y la Chimenea	247
6.4.4	Humo en los Gases de Combustión	247
6.4.5	Composición de los Gases de Combustión	248
6.4.6	Depósito de Partículas y Polvo	251
6.4.7	Materia Suspendida en Forma de Partículas: Humo	254
6.4.8	Aparatos Medidores del Oscurecimiento	255
6.4.9	Medida del Humo y Partículas Totales Suspendidas en el aire	257
6.4.10	Oxidos de Azufre	260
6.4.11	Monóxido de Carbono	266
6.4.12	Hidrocarburos	266
6.4.13	Oxidos de Nitrógeno	267
6.4.14	Ozono y Oxidantes	269

6.5	Mediciones Eléctricas	270
6.5.1	Amperaje	270
6.5.2	Voltaje	272
6.5.3	Vatíaje	272
6.5.4	Factor de Potencia	275
6.6	Medición del Nivel de Intensidad Luminosa	276
6.7	Medición del Nivel de Ruido	279
6.7.1	El Sonómetro y sus Accesorios	279
6.7.2	Protección contra el Ruido	282
6.8	Análisis de Aguas	285
6.8.1	El Laboratorio Portátil para el Análisis de Aguas "Aquamerck"	289
6.9	Análisis de Suelos	296
6.9.1	La Polución por Sustancias Tóxicas y Problemas de los Suelos	298
6.9.2	Identificación de Suelos	300
6.9.3	Nitrógeno del Suelo	300
6.9.4	Aire del Suelo	301
6.9.5	Materia Orgánica del Suelo	301
6.9.6	Contenido de Humedad	302
6.9.7	Determinación del pH del Suelo	302
6.9.8	Coloración y Temperatura del Suelo	304
6.9.9	Determinación de la Gravedad Específica	305
6.9.10	Determinación de la Granulometría	306
6.9.11	Ensayo del Hidrómetro	307
6.9.12	Determinación de los Límites de Atterberg	309
6.9.13	Determinación de la Permeabilidad	311

CAPITULO VII POLITICAS Y NORMAS AMBIENTALES EN EL ECUADOR

Políticas y Normas Ambientales en el Ecuador	315
--	-----

CAPITULO VIII AUDITORÍA AMBIENTAL PRELIMINAR DE "MUEBLES EL BOSQUE S.A."

8.1	Resumen	317
8.2	Información Obtenida	323
8.2.1	Introducción	323
8.2.2	Descripción del Proceso	325
8.2.3	Horarios de Producción	328
8.2.4	Descripción del Sistema Eléctrico	329
8.2.5	Descripción de los Equipos consumidores de Energía ..	330
8.2.6	Análisis de las Planillas de Energía Eléctrica	331
8.3	Análisis de la Información	332
8.3.1	Estimación del consumo de Energía Eléctrica de los Equipos	332
8.3.2	Desechos Generados	333
8.3.3	Plan de Acción	334
8.4	Conclusiones y Recomendaciones	336
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		343
BIBLIOGRAFIA		346
ANEXOS		

INDICE DE CUADROS (ANEXO 1)

- Cuad. #
- 1.1 Cambios en los Procesos como medidas de Prevención de la Contaminación por Reducción de la Cantidad de Desperdicios durante la Producción
 - 1.2 Medidas no Preventivas de la Contaminación por ser tomadas luego de producido el desperdicio
 - 2.1 Criterios Típicos de Evaluación Técnica del Programa
 - 2.2 Evaluación de Oportunidades de Conservación Energética
 - 2.3 Requerimientos Básicos para un Programa Exitoso de Manejo de Recursos en una Compañía
 - 3.1 Pasos para conducir la Auditoría Ambiental Preliminar
 - 3.2 Tiempo requerido para completar la Auditoría Ambiental Preliminar
 - 3.3 Instrumentación para la Auditoría Ambiental Preliminar
 - 3.4 Información General
 - 3.5 Historial de Datos de Cantidad y Costo de Electricidad
 - 3.6 Historial de Datos de Cantidad y Costo de Fuel Oil
 - 3.7 Historial de Datos de Cantidad y Costo de Propano
 - 3.8 Historial de Datos de Cantidad y Costo de Carbón
 - 3.9 Historial de Datos de Cantidad y Costo de Vapor Comprado
 - 3.10 Historial de Datos de Cantidad y Costo de Madera o Combustible de Desecho
 - 3.11 Resumen del Historial de Consumo y Costo de Energía
 - 3.12 Otros Factores que afectan el Uso de la Energía
 - 3.13 Datos de Grados del Día (Degree-Day)

- 3.14 Hoja de Calderas
- 3.15 Hoja del Enfriamiento Central
- 3.16 Equipos de Mayor Consumo de Energía (equipo eléctrico)
- 3.17 Equipos de Mayor Consumo de Energía (equipos térmicos)
- 3.18 Datos del Sistema de Iluminación
- 3.19 Datos de Carga Eléctrica Conectada
- 3.20 Consumo de Energía del Petróleo
- 3.21 Descripción Local
- 3.22 Sumario de Materiales de Entrada
- 3.23 Sumario de Productos
- 3.24 Sumario de Flujo de Desperdicios
- 3.25 Fuente de Desperdicios
- 3.26 Minimización de Desperdicios (3.26a, 3.26b, 3.26c)
- 3.27 Descripción de los Procesos (3.27a, 3.27b, 3.27c, 3.27d, 3.27e)
- 3.28 Descripción de los Desechos
- 3.29 Minimización de Desechos (Reuso y Recuperación)
- 3.30 Minimización de Desechos (Buenas Prácticas Operativas)
- 3.31 Rentabilidad
- 3.32 Pasos a seguir para efectuar la Inspección Visual y Recorrido de
Planta
- 3.33 Ejemplo de Flujo de Materia Prima y Energía
- 4.1 Lista de Industrias Importantes con Códigos de Clasificación de
la ONU
- 4.2 Cuadro de Trabajo para el Cálculo de Cargas de Contaminación Pro-
venientes de Fuentes de Combustión Estacionarias
- 4.3 Metales Pesados y Flúor presentes en las Aguas Residuales de cier-
tas Industrias

- 4.4 Disposiciones sobre Declaración de Zonas Contaminadas y Situaciones de Emergencia
- 4.5 Cuadro de Trabajo para el Cálculo de Desechos Sólidos Industriales
- 4.6 Cálculo de Cargas de Contaminación Provenientes de Fuentes Industriales
- 4.7 Cuadro de Trabajo para Cálculo de Cargas de Desechos y Contaminación del Agua Provenientes de Efluentes Industriales
- 4.8 Cuadro de Trabajo para el Cálculo de Cargas de Desechos Sólidos Industriales
- 4.9 Cuadro de Trabajo para Cálculo de Cargas de Contaminación del Aire Provenientes de la Disposición de Desechos Sólidos
- 4.10 Contaminantes más frecuentes en diferentes tipos de Industrias
- 4.11 Auditoría Ambiental Preliminar y Procedimientos a seguir para efectuarla en Plantas de Calderos
- 4.12 Información Específica del Caldero
- 4.13 Lista de Comprobación de Items en la Evaluación de Calderos
- 4.14 Cuaderno de Registro del Caldero/Records de Tratamiento de Agua
- 4.15 Criterios de Decisión para efectuar Pruebas de Calderos
- 4.16 Equipo de Medición de Eficiencia de Calderos
- 4.17 Instalación de Aislamiento Térmico en el Caldero y Componentes Complementarios
- 4.18 Descontinuar el Uso de Calderos en Reserva en Caliente
- 4.19 Reducción de la Purga de Fondo del Caldero
- 4.20 Reducción en la Presión de Operación
- 4.21 Puntos de Medición para Pruebas de Caldera
- 4.22 Carta de Conversión de Dióxido de Carbono-Oxígeno
- 4.23 Carta de Conversión Exceso de Aire-Oxígeno

- 4.24 Carta que muestra las Pérdidas debidas a Combustión Incompleta (%) vs Contenido de CO₂ (% vol) para Fuel Oil
- 4.25 Mejoras en la Utilización de Calderos
- 4.26 Lineamientos para Condiciones aceptables de Combustión para Quemadores de Hidrocarburos Líquidos
- 4.27 Mejoras en la Eficiencia de la Combustión
- 4.28 Recuperación de Calor Residual en Purga de Fondo Continua
- 4.29 Mejoras en la Eficiencia por Precalentamiento del Agua de Alimentación
- 4.30 Mejoras en la Eficiencia por Precalentamiento del Aire de Combustión
- 4.31 Espesor Económico del Aislamiento
- 4.32 Reparación de Fugas de Vapor
- 4.33 Pérdidas de Vapor Escapado por Fugas a la Atmósfera
- 4.34 Aislamiento de tuberías
- 4.35 Pérdida de Calor de Tuberías Horizontales Descubiertas
- 4.36 Reparación de Trampas de Vapor
- 4.37 Detalles del Secador
- 4.38 Puntos de Medición para Prueba de Secador: Contacto Directo y Contacto Indirecto
- 4.39 Datos para efectuar Pruebas del Secador
- 4.40 Seccionamiento en Áreas Iguales para Mediciones Transversales en Ductos Circulares
- 4.41 Seccionamiento en Áreas Iguales para Mediciones Transversales en Ductos Rectangulares
- 4.42 Balance de Energía para el Secador
- 4.43 Pérdidas de Energía de las Paredes del Secador vs Temperatura de

- la Pared Exterior
- 4.44 Ejemplo de Secador de Papel
- 4.45 Carta Psicrométrica para el Ejemplo del Secador
- 4.46 AEP y Procedimiento de Auditoría Energetica para Hornos
- 4.47 Detalles de Hornos
- 4.48 Lista de Comprobación de Evaluación de Hornos: diario de operación del horno
- 4.49 Criterios de Decisión sobre las Pruebas
- 4.50 Puntos de Medición para Prueba de Hornos
- 4.51 Equipo de Medición de Eficiencia de Hornos
- 4.52 Pérdida de Energía por Radiación a Través de Aberturas
- 4.53 Flujo para Tamaños varios de Toberas
- 4.54 Cuadro de Referencia de Aplicaciones de Termocuplas
- 4.55 Pérdida de Calor a través de las Paredes del Horno
- 4.56 Formulario usado para Recolección de Datos para Prueba de un horno
- 4.57 Calor Específico de Substancias Comunes
- 4.58 Balance de Energía de un Horno Secador de Pintura
- 4.59 Efecto del Exceso de Aire sobre la Pérdida en Gases de Chimenea
- 4.60 Ahorro Potencial por Precalentamiento del Aire de Combustión
- 4.61 Pérdida de Energía a través de las Paredes del Horno
- 4.62 Ahorro Posible por Enriquecimiento de Oxígeno
- 4.63 Tabla de Conversión del Angulo de Factor de Potencia
- 4.64 Nomograma para la Determinación Aproximada de la Energía Ahorrada en la Remoción de Lámparas e Instrucciones para su uso
- 4.65 Tipos de Depuradores utilizados industrialmente
- 4.66 Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales
- 5.1 Formas para mantener y mejorar el Programa de Prevención de

- Contaminación
- 5.2 Ejemplo de Orientación a los Empleados en la Prevención de la Contaminación
 - 5.3 Para motivar a los empleados los Directivos pueden
 - 5.4 Bienes Verdes
 - 5.5 Criterio Ambiental para considerar en el Diseño de Productos
 - 5.6 Especificaciones de las Medidas de Mitigación a Establecer
 - 5.7 Medidas de Rehabilitación Ambiental
 - 5.8 Medidas Correctivas o de Control
 - 5.9 Puntos para definir un Tratamiento Descontaminante
 - 5.10 Procesos de Tratamientos más comunes utilizados en la Industria para la Descontaminación de Gases, Aguas Residuales y Residuos Sólidos
 - 5.11 Sistemas de Tratamiento de Uso más Frecuente
- 6.1 Instrumentación para la Auditoría Ambiental Detallada
 - 6.2 Datos de Mediciones de nivel de Iluminación
 - 6.3 Niveles de Iluminación sugeridos para varias Tareas
 - 6.4 Escala de Medición del Sonido
 - 6.5 Niveles de Potencia Sonora para Motores de Inducción
 - 6.6 Efectos del Dióxido de Azufre en la Salud
 - 6.7 Regulaciones del Acta Walsh-Healey
 - 6.8 Conversión de Niveles de Presión Sonora en Bandas de Octava a dB
 - 6.9 Aplicación de las Medidas Directas de Atenuación en las Principales Fuentes de Ruido
 - 6.10 Riesgo de Déficit Auditivo con respecto a la Conversación según la Recomendación ISO 1999
 - 6.11 Tres clases de Protectores Auditivos

- 6.12 Ruidos Intermitentes, Exposiciones Aceptables por día a niveles Sonoros en dB (A), en función del número de ocurrencias por día
- 6.13 Criterio de Niveles de Ruido en Areas Residenciales
- 6.14 Conexión de los Criterios para la Comunidad
- 6.15 Relación del pH con el Amoniaco Suelto
- 6.16 Tabla de las Unidades Internacionales más comúnmente utilizadas
- 6.17 Viabilidad según la Capacidad de Asociación Acida (ABC)
- 6.18 Tabla de Factores a utilizar según cada pH
- 6.19 Niveles de Saturación de Oxígeno en Función de la Temperatura
- 6.20 Relación del Contenido de Oxígeno y su Consumo
- 6.21 Parámetros seleccionados para Aguas Naturales, no contaminadas
- 6.22 Preferencias de las Plantas de Cosecha por la Reacción del Suelo
- 8.1 Trazado de la Planta
- 8.2 Proceso de Producción
- 8.3 Sistema de Aire Comprimido
- 8.4 Historial de Datos de Cantidad y Costo de Electricidad
- 8.5 Ubicación de los Equipos Principales
- 8.6 Características de los Principales Motores
- 8.7 Datos del Sistema de Acondicionadores de Aire
- 8.8 Datos de los Transformadores
- 8.9 Dispositivos de Iluminación
- 8.10 Carga Eléctrica Conectada
- 8.11 Datos de Edad de los Equipos
- 8.12 Distribución del sistema de Extracción de Polvo
- 8.13 Normas de Producción para Tableros Aglomerados

INDICE DE FIGURAS (ANEXO 2)

Fig. #

- 1.1 Métodos de Reducción en la Fuente
- 1.2 Jerarquía de las Opciones de Manejo
- 6.1 Diferentes Tipos de Termómetros
- 6.2 Angulo Visual de un Pirómetro Típico
- 6.3 Medidor de Placa de Orificios
- 6.4 Tubo de Pitot y su Arreglo
- 6.5 Arreglo del Rotámetro
- 6.6 Medidor de Flujo Tipo Turbina
- 6.7 Medidor de Desplazamiento Positivo: Principio de Operación
- 6.8 Manómetro de Bourdon
- 6.9 Depósito Aforado Estándar Británico
- 6.10 Escala Ringelmann para la Medida de Humos
- 6.11 Medidor de Humos Hartridge
- 6.12 Voltímetros de Hierro Móvil, Electrostático y Digital
- 6.13 Ejemplos de Uso del Voltímetro
- 6.14 Composición Típica de las Aguas Residuales Urbanas
- 6.15 Relación del pH, Amoníaco, Amonio y la Temperatura

INDICE DE REGLAMENTOS (ANEXO 3)

1. Ley de Aguas
2. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
3. Normas de Calidad del Aire y sus Métodos de Medición
Disposiciones Generales
4. De la Contaminación por Ruido y Niveles de Emisión Acústica
De los Ruidos Industriales
De los Ruidos en el Ambiente Exterior
De otras Medidas de Prevención y Control
De Vigilancia, Supervisión, Organismos competentes y sanciones
5. De la Contaminación del Agua
Ambito de Aplicación
De la Prevención y Control de su Contaminación
De los Usos de las Aguas Superficiales, Subterráneas Marítimas y Estuarinas
De las Descargas de los Residuos Líquidos y las Normas de Descarga
De la Modificación de Normas de Descarga y Criterios de calidad
De la Vigilancia, Control y Sanciones
6. De la Contaminación del Suelo
Del objeto y finalidad
De los Registros de Usuarios del Suelo
7. De los Desechos Sólidos
Disposiciones Generales
Del Servicio Ordinario de Aseo, del Almacenamiento de Basuras
Del Tratamiento y Disposición Final Sanitaria de Basuras
Del Servicio Especial de Aseo y la Recuperación de Basuras
8. De los Estudios de Impacto Ambiental

INTRODUCCION

La aparición de problemas ambientales a escala global, tales como el Efecto Invernadero a la destrucción de la capa de Ozono, el incremento de problemas ambientales a nivel local, como el franco deterioro de la calidad de vida de las poblaciones urbanas, la degradación de elementos ambientales tales como el aire, el recurso hídrico, el suelo, la pérdida irreversible de recursos naturales y de biodiversidad, son todas, causas varias que han inducido a que el ser humano empiece a cuestionar sus modelos de desarrollo, buscando formas que garanticen el mantenimiento del patrimonio natural en bien de las futuras generaciones.

El desarrollo del país se ha realizado sobre las bases de un crecimiento de las áreas productivas que han explotado y utilizado los recursos naturales de forma poco planificada. Tanto las grandes obras de infraestructura como los proyectos de inversión se ejecutaron tratando de satisfacer las necesidades más inmediatas, los unos, y los más básicos principios de rentabilidad, los otros. En ningún caso se planteó la aplicación de conceptos que sustenten y garanticen su propia vida útil, frente a los embates de la naturaleza misma, lo que ha puesto al borde del fracaso cuantiosas inversiones en los más diversos sectores. Ante este panorama, poco halagador, nuestra colaboración es de vital importancia aportando a la protección y preservación de nuestro medio para garantizar que las futuras generaciones puedan aprovechar y disfrutar del patrimonio natural del país.

OBJETIVO

El objetivo de la elaboración de este Manual es brindar una guía clara, sencilla y práctica para el desarrollo de una Auditoría Ambiental dentro de una industria. Los procedimientos y formularios aquí presentados pueden ser aplicados a diferentes tipos de plantas y procesos que se desee analizar.

Mediante la aplicación de las indicaciones presentadas en este trabajo se obtendrá un conocimiento preciso e integral de la situación de la industria en cuanto al empleo de los recursos naturales por medio del análisis de las condiciones de los mismos a la entrada y salida de la planta.

Además de ser una guía para el desarrollo de la Auditoría Ambiental, este manual presenta los pasos a seguir en la implantación y conducción de un programa de Manejo Ambiental y los beneficios tanto económicos como ambientales que se puede obtener de esto.

La presentación del caso de aplicación de la Auditoría Ambiental Preliminar a Muebles El Bosque S.A. tiene como objetivo servir de ilustración del desarrollo del trabajo.

1.1 ORGANIZACIÓN Y ALCANCE DEL MANUAL

Incluyendo el capítulo 1 de Presentación, este manual se halla dividido en 8 capítulos:

- * El Capítulo 2 resume los pasos de un programa global de conservación, administración y mantenimiento ambiental.
- * El Capítulo 3 discute el objetivo, proceso y aplicación y presentación de la Auditoría Ambiental Preliminar.
- * El Capítulo 4 presenta los pasos a seguir en una Auditoría Ambiental Detallada de calderos, sistemas de vapor, secadores, hornos, sistemas de poder y sistemas eléctricos.
- * El Capítulo 5 nos indica los pasos a seguir en mantenimiento del programa de Auditoría Ambiental y Conservación de Recursos dentro de la empresa, así como una identificación de los desechos tóxicos que se puedan producir.
- * El Capítulo 6 presenta y discute los diferentes tipos de instrumentos usados en la Auditoría Ambiental Detallada.
- * El Capítulo 7 nos da un resumen de los puntos y normas más importantes de la Legislación Ecuatoriana sobre la conservación ambiental y el uso de recursos naturales, en especial a nivel industrial.
- * En el Capítulo 8, tenemos una aplicación práctica del trabajo en una Auditoría Ambiental Preliminar a una empresa y presentación de los resultados, las conclusiones del trabajo y apéndices.

1.2 IMPORTANCIA DE LA PROTECCION Y AUDITORIA AMBIENTAL

La prevención de la contaminación es el uso de materiales, procesos o prácticas que reducen o eliminan la creación de contaminantes o desechos en la fuente. Incluye prácticas que reducen el uso de materiales riesgosos y no riesgosos, energía, agua u otros recursos que a su vez protegen los recursos naturales a través de la conservación o uso más eficiente. La Auditoría Ambiental es un análisis de inventario de los recursos naturales y energéticos entre la entrada y salida de los mismos así como de su manejo dentro de la planta, estableciéndose un balance de la cantidad y calidad del recurso ingresado con la cantidad y calidad a la salida.

Tal como se dijo en la introducción, corresponde empezar a preocuparnos seriamente por los problemas ambientales generados por la industria. Es un interés que se manifiesta a diferentes niveles, todos de igual importancia. Estos niveles son: la defensa de la vida, la defensa de la economía de la Empresa y la cooperación con los esfuerzos nacionales por una mejor calidad de vida. Si estos tres intereses son tomados en cuenta por los industriales, sin duda el país estará entrando en una etapa de hacer aportes importantes para la sanidad ambiental del país y del mundo en general.

1.2.1 OBJETIVOS

Los objetivos principales de un programa de mejoramiento y auditoría ambiental, podrían resumirse en cinco puntos principales:

- * Reducir la exposición a riesgos
- * Reducir los costos de operación
- * Mejorar la moral y participación de los trabajadores
- * Mejorar la imagen de la compañía en la comunidad
- * Proteger la salud pública y el medio

1.2.2 ¿QUE ES EL MEJORAMIENTO AMBIENTAL Y QUE NO LO ES?

Mejoramiento Ambiental es la máxima reducción factible de todos los desechos generados en los sitios de producción. Envuelve el uso juicioso de los recursos a través de reducción en la fuente, eficiencia en la energía, reuso de los materiales de ingreso durante la producción y optimizar el uso del agua. Hay dos métodos generales de reducción en la fuente que pueden ser usados en un programa de prevención de la contaminación: cambios en los productos y cambios en los procesos. Se reduce el volumen y toxicidad de la producción de desechos y de los productos terminados durante su ciclo de vida y de su disposición. La **figura 1.1** del anexo nos da los ejemplos.

Hay un número de medidas de control de contaminación que son aplicadas solo después de que los desechos son generados. Por esto no son categorizados como prevención de la contaminación ni como *mejoramiento ambiental*. En anexo del **cuadro 1.2** podemos ver algunos ejemplos de procedimientos que son manejo de desechos y no medidas de prevención de la contaminación.

El reciclaje fuera de sitio es preferible a las otras formas

de manejo de basura porque ayuda a preservar materia prima y reduce monto de material que requiere eliminación. *El traslado de desechos peligrosos* a otro ambiente no es una prevención de la contaminación. El tratamiento de los desechos previo a su eliminación reduce la toxicidad y/o requerimientos de espacio, pero no elimina los materiales contaminantes.

1.2.3 LA JERARQUIA DEL MANEJO AMBIENTAL

Ha sido establecida¹ y la podemos ver en la **figura 1.2**. Las mayores prioridades se dan en preveer la contaminación a través de la reducción en la fuente y reuso o reciclaje de lazo cerrado. La Prevención o Reciclaje en la fuente elimina la necesidad de reciclaje posterior o tratamiento y eliminación. La eliminación de los contaminantes en o cerca de la fuente es típicamente menos costosa que recolectar, tratar y disponer de los desechos. También presenta mucho menos riesgo para los trabajadores, la comunidad y el ambiente.

1.2.4 BENEFICIOS DEL PROGRAMA DE AUDITORIA AMBIENTAL

En el caso de la prevención de la contaminación, las metas ambientales del país coinciden con los intereses económicos de la industria. Se tendrá los más bajos costos de producción y una buena competitividad. El costo por unidad producida se reducirá y la imagen de la compañía en la comunidad mejorará.

Reducir la Exposición a Riesgos.— Estos riesgos disminuirán reduciendo el volumen y la toxicidad potencial del vapor, lí-

¹ US Agencia de Protección Ambiental, Acta de Prevención de la Contaminación 1990

quidos y descargas sólidas de la empresa. Dentro de este punto es importante considerar: Regulaciones Ambientales, Riesgo Civil y Compensaciones a los Trabajadores

Reducidos Costos de Operación.— Un efectivo plan de prevención de la contaminación puede rendir ahorros en los costos más de lo que harían ciertos programas de desarrollo e implementación de costos. La reducción de costos puede ser por ahorros inmediatos que aparecerán inmediatamente en el balance general, o por ahorros anticipados, basados en evitar costos potenciales futuros. Los ahorros en los costos se dan a diferentes niveles como: Costos de Materiales, Manejo de Basuras y Costos de Disposición/Manejos, Costos de Producción, Costos de Energía y Costos de Limpieza.

Mejorar la Imagen de la Compañía.— Como la calidad del ambiente es una consecuencia de gran importancia para la sociedad, las políticas y prácticas de la compañía para controlar el incremento de desperdicios influencia a la larga las actitudes de los empleados y la comunidad.

Salud Pública y Beneficios Ambientales

Reducir la producción de desperdicios provee beneficios porque reduce el daño ecológico debido a extracción de materia prima y operaciones de refinación. Beneficios subsecuentes son riesgo reducido de emisiones durante proceso productivo y durante operaciones de reciclaje, tratamiento y disposición.

1.3 EL MUNDO EMPRESARIAL Y SUS CONFLICTOS CON EL MEDIO

Si deseamos analizar una empresa de producción desde el punto de vista del medio/ambiente como sistema, no podremos limitarnos a estudiar los procesos de producción de su interior. El *input* para estos procesos y sus *proveedores* son, pues, tan importantes como el *output* y sus *clientes*. Un sistema INPUT-OUTPUT no puede ser considerado prescindiendo de sus dos sistemas vecinos, el proveedor del Input y el receptor del Output. De este modo, el ámbito en el que una empresa se encuentra comprometida con el medio/ambiente está formado por el Input, el proceso de producción y el Output.

El Input.— Su elaboración por parte del proveedor no es el único proceso de trabajo en el que se desprenden irremediamente emisiones agresoras al medio. El "proceso de suministro" entre el proveedor y su cliente también es un proceso de trabajo.

El Proceso de Producción.— Un mejor aprovechamiento de la energía es un beneficio absoluto y éste no se ve disminuido por un tratamiento protector del medio sobre las emisiones que pudieran aparecer, pues, al contrario, de incrementar el grado de efectividad de aprovechamiento de energía aparece también menos energía residual.

El Output.— Se examinará si el tipo de energía no es reemplazable por otra más barata, si no hay una mejor forma de aprovecharla. Incluso después de la fabricación quedan cosas por hacer como puede ser el tratamiento de descargas.



A lo largo de la historia ecuatoriana siempre ha existido preocupación por la contaminación de las aguas, la deforestación y la erosión. En el Ecuador, análisis más recientes señalan de atención prioritaria dentro de los problemas ambientales, los de erosión, deforestación y contaminación de corrientes y depósitos de aguas. En Quito y Guayaquil son también agudos los problemas causados por la contaminación atmosférica, debida esencialmente al tránsito automotor, y por el manejo deficiente de las basuras.

Paradójicamente la construcción de chimeneas de gran altura ha conducido a la contaminación ácida de la lluvia, destruyendo miles de hectáreas de bosques. El incremento acelerado del uso de combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, ha producido el aumento del gas carbónico en la atmósfera, creando el llamado efecto invernadero. Deforestación y erosión están interrelacionados con esta degradación de la atmósfera y con la parte socioeconómica de los países más pobres, tal como fue analizado en la Conferencia de Río de Janeiro sobre Medio, Ambiente y Desarrollo.

1.5 PRINCIPALES EFECTOS EN EL AMBIENTE DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES

Aceites y Grasas: Impiden el paso de luz a través del agua, retardando el crecimiento de plantas acuáticas, interfieren en su nutrición además de ser tóxicos para ciertos peces y organismos, destruyen la vegetación con la consecuente erosión.

Aguas Acidas; el pH en una corriente no será menor a 4.5 si se quiere conservar la fauna acuática, a más ácido pH hay menos biodiversidad.

Aguas Alcalinas; pueden matar a los animales al beberlas, por úlceras en su sistema digestivo. Si el pH es mayor a 9 perjudicará a la vida acuática.

Aguas Calientes; al tener menor densidad que la fría, produce estratificación retirándose la mayoría de los peces a aguas profundas en busca de más oxígeno. También altera la respiración y crecimiento de organismos adelantando el período reproductivo.

Agentes Tensoactivos o Detergentes; producen eutroficación en los cuerpos de agua por la presencia excesiva de fosfatos aumentando la DBO. Forman en la superficie una película que impide al agua absorber oxígeno de la atmósfera y su dilución.

Aminas; atacan a los mamíferos con excitación transitoria, movimientos no coordinados, irritación de las mucosas, parálisis respiratorias, alteración del patrón de los reflejos y acción narcótica por reducción de la hemoglobina y reducción en la capacidad de hacer esfuerzos.

Asbestos; sus partículas afectan el crecimiento integral de la planta al impedir la llegada de suficiente energía luminosa para la fotosíntesis, también elevan el pH del suelo o causar lesión di-

recta por descomposición de la cutícula protectora de las hojas y penetración en las células interiores.

Cianuro; impide las reacciones de oxidación del fósforo en la respiración celular; los iones pueden reaccionar con metales pesados y producir sustancias aún más tóxicas.

Cinc; baja el oxígeno de la sangre de los peces y mueren; puede producir retraso en el crecimiento de ciertas especies de peces y reducen su número y el número de individuos de ellas.

Cobre; su exceso es altamente tóxico para plantas marinas e invertebrados, produce bioacumulación y migración de los moluscos.

Cromo y Sales de Cromo; desequilibra los nutrientes internos de las plantas alterando los procesos metabólicos; detiene nitrificación, inhibe el crecimiento de las algas y así la autodepuración del agua.

Demanda Química de Oxígeno (DQO); determinada por la presencia de sustancias inorgánicas que se pueden disolver en el agua, las cuales para su oxidación, consumen el oxígeno disuelto, produciendo los mismos efectos que la DBO.

Desechos Orgánicos (DBO); se originan por emisiones grandes de sustancias orgánicas, que en el proceso de descomposición disuelven oxígeno muriendo por asfixia los organismos en ella, la turbiedad

impide el paso de la luz para la fotosíntesis.

Dióxido de Azufre; destruye la superficie de las hojas de los vegetales, frena su crecimiento. En los mamíferos aumenta la resistencia de los pulmones al flujo de aire e irrita los ojos.

Fenoles; en los cuerpos de agua provocan parálisis y congestión cardiovascular en peces, sofocándolos.

Fertilizantes; exceso de iones nitrato y fosfato en el agua produce eutroficación, así la falta de oxígeno mata a los peces y otros organismos.

Hidrocarburos Gaseosos; son bioacumulativos en tejidos animales, pueden provocar alteraciones en el comportamiento y en la percepción, también reducen el crecimiento.

Niebla Acida; produce lesiones en las plantas, que se caracterizan por el plateado y bronceado de la superficie inferior de la hoja. Se produce necrosis del tejido y caída de la hoja.

Níquel; afecta a los huevos y larvas de peces, en mamíferos produce cáncer, tumores y esteratógeno.

Nitrógeno Orgánico; la baja acidez del tracto intestinal de los mamíferos jóvenes permite el incremento de bacterias que transforman el nitrógeno en nitratos o nitritos.

Oxidos de Nitrógeno; daña tejidos pulmonares y aumenta la susceptibilidad a infecciones; tienen actividad sinérgica con el SO₂ alterando a las plantas, afectando sus hojas, crecimiento, fotosíntesis y muerte.

Partículas; el hollín y polvo reducen la luz para la fotosíntesis de las plantas al formar una capa sobre las hojas, bloquean sus poros para el intercambio gaseoso, dificultan la síntesis de la vitamina D y mueren.

Plaguicidas; los peces son más sensibles a los productos organoclorados que a los fosforados, pues los acumulan en grandes cantidades al circular agua por su sistema respiratorio. Los carnívoros los acumulan en su cadena alimenticia pudiendo matar al predador.

Plomo; inhibe la fotosíntesis de las plantas y la formación de la hemoglobina; altera la fisiología reproductiva en mamíferos, es teratogénico, incrementa la mortalidad embrionaria e inhibe el crecimiento de bacterias y hongos.

Polvo de Cemento; al tapar las hojas impide la entrada de la luz necesaria para la fotosíntesis; interfiere en el intercambio gaseoso al bloquear los poros, elevan el pH del suelo, afectan el crecimiento, causan lesión directa pues en hojas mojadas forman gotas alcalinas que descomponen cutícula protectora, causando la muerte.

Sólidos en Suspensión; reducen el paso de luz a través del agua,

retardan el crecimiento de las plantas acuáticas afectando así a los animales que se alimentan de ellas.

Sulfatos; producen debilitamiento y muerte de mamíferos grandes. La reproducción anaerobia de sulfatos en aguas estratificadas altera la capacidad de reproducirse eficazmente y la distribución de los organismos.

Sulfuros; el de hidrógeno es altamente tóxico, fatal para especies acuáticas y peces, en la atmósfera dañará las hojas de las plantas jóvenes y sus raíces.

Taninos; producen envenenamiento al ser ingeridos por animales acuáticos. Además pueden originar cáncer, mutaciones y afectar la reproducción.

Tintes; la presencia de color en las aguas interfiere en la transmisión de luz solar y la fotosíntesis alterando el equilibrio entre las diversas especies acuáticas.

1.6 CONSIDERACIONES LEGALES AMBIENTALES

El art. 17^o establece que nadie podrá descargar directa o indirectamente sustancias nocivas o indeseables, en forma tal que puedan contaminar o afectar la calidad sanitaria del agua, y obstruir total o parcialmente la red de suministro.

² Ley para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, Decreto Supremo 374, 1976

El art. 25 señala que las excretas, aguas servidas y vertidos industriales, no podrán descargarse directa o indirectamente en quebradas, ríos, lagos o acequias, o en cualquier curso de agua para usos doméstico, agrícola, industrial o de recreación, a menos que sean previamente tratadas.

El art. 10 establece que la aplicación de esta Ley y la ejecución de las sanciones tendientes a la preservación de los recursos aire, agua y suelo, corresponden a los siguientes organismos: Ministerio de Salud (a través del IEOS), Ministerio de Agricultura y Ganadería (a través del INERHI), Ministerio de Defensa Nacional (a través de la DIGMER). El art. 16 de esta Ley prohíbe realizar descargas a la red de alcantarillado, quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como filtrar en el terreno, las aguas residuales que contengan contaminantes nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas de regulación.

En base a este marco legal se llegó a establecer reglamentos a la Ley de Contaminación. Se han promulgado reglamentos para la Aplicación de Plagidas, el Control de la Contaminación del Recurso Agua, el Control de Ruidos y el Control de la Calidad del Aire.

CAPITULO # 2

EL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Consiste en la construcción, materialización y puesta en marcha de las medidas de control de la calidad ambiental, esto es, las medidas de mitigación, rehabilitación y corrección. Este plan se hace efectivo durante las fases de construcción, operación y mantenimiento del proyecto, y permite mantener la calidad ambiental de acuerdo a los estándares y metas establecidas en la fase de diseño.

2.1 MODO DE DISEÑAR UN PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

El plan de Manejo Ambiental, como se explicó en el párrafo anterior, incluye el diseño de las medidas de mitigación, rehabilitación ambiental y correctivas y/o de control. No todas estas medidas deberán considerarse en todos los proyectos, pues su inclusión en el caso de proyectos pequeños que produzcan mínimos impactos, no sólo encarecería los estudios sino que los entorpecería y prolongaría innecesariamente.

2.1.1 PLANES DE VIGILANCIA (CONTROL) Y AUDITORIA

Los planes de Vigilancia o Control (Monitoring) proveen información específica sobre las características y funcionamiento de variables ambientales y sociales en el espacio y tiempo. Los beneficios de este plan de Vigilancia son: iden-

tificar tendencias peligrosas antes de que sea muy tarde para aminorarlas o prevenirlas y ampliar conocimientos acerca de impactos de varios proyectos sobre ambientes específicos.

Auditoría es el término usado para describir el proceso de comparar los impactos con aquellos que realmente ocurren después de finalizado el proyecto, evaluando así el proceso de predicción³. La auditoría también incluye la verificación del cumplimiento de las medidas de mitigación. El Plan de Auditoría es diseñado para lograr tres objetivos básicos: Regulación del Proyecto, Manejo de Impactos y Mejoramiento del proceso de un estudio ambiental.

2.2 PASOS DE UN PROGRAMA DE AUDITORIA AMBIENTAL

En esta parte veremos información general sobre un programa de auditoría ambiental diseñado para aumentar la eficiencia del uso de energía, recursos naturales y reducir los costos relacionados a ellos. En una Auditoría Ambiental, se recolecta y analiza información específica. El Auditor Ambiental deberá, igualmente, usar sus conocimientos y su criterio propio cuando recoja e interprete los datos relacionados al uso de energía. Los pasos principales los describimos a continuación.

2.2.1 REVISAR PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS

Conviene revisar el programa de administración de recursos

³ Evaluación de la Protección Ambiental, Enciclopedia Salvat de la Salud, 1975

existente si lo hubiere, con un funcionario de jerarquía y experiencia de la compañía. El Auditor podrá decidir los cambios que se crean necesarios dentro de la cobertura propuesta por la auditoría detallada.

2.2.2 EFECTUAR AUDITORÍA AMBIENTAL PRELIMINAR

Requiere un examen un poco más profundo, que en la organización. La recolección de datos que es una parte de esta asesoría preliminar ayudará al equipo a revisar los datos disponibles y empezar a definir las formas de procesar estos datos. Estos datos y visitas de campo nos habilitarán para establecer prioridades y procedimientos para asesorías detalladas.

2.2.3 DESARROLLAR PLAN DE ACCIÓN CON AUDITORÍA AMBIENTAL DETALLADA

Basándonos en la revisión preliminar, el auditor ambiental deberá trazarse un plan de acción, incluyendo una auditoría ambiental detallada, dicho plan de acción tomará en cuenta:

- * La administración de los asuntos relacionados con ambiente y energía dentro de la planta
- * Inspeccionar y recomendar sugerencias
- * Relaciones con representantes de la compañía
- * Disponibilidad de recursos para la implementación de un plan de acción
- * La situación financiera de la compañía
- * El personal, de planta y externo

2.2.4 DETERMINAR COBERTURA DE AUDITORÍA AMBIENTAL DETALLADA

Este paso es necesario para determinar la disponibilidad de los recursos necesarios en cuatro áreas: Personal técnico, Procedimientos de pruebas, Instrumentación y Financiación.

El personal técnico debería ser seleccionado en base a la disponibilidad del personal tanto de planta como del medio externo local. Se recomienda que se apliquen pruebas estándares utilizadas comúnmente en la prueba de ciertos equipos como marco de referencia.

Los requerimientos de instrumentación dependerán de los siguientes factores: disponibilidad de instrumentación en la planta, la ciudad y el país; tipo de datos a recolectarse; procedimientos de medición; y ubicación de los puntos de toma de datos. El uso de instrumental debe preferentemente restringirse a la disponibilidad de fondos operativos.

El costo de una auditoría debe calcularse ex-ante, es decir, antes de que se efectúe la misma. El costo dependerá si se usa personal interno o externo, el tiempo que tome completar la auditoría y el grado de sofisticación de la instrumentación que se utilice.

2.2.5 EFECTUAR EL PLAN DE AUDITORÍA AMBIENTAL DETALLADA.

Lo siguiente es la conducción del trabajo de campo, que consta principalmente de dos partes. La **Prueba de Equipos** donde

se evalúa la eficiencia de los mismos. Para esto hay pruebas específicas según el equipo como calderos, sistemas de vapor, eléctricos, etc. La **Recolección de Datos** donde la extensión y complejidad de este sistema será de acuerdo a las necesidades de la empresa. Dependiendo del tamaño de la empresa. Para este punto podemos considerar ciertas fuentes de información: *Reportes Regulatorios proporcionados por entidades extranjeras, Datos de Ingeniería, Operación y Archivo y Entrevistas al Personal.*

2.2.6 EVALUACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

Hay diversas áreas donde se puede evaluar los datos sobre recursos naturales, energía, como su obtención y uso. Los pasos necesarios para la evaluación de las oportunidades de conservación pueden dividirse desde el punto de vista técnico, ambiental-energético y económicos⁴, para esto tenemos los **cuadros 2.1, 2.2 y 2.3** del anexo.

La evaluación técnica requiere del conocimiento especializado de gran variedad de personas. Las alternativas a escoger para conservación, que no involucren un gasto significativo de capital, pueden implementarse de inmediato, pero, las que afecten la producción o calidad, necesitarán estudio cuidadoso. Una guía nos da el **cuadro 2.1**. La evaluación ambiental considera: el efecto en número y toxicidad de la circulación de desechos; el riesgo de trasladarlos a otro medio; el impacto ambiental de materia prima diferente y el consumo de energía.

⁴ Criterios Típicos de Evaluación Técnica, Environmental Protection Agency, 1990

Por esto debe considerarse los requerimientos de energía y sus oportunidades de conservación del **cuadro 2.2**. Para la evaluación económica, se debe documentar los cálculos de costos para que se pueda cuantificar el beneficio completo del programa. Los cambios operacionales usualmente pueden ser rápidamente instalados. Muchos sistemas de contabilidad no revelan los costos totales de una contaminación continua. Un análisis total de costos es un mecanismo útil para comprender el impacto financiero del programa.

2.2.7 IDENTIFICAR OPORTUNIDADES DE MEJORA AMBIENTAL

Con los resultados del paso anterior, podemos identificar dos tipos de oportunidades de conservación. Las **medidas O&M** son aquéllas que requieren poco o ninguna inversión mayor de capital y tienen retorno rápido sobre la inversión (un año o menos). Las **medidas de uso intensivo de capital** requieren grandes inversiones de capital y el tiempo de retorno generalmente supera al año. Se usará estos períodos como guía al elaborar recomendaciones, teniendo siempre en cuenta el criterio de inversión de la compañía en la Auditoría Detallada.

2.2.8 DESARROLLO E IMPLEMENTACION DEL PLAN DE ACCION

Probablemente el auditor no tendrá la autoridad para implementar las medidas identificadas, especialmente si se requiere elevados desembolsos de capital. Deberá, eso sí, elaborar un informe detallado para uso de los ejecutivos de la compañía. El plan de acción deberá contener un cronograma

para su ejecución. El plan de acción incluye con frecuencia recomendaciones para un programa autofinanciable, se implementa y los ahorros se invierten directamente en medidas de uso de capital intensivo a bajo costo y generar más ahorros.

2.2.9 MANTENIMIENTO Y MEJORAMIENTO DEL PROGRAMA

Para mantener el nivel de eficiencia, la compañía deberá continuar el seguimiento de sus usos de energía. Se seguirá con las sugerencias del reporte antes mencionado. Posibles mejoras a hacerse a procedimientos de seguimiento y reporte, son:

- * Mejoras de instrumentación
- * Introducción de procedimientos para reportes
- * Elaboración de índices de consumo de recursos

Dado que el uso de recursos naturales afecta muchos aspectos de la operación de la planta no podrá hacerse mejoras en su empleo si es que no se hace participar a los niveles directivos más elevados, ya que esto determinará el éxito de cualquier programa de conservación. Requerimientos para un programa exitoso de manejo global de recursos en la compañía se detallan en el **cuadro 2.3**. Recomendaciones podrían incluir entre otros: Nombrar personal para responsabilizarse del manejo de recursos, Estructurar formalmente un programa de manejo ambiental de la compañía, y Entrenar al personal directivo y empleados en una concientización hacia los recursos naturales.

CAPITULO # 3

CONDUCCION DE LA AUDITORIA AMBIENTAL PRELIMINAR (AAP)

La Auditoría Ambiental Preliminar (AAP) es uno de los primeros pasos al llevar adelante la implantación de un programa de conservación ambiental. Consiste generalmente en recolectar y analizar datos. Se usa sólo datos que son disponibles y la parte técnica es completada sin el uso de instrumentos sofisticados. Los resultados de la AAP dependen de la habilidad y experiencia de la persona que conduce la AAP, pero normalmente incluye lo siguiente:

- * Desarrollo de base de datos consumo-costo de recursos en la industria
- * Evaluación Objetiva de la Condición de la Planta
- * Identificación de los sistemas de mayor consumo de recursos
- * Entendimiento de Criterios de toma de decisiones de la compañía para proyectos relacionados con los recursos naturales y energía
- * Plan de Acción para futuros trabajos de auditoría

El trabajo se resume en 5 pasos como vemos en el **cuadro 3.1**, se considera un conocimiento previo del tamaño físico y función de la planta y que no hubiere anterior programa de auditoría ambiental.

3.1 ORGANIZACION DE RECURSOS

3.1.1 RECURSOS HUMANOS / ESTRUCTURACION DEL TIEMPO

Una AAP es generalmente llevada a cabo por un auditor ambien-

tal con experiencia. Con la información disponible y completa, se puede establecer tiempos estimados de trabajo⁵ como los presentados en el **cuadro 3.2** del anexo. El tiempo requerido para completarla depende de varios factores, incluyendo:

- * Experiencia del Auditor
- * Tamaño físico de la planta
- * Complejidad de las operaciones dentro de la planta
- * Disponibilidad y totalidad de los datos
- * Profundidad del análisis de los datos disponibles
- * Conciencia de los asuntos ambientales dentro de la planta

3.1.2 INSTRUMENTACION

Ayuda al Auditor a la recolección de datos y se detallan en el **cuadro 3.3**. Básicamente la tarea será de medir y comprobar tramos y diámetros de tuberías sin aislamiento, asimismo de inspeccionar lugares de difícil acceso, en los que muchas veces se dan las oportunidades de ahorro.

3.2 IDENTIFICACION DEL PROCESO Y DATOS REQUERIDOS

Normalmente incluiremos todo lo que tenga que ver con el uso de recursos y energía en la planta y sus diferentes tipos, generalmente se refiere a:

- * Consumo de recursos en todas sus formas en la planta

⁵ Basado en las medidas del Censo de Conservación y Racionalización de la Energía en la Industria, Sri Lanka, 1984

- * Costo de recursos y energía y tarifa predominante
- * Horarios de operación de la planta
- * Producto o función de la planta
- * Propiedades físicas de la planta
- * Localización de la planta
- * Equipos consumidores de energía en la planta, incluyendo sistemas de producción y medio/ambiente

Y el auditor deberá informarse sobre el criterio de toma de decisiones en la planta para elaborar un plan de acción realista.

3.2.1 FORMULACION DE DATOS

Esta parte nos servirá mucho al hacer los balances preliminares de materiales y energía que nos pueden ayudar a identificar faltantes en los datos y determinar muestreos requeridos. Para investigar sobre consumo y costo de energía, incluyendo tarifas, tenemos los formularios de los cuadros 3.4 a 3.11. Datos sobre producción, condiciones climáticas predominantes, se obtendrán con los formularios de los cuadros 3.12 y 3.13. Datos sobre equipos consumidores de energía pueden obtenerse de los formularios de los cuadros 3.14 a 3.20.

Formularios de los cuadros 3.21 a 3.30 nos sirven para darnos una idea de prevención de la contaminación de los procesos. Asimismo, estos formularios⁶ nos ilustran de cómo el personal de una planta puede aplicar las medidas de prevención de la contaminación anteriores para una industria específica. Estos

⁶ Hojas Stándar empleadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y el Programa de Conservación de Energía Industrial

formularios no muestran la interacción entre los sistemas que utilizan energía. El auditor ambiental desarrollará diagramas de proceso de materia prima/energía así como de la composición de las corrientes de circulación entrando y saliendo del sistema. Ejemplo de este diagrama tenemos en la **figura 3.1**. Al final de este paso se tendrá información importante sobre:

- * Razón de flujo de energía/materia prima
- * Propiedades físicas de las corrientes de circulación de energía/materia prima entrando y saliendo del sistema
- * Condiciones de operación de sistema, horas operativas, etc
- * Cambios de estado energía/materia prima que puedan ocurrir
- * Metas de operación deseadas
- * Condiciones de operación ideales, de conocerse.

3.3 REUNION DE DATOS

Implica la familiarización del auditor con la operación y organización de la planta, se logra por reuniones y conversaciones con la gente de la misma. Mediante este contacto el auditor podrá identificar las personas con las que tratará durante su labor.

3.3.1 ENTREVISTAS

Hay varias personas a las que el auditor hará una serie de preguntas⁷ para asegurarse de obtener un cuadro completo de los asuntos relacionados a la energía y ambiente dentro de la organización. Estas personas son:

⁷ Elaboradas en base a la guía de la Agencia de Protección Ambiental y el Programa de Conservación de la Energía Industrial, EEUU, 1989

El **Administrador más Antiguo** nos informará sobre:

- * La actitud de la compañía a la administración de recursos
- * Existencia de un programa interno de su administración
- * Criterios de toma de decisiones en desembolsos de capital para proyectos de mejoras de la productividad

El **Coordinador de Recursos**, de existir, informará sobre:

- * Estructuración del programa interno de administración de recursos y energía, incluyendo:
 - posición del administrador en la organización de planta
 - metas y estado del programa de administración de recursos
 - trabajo culminado a fecha por programa de administración de recursos con regulaciones y procedimientos de informe
 - si se ha realizado una AAP y si así es, cuándo
 - si existe base de datos de administración de recursos
 - si existe un plan de acción de conservación
 - oportunidades de conservación identificadas e implantadas
 - si se ha realizado una auditoría completa y cuándo
 - oportunidades de conservación no implantadas por estudios insuficiente, falta de interés, capital, recursos de tiempo o humanos para implantar medidas y viabilidad económica no existente
 - si existen procedimientos adecuados de regulación
 - si el administrador emplea recursos internos y externos
 - qué acciones subsiguientes son tomadas para mantener y mejorar la eficiencia e identificar nuevas oportunidades
 - composición y cantidades de corrientes de desechos y

emisiones generadas en la planta

- proceso de producción o tratamiento que las origina
 - qué desechos-emisiones salen de regulaciones ambientales
 - materia prima y materiales de entrada o procesos de producción que generan estas corrientes
 - cuánta materia prima se encuentra en cada corriente
 - cuánto material se pierde como emisiones volátiles
 - eficiencia del proceso de producción y diferentes pasos
 - prácticas internas de la compañía para limitar generación
 - controles aplicados para mejorar eficiencia de procesos
- * Información sobre asuntos energéticos, incluyendo:
- trazado físico de planta, plano si está disponible
 - combustibles usados, consumo, tarifas, costos
 - uso de energía en la planta (producción y medio-ambiente)
 - función y horario de operación de la planta
- * Especificaciones de la planta, incluyendo
- tamaño
 - edad de los edificios y equipos
 - nombre y localización de los departamentos que funcionan
 - plan de horas de operación de cada departamento
 - función de cada departamento
 - energía de cada departamento para servicios de producción
 - sistemas de mayor consumo de energía
 - instrumentación instalada, medidores de servicio público
 - regímenes originales de los equipos y cambios hechos como cambios de equipos o incremento de capacidad
 - indicador de producción

- procedimientos para los informes de producción
- capacidad máxima de planta y revalorización de consumo de energía: demanda máxima de KV, factor de carga eléctrica y factor de carga de combustible fósil

El **Ingeniero de Planta** muchas veces actúa como coordinador de recursos. Por encontrarse envuelto en mantenimiento de equipos y operación, puede dar información sobre detalles físicos de planta que el coordinador anterior no brindó; así:

- * Condición de los equipos y cualquier problema de operación
- * Sistemas de control
- * Instrumentación
- * Procedimientos de Mantenimiento

El **Administrador y Personal de Operaciones y Producción** es preferible que esta información se obtenga a dos niveles: nivel de administrador y de operador. Su información llenará los vacíos que nos quedaron anteriormente, así:

- * Especificaciones de materiales antes después del proceso
- * Especificaciones finales del producto
- * Condiciones actuales de operación incluyendo régimen de producción, calidad, presiones y duración del ciclo
- * Condiciones ideales de operación
- * Condiciones óptimas y problemas encontrados para obtenerlas

El **Personal Administrativo** nos proporcionará la última información faltante, normalmente ellos suministran el criterio económico para la toma de decisiones en la planta, esto es importante al momento de evaluar las oportunidades de conservación. Según el tamaño, estructura y complejidad de la planta se determinará el número de personas entrevistadas y el tiempo para hacerlo.

3.3.2 INSPECCION VISUAL Y RECORRIDO DE PLANTA

Sirven para hacer una evaluación objetiva de las condiciones de la planta y los procedimientos de operación y además tener una mejor comprensión del flujo del proceso. Es conveniente que el auditor tenga de antemano diagramas de la instalación y sus departamentos principales, así como de que un funcionario capacitado lo acompañe durante el recorrido. Los pasos a seguir se aprecian en anexo del **cuadro 3.32**. Ayudándose con tablas anteriormente ya presentadas, el auditor reunirá información sobre: Flujo de materia prima en la planta, Departamentos principales, Sistemas de mayor consumo de energía, Instrumentación instalada (incluyendo medidores de servicio público), Procedimientos para informes de producción y operación y Oportunidades de conservación de energía.

El **Flujo de Materia Prima y Energía a través de la Planta** lo podemos bosquejar antes de empezar la inspección visual en el **cuadro 3.33** y localizar las áreas ya señaladas: Material recibido y áreas de almacenamiento, Entrada de energía prima-

ria a la planta (transformador, medidor eléctrico, subestaciones, distribución de voltajes, áreas de almacenaje de combustibles fósiles y sistemas de distribución), Entrada de recursos a la planta (agua, aire, tanques o piscinas de almacenamiento y tanques de pretratamiento), Areas de producción y los tipos de energía, recursos y materiales utilizados, Departamento de bodega y despacho del producto final, Areas de los sistemas de reciclaje de recursos y Areas de acondicionamiento del material de desperdicio.

Los **Departamentos Principales** ya se establecieron y señalaron en el diagrama de la instalación. Los **Sistemas de Mayor Consumo de Energía** pueden analizarse por separado: Procesos de sistemas, tales como secadores, calderos y hornos, Motores grandes, Cubierta del edificio, Iluminación, Ventilación, Calefacción, Enfriamiento, Sistemas de Agua (distribución de vapor y condensado), Sistemas de distribución (aire comprimido y fluidos térmicos).

Durante la inspección, se consultará a la gente relacionada con cada departamento para obtener información sobre mejoras y problemas potenciales de operación. Para cada sistema el auditor ambiental debe inspeccionar:

- * Datos de placa del fabricante
- * Apariencia física
- * Instrumentación

- * Sistemas de Control
- * Condiciones de operación
- * Estructura externa
- * Estructura interna, si es posible

Se verificará la operación correcta de la **Instrumentación** instalada y se determinará los flujos relativos, presiones y temperaturas de los ciclos, todos los medidores de servicio público. De no disponer de algún dato de consumo específico, se le consultará a la persona que le acompaña estimando su importancia. Cuando hay instrumentación instalada para medir consumo de energía, ya hay dentro de la planta un **procedimiento para realizar las lecturas.**

Se revisará **informes de producción y sus procedimientos**, bitácoras de los procesos de mayor volumen para examinarlos y analizarlos. Se observarán áreas obvias para **Oportunidades de Conservación**⁸ y mejorar el uso eficiente de recursos, típicamente en una AAP tendremos como ejemplo:

- * Superficies calientes descubiertas o mal aisladas
- * Fugas de vapor, agua u otros fluidos térmicos
- * Equipo operando innecesariamente
- * Aberturas en la estructura del edificio
- * Sistemas de control mal calibrados o en mal funcionamiento
- * Sistemas de iluminación de uso innecesario
- * Desfase del horario de operación y el de producción

⁸ Oportunidades Obvias de Conservación, Guía de la Prevención de la Contaminación Ambiental, EEUU 1990

3.4 ANALISIS DE DATOS

En este punto nos encargaremos de:

- * Desarrollar y evaluar base de datos de consumo de recursos
- * Preparar índices de consumo de energía y considerarlo a la luz de otros factores como producción y condiciones ambientales
- * Estimar el potencial de conservación ambiental y de energía
- * Revisar programa de administración de recursos de la planta

3.4.1 DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS

Debe ser tan completa y exacta como sea posible, sin embargo se perfeccionará a lo largo del desarrollo de la auditoría. Los puntos importantes que se incluirán en el desarrollo de la base de datos en la administración de recursos son: Historial de datos de consumo-costo de todo recurso suministrado en un período de tiempo y de producción (relativo al mismo período que el de los recursos), Diagrama de flujo de procesos e Inventario de equipos consumidores de energía.

El **Historial de Datos los Recursos suministrados** reunirá todas las formas utilizadas sobre una base periódica, que generalmente es un mes o el período de factura de energía de la compañía de servicio público. Los datos sobre consumo y costo de la energía y recursos deben ser llevados a las mismas unidades, lo cual puede ser hecho usando formularios como los presentados anteriormente. Si los proveedores de energía no

facturan todos el mismo día, la planta tomará sus propias lecturas de los medidores para que todos los datos comprendan el mismo período de tiempo, motivando una normalización de la hora y método en la toma de estos datos.

El **Historial de Datos de Producción e Información Relacionada** determinará cómo son usados la energía y recursos en la planta. Para esto se reunirán registros de producción para el mismo período que el anterior. Puede obtenerse los datos de dos fuentes: registros de producción de la planta, horarios de operación, etc. El **Diagrama de Flujo de Procesos** señalará tamaño físico, instrumentación y capacidades, fechas y condiciones de operación al momento de la inspección, regímenes de flujo de materiales y recursos si son conocidos; señalarlas si se pudiera determinar condiciones ideales. El **Inventario de Equipos Consumidores de Energía** según el tipo de energía que consumen. Se comparará el valor teórico con el actual obtenido de la base de datos de consumo.

3.4.2 EVALUACION DE DATOS

Permitirá sacar conclusiones y hacer recomendaciones para mejorar la eficiencia del uso de la energía. Se puede determinar en cuanto a los recursos: su uso (consumo, costo y horarios), Indices de consumo, Operaciones de la Planta, su potencial de ahorro y su programa de administración. El **Uso y Relación con Otros Factores** indica el valor relativo de ahorros de cada tipo de recurso y combustible y nos indica cuál

de ellos es la fuente principal de energía. La segunda evaluación es para analizar las tarifas existentes bajo las cuales cada tipo de combustible y recurso es adquirido. Algunos métodos de costo usados en las tarifas que se describen para ciertas fuentes: Electricidad, Petróleo, Combustibles Gaseosos y Agua.

La **electricidad** suele ser la más cara de las energías compradas pues requiere grandes capitales de inversión y gastos considerables de operación. Se factura normalmente sobre la base de demanda máxima, factor de potencia y energía consumida. El cobro por *demanda máxima* está basado en el consumo más alto mantenido en un período de tiempo dado. La demanda es generalmente medida en términos de kilovatios (KV) o kilovoltios amperios (KVA). La imposición es generalmente de costos por unidad de demanda. Si el *factor de potencia*, la razón entre la energía eléctrica aprovechada y la cantidad de energía eléctrica que debe ser suministrada al cliente, cae bajo cierto nivel, se imponen cobros por factor de potencia. Los *cobros por consumo* están basados en la cantidad de electricidad consumida en términos de kilovatios-hora. Generalmente se estiman sobre una cantidad base, con una reducción en la cantidad gravada para consumos mayores de la base establecida. Las escalas de cobros difieren dependiendo del tipo y tamaño de la instalación, así, instalaciones comerciales e industriales son generalmente gravadas por diferentes cantidades para demanda y consumo.

El **Petróleo** es generalmente adquirido según su grado y cantidad, petróleos más livianos generalmente cuestan más que las fraccionadas más pesadas, y petróleo de bajo contenido de azufre cuesta más que aquél con elevado contenido, veremos el costo del petróleo según cantidad entregada y consumida.

Los **Combustibles Gaseosos** se compran según la entrega hecha a la instalación, siendo el método más común el de tubería, pero también se hace la entrega en camiones que llevan el combustible gaseoso como líquido a presión. Cuando la entrega es por tubería, se emplea la tarifa tope como en el consumo eléctrico y se exige también un cobro administrativo o los cobros son basados en un régimen de consumo predeterminado y cualquier reducción o exceso en el consumo es cobrado a una tarifa más elevada.

Para calcular los beneficios en costo del ahorro de energía debe calcularse el costo marginal de cada fuente de energía (combustible). El costo de demanda marginal es el costo del último kilovatio o kilovoltio-amperio de demanda requerida. El costo marginal del petróleo es el costo del último galón o litro de petróleo consumido. El costo marginal de gas es el costo de la última unidad de gas consumida más cualquier cobro por ajuste de combustible. Es generalmente menor que el costo de la energía obtenido dividiendo el total del consumo para el costo total, debido a que no toma en cuenta los costos fijos y se desarrollan a partir de la información de

las tarifas reinantes durante la AAP.

El **Agua** es normalmente utilizada como medio de enfriamiento o para, convertida en vapor, suministrar movimiento transformado a energía. Puede ser obtenida del servicio público por tuberías, siendo en este caso facturada por consumo en volumen, por camiones tanqueros que cobran también un valor volumétrico o de fuentes naturales sin tratamiento previo el cual se le dará de ser necesario en la planta y en este caso no tiene costo económico el consumo.

Normas o Indices de Consumo de Energía

Se usan para determinar la eficiencia energética de las operaciones y, subsecuentemente, el potencial de conservación de energía. Las normas son números que han sido desarrollados como indicadores de eficiencia energética. Ya que plantas y equipos no pueden funcionar siempre de la misma forma, se verá afectado el consumo de energía, es por esto que las normas son desarrolladas con procedimientos confiables de regulación y medición. Las normas pueden ser desarrolladas a nivel de macro (planta) como de micro (equipo). Normas para niveles de macro son generalmente los índices de consumo específico de energía y para niveles de micro son equipos operando individualmente. Ahora veremos índices típicos para instalaciones industriales y como desarrollarlos y sus normas⁹, así como la base de datos para modelar plantas y sistemas de operación característicos.

⁹ Basados en el Manual del Programa de Conservación de Energía Industrial, EEUU, 1984

Normas o Índices Energéticos Típicos

Se toma un punto de referencia como guía de la manera como se esta desarrollando un sistema, este puede ser la norma o índice energético, nos dirá de las posibilidades de conservación. El índice más común es el de consumo de energía por m² de piso acondicionado, en algunos casos como hoteles y hospitales puede hacerse por huésped o paciente. En la actualidad se esta usando índices donde el uso de energía es evaluado con variables específicas que afectan al consumo como: Datos de grado-día para instalaciones con espacios acondicionados, Horas y temperaturas de operación de equipos principales y Materia prima utilizada en los productos.

Para el **Desarrollo del Macro-Índice**, los pasos a seguir son: Desarrollo de la base de datos de energía, Selección del indicador apropiado, Prueba del Indicador e Implantación del sistema de regulación usando el índice. En el *desarrollo de la base de datos de energía* la información se obtiene de la factura de la compañía de servicio público y se le puede incorporar datos sobre producción, horarios de operación, datos de grado-día y otros factores que pueden impactar en la utilización de energía. El historial de estos datos debe ser para un período no menor a 12 meses.

Analizada ya la base de datos, *seleccionamos el indicador apropiado* para el consumo de energía, comparando el consumo con variables que impactan significativamente sobre su uso

como son producción, horarios de operación, factores de carga de planta, capacidad de utilización, grado-día, etc. Con el fin de definir si existen tendencias importantes, puede graficarse geográficamente las relaciones de las variables escogidas y el consumo de energía. Pueden usarse también métodos estadísticos para determinar si existe una relación lineal o de otro tipo, entre el consumo y las variables analizadas.

Para el **Desarrollo del Micro-Índice** se demuestran eficiencias energéticas de equipos por separado, pasos para su desarrollo son: Reunir datos de rendimiento, Hacer balances de energía y calcular la eficiencia, Seleccionar el indicador apropiado, Probarlo e Implantar el sistema de regulación. La diferencia entre macro y microíndices se da en los dos primeros pasos. Debe tratarse de tener medidores de energía en los equipos de mayor consumo de energía para poder elaborar correctamente los índices, de no haberlos se harán pruebas de eficiencia energética por equipo según los procedimientos establecidos por la ASME y Normas Británicas.

Luego de las pruebas se hacen los balances de energía y eficiencia, la que puede ser usada como índice, se desarrollan simultáneamente otros índices de consumos específicos de energía. Para seleccionar el índice apropiado tomaremos en cuenta la facilidad de hacer y repetir las pruebas y la exactitud que brinde, haciendo un balance de estos factores. Uno de los principales **problemas asociados a este índice**, es la

incapacidad de diferenciar entre los factores relacionados al consumo de energía en la planta, que pueden ser internos (ocurren por la operación de la planta) o externos (escapan del control de las operaciones de la planta).

Estos factores pueden estar *implícitos* en el índice energético de consumo de energía por unidad de producto, por tanto es importante determinar y cuantificar los factores *explícitos* que afectan el rendimiento energético de la planta. Un **problema adicional de este índice energético** es que no nos permite comparar la eficiencia energética y el rendimiento de la planta o procesos de fabricación de diferentes productos de manera diferente.

Operaciones de la Planta

Los índices de consumo energético indican cómo varía el uso de la energía en un cierto período, al desviarse estos del valor medio, puede haber oportunidades de mejoras en el consumo de energía, aunque esta desviación no esté directamente relacionada con la operación de la planta, para esto se hace la inspección visual. Aunque los signos de mala operación sean obvios, puede ser difícil implantar medidas para mejorar las operaciones. Así, las plantas pueden ser mal operadas y mantenidas por: Falta de Capital y de una hábil administración, operaciones y personal de mantenimiento, Ausencia de un programa de mantenimiento, Procedimientos operacionales no establecidos, Falta de interés por parte de la administra-

ción y empleados en general.

Si este es el caso, es probable que no hayan buenos registros disponibles para determinar las condiciones de operación; en este caso el auditor deberá hablar con más de un miembro de la planta para saber si todos operan de la misma forma.

Potencial de Ahorro de Energía

El potencial de ahorro se estimará con mayor frecuencia en porcentajes. La estimación del mismo depende de lo encontrado en la AAP y la experiencia del auditor, que tratará de identificar las formas generales de ahorro de energía, como son: Limpieza de equipos (potencial variable), Interrupción de operación de equipos al no requerirse su funcionamiento, Cambio de horarios de operación (potencial variable), Ajuste de controles mal calibrados (variable), Reparación de controles en mal funcionamiento (variable), Reemplazo de aislamiento dañado o perdido (hasta un 90%) y Mejora de la eficiencia de la combustión (1% al 3%).

En general, una AAP permite identificar potenciales de ahorro de un 5% a 10% del consumo global de energía en instalaciones mal mantenidas y oportunidades de conservación que se analizarán mejor en la auditoría detallada, tales como: Mejora de controles de la combustión, Recuperación de calor de corrientes de gases de salida, Reemplazo de los principales equipos consumidores de energía, Corrección del factor de potencia.

3.5 DESARROLLO DEL PLAN DE ACCION

Se preparará un informe que contenga los hallazgos y conclusiones de la AAP. El punto fuerte del informe debe ser el plan de acción sobre el cual, se fundamentará el programa de conservación. Este plan incluirá, por lo menos:

- * Oportunidades de conservación de implantación inmediata
- * Proyectos para estudios futuros
- * Recomendaciones para la auditoría ambiental detallada (sistemas a ser probados, instrumentación, recurso humano, estructuración del tiempo y costo)
- * Ajuste del programa de administración de recursos existente

DESARROLLO DE UNA AUDITORIA AMBIENTAL DETALLADA

4.1 ESTUDIO DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE AIRE, AGUA Y SUELO

4.1.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

1. Identificar tipos y magnitudes de fuentes de desechos y contaminación en el área usando la lista de industrias del Cuadro 4.1 como guía¹⁰. Luego, localización de fuentes de desecho y contaminación en relación a los principales centros de población, extensión del sistema de alcantarillado y la localización de las descargas residuales.
2. Se averigua cuáles son los datos requeridos, buscando los factores desecho-contaminación (cantidad de contaminante) en los cuadros de trabajo para las fuentes de desechos y contaminación respectivamente, identificadas en el área de estudio. Dichos factores se usan para calcular las cargas de desechos y contaminación respectivamente, e indican la naturaleza de los datos requeridos.
3. Determinar qué dependencias gubernamentales u otras fuentes tienen datos para completar cuadros de trabajo.
4. Comprobar datos recolectados de cada una de las fuentes y verificar en los posible su exactitud. Señale datos de exactitud cuestionable. Si se hacen suposiciones para completar los datos, éstas deben indicarse claramente.
5. Transformar, si es necesario, las unidades de los datos

¹⁰ Basados en la Guía para Evaluación Rápida de la Contaminación, de la Organización Mundial de la Salud

recolectados a las apropiadas para los cuadros de trabajo.

Siguiendo los pasos descritos anteriormente, puede obtenerse un sumario integral de las fuentes importantes de contaminación en el área de estudio y una medida de su actividad en unidades que permitan el cálculo de las cargas de desechos y contaminación.

4.1.2 CÁLCULO DE LAS CARGAS DE DESECHOS Y CONTAMINACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL DE LOS DESECHOS Y CONTAMINACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Pueden ser calculadas con los pasos a continuación:

1. Escribir datos recolectados de producción y desechos industriales en los cuadros de trabajo apropiados
2. Para cada proceso/fuente, encontrar factores¹¹ de desechos o contaminación en columnas siguientes a los cuadros
3. Multiplicar cada cantidad de producción o de desechos por el factor correspondiente y anotar la carga así calculada en el espacio apropiado
4. Concentrar cargas calculadas en cuadros sumarios al final de cada cuadro de trabajo, para obtener imagen general de la contaminación total en el área de estudio.

4.1.3 ACTIVIDADES GENERADORAS DE DESECHOS Y CONTAMINACIÓN Y FACTORES DE CARGA RESPECTIVOS

Nuestro objetivo es destacar las fuentes de contaminación del

¹¹ Proporcionados en los anexos y tomados de las Guías de Evaluación rápida de la Contaminación de la OMS

aire, agua y suelo en zonas industriales.

Fuentes de Desechos y Contaminación Industrial.— Mientras que todas las actividades industriales producen desechos y algo de contaminación, pocas industrias son responsables de la mayor parte de las cargas de desechos y la contaminación generadas en un área determinada. La selección cuidadosa de las principales industrias altamente productoras de desechos y contaminación, puede simplificar grandemente la preparación de esta auditoría, al tiempo que considera además, la mayor parte de los desechos y contaminación producidos. Se hizo una lista (**Cuadro 4.1**) de fuentes industriales y procesos considerados para la mayor parte de la contaminación industrial y las cargas de desechos en casi cualquier área de estudio.

Factores para emisiones al aire provenientes de la quema de combustibles, procesos industriales y disposición de desechos sólidos.— Los factores de carga de las emisiones atmosféricas están enlistados en el **Cuadro 4.2** para fuentes estacionarias de combustión común, procesos industriales y operaciones de disposición de desechos sólidos. La mayoría de las industrias emiten contaminantes tanto de quema de combustibles como de los procesos de producción industrial. Las emisiones por combustión se calculan separadamente de las emisiones debidas a la producción industrial. Los factores en el **Cuadro 4.3**, se refieren a los procesos de producción industrial y excluyen emisiones de quema de combustibles.

Factores para efluentes industriales.— El Cuadro 4.4 proporciona factores carga de desechos y contaminación para efluentes industriales de la mayoría de los procesos industriales enlistados en el Cuadro 4.1. Estos factores están basados en datos publicados por varios países, principalmente los EE.UU.

Factores para desechos sólidos industriales.— Consideremos tres principales categorías de fuentes de desechos sólidos: de procesos industriales, de efluentes líquidos y del tratamiento de emisiones a la atmósfera. Entre las industrias enlistadas en el Cuadro 4.1, aquellas con mayor cantidad de desechos sólidos de procesos están enlistadas en el Cuadro 4.5 junto con los factores de carga; los residuos se caracterizan de acuerdo a su naturaleza.

Debe obtenerse información adicional con relación a los posibles métodos de reuso o disposición de los principales residuos. Las industrias que tratan sus propios efluentes, generalmente generan desechos sólidos, sobre todo en forma de lodos. En países en desarrollo, muchas industrias no tienen sistemas de tratamiento de desechos líquidos. El Cuadro 4.5 proporciona factores de desechos sólidos para industrias seleccionadas e incluye factores para desechos sólidos producidos por el tratamiento de efluentes.

Factores de desechos sólidos para industrias con equipo de control de emisiones, se dan en el Cuadro 4.5, permitiendo

la evaluación de la cantidad de desechos sólidos en función de los sistemas de control usados. El tipo de sistema de control deberá documentarse como parte del inventario de contaminación de aire. Existen dos tipos principales de los sistemas de control de la contaminación del aire: (1) aquéllos que operan sin agua (ciclones secos, filtro de bolsa, precipitadores electrostáticos, etc.) y generan directamente desechos sólidos en forma seca; y (2) aquéllos que usan agua (lavadores, torres de aspersion, etc.) y generan desechos líquidos. En el segundo caso, las cargas de residuos se calculan en términos de desechos sólidos (lodos) obtenidos del tratamiento posterior del efluente.

Los factores de carga de desechos dados en el **Cuadro 4.5**, son calculados asumiendo que siempre que se usa agua en el equipo de control de la contaminación de aire, el efluente resultante se trata con el objeto de remover sólidos suspendidos. En algunos otros casos, los desechos pueden utilizarse para propósitos tales como el uso de la ceniza de las plantas termoeléctricas en la pavimentación de caminos. Obviamente, tales reusos de desechos sólidos pueden ser identificados, pues efectivamente eliminan parte del problema de residuos sólidos.

4.1.4 AUDITORIA AMBIENTAL DETALLADA DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y DESECHOS

Descripción del método

El siguiente paso consiste en completar los cuadros de traba-

jo en blanco (Cuadro 4.6, 4.7 y 4.8). Los cuadros de trabajo proporcionan una clasificación concisa de todas las actividades mayores causantes de contaminación y productoras de desechos y enlista los factores de carga de desechos y contaminación. Incluyen columnas para anotar los datos requeridos y las cargas calculadas.

Para la mayoría de las industrias los datos requeridos se expresan en términos de toneladas de producto obtenido; normalmente estos datos son los que se obtienen con más facilidad y los más exactos. Mientras que los factores que se dan en los cuadros pueden no ser muy precisos a nivel de industrias individuales, generalmente proporcionan cargas de desechos y contaminación suficientemente exactas en regiones donde hay muchas industrias similares y donde los promedios de producción son estadísticamente válidos.

Cuadro de trabajo para cálculo de cargas de contaminación del aire provenientes de fuentes de combustión estacionarias.- Factores de emisión para combustión estacionaria de diversos tipos de combustibles se dan en el Cuadro 4.2. Los hornos de combustión han sido clasificados en tres categorías de tamaño: hornos de plantas generadoras (grandes); hornos industriales y comerciales (medianos) y hornos domésticos pequeños, con el objeto de tomar en consideración algunas diferencias en las cargas de emisión normalizadas. Es más fácil, sin embargo, estimar como se divide el consumo de combustible re-

manente entre los de uso industrial y doméstico. Los puntos mencionados anteriormente pueden aclararse antes de que se hagan los cálculos de carga de contaminación y, siempre que sea necesario debe buscarse información suplementaria.

Cuadro de trabajo para cálculo de cargas de la contaminación del aire provenientes de fuentes industriales.— El Cuadro 4.3 enlista los factores de carga promedio de las emisiones a la atmósfera para procesos industriales encontrados comúnmente en áreas urbanas o zonas rurales. Las medidas de control de la contaminación del aire están asociadas con eficiencias de producción considerablemente mayores para algunos tipos importantes de industrias.

La información referente a los tipos de equipo de control en las principales plantas industriales en área de estudio dada, debe ser fácilmente obtenible debido a que, generalmente, hay muy pocas de estas plantas a considerar. A las industrias más pequeñas dentro de las ciudades debe requerirseles que tengan algún tipo de colector de polvos, para el control de la contaminación del aire; sin embargo, los factores proporcionados en el Cuadro 4.2 para tales fuentes de combustión, están basados en la suposición de que tales equipos para vez funcionan con óptima eficiencia.

Cuadro de trabajo para cálculo de cargas de contaminación del aire provenientes de la disposición de desechos sólidos.— El

Cuadro 4.9 resume los factores de emisión al aire para procesos comunes de disposición de desechos sólidos. La información requerida para llenar este cuadro incluye: cantidades de desechos sólidos procesados, tipo de combustión utilizada y si se están tomando o no medidas para el control de la contaminación del aire.

Cuadro de trabajo para el cálculo de cargas de contaminación provenientes de efluentes industriales.— El **Cuadro 4.4** es una recopilación de procesos industriales que producen efluentes y enlista los factores de carga de contaminación. Los factores de desecho y contaminación para la mayoría de las industrias están basados en la suposición de que no existen sistemas de tratamiento de efluentes.

Comparando los **Cuadros 4.4** y **4.10**, puede notarse que para ciertas industrias, tales como tenerías y fábricas textiles, el primer cuadro incluye solamente factores simplificados o promediados, requiriéndose menos información acerca del proceso usado. Los factores del **Cuadro 4.4** se basan en la contaminación promedio proveniente de varios procesos dentro de la misma industria, uno puede esperar aún resultados confiables si varias plantas similares están en operación en el área de estudio. Es necesario contar con información adicional sobre la localización de las principales industrias o áreas industriales y sobre los cuerpos de agua que reciben las descargas industriales, para poder evaluar los posibles efec-

tos de la contaminación de dichos efluentes en la salud y para valorar el impacto ambiental de los efluentes sobre los cuerpos de agua receptores.

Cuadro de trabajo para cálculo de cargas de desechos sólidos industriales.— El Cuadro 4.5 es para desechos sólidos industriales. Proporciona factores de desechos sólidos para diversos procesos industriales junto con la naturaleza de los desechos producidos. También incluye factores para desechos sólidos producidos por sistemas de control de contaminación del aire o por el tratamiento de efluentes industriales. Los datos de producción industrial recolectados para completar los Cuadros 4.3 y 4.4 pueden ser usados para el Cuadro 4.5.

La información adicional requerida en el caso de desechos sólidos industriales es la proporción de los principales desechos industriales reciclados o utilizados como materia prima para otros procesos industriales y disposición de los desechos sólidos que no se usan. Con esta información y en las cargas de desechos calculadas, se debe intentar evaluar posibles efectos en la salud de desechos sólidos industriales. Desechos sólidos industriales pueden causar también problemas de contaminación del agua, aire y suelo.

4.2 ESTUDIO ENERGETICO DETALLADO

Se da los pasos a seguir en una Auditoría Detallada, aplicándola

para probar y evaluar 5 sistemas consumidores de energía:

- * Calderos /
- * Sistemas de vapor
- * Secadores
- * Hornos
- * Sistemas eléctricos

Para cada tipo de los sistemas arriba mencionados se presentan los requerimientos de instrumentación, las oportunidades típicas de conservación, así como los métodos para estimar los ahorros.

4.2.1 AUDITORIA ENERGETICA DETALLADA DE CALDEROS

Aproximadamente un 50% de la energía térmica usada en la industria es usada por plantas que utilizan calderos. Los procedimientos para probar y evaluar calderos e identificar oportunidades de conservación¹² se dan en el cuadro 4.11.

Auditoría Preliminar

La AAP se utiliza para recoger datos a través de entrevistas con personal clave y por inspección visual. La información incluye datos de placa del caldero así como detalles operacionales incluyendo tales como los combustibles utilizados, y presiones y temperaturas de operación del caldero.

Datos de Placa del Caldero, (cuadro 4.12) incluyen ubicación y detalles operacionales del caldero y del quemador, y otras

¹² Basados en el Manual del Programa de Conservación de Energía Industrial, EEUU, 1984

características adicionales, como: combustible usado, medio de transmisión y tipos de control. Esta información puede ser recogida a través de entrevistas y luego confirmada a través de inspecciones visuales, o pueden ser determinadas solamente por inspecciones visuales. Deberán chequearse los sistemas auxiliares relacionados con los calderos, tales como: Caldero y quemador, Sistema de agua, Sistema de suministro de combustible, Distribución del medio de transferencia Térmica y Sistemas de instrumentación (equipos).

En el **cuadro 4.13** se detallan los puntos que deberán chequear. El auditor podrá obtener información adicional si revisa el cuaderno de registros del caldero e información de tratamiento del agua. En el **cuadro 4.14** se presentan los tipos de información que deberá recolectarse. Si el auditor estuviera en duda sobre si probar un caldero o no, deberá en cuenta la fecha desde que se efectuó la última prueba de eficiencia, el equipo instalado y las condiciones de trabajo del caldero. Los criterios para llevar a cabo las pruebas se presentan en el **cuadro 4.15**. Si fuera necesario efectuar pruebas, el auditor deberá identificar la ubicación de los puntos de prueba y decidir los tipos de prueba que deberán efectuarse (prueba de puesta en operación completa, de eficiencia y su determinación por el método de las pérdidas y de combustión sola), así como la instrumentación que se requerirá. El equipo requerido para efectuar una prueba de eficiencia por el método de las pérdidas se detalla en el **cuadro 4.16**.

El auditor, a través de la AEP, puede haber identificado oportunidades de conservación que pueden implementarse inmediatamente y las que requieren de estudios adicionales. Las primeras son las relacionadas con la operación de la planta o procedimientos de mantenimiento y no requieren la inversión de mucho capital. El período de retorno del capital invertido es menor al año. Las técnicas para determinar los ahorros que se lograrían con algunas de estas medidas se presentan en los cuadros que se indican a continuación :

CUADRO NUMERO	MEDIDA
4.17	Instalación de aislamiento térmico.
4.18	Eliminación de la práctica de operar a presión los calderos de reserva.
4.19	Reducción de las purgas de fondo.
4.20	Reducción de la presión de operación de los calderos.

Se puede ahorrar energía si se redujeran la horas de operación de la planta.

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de energía} &= (\text{hrs.de operación innecesarias}) (\text{consumo} \\ &\quad \text{horario en GJ/hr}) \\ &= \text{GJ/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro en costo} &= (\text{GJ/año})(\$/\text{GJ}) \\ &= \$/\text{año} \end{aligned}$$

Al finalizar la auditoría preliminar se podrá preparar un plan de acción a seguir en el desarrollo de la auditoría detallada del caldero. Dicho plan se centrará en una prueba de

eficiencia del caldero y en las medidas de ahorro energético.

Auditoría Detallada

Una vez completada la AEP del caldero, el auditor puede efectuar, si fuera necesario, la auditoría ambiental detallada del mismo. Si el caldero opera a una eficiencia elevada, esto es superior al 80%, el auditor no tendría necesidad de probarlo. En el curso de la auditoría el auditor medirá la eficiencia del caldero y probará otros factores de operación del mismo para detectar oportunidades de reducción de consumo de energía y de reducción de costos de operación.

Antes de medir la eficiencia del caldero, el auditor deberá completar ciertos trabajos preliminares como la recalibración de todo el equipo a usarse, la certificación de accesibilidad de todos los puntos de toma de datos y la selección de fecha apropiada para efectuar la prueba. Durante sus mediciones el auditor sigue un procedimiento en el cual se determinan las pérdidas totales en relación al suministro de combustible. Los puntos típicos para mediciones en calderos se dan en el **cuadro 4.21**.

La eficiencia de operación de un caldero depende de la carga térmica que se le imponga. Para determinar la eficiencia de combustión de manera precisa, el auditor deberá probar el caldero a través de un rango normal de condiciones de operación. El caldero deberá probarse por lo menos, a régimen ba-

Medición de Temperatura. Es para determinar la "temperatura meta de la chimenea" que es la diferencia entre temperatura de los gases de combustión y temperatura de entrada del aire de combustión. Se puede usar cualquier instrumento apropiado para medición de temperatura. Se recomienda un *termómetro mercurio* para determinar la temperatura de entrada del aire de combustión, mientras que para determinar la temperatura

- * Temperatura del aire de entrada (proceso de combustión)
- * Temperatura de los gases de combustión
- * Composición de los gases de combustión (CO₂, O₂ y CO)
- * Hogar y tiro de la chimenea
- * Cantidad de humo en gases de la combustión
- * Cantidad de sólidos disueltos en el agua del caldero

tuas pruebas en un sistema de combustión:

regimen. Se requiere de la siguiente información para efectión, y luego se promediarán los conjuntos de datos para cada usarse para calcular individualmente la eficiencia de combustión. Los datos tomados en cada régimen de operación deberán prueba para cada uno de los regímenes de operación del caldero. Se tomarán tres conjuntos de datos de 15 a 30 minutos, con la carga térmica a mantener durante la toma de datos, por alcanzar una operación estable. Luego se operará el caldero Antes de efectuar la toma de datos se permitirá al caldero jo, medio y alto (20, 30, 40, etc. % de carga máxima).

de los gases de combustión se deberá utilizar un termopar.

La temperatura de entrada del aire de combustión deberá medirse en el punto de ingreso al sistema. Por otro lado, la temperatura de los gases de combustión deberá medirse en un punto lo más cercano posible a la salida de la sección de transferencia de calor del sistema de combustión. En un caldero se recomienda accesibilidad a la chimenea en el punto más cercano a la salida del caldero.

Análisis de los Gases de Combustión.- Deberá efectuarse en el mismo punto donde se mide la temperatura de los gases de salida. Dado que algunas chimeneas pueden presentar "Puntos Muertos" (puntos sin recirculación de gas), el auditor debe usar un medidor de velocidad apropiado para determinar que las muestras de gas correspondan a gases bien mezclados. Se analizarán tres componentes en las gases de combustión: CO₂, CO y O₂. Con una buena mezcla del aire y del combustible se obtiene una combustión perfecta cuando el análisis de los gases de la combustión no presenta CO ni O₂, mientras que por otro lado muestra máxima proporción de CO₂ para combustible y flujo de gases dados. Existen diferentes tipos de instrumentos para analizar los gases de combustión. Dichos instrumentos pueden dividirse en Análisis Químico y Electroquímico.

El **Analizador Fyrite** es un instrumento químico. Se pueden utilizar *instrumentos electroquímico (computadores de combus-*

ción) para medir la eficiencia de combustión. En comparación con los Fyrite, los instrumentos electroquímicos son menos flexibles, puesto que no son portátiles, necesitan en ciertos casos de corriente eléctrica, no son tan resistentes y son bastantes más caros. Estos instrumentos incorporan funciones de medición de temperatura y análisis de gas, y establecen directamente la eficiencia de combustión. Poseen un microprocesador incorporado y pueden ser ajustados para cualquier tipo de combustible. Medidores electroquímicos son más rápidos y fáciles de manejar que los analizadores químicos y determinan contenidos de O₂, CO, temperatura neta de chimenea, y se calcula contenido de CO₂, % de exceso de aire y eficiencia de la combustión. La bomba incorporada permite además que el instrumento pueda ser usado para pruebas de humo.

Mediciones de Tiro.— El tiro indica la presión de operación del sistema de combustión, determina la rapidez con la que los gases de combustión atraviesan el caldero u horno, así como la cantidad de aire suministrada para combustión. Un tiro excesivo puede aumentar la temperatura de chimenea mientras que un tiro insuficiente puede causar formación de humos debido a un déficit del aire de combustión. El tiro se determina con un instrumento de medición de presión tal como un manómetro o un medidor de tiro. Para usar el *medidor de tiro* inserte la sonda en la sección donde se desea medir el tiro (hogar o chimenea), y tómesese una lectura directa de las escalas del instrumento.

Mediciones de Humo.- La determinación de humos en los gases de combustión puede efectuarse por medio de un equipo de bomba y filtro, o midiendo la opacidad del gas. El método de bomba y filtro se presta bien para mediciones de tipo portátil; el método de obscuración del gas requiere que el instrumento se encuentre montado en base permanente o semipermanente. La escala posee 10 puntos espaciados en pasos fotométricos desde blanco (# 1) hasta negro (# 10).

Análisis de Total de Sólidos Disueltos.- El dato final para completar las pruebas de calderos es la determinación de sólidos disueltos en el agua del caldero. Una concentración elevada indica el potencial de que se presenten problemas en la superficie de transferencia de calor. Un *medidor de conductividad*, o *medidor de total de sólidos disueltos* (TSD) se usa para determinar su concentración en agua de calderos. El medidor establece la resistencia eléctrica de una muestra líquida. La conductividad eléctrica del agua es cero. La presencia de sólidos disueltos aumenta la conductividad.

Para determinar el TSD, tome una muestra de agua de caldero a la salida de purga de fondo. Enjuague la taza de medición varias veces, con parte de esta agua de muestra. llénese entonces la taza con el agua de muestra hasta un punto por encima del electrodo superior. Seleccione la escala apropiada y aprete el botón indicador. El medidor dará una lectura directa de la concentración de sólidos disueltos totales en la

muestra. Se pueden efectuar otras pruebas químicas en el agua del caldero y en el agua de alimentación para determinar las concentraciones de varios iones. Estas pruebas se efectúan como parte del programa para determinar el tratamiento de agua apropiada para la planta del caldero. Al finalizar las pruebas el auditor deberá determinar la eficiencia existente en la planta e identificar oportunidades de conservación.

hacer copia

Determinación de Eficiencia de Calderos.- Calcúlese las varias pérdidas de eficiencia del sistema a continuación:

	Porcentaje del valor Calorífico Superior
1. Efic. térmica global	_____
2. Pérdidas en gases de salida	_____
a. Gases secos	_____
b. Humedad e Hidrógeno	_____
c. Combustión incompleta	_____
3. Diferencia de la contabilidad, incluyendo radiación, purga de fondo y otras pérdidas.	_____
	100 %

Las **pérdidas totales en gases de salida** pueden calcularse utilizando mediciones de gases de combustión. Las pérdidas debidas a gases de salida en base seca y en base húmeda se determinan utilizando los **cuadros 4.22 y 4.23**. A partir del análisis de gases de combustión se puede encontrar el % de exceso de aire de combustión y la temperatura neta de chimenea. La relación entre el CO₂ y O₂ se da en el **cuadro 4.22**, en el **cuadro 4.23** se ilustra la variación del exceso del aire con

relación al oxígeno. La pérdida de calor en gases de salida de caldero puede determinarse en relación a la temperatura neta de la chimenea y el nivel de exceso de aire.

La pérdida en gases de salida como porcentaje del Poder Calorífico Superior es igual a 100 menos el % de eficiencia. En caso que se determine el CO, pérdidas debidas a la presencia de combustibles sin quemar se determina por el **cuadro 4.24**. Las *pérdidas por radiación* pueden estimarse en base a la carga de operación como porcentaje de la *capacidad continua máxima del caldero (CCM)*. Las pérdidas por radiación varían con el recíproco de la carga. El siguiente cuadro presenta pérdidas típicas por radiación para tipos convencionales de calderos en base a capacidad continua máxima (CCM).

TIPO	% DEL CCM
Tubo de fuego, posterior seco	2.0
Tubo de fuego, posterior húmedo	1.5
Tubo de agua, compacto	1.0
Tubo de agua, construido en planta	3.0
Lancashire	5.0
Lancashire, enladrillado	3.5
Caldero vertical	5.0

Las *pérdidas en purga de fondo* pueden determinarse conociendo las condiciones del agua a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de purga de fondo} = (B \times M) / (A - B) = \text{_____} \%$$

A = Máximo total de sólidos disueltos, ppm

B = Total de sólidos disueltos en agua de alimentación, ppm

M = % de agua de reposición (evaporación total - retorno del condensado), expresado como % de la evaporación total

Esta fórmula presupone que se mantiene un nivel constante de sólidos disueltos totales en el caldero. Se puede determinar entonces la *eficiencia global del caldero* sumando todas las pérdidas y restándolas de 100. La eficiencia del caldero se puede utilizar para determinar oportunidades de conservación energética que hagan relación con la planta del caldero.

Identificación de Oportunidades para Reducir los Costos de la Energía. - Se debe examinar también los equipos auxiliares y se debe revisar operación de la planta del caldero. Equipos y aspectos operacionales que deben evaluarse incluyen:

- * Consumo total de combustibles y posibilidad de sustitución
- * Perfil, distribución de carga de caldero, dimensión térmica
- * Requerimientos en presión de vapor
- * Método de tratamiento de agua
- * Oportunidades de recuperación de calor residual, purgas de fondo y precalentamiento del agua de alimentación
- * Sistemas de control de la combustión

Tomando en consideración que el propósito principal de la auditoría detallada es identificar oportunidades para reducir

los costos de la energía, debemos identificar y evaluar dichas oportunidades. Al concluir las pruebas el auditor deberá haber identificado varias oportunidades para reducir costos de energía como: Substitución de combustibles, Mejoras en la distribución de carga del caldero, Mejorar eficiencia de combustión, Recuperación del calor residual de la purga de fondo, Recuperación de calor al precalentar el agua de alimentación, Precalentamiento del aire de combustión, Reducción de requerimientos de calentamiento de almacenaje de combustible y Reemplazo de calderos.

➤ **Substitución de Combustibles**, el mejor momento se presenta al considerar una renovación de los calderos de la planta. Los calderos se usan por periodos de vida extensos (encima de 25 años). Los calderos no operan con la misma eficiencia al cambiar de combustible. Los calderos de fuel-oil son inherentemente más eficientes que los calderos de gas natural o de carbon pulverizado debido a las condiciones y características diferentes de llama y sus efectos sobre la transferencia de calor. Así mismo, las pérdidas de calor por presencia de combustible sin quemar son mayores en los calderos de carbón. Los ahorros por cambio de combustible se determinan de la siguiente manera:

1. CÁLCULO DE APROVECHAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

= (uso actual de combust.)x(eficiencia de combust. actual)

= uso aprovechado de combustible.

2. CÁLCULO DEL APROVECHAMIENTO DEL NUEVO COMBUSTIBLE

$$= (\text{uso provechoso del combust.}) \times (\text{eficiencia con el nuevo combust.})$$

3. CÁLCULO DEL COSTO ACTUAL DEL COMBUSTIBLE

$$= (\text{uso actual del combust.}) \times (\text{costo actual del combustible})$$

$$= \text{Costo anual total del Combustible}$$

4. CÁLCULO DE COSTO DEL NUEVO COMBUSTIBLE

$$= (\text{consumo del nuevo combust.}) \times (\text{costo del nuevo combust.})$$

$$= \text{Costo anual del nuevo combustible.}$$

5. Si el costo anual del nuevo combustible es muy inferior al del combustible actual, se debe completar el estudio de factibilidad del cambio de combustible.

El estudio de factibilidad no debe limitarse a la diferencia en costos de combustible, sino que debe además examinar costos relativos de mantenimiento para los varios combustibles, disponibilidad de combustibles a largo plazo, y factores como destreza de operadores y costos de conservación de equipos.

Las mejoras en la distribución de carga del caldero se hace en instalaciones de calderos múltiples o en las que presenten requerimientos estacionales de capacidad de caldero. A veces, los calderos no se acoplan térmicamente a la carga, dando como resultado un excesivo nivel de pérdidas por radiación. En algunos casos, el problema de la carga podría justificar la instalación de un nuevo caldero. Los ahorros logrados al mejorar la carga del caldero pueden determinarse por medio de las técnicas que se presentan en el cuadro 4.25. El costo de mejorar la distribución de carga del caldero depende de si

se requiere de un nuevo caldero.

Las **mejoras en la eficiencia de combustión** siguen los lineamientos para condiciones aceptables de combustión con dos tipos de quemadores en el **Cuadro 4.26**. El auditor deberá decidir si es que la eficiencia de combustión puede mejorarse afinando los controles de relación aire/combustible, o si se hace necesario incorporar controles de reducción de oxígeno, o reemplazar el quemador. Las técnicas usadas para estimar el ahorro son todas similares; esto incluye el cálculo del cambio en eficiencia como se muestra en el **Cuadro 4.27**. Cuando se piensa en mejoras en la eficiencia de combustión se deberá determinar la eficiencia óptima que podrá lograrse usando los equipos existentes. No deberá tratar de minimizar el exceso de aire a cambio de ocasionar un alto nivel de humos y hollín, condiciones detrimenales para buena transferencia de calor al medio de calentamiento.

Las mejoras que puedan hacerse son difíciles de predecir y dependen del estado del quemador mismo. Es difícil establecer los ahorros potenciales al reparar y recalibrar los instrumentos debido a la incertidumbre con instrumentos fallosos. Sin embargo, es probable que los costos invertidos tengan un período de retorno de la inversión bastante corto. Los ahorros típicos se encuentran en el rango de 0.5 a 2% del suministro energético. Para determinar los ahorros se deberá determinar el uso actual de energía con el instrumento falloso

en operación, así como el uso potencial de energía una vez que se reparen los instrumentos. La diferencia entre los dos niveles de consumo representan los ahorros posibles de energía. Debe notarse que el uso de energía con instrumentos fallosos dependen del error introducido.

La técnica de cálculo de la **Recuperación de Calor Residual en Purga de Fondo** se da en el **cuadro 4.28**. El costo del sistema de recuperación de calor depende del método que se elija. La práctica normal consiste en hacer pasar el agua de la purga de fondo por un recipiente de evaporación instantánea (tanque se "flasheo") donde se forma vapor por evaporación instantánea. Este vapor se usa directamente para calentamiento en el tanque de agua de alimentación, o en el desareador. El agua remanente (no evaporada) de la purga de fondo contiene todavía calor residual, el cual puede ser recuperado pasando el agua a través de un intercambiador de calor para precalentar agua de reposición. Esta última medida se recomienda cuando la planta opera por períodos largos (24 horas diarias, seis días a la semana).

Si no
↓
Para el **Precalentamiento del Agua de Alimentación**, se hace pasar los gases de salida a través de un economizador. Esta medida se recomienda también para plantas que operen por períodos largos. Se puede estimar nivel de ahorros probables de precalentar el agua de alimentación por medio del **cuadro 4.29**. Al evaluar el posible uso de esta medida se debe tener

en cuenta los problemas potenciales de corrosión causados por la presencia de azufre en el combustible, lo cual podría ocurrir en el caso de que al enfriarse los gases, la temperatura de los gases en la chimenea baje a un nivel tal que ocasione la formación de ácido por condensación.

Puede calcularse los ahorros por **Pre calentamiento del Aire de Combustión** por medio del **cuadro 4.30**. Esta medida es recomendable para plantas que operan por elevado número de horas y que presentan relativamente altas temperaturas de gases de salida. El factor limitante lo da generalmente la temperatura de aire de entrada que puede soportar el quemador. Normalmente los quemadores no están equipados para manejar aire a temperaturas superiores a 175 °C sin que se requiera modificaciones importantes.

hasta aquí

En la **Reducción de Requerimientos de Calentamiento para Almacenar el Fuel Oil** se identifican a veces dos medidas correctivas durante una auditoría detallada. La primera es utilizar calentadores de flujo de salida para calentar el combustible que se encuentra cercano al punto de bombeo del tanque de almacenamiento, llevándolo hasta una temperatura justamente suficiente para bombear el combustible hasta la boquilla de atomización del quemador. Se utilizan además calentadores de refuerzo acoplados al quemador para elevar la temperatura del combustible hasta un punto apropiado para una buena atomización. Los ahorros que se logran con esta medida dependen de

la cantidad de combustible que se almacena comparado con la cantidad que se usa, así como de las temperaturas de bombeo y de atomización. Los ahorros se pueden estimar a partir de las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de Energía} &= (\text{masa de combust. almacenado} - \text{combust. usado}) \times (\text{calor específico}) \times (\text{temp. de atomización} - \text{temp. de almacenaje}). \\ &= ((\text{Kg/año})(\text{KJ/Kg/grado-C})(\text{grado-C}))/10^{-6} \\ &= \text{GJ/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro en Costo} &= (\text{GJ/año}) \times (\$/\text{GJ}) \\ &= \$/\text{año} \end{aligned}$$

La segunda medida consiste en aislar térmicamente el tanque de combustible. Se puede determinar los ahorros en base a la diferencias de temperatura entre el tanque y el aire ambiental por medio de la fórmula:

$$H = K A (T_o - T_a) * \text{horas}$$

H = pérdida total promedio de calor anual, vatios/año

K = constante, 8.0 vatios.

A = área del tanque expuesta al aire

T_o = temperatura de almacenamiento del combust., °C.

T_a = promedio anual de la temperatura ambiental, °C.

horas = horas anuales que el comb se mantiene a °t almacen.

Una cobertura de aislamiento de 50 mm. reducirá las pérdidas de calor en aproximadamente 80%, ahorrando entonces 0.8 veces el valor de H (en vatios/año) computado para un tanque de pa-

redes desnudas. El costo del proceso de aislamiento depende del tipo de aislamiento seleccionado y del tipo de trabajo requerido para la instalación. El aislante térmico para tanques debe ser anti-combustible y resistente al clima.

Los ahorros potenciales en el **Reemplazo de Calderos** dependen del cambio que se anticipe a la eficiencia global. Podría ser económicamente atractivo en los siguientes casos :

- * Plantas actuales antiguas e ineficientes
- * Plantas incapaces de usar combustibles alternos más baratos
- * Plantas sobre o sub-dimensionadas para la carga
- * Plantas de diseño no apropiado para condiciones de carga

Un cálculo preliminar de ahorros puede hacerse en base al cambio de eficiencia.

$$= \frac{(\text{Uso actual comb.})(\text{efic.planta nueva}-\text{efic.planta antigua})}{\text{eficiencia planta nueva}}$$

$$= \text{GJ/año}$$

La eficiencia de la planta nueva se establece en base a información de fabricante. No se debe decidir el cambio de una planta en base única de la auditoría detallada.

Cuando esta auditoría muestra que sería financieramente atractivo el re-emplazar una planta de caldero, se deberá hacer un estudio de factibilidad.

debe seguir

4.2.2 AUDITORIA ENERGETICA DETALLADA DE UN SISTEMA DE VAPOR

El propósito de este estudio de caso típico consiste en delinear los procedimientos utilizados para evaluar sistemas de vapor durante una Auditoría Detallada¹³. El vapor se distribuye a los varios procesos a través de un sistema de tuberías. Consta de: aislamiento, tuberías y trampas de vapor.

Auditoría Energética Preliminar (AEP)

Los pasos que toman en una AEP de un sistema de vapor se limitan a una *inspección visual*. Sin embargo, esta inspección permitirá al auditor identificar factores tales como tamaño de tubos, presiones de distribución, falta de aislamiento, y fugas de vapor. Las técnicas para el cálculo de ahorros se dan en la sección de la auditoría detallada.

Auditoría Energética Detallada (AED)

El rendimiento energético de un sistema de vapor se evalúa en base a pruebas de Presión y temperatura del vapor, Trampas de vapor en mal funcionamiento y Fugas y aislamiento inexistente o dañado.

En las **Pruebas del Sistema de Vapor** la *presión* se puede medir por medio de *manómetros*. La presión se determina en puntos de medición existentes. Se usa un medidor calibrado, que se coloca en el lugar del medidor original, tomando nota de las lecturas originales. Una vez enrocado en sitio, se anotan las nuevas lecturas del medidor calibrado. Si existiera mucha

¹³ Procedimientos y Cuadros basados en el Manual del Programa de Conservación de Energía Industrial, EEUU, 1984

discrepancia entre las lecturas esto indicaría que el manómetro existente es defectuoso. Si además la presión del vapor es sensiblemente inferior a lo que se esperaría en ese punto de la tubería de vapor, deberá entonces sospecharse la presencia de una fuga de vapor.

La *temperatura del vapor* se mide ya sea por medio de un *medidor de termopar de superficie* (se coloca en contacto directo con una porción expuesta de la tubería de vapor) o por medio de un *pirómetro infrarrojo* (*mide la temperatura del vapor en la tubería, sin hacer contacto físico*). Se puede inferir la presión del vapor por medio de la temperatura medida, por el uso de Tablas de Vapor. La emisividad de tubería de vapor se determina haciendo referencia a una tabla de emisividades.

Es recomendable instalar la tubería de vapor con una caída en la dirección del flujo. Si el condensado se estuviese drenando en una dirección opuesta a la del flujo de vapor, sería difícil que se recoja el agua para luego ser removida de la tubería. Además, esto ocasionaría que el vapor se humedezca y podría causar el "golpe de ariete", pudiendo causar erosión y una posible falla de la tubería. Los recipientes de drenaje deberán ser de tamaño apropiado para recoger toda el agua.

Un bolso de drenaje de 100 mm. servirá para tuberías de hasta 150 mm; un bolso de 150mm. servirá para tuberías de hasta 200 mm., y así sucesivamente. Para limpiar los bolsos de drenaje

se deben seleccionar *trampas de vapor* apropiadas. Operan en diferentes principios, su función básica consiste en descargar condensado sin permitir el paso de vapor vivo. A pesar de que la función básica de la trampa es el desalojar productos condensados sin desperdiciar vapor, las trampas de vapor también deben afrontar el problema que presenta el aire que se encuentra en el sistema de vapor. En un sistema de distribución de vapor el aire llena los espacios no ocupados por el vapor. A medida que el vapor se condensa y el sistema se encierra el aire se infiltra en el sistema de tuberías por los codos, válvulas, etc. Para que las tuberías funcionen correctamente al momento de reiniciar operaciones, sería necesario suprimir el aire de todo el sistema, especialmente de las trampas de vapor. Si el aire no fuese desalojado, la trampa se llenaría de aire y los productos condensados no saldrían del sistema. A groso modo, existen cuatro grupos principales de trampas:

- * Mecánicas
- * Termostáticas
- * Termodinámicas
- * De varios tipos

hoy en día
 X

Mecánicas.— Usan la diferencia en densidad entre el vapor y el producto condensado. Se abren al producto condensado y se cierran al vapor por acción de un flotador que puede ser un flotador cerrado o un artefacto parecido a un balde con un

terminal abierto, el mismo que puede estar hacia arriba o hacia abajo. El movimiento del flotador opera una válvula.

X **Termostáticas.**- Se abren o se cierran dependiendo en las temperaturas del cuerpo. A una presión dada, el vapor alcanza una temperatura conocida, pero los productos condensados a esa misma presión se enfrían a una temperatura mas baja. Funcionan basándose en esta diferencia de temperatura. La válvula se opera por un elemento termostático de tipo de presión balanceada, líquido o metálico.

X **Termodinámicas.**- Funcionan basándose en la diferencia de velocidad entre condensados y vapores que pasan a través de un simple disco que sirve de válvula. Estas trampas se cierran a vapores de alta velocidad, y se abren a condensados de velocidad baja.

X **Trampas Varias.**- Las trampas de mayor uso son las trampas que operan por impulsos y las trampas de tipo laberinto. Las principales funcionan basándose en el efecto regulador de varios orificios pequeños colocados en serie para vapores de alta velocidad o condensados.

X Se puede identificar *trampas de vapor defectuosas*, ya sea midiendo la temperatura o analizando el sonido que éstas emiten. Si una trampa de vapor se encuentra apropiadamente operando, existirá diferencia significativa de *temperatura* entre

los lados corriente-arriba y corriente-abajo. Si no se detectan diferencias de temperatura, la trampa ha dejado de abrirse normalmente. Los diversos tipos de trampas emiten *sonidos* característicos al pasar por sus ciclos regulares de cierre de apertura. El auditor puede escuchar estos sonidos por medio de estoscopios o de detectores ultrasónicos. Si la trampa emite golpecillos casi continuamente se encuentra defectuosa.

La determinación de fugas de vapor se hace por una inspección visual solamente. Sin embargo, al efectuar recorridos a lo largo de líneas de vapor se deberá tomar nota de los niveles de presión a lo largo de la línea. La efectividad del aislamiento térmico se determina midiendo tanto la temperatura base de la tubería con la temperatura en el exterior del aislamiento, por medio de un termopar de contacto.

La transmisión de calor se efectúa por medio de tres mecanismos: conducción, convección y radiación. El flujo estable del calor a través de cualquier medio de transmisión es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas que ocasiona el flujo, e inversamente proporcional a la resistencia de calor presentada por los cuerpos y por el medio de transferencia. El aislamiento se utiliza para incrementar la resistencia al flujo de calor. La habilidad de un material para conducir calor se denomina *conductividad térmica*, o factor K , expresándose como energía por unidad de tiempo por unidad de área por cada grado de diferencia de temperatura y por u-

nidad de espesor. Las unidades típicas son:

$$\frac{[\text{Kilojoule} \cdot \text{m}]}{\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{K}} \quad \text{ó} \quad \frac{\text{BTU} \cdot \text{pulg}}{\text{pie}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{F}}$$

Conductancia Térmica o *Factor C* es la cantidad de calor que fluye por unidad de espesor por cada grado de diferencia de temperatura. Unidades típicas son:

$$\frac{[\text{Kilojoule}]}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{K}} \quad \text{ó} \quad \frac{\text{BTU}}{\text{pie} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{F}}$$

Resistencia Térmica o *Factor R* es el recíproco de la conductancia. A mayor valor de R es mayor la resistencia o el valor del material aislante. En un sistema con varios componentes, en lo que el calor fluye a través de cada uno en serie, la resistencia total es la suma de los componentes resistivos, R. Por lo tanto:

$$\text{Total } R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = (1/C_1) + (1/C_2) + \dots (1/C_n)$$

El *coeficiente global de transferencia de calor* o *Factor U*, es similar al *Factor C*, pero incluye resistencia superficial de película entre un fluido y el sistema aislado.

Existen cinco tipos básicos de aislamiento térmico, que pueden ser usados individualmente o en combinación: *Aislante en hojuela*, *Aislamiento fibroso*, *Aislamiento granular*, *Aislamiento celular* y *Aislamiento reflectivo*. El aislamiento se encuentra comercialmente en diversas formas que incluyen mallas "sabenás", tiras y bloques. En forma adicional, los

diversos tipos de materiales poseen otras propiedades que deben considerarse al seleccionar aislamientos: límites de temperatura, clasificación por resistencia al fuego, estabilidad dimensional, y capacidad de absorción de humedad.

La selección de aislamiento nuevo o adicional depende de varios factores. Las propiedades del material aislante deben corresponder a la temperatura de la superficie que va a aislarse, con un cierto rango de seguridad por sobre las condiciones de diseño. También deben considerarse la ubicación del aislamiento en términos de condiciones ambientales, resistencia física al abuso, y a la forma de requerida para el aislamiento. El costo del aislamiento es también importante, no solo el costo inicial, sino también el costo de mantenimiento. Existen algunos métodos para calcular el espesor económico del aislamiento. Esto envuelve la determinación de los ahorros logrados al aplicarse varios espesores de aislamientos confrontados contra el aumento de costo del aislamiento al aumentar el espesor. El **Cuadro 4.31** presenta una ilustración gráfica de la determinación del espesor económico de aislamiento.

La **Determinación de Ahorros Potenciales** puede ser por:

- a. *Reparación de Fugas de Vapor.*— Se puede usar el procedimiento delineado en el **Cuadro 4.32** y carta mostrada en el **Cuadro 4.33** para cuantificar ahorros que podrían lograrse.

- b. *Instalación o Reparación de Aislamiento.*- Se puede usar el procedimiento del Cuadro 4.34 y tabla del Cuadro 4.35 para determinar los ahorros que se lograrían al reemplazar aislamiento defectuoso o colocar aislamiento en secciones expuestas.
- c. *Reparación o Reemplazo de Trampas de Vapor.*- Se puede usar el procedimiento mostrado en el Cuadro 4.36 y determinar ahorros que podrían lograrse.

4.2.3 AUDITORIA ENERGETICA DETALLADA DE SECADORES

Las unidades secadoras operan en rasgos de temperatura bajos a intermedios (65-175°C). Pueden tener una de las siguientes configuraciones: Secador de caldeo directo, de caldeo indirecto y de caldeo indirecto operado con un fluido térmico.

En los primeros dos tipos, el caldero incorpora un sistema de combustión. En el primero, gases de combustión son usados directamente para el secado, mientras que en el segundo los gases circulan a través de un intercambiador de calor calentando aire u otro fluido similar que usa para el secado. En el tercero, el secador no tiene una sección de combustión, sino que usa un fluido térmico caliente para el secado.

Auditoría Energética Preliminar

Normalmente una AEP de un secador se limita a entrevista con personal apropiado y una inspección visual del secador. Estos procedimientos se usan para recoger datos de placa de los e-

quijos, los cuales pueden ser registrados en formularios¹⁴ similares a los que se presentan en el Cuadro 4.37.

En la **entrevista** se deberá determinar la configuración del secador y las principales características de operación, incluyendo rapidez de fluido de material, horarios y programas de operación, así como especificaciones de los productos. Se deberá determinar los tipos de controles existentes y registros de datos disponibles. La información recogida durante las entrevistas se podrá verificar en la **inspección visual**. La que permite establecer las condiciones del secador y del equipo anexo. El auditor deberá también analizar el libro de registros del secador y los récords de producción.

En base a todo esto el auditor determinará características de las que se lleva récords regularmente y cómo varía la calidad y la cantidad de producción. Obtendrá información de:

- * Flujo de material
- * Humedad del producto que entra y sale del secador
- * Consumo y flujo de combustible
- * Temperatura del secador
- * Niveles de material de rechazo

Se utilizará la AEP para decidir si incluye pruebas del secador dentro de una auditoría detallada en base a la Fecha de la última prueba de eficiencia, Instrumentación instalada

¹⁴ Basados en los presentados en el Manual del Programa de Conservación de Energía Industrial, EEUU, 1984

existente y Condiciones de operación. Si se decide que la prueba es necesaria, el auditor identificará puntos de prueba (Cuadro 4.38) y seleccionará tipos de prueba. El procedimiento normal consiste en recoger datos por medio de las pruebas de tal manera que se pueda elaborar un balance de energía para el secador.

Auditoría Energética Detallada

Si la AEP indica que se deben tomar pruebas, se evalúa la eficiencia elaborando un balance de energía. Se busca evaluar el rendimiento energético del secador e identificar oportunidades de conservación. En la **evaluación del rendimiento del secador** se mide los siguientes parámetros:

- * Caudal y consumo de combustible
- * Cantidad y temperatura del fluido térmico (vapor)
- * Volumen, temperatura y humedad del aire de combustión
- * Volumen, temperatura y humedad del aire de salida
- * Temperatura y contenido de humedad del material, medidos antes y después del proceso de secado
- * Tiro del secador
- * Temperatura de la superficie externa del secador
- * Infiltración de aire exterior

El cuadro 4.39 presenta un formulario para recopilación de datos de las pruebas del secador. El *caudal* y el *consumo total de combustible* pueden medirse por medio de medidores de

desplazamiento positivo o de rotámetros. De esta manera el flujo promedio puede determinarse tomando nota de las lecturas del medidor al comienzo y final de la prueba, y dividiendo la diferencia entre lecturas para el tiempo transcurrido. Si el secador usa vapor de agua u otro fluido térmico patentado, el *flujo* deberá medirse ya sea por medio de las lecturas de los medidores o determinando el flujo del condensado.

El *volumen (caudal) de aire de combustión* se determina por medio de un *medidor de velocidad* o de un *anemómetro*. Se determina el flujo de aire a la entrada de la cámara de combustión tomando lecturas de velocidad en números apropiados de puntos en el tubo de aire de combustión. Para un ducto circular, véase el **Cuadro 4.40**. Tómese mediciones en puntos especificados a lo largo de dos diámetros que se crucen a 90°. Para un ducto rectangular y según su tamaño véase el **Cuadro 4.41**. Para ambos casos, el auditor podrá determinar la velocidad promedio de masa utilizando los promedios de las lecturas individuales de velocidad.

El *caudal volumétrico* es el producto del promedio de la velocidad y las áreas de las secciones transversales del ducto. La *temperatura del aire de combustión* se mide usando un *termómetro de mercurio* o un *termopar*. La *humedad del aire de combustión* se mide mediante medidores de humedad tales como *hidrómetros* o *psicrómetros*. Tómese estas mediciones a la entrada del aire de combustión. El *Volumen*, la *Temperatura* y

la *Humedad del aire de salida* se miden en la chimenea del secador, y se usan las mismas técnicas que se aplican al medir el aire de combustión. La *Temperatura de los productos* a secar se mide ya sea con un *termopar* de sonda de contacto o con un *pirómetro óptico*. Se determinará la emisividad por calibración del pirómetro en base a las mediciones del termopar.

El *contenido de humedad del material a secarse*, se puede calcular de 2 maneras. Mediante el uso de un medidor de humedad (higrómetro de contacto) y tomando varias muestras del producto antes y después del secado y determinar el contenido de humedad que aún queda en el producto. El *tiro del Secador* puede medirse usando un manómetro o una columna de tiro dentro de la cámara de combustión o gases de salida. El tiro se mide en mm de agua. Las *temperaturas de las superficies externas* se miden usando termopares de sonda o pirómetros ópticos. Para usar el pirómetro óptico, el auditor deberá saber de antemano la emisividad de la superficie del secador. Las compañías que fabrican pirómetros venden una pintura que puede usarse para marcar las áreas a medirse del secador. Esta pintura que cuando se seca tiene un color negro opaco indica un valor conocido de emisividad, y es muy práctico para medir la temperatura de piezas móviles.

Si el secador fuese abierto en su mayoría, la infiltración de aire causaría un grave problema. La *infiltración de aire* es la diferencia de las medidas del aire de combustión y del

aire de salida, o puede medirse directamente usando un velómetro o un anemómetro. Se deberá tomar estas medidas en puntos de alimentación y de salida de los productos, los cuales pueden ser abiertos. Se deberá tomar todas las mediciones indicadas para desarrollar un balance de energía para el secador. Un balance simple se da en el **Cuadro 4.42**. Se puede usar el balance para determinar la eficiencia de operatividad del secador. Se puede usar el balance de energía y mediciones del secador para **identificar oportunidades que permitan mejorar la eficiencia**. Estas oportunidades incluyen mejoras en el aislamiento y en la recirculación de los gases de salida.

En las *Mejoras en Aislamiento* se deberá inspeccionar el del secador para determinar si es adecuado. Se podrá determinar el grado de pérdida a través de las paredes del secador al comparar temperaturas de paredes internas y externas. Un estimado de pérdida de energía por área de unidad se presenta en el **Cuadro 4.43**. Para determinar ahorros que resultarían de mejorar el aislamiento térmico se puede:

- * Determinar la temperatura superficial exterior del secador
- * Determinar el área expuesta o con aislamiento deteriorado
- * Determinar pérdidas de energía por unidad de área a partir de la Tabla (**Cuadro 4.43**)
- * Calcular pérdidas de energía/hora como la energía perdida x unidad de área y superficie con aislamiento defectuoso
- * Calcular pérdidas de calor anual como las pérdidas por hora

x horas de operación

- * Asumiendo que el aislamiento reducirá pérdidas de calor en un 90%, calcular la reducción anual en pérdida:

$$(5,353 \times 0.9 = 4,818 \text{ GJ/año})$$

- * Si el secador se calienta con vapor y la eficiencia de caldero es del 80%, calcular ahorros en combustible
- * Calcular ahorros de combustible

En la *Recirculación del Aire de Salida* los beneficios se explican mejor con un ejemplo. Es un secador de papel del tipo ilustrado en el **Cuadro 4.44**, el papel es humedecido continuamente y luego se lo seca por medio de aire que sopla a través del calentador de vapor. El secador tiene tres corrientes de aire. La primera es el aire fresco a la entrada del secador; la segunda es el aire de salida del secador, y la tercera es la corriente de aire de recirculación, que consiste del aire fresco y parte del aire de salida. Se calculan balances de masa y energía de las tres corrientes. Las propiedades psicrométricas del aire fresco se obtienen a partir de la Figura del **cuadro 4.45**. La corriente del aire fresco se señala en la figura como punto "A". Seguidamente se obtiene información similar para el aire de salida del quemador. Este se indica como punto "C" en la Carta psicrométrica.

La corriente de aire final es la combinación del aire recirculado y del aire fresco, indicado en el punto "B" en la carta psicrométrica. Por medio del balance de humedad se podrá

determinar el % del aire recirculado y de reposición en la corriente de aire mezclado. Cada kg de aire a la entrada del calentador consiste de X kg de aire de salida más (1-X) kg de aire fresco. Del balance de humedad se obtiene:

$$\begin{array}{rcl}
 & X (0.0136) & \text{aire de salida} \\
 + & \frac{(1 - X)(0.0097)}{1} & \text{aire fresco} \\
 = & 1 (0.012) & \text{aire mezclado}
 \end{array}$$

Dejando X, el aire recirculado de salida es 59 % de la corriente de aire mezclado, y 41 % de aire fresco. El flujo de masa de aire fresco es de 5.347 kg por seg. El balance de vapor arroja los siguientes datos:

Flujo (medido) = 863.6 kg/pres. a 1.86 manómetro de pres.

Entalpía = 2,661.7 kJ/kg

Sumin. de calor al aire = 1,817,158 kJ/pres. (504.8 KJ/seg)

Pérdida de calor en sup. de secador = 523,375 kJ/presión
(145.4 kJ/seg)

El consumo específico de vapor se calcula como el vapor usado por kg de humedad evaporada. La humedad evaporada es la diferencia de contenido de humedad del papel antes y después del proceso de secado. Se obtiene un consumo de vapor de 863.6 kg/hora. Por lo tanto, el consumo específico de vapor es de 11.21 kg. de vapor/kg de agua evaporada. La pérdida de calor en el aire de salida es el calor usado para aumentar el nivel calorífico del aire fresco a la temperatura del aire de salida.

Entalpía de aire de salida en humedad de entrada=	101.4 kJ/kg
Entalpía del aire de entrada	= 44.8 kJ/kg de aire seco
Pérdida de calor en aire de salida	= 56.6 kJ/kg de aire seco
Flujo de masa de aire de reposición	= 5.347 kg/s de aire seco
Pérdida de calor	= 302.6 kJ/s
La humedad evaporada	= 0.0214 kg/s
Volumen específico aire seco en	
punto de salida del secador	= 0.9884 m ³ /kg
Volumen específico de vapor en	
el punto de temperatura de salida	= 4.144 m ³ /kg
Volumen de humedad	= 0.0564 m ³ /kg
La presión parcial de vapor de agua	= 57.78 milibar
Calor total del vapor en punto de	
presión parcial	= 2,644 kJ/kg
Calor sensible bajo condiciones de	
temperatura del aire de entrada	= 84 kJ/kg
Calor (aumentada humedad en secador)=	2,650 kJ/kg
Calor (aumentada humedad evaporada)	= 54.8 kJ/seg

El balance de calor del secador puede expresarse como sigue:

Suministro de calor	kJ/seg	%
(1) Calor suministrado a aire en circulación del vapor	504.8	100.0
Salida de Calor		
(1) Calor usado para evaporar humedad	54.8	10.9
(2) Calor perdido por aire de salida	302.6	59.9

(3) Calor perdido en cont.de calor del papel	2.7	0.5
(4) Otras pérdidas (por diferencia)	<u>144.7</u>	<u>28.7</u>
	<u>504.8</u>	<u>100.0</u>

Eficiencia térmica = $54.8/504.8 = 10.9 \%$

La eficiencia térmica del secador puede mejorarse aumentando de 59 a 90 % el porcentaje de recirculación del aire de salida en el aire mezclado. El porcentaje de aire fresco y del aire de salida recirculado en la corriente de aire mezclado están dados a 17 y 90 % respectivamente. El calor requerido para evaporar la humedad se calcula a partir de: la tasa de evaporación de humedad, el volumen específico del vapor a la temperatura de salida y la humedad contenida en el aire de salida del secador. El balance de energía será entonces:

Suministro de Calor	KJ/seg	%
(1) Calor del vapor al aire de circulación	188.2	100.0
Calor de Salida		
(1) Calor para evaporar la humedad	46.6	24.8
(2) Calor perdido en gases de salida	91.7	48.7
(3) Calor sensible en el papel	3.8	2.0
(4) Otras pérdidas (calculadas por diferencia)	<u>46.1</u>	<u>24.5</u>
	<u>188.2</u>	<u>100.0</u>

4.2.4 AUDITORIA ENERGETICA DETALLADA DE HORNOS

Los pasos a seguirse en pruebas, evaluación e identificación de oportunidades de conservación para un horno durante una

auditoría¹⁵ se presentan en el **Cuadro 4.46**, y se describen a continuación.

Auditoría Energética Preliminar

Se deberá recoger datos de placa de fabricante, para lo cual debe usarse *formularios para datos de placa* de AEP como los presentados en el **Cuadro 4.47**. Se requiere recoger información sobre el horno, el quemador, el sistema de aire de combustión, así como las características de operación. La información necesaria puede obtenerse por entrevistas, confirmando luego los datos durante la inspección visual, o por medio de esta última solamente. Se deberá inspeccionar, en adición al horno, los siguientes sistemas auxiliares:

- * Quemadores
- * Sistema de suministro de aire
- * Sistema de suministro de combustible
- * Sistema de control de atmósfera del horno
- * Instrumentación

Se puede obtener información adicional inspeccionando el cuaderno de registro de operación del horno. Un detalle de la información que deberá recabarse de este libro de registro se presenta en el **Cuadro 4.48**. Para determinar si se requiere probar el horno como parte de un auditoría detallada deberá basarse en: la fecha de la última prueba de eficiencia, la instrumentación existente y condiciones de operación. Los

¹⁵ Basados en los presentados en el Manual del Programa de Conservación de Energía Industrial, EEDU, 1984

criterios para decidir si se efectúa la prueba se dan en el **Cuadro 4.49**. El **cuadro 4.50** presenta puntos de medición típicos como: prueba completa de puesta en operación, pruebas normalizadas de eficiencia, del tipo ASME o Normas Británicas y pruebas de combustión aisladas.

La lista de instrumentos requeridos para efectuar la prueba de eficiencia por el método de las pérdidas se dan en el **Cuadro 4.51**. Al final se deberá completar la evaluación y preparar un plan de acción; este plan incluirá generalmente la recomendación de efectuar una auditoría detallada a menos que se piense que el horno se encuentra operando a un nivel de eficiencia óptimo. Se podrá identificar oportunidades de conservación por reducción de pérdidas por fugas y aberturas y durante procesos cíclicos y transientes de cambios de régimen de operación.

Las *pérdidas de calor a través de fugas* pueden estimarse por el tamaño de la abertura. La pérdida de calor es linealmente proporcional a las áreas de las aberturas, y aproximadamente es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta. La pérdida de calor como una función de la temperatura del horno se presenta en el **Cuadro 4.52**. Cortinas de cadenas se pueden usar para reducir la pérdida en un 80%. Se puede calcular los ahorros midiendo el área de aberturas, determinando la pérdida de calor por unidad de agua para la temperatura de operación del horno (**Cuadro 4.52**) y computando la

pérdida de calor anual

Las pérdidas resultantes de infiltraciones de aire frío hacia el horno son serias. El "efecto de chimenea" del horno y del ducto de salida pueden ocasionar una presión ligeramente negativa en la parte inferior de la cámara de combustión del horno. La presión es menor en el piso del horno y aumenta hasta llegar al nivel de presión barométrica en el punto de salida hacia la atmósfera. El diferencial de presión está relacionado con la temperatura del horno, la altura de la chimenea por encima del piso del horno, y el tamaño de la abertura por donde se infiltra el aire. Aire frío puede infiltrarse debido a válvulas (dampers) de control mal ajustadas o sellos de puerta deteriorados. Cuando los sellos se encuentran en malas condiciones se puede prevenir alrededor de un 90 % de las pérdidas mejorando dichos sellos. Si los sellos se encuentran medianamente buenos se puede evitar hasta un 50 % de las pérdidas.

Se puede identificar oportunidades para reducir pérdidas durante los procesos de encendido/apagado y cíclicos, revisando **las prácticas de operación**. Si no se posee datos específicos, es muy difícil cuantitativamente establecer los ahorros asociados con estas medidas. Se requiere de información, como:

* Tiempo para enfriar horno a temperatura ambiente o a nivel intermedio, al apagarse los quemadores

- * Consumo de combustible en operaciones de "Vacío" (sin carga), a temperatura de operación e intermedias
- * Tiempo de retorno a condición de operación, a partir de la temperatura ambiental y de temperaturas intermedias
- * Consumo de combustible durante el proceso de calentamiento transiente de retorno a las condiciones de operación
- * Máxima rapidez de cambio de temperatura que se puede efectuar sin dañar los equipos

Auditoría Energética Detallada

Antes de tomar las pruebas en el horno, se deberá completar el siguiente trabajo preliminar:

- * Recalibrar todo el equipo que se vaya a usar
- * Asegurarse de la accesibilidad de todo punto de prueba
- * Seleccionar un día adecuado para efectuar las pruebas

Para probar la **eficiencia de un horno**, el auditor debe medir: consumo promedio de combustible, temperatura de operación, composición de gases de salida y flujo de gases. Para un horno que opera en un ciclo de ocho horas, el período de pruebas no deberá ser menor a cuatro horas. Igualmente, las lecturas deberán efectuarse cada media hora por lo menos. Los combustibles fósiles usados en un horno pueden medirse con un totalizador de desplazamiento positivo, celda de presión diferencial plato/orificio, indicadores de flujo y rotámetro. Alternativamente, cuando sale el combustible a través de una tobera

na (tal como un quemador a presión), el consumo promedio de combustible y el tamaño de dicha tobera. El promedio de salida a través de toberas de tamaños estandarizados se presentan en el **Cuadro 4.53**.

La medida más exacta se obtiene usando el *medidor de desplazamiento positivo*. El medidor deberá leerse cada hora durante el periodo de pruebas. El medidor puede utilizarse para medir varios hornos si es que se instalan los acoples de tubería necesarios en la línea de combustible de cada horno. *Indicadores de flujo* tales como *plato/orificio* y *rotámetros* son más baratos que los medidores totalizadores, y son lo suficientemente exactos cuando las condiciones de flujo son razonablemente parejas durante periodos prolongados. Es importante dimensionar el equipo de medición en relación con el promedio del flujo de combustible. Promedios bajos de combustible requieren medidores que indiquen cantidades pequeñas de flujo, mientras que promedio de flujo relativamente elevados no requieren ser medidos con tanta exactitud. La sensibilidad deberá ser aproximadamente el 1 % del flujo promedio por hora.

La *energía eléctrica instantánea* usada en operaciones de hornos pueden medirse usando vatímetros o un amperímetro del tipo de gancho. Para medir hornos calentados con resistencia, la lectura del amperímetro se multiplica por el voltaje aplicado para obtener así el consumo de energía en un circuito de una sola fase. Si el circuito tiene inductancias, las lec-

turas del amperímetro solo no serían suficientes. Se utilizará un medidor fp para medir el factor de potencia. Si el sistema de control de temperatura es estrangulador tal como un transformador de inductancia variable o rectificador controlado de silicón, se requerirá un medidor de Kw-hora, como los que usan las compañías eléctricas.

En la operación de hornos se requiere medir la **temperatura** en varios puntos incluyendo la de material/stock, de gases de salida, de aire de ambiente y de combustión y de las paredes del horno, internas y externas. Para completar las pruebas, se requieren dos tipos de equipos: de contacto (termopar) y de contacto indirecto (pirómetro). Detalles de las aplicaciones del termopar se dan en el **Cuadro 4.54**. Dado que, por lo general, los hornos presentan el mismo tipo de construcción de sus paredes, se ha preparado cuadros y tablas presentando relaciones entre temperaturas de las superficies de los hornos y la pérdida de calor (**Cuadro 4.55**). Deberá usarse un pirómetro que corrija la emisividad.

Las **temperaturas del aire del ambiente y de combustión** pueden medirse usando medidores de termopar, termómetros de mercurio o bimetálicos. Los dos últimos tipos de medidores mencionados se usan, por lo general, para medir temperaturas en rangos no muy elevados. El termopar deberá ubicarse lo más cerca posible a la salida de la cámara de combustión del horno. Si los gases de salida pasaran del horno a una cámara secundaria

intercambiadora de calor, entonces deberá medirse igualmente la temperatura a la salida de la cámara intercambiadora de calor. Ambas mediciones se requieren para evaluar la operación del intercambiador de calor.

Los **gases de salida** de un horno se pueden analizar usando los mismos tipos de instrumentos para medir los gases de calderos como: equipos de absorción químicos (Fynite, Orsat) y equipos electroquímicos (analizador de O₂ que usa celda de zirconio). Es muy probable que se use un analizador electrónico o del Fynite (véase capítulo 6). Dado a la relativa dificultad que presenta el manejo y fragilidad, el analizador Orsat ha perdido su popularidad y se utiliza raramente. Todas las pruebas de los gases de salida deberán hacerse en el punto más cercano a la cámara de combustión del horno como sea posible. De esta manera se puede reducir el riesgo de que infiltraciones de aire frío diluyan las muestras de los gases de escape y se introduzcan errores en el análisis. En los casos en que el exceso del nivel de aire sea de 200 %, o más, el flujo de gas deberá directamente medirse a la entrada del aire o en cualquier otro punto apropiado en el sistema para evitar resultados inexactos en los análisis químicos.

Los métodos más comunes para medir **flujo del gas/aire** son los *tubos "Pitot"* y *los anemómetros*. Los instrumentos de presión diferencial tales como los orificio/platos causan ligeras bajas de presión que puedan afectar adversamente las lecturas

de los sistemas de aire de combustión cuando la presión es típicamente 24-100 m. en columna de agua. El *Tubo Pitot* puede usarse en ductos de 100 mm. de diámetro o más para gases de rangos amplios de velocidad. Puede usarse a temperaturas elevadas siempre y cuando el material del tubo sea apropiado para niveles de temperatura a medirse (Véase el Capítulo 6).

Existen dos tipos de *anemómetros*: de sonda caliente y mecánicos. El anemómetro mecánico usa un ventilador o turbina en donde la velocidad giratoria es una función de la velocidad del líquido a medirse. El anemómetro mecánico se usa para aplicarse a temperaturas bajas (90 °C y temperaturas menores). El *de sonda caliente* se limita a aplicaciones de baja temperatura, pero existen modelos que pueden usarse para temperaturas de hasta 750 °C. El método de medición es similar que para el caso del Tubo Pitot. La información para la prueba de un horno se puede recoger en formularios similares al mostrado en el **Cuadro 4.56**.

Una vez finalizadas las pruebas, se debe evaluar los datos y elaborar el **balance de energía e identificar oportunidades de conservación**. Existen tres diferentes fuentes de energía que se deben considerar al elaborar un balance de energía y son el poder calorífico (calor de combustión), el calor sensible y el calor para el proceso.

El *calor de combustión* es la energía puesta en juego cuando

se quema el combustible. Existen dos valores de poder calorífico para cualquier combustible fósil: el poder calorífico bruto o calor de combustión superior; y el poder calorífico neto de combustión inferior. El poder calorífico superior está determinado por la energía que se entregaría al convertir (quemar) todo el combustible a CO₂ y agua, y condensando luego toda el agua producida a 25 °C para recuperar el calor de vaporización. El poder calorífico inferior es igual al poder calorífico superior menos el calor de vaporización del agua en los productos de combustión. Si se mide el flujo de combustible y si se conoce el poder calorífico de dicho combustible, se puede calcular el calor de combustión de la siguiente manera:

$$\text{Energía suministrada} = \text{consumo de combustible} \times \text{poder calorífico superior} = \text{kJ/hr}$$

Se define *calor sensible* como el calor contenido en una sustancia a causa de su temperatura. Estos son cálculos usando una temperatura referencial, normalmente 25 °C o 15 °C. Valores de calor específico para sustancias comunes se dan en el **Cuadro 4.57**. *Calor de proceso* es el calor necesario para causar un cambio físico o químico en el material. Se considera que a la temperatura referencial la sustancia carece de calor sensible. Se calcula este valor de la siguiente manera:

$$H = M \times C_p \times \text{diferencia de temperatura}$$

$$H = \text{calor sensible en kJ}$$

M = masa de la sustancia en kg

C_p = calor específico del material en kJ/kg °C.

dif de temp = (temp material - temp referencial)°C

El siguiente ejemplo de un horno para secar pintura provisto de incinerador se presenta como ejemplo ilustrativo de un balance de energía. Los flujos de energía y masa se presentan en el **Cuadro 4.58**. El horno se utiliza para secar acero recubierto de pintura. La pintura consiste de un 48% de solvente y 52% de sólidos. Los datos tomados incluyen lo siguiente:

Masa de sólidos pintados	=	141 kg/hr
Masa del solvente	=	132 kg/hr
Calor de combustión del solvente	=	42,820 kJ/kg
Calor de vaporización del solvente	=	431 kJ/kg
Combustión al horno	=	93 kg/hr
Combustión al incinerador	=	90 kg/hr
Aire suministrado	=	15,842 kg/hr
Temperatura del metal	=	205 °C
Temperatura de los gases de salida	=	871 °C

Entradas de masa y energía se pueden tabular así:

	kg/hr	kJ/hr
Acero	4,545	0*
Solventes de pintura	141	0*
Solvente	132	5,652,299
Combustible	183	9,993,435

Aire	<u>15,842</u>	<u>0*</u>
Total	20,843	15,645,734

* Los materiales que ingresan están a temperatura referencial, por tanto no poseen calor sensible.

Las salidas de masa se pueden tabular así:

Aire	kg/hr
Gases de salida	15,842
Solvente	<u>183</u>
	16,157

Las salidas de energía se computan de la siguiente manera:

Calor sensible en gases de salida $H = M \times C_p \times (\text{dif de temp})$

Calor sens. $871^\circ\text{C} = 16,157(1.0050)(871-21) = 13,800,504\text{kJ/hr}$

A esto debiera añadirse el calor de vaporización del solvente:

$H = \text{masa del solvente} \times \text{calor de vaporización}$

$= 132 \times 431 = 56,89 \text{ kJ/hr}$

Las pérdidas totales de chimenea son la suma de lo anterior:

$= 13,800,504 + 56,892 = 13,857,396 \text{ kJ/hr}$

Calor contenido en acero pintado que sale del horno:

$H = (4,544-141) \times (0.502) \times (204 - 21) = 430,392 \text{ kJ/hr}$

Sumando los dos términos anteriores : $142,287,788 \text{ kJ/hr}$

Si se resta del calor total suministrado : 1,357,946 kJ/hr, que corresponde a la calidad de calor perdido por radiación y convección del horno, incinerador y ductos. La energía total de salida será, por tanto:

	kJ/hr	Porcentaje
Sólidos pintados	430,392	2,7
Gases de salida	13,857,393	88,6
Otras pérdidas	<u>1,357,946</u>	<u>8.7</u>
Total	15,645,734	100.0

Los gases de salida son una de las fuentes de pérdidas de calor mayores. Por tanto, la reducción de las pérdidas de chimenea es una de las oportunidades de conservación que se debe identificar durante la auditoría detallada de un horno. Otras oportunidades incluyen control del exceso de aire, recuperación del calor de los gases de salida, mejora del aislamiento del horno, control continuo de la eficiencia y aumento de la concentración de oxígeno.

El efecto del **exceso de aire** sobre las pérdidas de chimenea se presentan en el **Cuadro 4.59** para varios niveles de temperatura de salida. **Muy poco aire** puede también originar una pérdida grande de calor. Ahorros logrados por reducción del exceso de aire son difíciles de estimar. Si se redujera flujo de aire manteniendo constante el de combustible, la temperatura de llama aumentaría ocasionando una tasa de calentamiento mayor y un ciclo ahorro de energía más corto. Sin embargo

la reducción del exceso de aire aumentaría también la temperatura de los gases de salida, aumentando por tanto las pérdidas de chimenea.

El **calor residual de los gases de salida pueden recuperarse** incluyendo el uso de intercambiadores de calor y por medio de recuperadores. En la mayoría de casos, el calor recuperado de los gases de salida se usa para precalentar aire de combustión y aire adicional usado en el horno. El porcentaje de ahorro de combustible logrado al precalentar el aire de combustión se presenta en el **Cuadro 4.60** para varios niveles de temperatura de gases de salida. La temperatura hasta la cual se puede precalentar el aire de combustión se encuentra limitada en parte por los quemadores acoplados al horno.

El **Aislamiento Térmico inadecuado o deteriorado** en los hornos puede ocasionar el desperdicio de grandes cantidades de energía de una forma difícil de recuperar directamente. Una medida de la importancia de las pérdidas se puede obtener determinando la temperatura de las paredes exteriores y del techo de horno. Si la temperatura de las paredes exteriores excede a $260\text{ }^{\circ}\text{C}$, las pérdidas son posiblemente bastante elevadas. Se puede calcular las pérdidas de energía por unidad de área y por hora como función de la temperatura exterior de pared, por medio del **Cuadro 4.61**. Los ahorros por aislamiento pueden calcularse en base de una temperatura dada de superficie exterior o a un espesor dado de aislamiento. Se calcula de la



siguiente manera:

$$Q = U \times A \times (T_i - T_a)$$

Q = Calor perdido, vatios

U = Coeficiente total de transferencia de calor, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$

A = Area de transferencia, m^2

T_i = Temperatura de operación del horno, $^\circ C$

T_a = Temperatura del aire ambiental, $^\circ C$

El factor U se calcula así:

$$U = R_{s1} + R_1 + \dots + R_n + R_{so}$$

R_{s1} = Resistencia térmica en la superficie interior

R_1 = Resistencia de material L_1/K_1

K_1 = Conductividad térmica, $W/mm/m^2 \cdot ^\circ C$

L_1 = Espesor, m

R_n = Resistencia térmica del material n ésimo, (L_n/K_n)

R_{so} = Resistencia térmica de la superficie exterior

Se puede seleccionar cualquiera de los dos métodos indicados arriba, efectuando entonces los cálculos para determinar el espesor de aislamiento necesario o la reducción en las pérdidas de calor para un espesor de aislamiento dado. Se puede entonces evaluar la efectividad económica de la medida. Los ahorros logrados por un **control continuo de la eficiencia** de un horno son difíciles de estimar. Estos ahorros dependen de las prácticas de operación que se apliquen al horno al momento del análisis (**Cuadro 4.62**), así como de lo avanzado del

sistema de control que se elija. Se podría computar los ahorros en base a los cambios relativos de eficiencia:

$$\begin{aligned} & \text{Nuevo consumo de combustible (GJ/año)} \\ & = (\text{Cons. actual de Combust.}) * \frac{(\text{efic. nueva} - \text{efic. existente})}{\text{eficiencia nueva}} \end{aligned}$$

4.2.5 SISTEMAS ELECTRICOS

La energía eléctrica constituye la forma más cara de energía comprada, por esta razón se debe confirmar su utilización al número indispensable para una operación eficiente. Esfuerzos hechos para conservar electricidad pueden resultar en ahorros significativos. Se debe seguir los pasos a continuación¹⁶ para probar sistemas eléctricos e identificar oportunidades de conservación durante una auditoría completa. Estos pasos incluyen el efectuar una auditoría preliminar previa.

Auditoría Energética Preliminar

El primer paso es revisar la *tarifa eléctrica actual* y el recibo de cobro eléctrico más reciente. Generalmente, los recibos de cobro eléctrico a las industrias se componen de varios elementos en adición al cobro de consumo básico. En la mayoría de los casos, el usuario tiene control directo solo de 3 de los elementos -demanda máxima, consumo, y penalidad por factor de potencia. Los otros elementos de cobro son cargos fijos que deberán pagarse sin que influya el modo de operación de la planta. El consumo eléctrico se cobra según: demanda máxima, consumo o penalidad por factor de potencia, en

¹⁶ Basados en los presentados en el Manual del Programa de Conservación de Energía Industrial, EEUU, 1984

base del voltaje suministrado y de la demanda medida. Dentro de estas tarifas, cobros se basan en: demanda máxima en KVA, consumo en KWh y ajuste en el precio de combustible por kWh.

El costo que se cobre depende de la tarifa que se aplique a la planta en análisis. Las oportunidades de ahorro de electricidad se limitan a la reducción de la demanda máxima y reducción del consumo. El medidor instalado para medir la demanda máxima es del tipo integrador (registra la suma del número de kWh usados durante el período en mención). Se puede reducir fácilmente el consumo siguiendo una regla muy simple: si un equipo no necesita estar en operación, apáguelo. Una vez revisadas las bases tarifarias aplicadas por la compañía de servicio eléctrico, se deberá determinar factor de carga de planta. Se define factor de carga como la relación entre el consumo eléctrico a la demanda máxima. Puede ser calculado a base de la planilla eléctrica mensual, o un promedio anual. El factor de carga para un período mensual es:

$$= \frac{\text{Número de kWh consumido en el periodo de cobro}}{(\text{Demanda Máx. en per. de cobro}) \times (\text{horas en el per. de cobro})}$$

El factor de carga en base anual se determina por:

$$= \frac{\text{Número de kWh consumidos en el año}}{(\text{Demanda mens. prom. máxima}) \times (\text{número de horas en un año})}$$

Factor de carga bajo podría ser un síntoma de oportunidades para controlar la demanda. Los cobros de demanda promedian por lo general un 25% de una planilla de cobro de energía.

Una vez examinadas las planillas eléctricas y determinado el factor de carga, se deberá elaborar un *diagrama de líneas* para el sistema de distribución eléctrica. Por preguntas al personal o por la planilla eléctrica, se determinará voltaje de entrada. Se empezará el diagrama en el punto de entrada a la planta, tomando nota del número de transformadores y los voltajes respectivos. Toda medición eléctrica deberá ser marcada en el diagrama. Se deberá seguir el suministro de corriente eléctrica hasta cualquier subestación y de allí a los centros de control de carga. La inspección visual se hará mucho mejor en compañía del ingeniero eléctrico de la planta.

Luego hay que identificar los principales usuarios de energía eléctrica por cada centro de control de carga. Se deberá recopilar información en formularios similares a los del **Cuadro 3.16**. En vez de determinar la energía usada para iluminación a través de la planta, se deberá estudiar cada área (**Cuadro 3.18**). Ya sea como parte de la inspección visual o en las entrevistas con el personal de la planta, se deberá tratar de establecer las horas actuales de operación para el equipo, y horarios de producción.

La identificación de oportunidades de conservación podría estar limitada a sincronizar la operación del equipo a los horarios de producción, ya que podría no poderse determinar por medio de una inspección visual el grado de eficiencia de los equipos. Sin embargo, se deberán identificar varias áreas pa-

na análisis, incluyendo reducción de demanda máxima por reducción de la carga, mejora de relación carga-capacidad en motores eléctricos, uso de motores eficientes, reducción en la iluminación y control automático de las operaciones. La evaluación de estas oportunidades requiere del uso de instrumentación y de una auditoría completa. Al finalizar la AEP se deberá desarrollar un plan de acción detallado que se deberá centrar sobre sistemas eléctricos que se probarán.

Auditoría Energética Detallada

Se requiere 4 tipos de instrumentos: medidor de kw-hora, vatímetro, medidor del factor de potencia, y fotómetro. El vatímetro puede substituirse por un amperímetro/voltímetro de gancho. El **factor de potencia** es un término que se aplica solo a circuitos de corriente alterna. Se define como coseno del ángulo de fase entre voltaje aplicado a un circuito y la corriente que fluye a través del circuito. De tal manera que el factor de potencia es un número cuyos valores están limitados de menos uno a más uno. Puede expresarse por:

$$\text{Factor de potencia} = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia magnetizante o aparente}} = \text{Cos } \phi$$

La potencia magnetizante no contribuye a la potencia activa y es puramente reactiva. Por tanto, cualquier instrumento o equipo electromagnético que recibe excitación para su circuito magnético por medio de un sistema de corriente alterna, tendrá un factor de potencia retrasado. Dicha potencia reactiva retrasada no es inútil, ya que establece el flujo de

trabajo mientras que la potencia útil suministra la energía de pérdidas y la potencia de trabajo.

Cuando el factor global de potencia de la carga aplicada a una estación generadora es bajo, el sistema es ineficiente y el costo de la electricidad se toma correspondientemente alto. De acuerdo a una convención aceptada, si la onda de voltaje precede la onda de corriente, el factor de potencia se considera retrasado y el circuito se considera inductivo. Cuando la corriente precede al voltaje, el factor de potencia está adelantado y el circuito se considera capacitivo. Un factor de potencia unitario, que se da cuando los sinusoides de voltaje y corriente se encuentran en fase, ocurre para circuitos puramente resistivos.

La mayor parte de los equipos eléctricos industriales y comerciales presentan una carga inductiva, haciendo por tanto que los esfuerzos se dirijan hacia llevar estos factores de potencia a un valor más cercano a la unidad. Debido a la naturaleza propia de la maquinaria que se usa para generar corriente alterna, el factor de potencia de los circuitos conectados a las líneas tienen una influencia directa sobre el costo de generación. Una tarifa típica aplica penalidades a demandas con factores de potencia inferiores a 0.80. Las maquinarias y equipos con bajo factor de potencia incluyen: motores de inducción de todo tipo (la mayor parte de carga aplicada a las líneas de AC), transformadores de potencia y



reguladores de voltaje.

En caso de cargas inductivas, se puede levantar el factor de potencia a un valor unitario colocando condensados eléctricos (capacitores) entre las líneas de entrada que alimentan el equipo afectado. Se puede usar condensadores eléctricos comerciales, de fija o motores sincrónicos, cuyos campos se encuentran excitados en forma apropiada para alcanzar el factor de potencia deseado. Hay 2 tipos de equipos de que se puede obtener kVAR adelantados: motores sincrónicos y condensados sincrónicos y Condensadores estáticos.

Quando se dispone de limitada instrumentación, los parámetros de un sistema de potencia pueden disponerse en base a las variables conocidas. En relación a los equipos principales que consumen electricidad, se deberá completar pruebas de voltaje, factor de potencia y corriente, usando instrumentos portátiles (ver técnicas en el capítulo 6 de este manual). Las pruebas deberán hacerse con equipo a plena carga y sin carga. Por medio de pruebas en los motores sincrónicos, condensados sincrónicos y condensados estáticos se puede establecer la eficiencia de la maquinaria instalada. Durante la Auditoría Detallada, se deberá tomar lecturas periódicas del medidor eléctrico principal; (1 por hora), excepto que se hubiera conectado algún otro sistema de medición a la entrada principal de la línea eléctrica a la planta. Estas lecturas proporcionan una indicación del perfil de demanda de la planta.

Las oportunidades de conservación de electricidad incluyen el control de demanda a través de reducción de la carga, la corrección del factor de potencia, desconectar el equipo innecesario, dimensionamiento apropiado de motores, cambio del sistema de alumbrado y conversión a motores eficientes en el uso de energía. El control de demanda máxima requiere conocer de cuando ocurre la demanda eléctrica y de cómo opera el equipo. Parte de esta información se puede obtener del factor de carga así como de datos de los equipos. Se deberá conocer el período sobre el cual se computa la demanda en la descomposición tarifaria, de tal manera de identificar los equipos que podrían permanecer apagados hasta que hubiere pasado el período de demanda máxima.

Los ahorros por reducción de la carga eléctrica pueden calcularse en base a la reducción efectiva de carga (kilovatios). El control de la demanda máxima requiere de una interconexión con el medidor eléctrico principal. Existen dos tipos de sistemas de interconexión, los que operan durante el período de demanda máxima. El primer tipo acciona una alarma, con la que el operador se alerta y procede a desconectar manualmente el equipo apropiado. El segundo tipo desconecta automáticamente cargas eléctricas seleccionadas. Al reducirse la demanda, se apaga la alarma del primer tipo, pudiéndose reconectar manualmente el equipo. En el segundo tipo mencionado, los equipos son reencendidos automáticamente al reducirse la demanda por debajo de cierto nivel.

Los aspectos económicos de la corrección del factor de potencia dependen tanto de la estructura tarifaria cuanto del factor de potencia existente en la planta. Se considerará la corrección del factor de potencia como una inversión de reducir costos de electricidad y dejar libre cierta capacidad de los transformadores, líneas y paneles de encendido. Cuando se opera dentro de un sistema de penalización por factor de potencia, una reducción de los costos de electricidad producirán a menudo por sí mismos un suficiente retorno de la inversión, lo mismo que la liberación de la capacidad de transformadores, líneas y paneles de encendido.

Cuando las tarifas se basan en un cobro por KVA, más un cobro por cada kWh suministrado, el grado de corrección más económico se encuentra cuando el factor de potencia final es de aproximadamente 0.98. Es una estructura de facturación tarifaria sencilla o de 2 componentes provista de un bono o penalidad por factor de potencia, se encuentra que el punto más económico para factor de potencia esta entre 0.90 y 0.97.

Los beneficios económicos obtenidos al instalar capacitores correctivos del factor de potencia varían caso a caso, pero se pueden recuperar normalmente la inversión en equipo de corrección durante los siguientes 18 a 30 meses. El primer paso en el diseño de un esquema para el factor de potencia consiste en obtener detalles exactos de las condiciones de carga, junto con información sobre el equipo de carga. Se puede ob-

tener esta información de las planillas de factura de la compañía de servicio eléctrico, o por medio de un medidor del factor de potencia.

CÁLCULO DEL TAMAÑO DEL CONDENSADOR ELECTRICO. Una vez que se ha establecido el valor de factor de potencia deseado y conocidas las condiciones actuales de carga, se puede utilizar los factores de corrección presentados en el **Cuadro 4.63** para estimar el tamaño de condensador requerido. Estos factores se obtienen por medio de la fórmula:

$$KVAR = KW (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

kVAr = capacidad de condensador (kVAr para el sistema)

kW = carga de kilovatios

ϕ_1 = ángulo actual de desfase (retraso)

ϕ_2 = ángulo de fase que se desea

$$\text{factor de corrección} = \frac{kVAr}{kW} = (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

Los valores de las tangentes correspondientes a los factores de potencia ($\cos \phi$) se dan en el **Cuadro 4.63**. Tomando en cuenta que existe una tolerancia de $\pm 10\%$ en la fabricación de condensadores eléctricos, se deberá tomar un valor práctico basado en capacidades normalizadas. Los puntos a considerarse en una instalación de factor de potencia son:

1. Confiabilidad del equipo a instalarse.
2. Duración probable

3. Costo de inversión
4. Costos de mantenimiento
5. Costos de operación
6. Espacio requerido y facilidad de operación

En instalaciones normales, el costo de inversión de maquinaria rotativa para el factor de potencia es generalmente muy elevado; así mismo el desgaste inherente en toda maquinaria rotativa origina costos adicionales de mantenimiento. Sin embargo, en aquellos casos en que un motor sincrónico grande pueda ser usado en vez de un motor de inducción en aplicarse de tiempo completo, tal como en enfriadores centrífugos, su instalación es económicamente productiva. Los condensadores eléctricos tienen un costo inicial bajo, costos de mantenimiento mínimos, y pueden ser usados con la misma elevada eficiencia en instalaciones de todo tamaño. Son compactos, confiables, fáciles de instalar, y se prestan bien, ya sea para métodos de corrección individuales, de grupo o automáticos. Por esto, el método de corrección del factor de potencia por medio de condensadores eléctricos es el más satisfactorio y económico.

El desconectar equipo eléctrico innecesario podría generar grandes ahorros a muy bajo costo. Para identificar estas oportunidades, se deberá establecer cuándo se encuentra el equipo operando y cuándo debería estar en operación. Se puede determinar los ahorros en base al tamaño y eficiencia del e-

quipo, así como del número de horas que podría desconectarse, de la siguiente forma:

$$\text{Ahorro de energía (KWh)} = \frac{\text{HP} \times 0.746 \times (\text{horas de desconexión})}{\text{eficiencia}}$$

$$\text{Ahorro en Cost (\$)} = (\text{KWh ahorrados}) \times (\text{costo de cada KWh})$$

Un factor limitante podría ser el tiempo entre apagado y re-encendido del equipo. Por ejemplo, no se debe considerar desconexión de equipo relacionado con producción con períodos inferiores a 15 minutos.

Los motores de capacidad menor a 20 HP están diseñados para soportar no más de 6 encendidos por hora. Los motores más grandes resisten aún menos encendidos. Cualquier ahorro podría perderse rápidamente si el motor se quemara y debiera reemplazarse. A menudo considera que si la maquinaria eléctrica no tiene carga aplicada y opera en vacío utilizará poca energía. Esta consideración no es cierta. Para ahorrar energía, la maquinaria que opera en vacío debe desconectarse. Otro concepto erróneo que se presenta particularmente con motores grandes hace relación con la creencia que al volver a encender el motor se contrarresta el ahorro, debido al cobro por demanda máxima. Esta creencia se basa en el hecho que al encender un motor eléctrico se produce un transiente de uso elevado de corriente. Sin embargo este transiente tiene un valor de entre 4 a 6 veces la corriente usada en carga máxima, y dura por 3 a 4 segundos.

Siempre y cuando un **motor sobredimensionado** se apague cuando no esta en operación, el sobredimensionado no representa ningún problema. Por otro lado el uso de velocidades exageradas es un desperdicio notorio de energía. Es un hecho bien conocido que un motor en carga plena opera de forma más eficiente que otro a media carga. Pero, dentro de ciertos límites, un motor grande que opere a media carga puede ser más eficiente que un motor pequeño que opera a carga plena. Un motor sobredimensionado estará en mejor capacidad de soportar sobre cargas momentáneas sin quemarse. Asimismo, este motor mantendrá mejor la velocidad al trabajar a la potencia dada, no se calentará tanto y tendrá un mejor factor de potencia. También se ha argumentado que los motores más grandes aumentan los costos iniciales. Este punto de vista puede ser erróneo, en particular cuando se consideran costos de operación y mantenimiento. Un conjunto típico de curvas de rendimiento de motores ilustra que la reducción de tamaño de motores para obtener una mejor eficiencia de operación no es necesariamente un ejercicio válido. Los fabricantes suministran curvas de rendimiento para sus tipos de motores. Se debe usar cautela al recomendar que los motores se reduzcan en tamaño como un medio de ahorrar energía.

Se deberá analizar cuidadosamente la **velocidad de operación** de la maquinaria, en particular ventiladores, sopladores y bombas centrífugas. Para cierto tipo de maquinaria, la potencia es proporcional a la velocidad. Para ventiladores, sopla-

dores y bombas centrífugas, la potencia requerida es proporcional al cubo de la velocidad. Este es el área en que los motores sobredimensionados y su efecto resultante sobre la velocidad presentan sus efectos más despilfarrantes.

Muy a menudo se especifican los ventiladores en base a la cantidad de aire que deben mover, mientras el ingeniero de planta asume que el fabricante diseña el ventilador con una configuración apropiada en los álabes. Esto no siempre es cierto, dándose casos en que los ventiladores mueven la carga de aire diseñada sólo porque están sobredimensionados y operan a velocidades superiores a las que debieran.

Para ventiladores que operan a densidad constante: la presión (estática, dinámica y total) varía con el cuadrado de la velocidad del ventilador y la capacidad de transporte es directamente proporcional a la velocidad. En términos de eficiencia del ventilador, el caballaje se determina por:

$$\text{HP al aire} = \frac{(\text{m}^3/\text{min}) \times (\text{presión total en mm-columna de agua})}{2122 \times (\text{consumo de HP})}$$

En muchas de las aplicaciones de ventiladores, el aire circula sin encontrar resistencia alguna, y no se desarrolla presión estática. La eficiencia estática es por tanto cero y su cálculo no tiene sentido. La eficiencia del ventilador se calcula entonces en base a la presión total:

$$\text{Efic. mec. o total} = \frac{(\text{m}^3/\text{min}) \times (\text{pres. total en mm-col. de agua})}{2122 \times \text{HP consumido}}$$

Las bombas centrífugas siguen las mismas leyes que los ventiladores. El uso de bombas centrífugas en reemplazo de bombas reciprocantes se ha diseminado bastante, sin tener que ver nada con la eficiencia. El problema se grava a menudo al desgastarse el impulsor, resultando en una caída de la presión de salida. Si la bomba es accionada por transmisión de banda, el medio más simple de resolver el problema es aumentar la velocidad de la bomba. La respuesta consistiría en reparar la bomba. De otra manera, el sistema podría deteriorarse hasta que se haga necesario sacarlo de servicio, dando como resultado gran pérdida de servicio y reparación costosa. En este proceso se habría perdido mucha energía.

Se debe probar la velocidad de ventiladores y sopladores, reduciéndola de ser posible. Si se tiene un sistema de transmisión directa de fuerza, las posibilidades son limitadas; pero si se trata de transmisión por banda o por cadena, el asunto es relativamente simple. Se debe recordar que la reducción de velocidad no reduce necesariamente el caudal. En muchos casos, lo contrario podría ser cierto. El reducir la velocidad de la maquinaria reduce los problemas de mantenimiento y las interrupciones, disminuyendo por tanto los costos y los problemas de estas paralizaciones.

La **conversión a motores más eficientes** es una medida que debe

ser considerada cuando fallen los motores existentes. Las mejoras en eficiencia no son normalmente muy significativas para justificar un reemplazo directo de un motor que se encuentra operando perfectamente. Los ahorros pueden calcularse en base a la eficiencia anticipada y el consumo actual. Para poder determinar el consumo actual, se deberá conocer normas de operación del motor. El cálculo de los ahorros se da a continuación:

$$\text{Ahorros (kWh)} = \frac{(\text{efic. nueva} - \text{efic. actual}) \times \text{HP} \times 0,746 \times \text{horas}}{\text{eficiencia nueva (en kWh por año)}}$$

Se puede mejorar la eficiencia de muchos de los sistemas de iluminación existentes asegurándose que toda la luz que se consume, se use apropiadamente. El primer paso es determinar el horario de operación de la planta. Es probable que existan algunos períodos durante la semana de trabajo en que no sea necesario mantener el nivel de iluminación de los edificios. Durante estos períodos, se puede proporcionar iluminación a niveles reducidos o eliminarla completamente. El segundo paso es la evaluación o inspección visual para determinar la condición de las lámparas. Cubiertas sucias, difusores deteriorados y bulbos viejos cercanos al fin de su vida útil, reducen la eficiencia del sistema de iluminación. Durante la inspección se deberá determinar la condición de paredes y techo de los edificios. La presencia de paredes sucias o cubiertas de pintura oscura reduce la luz reflejada y se necesita mayor energía para lograr el nivel de iluminación.

Luego se debe hacer un sondeo del nivel de iluminación. El primer paso de este sondeo es establecer niveles efectivos de iluminación a través de la planta en ubicaciones de trabajo representativas y otras ubicaciones. Luego se deberá comparar niveles de iluminación medidos en áreas donde se hace igual trabajo, con el objeto de establecer el nivel mínimo razonable en que la productividad del trabajador se mantiene aceptable. El **Cuadro del Capítulo 6** presenta los niveles de iluminación recomendados para una gama de actividades de trabajo. Nótese que estos niveles son sólo una recomendación, debiendo ser considerados como el máximo a suministrarse. Los valores pueden ser modificados para satisfacer necesidades de una aplicación particular.

Los resultados de sondeo de iluminación suministran bases para recomendaciones futuras de cambio en el sistema de iluminación. Una recomendación podría ser la eliminación de algunas lámparas y reducción del nivel de iluminación. Una segunda recomendación podría ser el reemplazar bulbos incandescentes con tubos fluorescentes de alta eficiencia. La recomendación más costosa sería de reemplazar parte o todo el sistema existente con un sistema alternativo. Una técnica empleada comúnmente para mantener la eficiencia de un sistema de iluminación consiste en la renovación de lámparas en grupo bajo un programa establecido. La renovación de grupo permite el reemplazo de lámparas dentro de un área predefinida y bajo un programa dado que toma en consideración lo que se conoce como

"depreciación de láminas". De acuerdo a esta característica de lámparas, la cantidad de producida de luz se degrada a través de la vida de la lámpara con una velocidad predecible. Si se adopta la práctica de renovación grupal de lámparas, se mantendrá un nivel de iluminación uniforme durante el ciclo de vida útil de las lámparas, reduciendo el número de lámparas necesario, dando organización al reemplazo y mantenimiento de lámparas. Se puede lograr ahorros significativos de energía.

Para el caso de lámparas incandescentes, existen 3 opciones básicas. La primera consiste en cambiar las lámparas con otras de tipo incandescente de mayor vatiaje o de diferente diseño que dirige menor la luz generada. La segunda alternativa consiste en usar uno de los bulbos fluorescentes enroscables en reemplazo incandescente. El reemplazo de un bulbo incandescente de 60 watts ahorra 38 watts sin disminución de iluminación. El tiempo de recuperación de inversión es de alrededor de un año. La alternativa final es el reemplazo total del bulbo y de la lámpara por otro sistema distinto, ya sea fluorescente o de tipo HID.

La opción que se tome en un caso particular dependerá de los requerimientos de iluminación y de los costos locales de implementación. El reemplazo de sistemas incandescentes por sistema HID presenta generalmente un período de recuperación de la inversión de entre 1 a 2 años cuando la planta opera

en tres turnos. Los avances recientes en el diseño de lámparas fluorescentes ofrecen mucha amplitud en la selección de lámparas de reemplazo con mucha eficiencia. Se deberá analizar el uso de una lámpara de respuesta propuesta para una aplicación dada tomando en cuenta las restricciones impuestas por el fabricante.

Para sistemas HID existentes, las oportunidades de conversión son más limitadas debido a los muchos tipos de soportes y lámparas en uso. Si los sistemas son inadecuados, la solución es generalmente un reemplazo directo. Para el caso de reemplazo, se deberá asegurar que el nuevo sistema provea de iluminación adecuada a base de costos de operación mínimos y máxima flexibilidad de control. Se puede calcular de forma rápida el potencial de ahorro anual que podría lograrse por una reducción de la carga de iluminación por medio del **Cuadro 4.64**. Al hacer cálculos para lámparas del tipo de descarga, debe incluirse la carga de todo sistema de encendido que se desconecte. Este cuadro puede ser usado también para comparar los sistemas de iluminación, comparando los costos de operación para un nivel de KW dado.

La clave para el ahorro está en la habilidad para controlar los sistemas de iluminación. Pero, en la mayoría de las plantas no se tomaron precauciones al momento de la instalación para controlar el nivel de iluminación. En la mayoría de los casos, un interruptor simple controla un piso entero o un pa-

tio, haciendo difícil regular el nivel de iluminación en función del área de uso. En este, caso se debe evaluar la factibilidad económica de añadir circuitos de control.

Estos equipos van desde relojes de control hasta sensores avanzados que determinan si un área se encuentra ocupada, encendiendo y apagando automáticamente las luces. En la mayoría de las aplicaciones comerciales e industriales, los mejores sistemas de control son relojes de control y fotoceldas.

Los relojes de control son instrumentos programados para encender y apagar luces en una área determinada siguiendo una secuencia establecida. Esta secuencia se ajusta normalmente a la secuencia de operación del área dada, dejando margen a ambos extremos para los que arriban temprano y los que salen tarde. Se puede además imponer niveles de control adicionales para acomodar los varios requerimientos de iluminación de operación normal, limpieza y guardiana.

Las fotoceldas se usan generalmente para controlar sistemas de iluminación externos y de seguridad en función del nivel de la luz ambiental. Este método de control es más recomendable que los relojes de control para iluminación exterior, ya que los relojes convencionales no pueden ser ajustados para variaciones estacionales de luz ambiental o de oscurecimientos repentinos causadas por condiciones severas del clima.

4.3 TECNOLOGIA PARA TRATAMIENTO DE DESECHOS

4.3.1 TECNOLOGIA PARA TRATAMIENTO DE EMISIONES AL AIRE

Las sustancias contaminantes del aire son muy numerosas, pero de acuerdo a su estado físico podría distinguirse dos grupos:

- a. partículas sólidas y líquidas, y
- b. gases y vapores

Tecnologías generales empleadas para control en el origen o la reducción de la concentración de contaminantes gaseosos¹⁷, son:

- * Limpieza del gas de salida
- * Reubicación del origen
- * Sustitución del combustible
- * Cambio de proceso
- * Buena operación de los equipos
- * Clausura del origen
- * Dispersión

PARTÍCULAS: SÓLIDAS Y LÍQUIDAS

Materia particulada: Cualquier material no combinado con agua, que existe en estado sólido o líquido en la atmósfera o de gas bajo condiciones normales.

Aerosol: Dispersión de partículas microscópicas, sólidas o líquidas, en un medio gaseoso.

Polvo: Partículas sólidas, de tamaño mayor que el coloidal

¹⁷ Potencial Impacto Ambiental de los Efluentes Industriales en el Ecuador, Fundación Natura, 1991

(0.5 m), en suspensión temporal en el aire.

Ceniza volante: Partículas finas divididas de ceniza, contenidas en el gas de chimenea, puede contener combustible no quemado.

Neblina: Aerosol visible.

Gas: Partícula formadas por evaporación, sublimación o reacción química, predominantemente más pequeña que 1μ (humos de tabaco).

Niebla: Dispersión de gotas pequeñas de líquido de tamaño suficiente como para caer.

Partículas: Masa discreta de materia sólida o líquida.

Humo: Partículas pequeñas de gas resultante de una combustión.

Los métodos más comunes para el control y eliminación de partículas (ver Cuadro 4.65) se describen a continuación.

Separación por gravedad

Las partículas sólidas y líquidas gruesas ($50\mu\text{m}$) pueden sedimentarse en forma efectiva si se disminuye la velocidad de la corriente gaseosa que las transporta. Para que las cámaras de gravedad sean efectivas y se pueda prevenir el levanta-

miento de las partículas sedimentadas, la velocidad del gas debe ser uniforme y relativamente baja -menos de 300 cm/s- y preferiblemente menor de 30 cm/s.

Separación por inercia

Se somete la dirección de la corriente gaseosa a un cambio brusco, lo que determina la separación de las partículas por inercia. Para conseguir este efecto, los equipos deben tener en su interior obstáculos contra los que choquen las partículas, perdiendo así su velocidad y depositándose en una tolva. Con esto se eliminan del flujo gaseoso. En este grupo están: cámaras de desviación, cámaras de película, cámaras de persianas.

Separación por fuerza centrífuga

Se emplea la fuerza centrífuga, generada por el giro de la corriente de gas, para separar la materia particular (sólida o líquida) del gas transportador, impulsando a las partículas contra la pared del aparato, de la que se deslizan para caer a una tolva que las recoge. Este mecanismo recibe el nombre genérico de ciclón. Las principales clases de ciclones son: de tipo axial y espiral. Su diferencia está en la forma de introducir el gas al aparato. Los ciclones de alta eficiencia son efectivos para partículas de tamaño por debajo de 5 μm .

Separación por lavado

Se basa en el mecanismo de impactación directa, en el que el

medio separador está formado por gotas de líquido, cuya función es solamente mecánica; el líquido colector generalmente es agua. Pueden eliminarse efectivamente partículas finas líquidas y sólidas de tamaño que varíe de 0.1 a 20 μm . Los tipos de colectores húmedos son: depuradores de cámara o aspersión (con deflectores o sin ellos), ciclones húmedos, depuradores venturi y, ocasionalmente, torres con rellenos fijos o flotante.

Separación por filtración

Esta forma de separación se basa, también, en un mecanismo de impactación directa en el que el medio separador está constituido por tejidos de naturaleza muy diversa. La corriente gaseosa pasa a través del tejido y las partículas, de mayor tamaño que los intersticios, quedan retenidas. El medio filtrante está diseñado en forma tubular. El polvo retenido se puede separar del medio filtrante de varias formas: mediante agitación mecánica; flujo inverso de aire limpio u ondas sonoras de baja frecuencia.

Separación por fuerzas electrostáticas

Este método de separación es muy útil cuando el tamaño de las partículas es muy pequeño y se necesitan rendimientos de depuración muy elevados. El gas pasa a través de estrechos conductos verticales, formados por filas paralelas de los electrodos colectores en forma de placas. Entre estas filas de placas están alambres de alto voltaje, eléctricamente aisla-

dos, colocados en el centro de cada conducto. De este modo, se obliga al paso del gas contaminado entre los alambres de alto voltaje y las placas. El flujo de corriente, entre los alambres y las placas, resulta de la migración pasiva de iones de gas cargados negativamente, que van desde el alambre con carga negativa hacia las placas colectoras cargadas positivamente; la diferencia de potencial entre estos elementos es suficiente para causar la circulación de electrones que bombardean a las moléculas del gas, cargándolas negativamente y haciéndolas impactar en las placas de carga positiva. De acuerdo con el sistema de eliminación de partículas recogidas, estos aparatos pueden ser depuradores secos (por golpeo de martillos o vibradores) y depuradores húmedos (las placas son rociadas con líquido que arrastra los contaminantes depositados). Estos últimos son apropiados para partículas de alta resistividad, las que podrían estancarse en las placas, como los alquitranes y aceites.

Los CICLONES se usan cuando el polvo es ordinario, las concentraciones son bastante altas (35g/m^3) y si se desea una clasificación de partículas. No se requiere una alta eficiencia de eliminación de partículas. Los DEPURADORES HUMEDOS se usan cuando se necesita eliminar partículas finas con una eficiencia relativamente alta, si se desea un enfriamiento y la humedad no es objetable, si los gases son combustibles o se necesita eliminar contaminantes gaseosos tanto como partículas. Los FILTROS DE TEJIDOS se usan cuando se requiere

de una muy alta eficiencia de eliminación de partículas, se necesita remover materiales secos valiosos, el gas está siempre sobre su punto de rocío, los volúmenes son razonablemente bajos y las temperaturas son relativamente bajas. Los PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS se usan cuando se requiere la mayor eliminación de polvos finos, debe manejarse volúmenes muy grandes de gas o se necesita recuperar material valioso.

GASES Y VAPORES

La mayoría de contaminantes del aire reconocidos están constituidos de gases, como: el CO, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre e hidrocarburos no combustionados. La primera fuente de contaminantes gaseosos es la quema de combustibles fósiles. Otros gases y vapores, emitidos por los numerosos procesos industriales comunes, pueden causar concentraciones locales de contaminantes y alcanzar niveles de peligro. Los métodos generales de importancia para el control de muchos de los contaminantes gaseosos en gases residuales, son los denominados: de adsorción, de absorción, incineración e incineración catalítica.

Proceso de separación por adsorción

Se basa en la capacidad de ciertos sólidos para adsorber componentes gaseosos o líquidos de una corriente. Las moléculas contaminantes de gas o vapor, presentes en una corriente de desecho, son recolectadas en la superficie de un material sólido; el medio sólido que adsorbe se denomina adsorbente,

mientras que el gas o vapor adsorbido se denomina adsorbato. Además de deshumidificar el aire y otros gases, la adsorción es útil para la eliminación de malos olores y contaminantes de gases industriales, así como la recuperación de vapores de solventes valiosos contenidos en el aire y otros gases. La adsorción es una técnica particularmente útil cuando el gas contaminante no es combustible o es difícil de quemar, el contaminante es lo bastante valioso para recuperarlo o el contaminante está en una concentración muy baja en el sistema de evacuación. Existen dos formas de adsorción: física y quimiosorción.

La ADSORCIÓN FÍSICA es aquella en la que las moléculas de gas se adhieren a la superficie del adsorbente sólido, como resultado de las fuerzas intermoleculares (fuerzas de Van der Waals). Este es un proceso reversible, que puede darse tanto por disminución de la presión del adsorbato en la corriente de gas como por la elevación de la temperatura. El gas adsorbido es rápidamente desorbido o separado, sin cambios en la composición química. Esta reversibilidad es muy importante, tanto para la recuperación del gas adsorbido como para la recuperación del adsorbente a fin de reutilizarlo. Esta forma es ventajosa económicamente. LA QUIMIOSORCIÓN. Resulta de la interacción química entre el adsorbato y el medio adsorbente. Este tipo de enlace es más fuerte que en la adsorción física. Frecuentemente este proceso es irreversible. En la adsorción química, por lo general, no se produce la desorción de las

moléculas del adsorbato, o si se produce es parcial. Esto se debe a la formación de enlaces químicos entre las moléculas del adsorbato y el adsorbente.

Los medios adsorbentes de mayor utilización son: carbón activado, particularmente para recuperar vapores de solventes y sílica gel, usado primariamente para deshidratar el aire y otros gases, pero con limitaciones de temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Estos dos medios pueden ser desorbidos; el carbón activado tiene afinidad por los hidrocarburos y la sílica gel, por el agua. Otro agente deshidratante es la alúmina activada, que puede ser reactivada por calentamiento entre 175 a 325 $^{\circ}\text{C}$. Las tierras de Füller son arcillas naturales usadas en la industria del petróleo, así como en las de aceite vegetales y animales; el material orgánico adsorbido se puede eliminar por lavado o por combustión. Actualmente existe interés en el uso de zeolitas sintéticas para la eliminación de contaminantes de efluentes gaseosos. Las zeolitas sintéticas están constituidas por aluminio o silicatos metálicos que usualmente se denominan tamices moleculares. Los tamices moleculares se pueden regenerar por calentamiento o por extracción con solventes. Estos tamices se han desarrollado para el control de emisiones de SO_2 , NO_x y Hg, de las plantas de ácido sulfúrico y ácido nítrico, por ejemplo.

Proceso de separación por absorción

El control de gases contaminantes, por lavado con líquidos,

implica un contacto que permite absorber las impurezas del gas contaminado con el líquido lavador; también comprende la subsecuente separación del gas limpio del líquido contaminado. Los absorbedores se usan ampliamente para el control de los contaminantes del aire, como son el dióxido de azufre, el sulfuro de hidrógeno y los hidrocarburos livianos. El contacto del gas con el líquido se efectúa por la dispersión del primero en el segundo o viceversa. Los absorbedores que dispersan el líquido son: las torres empacadas, las torres de aspersion, los absorbedores Venturi y las columnas de platos.

Las torres de aspersion a menudo se usan para humidificar los gases residuales o para reducir la temperatura; para ello necesitan de grandes cantidades de agua. Son menos eficientes que las columnas de platos o de rellenos. Las columnas empacadas emplean altas proporciones de líquido y gas para la absorción de gases y vapores; cuando se requieren bajas proporciones de líquido se usan las de plato. Por sus altos requerimientos de energía, los Venturi (depuradores de alta eficiencia) casi no se usan para la absorción de gas.

Procesos de oxidación química

En una combinación de absorción y reacción química, el CO_2 y CO_3 pueden ser absorbidos y reaccionar en hidróxido de sodio, carbonato de sodio o soluciones de óxido de calcio. La absorción se puede realizar en forma seca con tamices moleculares. El proceso de inyección de dolomita consiste en in-

yectar ésta a un caldero en el que arde combustible fósil. La caliza reacciona con el dióxido de azufre de los gases de la combustión, formando sulfato de calcio o yeso que se remueve por depuración húmeda. En el proceso Cat-Ox, desarrollado por Monsanto, una vez que se han eliminado las partículas que contienen, los gases de chimenea pasan a través de un catalizador de pentóxido de vanadio que absorbe el SO_2 . Este será usado posteriormente para la producción de ácido sulfúrico. El proceso Reinklufit consiste en la absorción del dióxido de azufre en un lecho de carbón, formado por la calcinación de éste a temperaturas de alrededor de $593\text{ }^\circ\text{C}$.

El proceso de aluminio alcalinizado, consiste en un lecho de aluminato de sodio. El aluminato reacciona con el SO_2 del gas de la chimenea, convirtiéndolo en sulfato. El lecho se regenera por calentamiento a $371\text{ }^\circ\text{C}$; el producto de este proceso es el sulfato de hidrógeno que puede convertirse, con el proceso Clauss, en azufre elemental. Oxidación con permanganato y cloruro: los agentes oxidantes fuertes, tales como el permanganato de potasio y el cloruro o hipoclorito de sodio o calcio en soluciones relativamente diluidas, se usan especialmente donde existen problemas de olores. Estas soluciones también pueden utilizarse para depurar gases residuales que contengan pequeñas cantidades de hidrocarburos; a los que se los oxida en los depuradores y luego se los elimina. El principal problema es la alta corrosividad de las soluciones.

Condensación

Es otra posibilidad para la eliminación de contaminantes gaseosos, pero, es practicable únicamente cuando el vapor presente tiene punto de rocío alto y la recuperación del vapor condensado es simple y económica. Es usualmente aplicable para altas concentraciones de vapores orgánicos o de agua en el efluente. Tiene lugar en condensadores de carcaza o en condensadores tubulares enfriados con aire. También puede ser realizada en un condensador de contacto directo (aplicable solamente con materiales que se van a descargar).

Incineración o combustión posterior

La incineración es un proceso de combustión usado para eliminar los contaminantes del aire (gases, vapores u olores) producidos por el combustible. Se usa frecuentemente cuando el flujo volumétrico del gas residual de un proceso es grande, al igual que el nivel del contaminante. La incineración de estos gases es un buen método de control de contaminación por los siguientes aspectos:

- Casi todos los contaminantes altamente olorosos son combustibles y pueden ser cambiados químicamente a sustancias con menos olor, cuando son calentados en presencia de oxígeno por tiempo suficiente. Los contaminantes olorosos, eliminados por incineración, incluyen los mercaptanos, los gases de cianuro y el sulfato de hidrógeno.
- Los aerosoles orgánicos que causan penachos visibles se e-

liminan efectivamente por incineración. Tales aerosoles son emitidos por los tostadores de café, el ahumado de carnes y los hornos de esmaltados.

- Ciertos gases y vapores orgánicos, al ser liberados sin tratamiento a la atmósfera, contribuyen para la formación de smog. La incineración con llama elimina efectivamente estos materiales.
- Algunas industrias, tales como las refinerías, producen una gran cantidad de gases residuales altamente inflamables, además de sustancias orgánicas peligrosas. La combustión de estos gases en chimeneas u hornos especialmente diseñados, asegura su control.

Los tres tipos básicos de incineración son: de llama directa, térmica y catalítica. Con el método de **llama directa**, el gas residual se quema directamente en un quemador. En algunos casos, el gas residual puede ser una mezcla combustible sin la adición de aire. En otras situaciones, después de la adición del aire, la mezcla estará dentro de sus límites de inflamabilidad. Con la adición de una cantidad relativamente pequeña de combustible también se conseguirá una combustión exitosa. La inflamabilidad se puede alcanzar mediante el precalentamiento de la corriente gaseosa a unos pocos cientos de grados. La aplicación de este proceso es económicamente aceptable cuando la contribución de los combustibles en el gas residual está en proporción significativa respecto al total de energía requerida para la combustión.

La **incineración térmica** se usa a menudo cuando el valor del calentamiento del gas residual es bajo (40 a 750 KJ/m³). La corriente de gas es precalentada en un intercambiador de calor y luego pasa a la zona de combustión de un quemador y combustiona con el oxígeno presente en la corriente contaminada. Si la cantidad de oxígeno no es suficiente, ésta debe ser provista mediante un soplador o ventilador. La principal ventaja de la esta incineración radica en que se ejecuta a temperaturas de 816 °C a 838 °C lo que hace que el diseño de la cámara de combustión sea menos costoso. En la **incineración catalítica**, cuando los materiales combustibles del gas residual se encuentran en una concentración bastante baja, este método compite con la incineración térmica. Un catalizador acelera la rapidez de una reacción química sin sufrir un cambio en sí mismo. En consecuencia, los tiempos de residencia requeridos para las unidades catalíticas son mucho menores que los de las unidades térmicas. El tiempo para la acción catalítica es del orden de centésimas de segundo. Otra ventaja es que la temperatura de ignición para el proceso de incineración catalítica es baja, con la siguiente disminución de los requerimientos de energía; además, la corriente de gas residual no necesita ser precalentada a temperaturas tan altas como en la incineración térmica. Debido al paso de los gases residuales a través del lecho catalizador, la temperatura necesaria para la reacción exotérmica de los gases y vapores orgánicos se puede reducir hasta 260 °C. La mayoría de los gases que contienen contaminantes combustibles de proce-

Los gases industriales están a temperaturas bastante bajas, por lo que se recurre al uso de precalentadores para llevarlos a la temperatura a la que el catalizador es más efectivo (317 a 537 °C). La reacción de combustión se efectúa en la superficie del catalizador; eficiencia en el orden del 95 al 98%.

Los contaminantes de solventes incluyen: tolueno, metil-etil-cetona y otros; aquellos asignables a los procesos químicos son: CO, etileno, óxidos de etileno y propileno. Incineración catalítica de humos se usa en procesos que incluyen hornos de secado de pintura y esmalte, calderas de barniz, aire de soplado de producción de asfalto y manufactura de anhídrido ftálico. Costos de mantenimiento y del catalizador dependen de la naturaleza del gas; en algunos casos éste se debe limpiar de partículas antes de ingresar en el incinerador, pues el depósito de partículas en la superficie del catalizador disminuye el área de contacto y por lo tanto su eficiencia y vida útil. Otro problema es que algunos contaminantes pueden provocar el envenenamiento del lecho catalizador. Estas sustancias son Fe, Pb, Si y P; y los compuestos del S.

4.3.2 TECNOLOGIA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las alteraciones más importantes que pueden sufrir las aguas son consecuencia de la presencia de sustancias extrañas en ellas. Las **Características Físicas** que son cualitativas, apreciables por los sentidos humanos, como el color, olor, sabor, temperatura, sólidos en suspensión, turbiedad, formación

de espumas, etc. Las **Características Químicas** son muy importantes tanto por efectos como por las consecuencias funestas que acarrearán. Pueden ser sustancias orgánicas que, al combinarse con el oxígeno, confieren a las aguas un carácter reductor. Con la presencia de sustancias inorgánicas adquieren nuevas propiedades o se produce el amortiguamiento o pronunciación de las anteriores. Los parámetros químicos para determinar la calidad del agua son: sólidos disueltos, alcalinidad, dureza, flúor, metales (tóxicos y no tóxicos), sustancias orgánicas (biodegradables y no biodegradables), PH, nutrientes (nitrógeno, fósforo), radioactividad, etc. Las **Características Biológicas** son, en algún grado, parámetros de calidad del agua porque su presencia o ausencia indican, en términos generales, las características de un cuerpo de agua dado. Se caracterizan por contener organismos patógenos (virus, bacteria, protozoos, gusanos, parásitos, etc.) que pueden ser tóxicos. La mayoría de las aguas residuales industriales se descargan directamente desde las instalaciones de la planta, ya que raramente es posible acumularlas. Si las capacidades asimilativas de las corrientes receptoras o de los sistemas de alcantarilla no son las adecuadas, el desecho industrial no puede ser descargado en su forma original. A continuación se describen los métodos de tratamiento usuales:

Métodos en la planta

Existen varias técnicas posibles, basadas en gran parte, en una buena práctica ingenieril y de sentido común. No es usual

que por el control de desechos se **modifique un producto o proceso** de manufactura con el fin de disminuir los problemas de contaminación, pero en ocasiones éstos se incrementarán y probablemente se volverán comunes, al igual que los continuos esfuerzos de anticontaminación. Una fracción de materias primas y de productos tiende a perderse en la corriente de desechos, lo que representa una pérdida económica; la eliminación del desecho para evitar la contaminación es un costo agregado. El que puedan **recuperarse y reusarse** tales sustancias en la manufactura, o para algún otro propósito, significa una ganancia.

La mayoría de industrias usan agua, a menudo en grandes cantidades y en variados procesos aún integrando parte o nada en el producto final. Así, la mayor parte debe ser descargada como un desecho productor de contaminación. Particularmente, las aguas de enfriamiento pueden ser reutilizadas pero las aguas contaminadas deben tener un valor para su recuperación. El agua, inapropiada para reuso directo, puede servir para propósitos en los que los requerimientos de calidad sean menos estrictos. Igualmente, los enjuagues finales de un producto pueden requerir de agua pura y los enjuagues utilizados pueden integrar un circuito en serie sin purificación intermedia. La purificación del agua para su uso continuo, se efectúa algunas veces en un sistema de tratamiento integrado sin que interfiera con el proceso de manufactura.

La RECOLECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES es la primera etapa para el tratamiento; se colectan de varias o muchas fuentes en la planta y se transportan al sitio de tratamiento. Ciertos tipos de desechos deben mantenerse separados hasta que sean tratados o vayan a una etapa del tratamiento, por ejemplo: los desechos de ácidos o de cianuros. La mezcla de desechos puede ocasionar un tratamiento parcial, como la neutralización entre desechos ácidos y alcalinos. Además, la mezcla provee de igualación o nivelación de flujo y composición.

El **Tratamiento de aguas residuales** se esquematiza en el **Cuadro 4.66** y consiste de:

El *TRATAMIENTO PRELIMINAR* consiste en la eliminación de sólidos de gran tamaño (trapos, maderas, plásticos, etc.), vertidos al drenaje, con el propósito de proteger los diferentes equipos electromecánicos y las líneas de conducción de la planta de tratamiento. También se considera, para la aplicación de este tratamiento, la eliminación de sólidos de alta densidad y tamaño (arena, piedras, materias inorgánicas), que son susceptibles de ser arrastrados por el agua. Los equipos utilizados para este proceso son: rejas, desarenadores, dilaceradores.

El *TRATAMIENTO PRIMARIO* consiste en la separación de sólidos en suspensión (no retenidos en el tratamiento previo) así como de grasas, aceites y espumas. Las operaciones unitarias

que se utilizan incluyen la *separación de grasas y aceites* cuyo objetivo es retirar los aceites de las aguas, principalmente los procedentes de la refineries. Los separadores agua-aceite más utilizados especialmente en la industria petroquímica son: separadores API, separadores circulares, de placas paralelas (PPI) y de placas corrugadas (CPI). La *sedimentación* consiste en separar de una suspensión el fluido claro, que sobrenada en la superficie del lodo con una concentración elevada de partículas sólidas.

Para conseguir este efecto, se disminuye la velocidad de circulación de las aguas residuales, hasta obtener un valor en el que la materia sedimentable se deposite en el fondo de las unidades de sedimentación. El diseño y la operación de las unidades de tratamiento se basan en mantener una corriente de alimentación estable en términos de composición y flujo. Son de particular importancia: la nivelación de la concentración contaminante, la autoneutralización, la igualación de flujo, la contención de derrames, el mantenimiento de una alimentación estable para los sistemas biológicos durante el funcionamiento de la unidad, los tratamientos concurrentes y la oxidación. Las aguas residuales excesivamente ácidas o básicas requieren de una neutralización previa a su tratamiento y descarga. Las bacterias y vida acuática son sensibles a los cambios bruscos de PH fuera del rango de 6 a 9. Consecuentemente, aguas superficiales y las unidades de tratamiento biológico deben protegerse de las aguas no neutra-

lizadas, para evitar daños en los materiales de construcción, rompimiento de emulsiones, insolubilidad de ciertas materias orgánicas y el control de la rapidez de reacciones químicas. Se utilizan muchos reactivos para las reacciones de neutralización, y los mismos sistemas de reacción están en el rango de una simple trampa de caliza, hasta unidades de agitación complejas.

Estas unidades se utilizan para separar sólidos o líquidos no miscibles y de baja densidad, que se encuentran en suspensión en las aguas residuales y que utiliza aire como agente de flotación. Se instalan solamente cuando la materia en suspensión no puede separarse por otro medio. En la superficie se forma una espuma fácilmente eliminable por procedimientos mecánicos o manuales. La flotación con aire puede aplicarse como operación aislada o en combinación con la floculación. La eliminación de sólidos en suspensión y líquidos inmiscibles de descarga de aguas residuales se logra a veces sólo con la neutralización; se cumple así con un requerimiento mínimo para el control de la contaminación. La medición apropiada de la cantidad y carácter de estos materiales es la primera etapa para la selección posterior del proceso más económico de tratamiento. El proceso de clarificación puede efectuarse por floculación y coagulación. El primero es todo un proceso de formación de flóculos, por unión de partículas en suspensión existentes en el líquido. La coagulación es la floculación provocada por adición de productos químicos lla-

mados coagulantes. Filtración es el proceso que consiste en hacer pasar un fluido que contiene materiales en suspensión, a través de un medio filtrante en el que quedan retenidas las partículas sólidas. Es una operación complementaria a la coagulación y sedimentación. Por la naturaleza de la fuerza impulsora que provoca la filtración, los filtros se clasifican en: filtros de gravedad y filtros a presión. El medio filtrante está constituido por materiales tales como: arena, antracita, carbón y tierras de diatomeas.

El efluente del tratamiento primario todavía contiene entre 40 y 50% de los sólidos en suspensión originales y virtualmente todos los sólidos disueltos orgánicos e inorgánicos. La eliminación de sustancias orgánicas es denominada TRATAMIENTO SECUNDARIO y puede consistir en procesos físico-químicos o procesos biológicos. La combinación de operaciones físico-químicas, tales como coagulación, microtamizado, filtración, oxidación química, adsorción con carbón y otros procesos, puede usarse para la eliminación de sólidos y reducir la DBO hasta niveles aceptables, pero estas operaciones representan altos costos. En el tratamiento biológico, los microorganismos usan las sustancias orgánicas del agua residual como fuente de alimento y las convierten en células biológicas o biomasa. Como las aguas residuales contienen una amplia variedad de sustancias orgánicas, se requiere de igual variedad de organismos o de cultivos mezclados para un tratamiento completo.

En los cultivos mezclados, cada organismo utiliza la fuente de alimento más apropiada a su metabolismo. Los microorganismos para el tratamiento de aguas residuales son esencialmente los mismos que aquellos que degradan la materia orgánica en los sistemas naturales de agua. Hay varios tipos de reactores para el tratamiento biológico de aguas residuales, entre los que se destacan los procesos discontinuos y los continuos. Pueden contener cultivos de microorganismos en suspensión tanto como células simples o en forma de flóculos. Los cultivos fijos consisten en masas de organismos adheridos a superficies inertes sobre las que circula el agua.

Los Lodos Activados son sistemas de cultivos en suspensión. El lodo sedimentado, que contine microorganismos vivos o activos, se devuelve al reactor para incrementar la biomasa disponible y la rapidez de las reacciones. El proceso es aeróbico, con oxígeno suministrado por una corriente de aire. La biomasa producida se debe separar del licor en un clarificador, luego se concentra y posteriormente se retorna al reactor o se desecha. Las Piscinas y Lagunas también son sistemas de cultivo biológico en suspensión. Una piscina de agua residual es un gran estanque de poca profundidad en donde el agua se retiene lo suficiente para que actúe el proceso de purificación natural, para proveer de un grado necesario de tratamiento.

Por lo menos una parte del sistema debe ser aeróbico con el

fin de producir un efluente aceptable. Las lagunas se distinguen de las piscinas en que en la primera el oxígeno es provisto por aireación artificial. Existe una variedad de piscinas o lagunas que pueden satisfacer necesidades específicas. Las piscinas poco profundas, en las que el oxígeno está presente en todos los puntos, se llaman piscinas aeróbicas y frecuentemente se usan como un tratamiento adicional y se las conoce como de refinación o piscinas terciarias. Las piscinas profundas, en las que el oxígeno está ausente, excepto en una capa muy superficial, se llaman piscinas anaeróbicas y se usan en el tratamiento parcial de aguas residuales con una gran carga orgánica. Después, debe seguirse con alguna forma de tratamiento aeróbico para obtener productos finales aceptables.

En los sistemas de cultivos fijos, el agua residual entra en contacto con una película microbial fijada a una superficie. El área superficial para el crecimiento de la biopelícula se incrementa colocando un medio poroso en el reactor. Cuando se utiliza un medio de relleno sólido, el reactor se denomina filtro de goteo. El advenimiento de medios modulares sintéticos de alta porosidad y bajo peso permite una instalación vertical de varios metros de altura, constituyendo las biorres.

Recientemente, el uso de discos rotatorios, parcialmente sumergidos en el agua residual, ha conducido al proceso de

contactores biológicos rotatorios (RBC). También se incluyen en los sistemas de cultivos fijos los filtros sumergidos (anaeróbicos) y los lechos fluidizados, que pueden tener aplicaciones bajo ciertas condiciones. En el filtro de goteo y en la biotorre, el medio es estacionario y el agua que se va a tratar se pone en contacto con la biopelícula en dosis intermitentes. En el contactor biológico rotatorio, el medio mueve la biopelícula alternativamente a través del agua y del aire. Debido a que los dos sistemas mantienen condiciones aeróbicas en la superficie de la biopelícula, se clasifican como procesos aeróbicos.

En la CLARIFICACIÓN SECUNDARIA, la biomasa generada por el tratamiento secundario, representa una carga orgánica sustancial y debe ser eliminada para satisfacer las normas de un efluente aceptable. En piscinas y lagunas, esta eliminación se efectúa mediante la sedimentación. En los sistemas de lodos activados y de cultivos fijos, los sólidos, son removidos en clarificadores secundarios. Por las características de los sólidos biológicos, que son significativamente diferentes de los sistemas fijos y de los cultivos en suspensión, el diseño y operación de los clarificadores secundarios también serán diferentes.

Los clarificadores para lodos activados deben cumplir con dos objetivos: producir un efluente lo suficientemente clarificado para que cumpla con las normas para su descarga y concen-

trar los sólidos biológicos para minimizar la cantidad de lodos que se van a manejar. Ambas funciones son críticas para una operación exitosa. Los clarificadores se deben diseñar como una parte integral del sistema de lodos activados. El diseño de los clarificadores para cultivo fijo es similar al de clarificadores primarios. La función de la clarificación es el parámetro principal antes que el espesamiento del lodo. En realidad, las características del asentamiento de la biopelícula, descartada comúnmente, llamada humus, se aproximan a aquellas de las partículas discretas. Los lodos no son reciclados al reactor y de esta manera el flujo inferior es despreciable respecto al flujo de inundación; los sólidos son, a menudo, bombeados al clarificador primario, donde son concentrados junto con los sólidos de las aguas residuales sin tratar, para su disposición final.

La DESINFECCION DE EFLUENTES es un proceso requerido cuando parte del efluente circula en contacto con residuos humanos. Es esencialmente el mismo que es usa para aguas potables. La presencia de concentraciones mayores de materia en suspensión o disuelta, puede causar interferencias no encontradas en las aguas potables. Generalmente, los oxidantes químicos se consideran como los desinfectantes más efectivos. El uso de cloro para la desinfección de aguas residuales ha estado bajo observación debido al problema de la formación de haloformo.

En la DISPOSICION DE LODOS RESIDUALES, los objetivos del tra-

tamiento de las aguas residuales se logran con la concentración de impurezas en forma sólida, que luego se separan del líquido. Esta concentración de sólidos o lodos contiene muchos materiales peligrosos que deben ser dispuestos apropiadamente. La cantidad y naturaleza de los lodos depende de las características de las aguas residuales, de la naturaleza de los lodos y de la eficiencia de los procesos de tratamiento. La consistencia de los lodos residuales varía según su origen. Los primarios son más granulares en su naturaleza que los secundarios y, generalmente, son más concentrados.

En el espesamiento de lodo se dispone de varias técnicas para la reducción del volumen. Los métodos mecánicos, tales como filtración al vacío y centrifugación, se pueden usar cuando los lodos se manejan en estado semisólido, previo a la incineración. Donde se intente un tratamiento biológico posterior, la práctica común de reducción de volumen se hará mediante concentración gravimétrica y/o flotación; en ambos casos el lodo permanece líquido. Los espesadores gravimétricos son muy similares a los clarificadores secundarios usados en sistemas de crecimiento en suspensión. Son más profundos que los clarificadores.

Los lodos concentrados de aguas residuales representan un peligro considerable para el medio ambiente y deben volverse inertes antes de su disposición final. El medio más común de estabilización es la degradación biológica. La digestión de

lodos (convertir los sólidos en productos finales no celulares) reduce su volumen espesándolos y, en lo posterior, los vuelve sumamente inertes y relativamente libres de patógenos. La digestión anaeróbica es el proceso más usado, previa a la deshidratación del lodo. El lodo, se somete a descomposición por varias semanas bajo condiciones controladas y en tanques anaeróbicos especialmente diseñados. En el digestor, las bacterias anaeróbicas convierten una parte sustancial de la materia orgánica del lodo en gases. Luego de que el lodo ha sido transferido a tanques de digestión secundaria, se separa algo del agua decantada. Se utiliza una amplia variedad de organismos para la descomposición. Estos se dividen en dos grandes grupos: los formadores de ácido y los formadores de metano. Los primeros son bacterias anaeróbicas y facultativas e incluyen organismos que solubilizan los sólidos orgánicos a través de la hidrólisis; estos productos solubles son entonces fermentados obteniendo ácidos y alcoholes de bajo peso molecular. Los formadores de metano son estrictamente bacterias anaeróbicas que convierten los ácidos y alcoholes, junto con el hidrógeno y el dióxido de carbono, en metano.

Un digestor anaeróbico típico, de velocidad normal, tiene una operación simple: el fondo cónico facilita la descarga del lodo, mientras que la cubierta flotante se ajusta a los cambios de volumen, causados por la adición de lodos y descargas. Al separar los lodos del reactor puede ocurrir una cierta mezcla en la interfase de la digestión activa y el sobre-

nadante, debido a la descarga y retorno de lodo caliente. El lodo del digestor es alimentado intermitentemente y el sobrenadante es retirado y retorna a la unidad de tratamiento secundario. El lodo digerido se acumula en el fondo.

Los lodos también se pueden estabilizar por digestión aeróbica. Generalmente se restringen a lodos biológicos en ausencia de lodos primarios. Este proceso es esencialmente una continuación de los procesos de aireación con la reducción de volumen por espesamiento, en el clarificador secundario y espesador de lodos. La aplicación más común de la digestión aeróbica, involucra la estabilización del lodo desechado de sistemas de aireación ampliados. Puesto que no se suministra una fuente de alimentación externa, la digestión aeróbica es un proceso endógeno de respiración, donde los organismos están forzados a metabolizar su propio protoplasma. El resultado es un lodo mineralizado en el que permanecen elementos orgánicos, principalmente paredes celulares que no se biodegradan rápidamente.

Existen varias opciones para la disposición final de lodos, como la incineración, la disposición en rellenos sanitarios y la incorporación en suelos como fertilizantes o acondicionadores. Los lodos no tratados (no digeridos) pueden ser incinerados reduciendo el contenido de agua. Los lodos primarios o digeridos se pueden depositar en vertederos sanitarios donde se han tomado medidas para evitar filtraciones y aislar

el lodo del medio ambiente. La aplicación de lodos en suelos se limitan a lodos digeridos. El valor en nutrimentos del lodo es benéfico para la vegetación, y su naturaleza granular sirve como acondicionador del suelo. Su aplicación se ha limitado a suelos destinados para la producción de forraje para consumo no humano; sin embargo está en estudio su uso en lo que se refiere a cultivos comestibles. La toxicidad de metales en plantas y aguas contaminadas por exceso de nitratos parece ser el factor limitante en la aplicación de lodos. Los lodos pueden ser dispuestos en estado líquido por aspersión, en sistemas de colinas y surcos o por inyección directa debajo del suelo.

La eliminación de lodos, excepto para irrigación, se facilita gradualmente por la reducción del volumen mediante deshidratación. Esto puede conseguirse por medios mecánicos, tales como la centrifugación, filtración al vacío, filtro a presión o por secado al aire. El secado al aire de lodos digeridos es posible en climas con un significativo potencial de evaporación. Puesto que el lodo bien digerido es esencialmente inerte, puede ser manejado y almacenado al aire, sin condiciones de molestias crecientes. Las instalaciones de secado al aire incluyen lechos de secado; la arena y el sistema de drenaje pueden omitirse en climas secos, donde la evaporación de la superficie es suficiente como para eliminar el líquido. Otra forma de deshidratar lodos digeridos es mediante el uso de piscinas de lodos. Las piscinas de lodos funcionan como

estanques de sedimentación con tiempos de retención largos. Los sólidos se acumulan en el fondo, mientras que el sobrenadante se elimina periódicamente de la superficie y es hecho recircular para su tratamiento. Cuando los sólidos se han acumulado a una altura preseleccionada, la piscina es puesta fuera de servicio para permitir el secado. El lodo seco se extrae para su disposición final, en rellenos sanitarios.

En el TRATAMIENTO TERCIARIO, cuando la calidad del efluente que proviene del tratamiento secundario no es suficiente para su descarga hacia una corriente receptora, debido a la persistencia de contaminantes, es necesario someterlo a un tratamiento adicional. Este tratamiento conduce a la eliminación de la materia orgánica remanente del tratamiento secundario o a la eliminación de elementos no biodegradables como sólidos en suspensión, sales inorgánicas disueltas como las de nitrógeno y fósforo, y nutrientes asociados con la eutroficación y con la posibilidad de reutilización del agua tratada. Algunas operaciones o procesos unitarios del tratamiento secundario y del primario, se pueden reemplazar por un sistema de tratamiento terciario. Los procesos y operaciones unitarias que se incluyen en este tratamiento son:

Adsorción, proceso que se basa en la retención sobre la superficie de un sólido (adsorbente), de las moléculas en disolución (adsorbato), por la acción de fuerzas químicas (cargas eléctricas de valencia) o física. Se aplica para eliminar los

restos de materia orgánica y contaminantes específicos. Cuando la adsorción es química, el proceso es irreversible y resulta imposible la recuperación del adsorbente.

Intercambio Iónico, proceso que consiste en el intercambio de iones entre los elementos presentes en una disolución y los existentes en una fase sólida finamente dividida (0.5 a 1.5 mm de diámetro), sin alterar la estructura física de la última, denominada cambiador. Las tierras naturales (sílica-aluminio) se utilizan como cambiadores, aunque en la actualidad, casi son exclusivamente resinas orgánicas sintéticas (de tipo divinil-benceno-estireno). Las resinas son de dos tipos, de acuerdo a los iones a intercambiar: aniónicas y catiónicas. Los cambiadores catiónicos son de los siguientes tipos: sílicos-aluminatos de sodio, carbones sulfonados, resinas fenólicas sulfonadas, poliestirenos sulfonados y resinas carboxílicas. El proceso de intercambio iónico se realiza en cuatro etapas bien diferenciadas: carga, lavado ascendente, regeneración o elución y lavado descendente. La operación se ejecuta en columnas rellenas con las resinas o el material de intercambio, formando un lecho, a través del cual se hace pasar el agua residual con un caudal constante.

La *Osmosis Inversa* es un proceso que hace uso de finas membranas microporosas para recuperar contaminantes rentables. Este sistema usa presión para reducir el agua a través de la membrana contra la fuerza de la presión osmótica; la presión

aplicada excede en magnitud a la presión osmótica natural. Otro proceso usa fuerza eléctrica para conducir los iones a través de una membrana selectiva y se denomina electrodiálisis. Las membranas usadas comúnmente en la ósmosis inversa están compuestas de acetato de celulosa con un espesor de alrededor de 100 μm . La película contiene aberturas microscópicas que permiten el paso de moléculas de agua pero retienen los sólidos disueltos. El resultado del proceso es una solución concentrada de iones en el lado de la presión de la membrana y agua relativamente libre de iones. Las unidades tubulares son más apropiadas para el tratamiento de aguas residuales, por que la obstrucción de la membrana puede minimizarse por el incremento de la velocidad del flujo a través del tubo.

La *Ultrafiltración* es una operación físico-química íntimamente ligada a la retro-ósmosis. Se basa en la separación, según el tamaño molecular, de los componentes de una solución a través de membrana de ultrafiltración que actúa como tamiz; esto permite el paso del agua y de solutos de bajo peso molecular, reteniendo a los de peso molecular alto. Su eficiencia depende de la presión aplicada que debe ser suficiente como para vencer la resistencia de la membrana. La ultrafiltración se usa para tratar las aguas residuales de industrias tales como la química, la papelera y la de alimentos.

En la *Eliminación de Nutrientos*, la descarga de aguas resi-

duales que contienen un exceso de nutrientes en cuerpos de agua, da origen al fenómeno de eutroficación, es decir, al crecimiento exagerado y desordenado de algas que alteran el equilibrio del sistema, desfavoreciendo la vida de plantas y animales acuáticos. Los nutrimentos de interés son los compuestos de nitrógeno y de fósforo que deben eliminarse de las aguas residuales.

En la *Eliminación del Nitrógeno* se puede conseguir la conversión del nitrógeno orgánico a nitrato sin una significativa nitrificación, por un proceso aeróbico con períodos de tratamiento lo suficientemente largos. Los procesos más comunes para la eliminación de amoníaco de aguas residuales son: por despojamiento con aire, y por nitrificación y denitrificación biológica. En la operación del despojamiento con aire, se convierte el amoníaco a la fase gaseosa, permitiendo así la transferencia del amoníaco del agua residual hacia el aire, con ajustes de PH ($PH > 11$), previos al despojamiento; por razones económicas se usa cal para nivelar el PH, así como para controlar la alcalinidad.

La nitrificación-denitrificación consiste en convertir el nitrógeno amoniacal en nitrógeno gaseoso mediante procesos biológicos. En esta forma, el nitrógeno es inerte y no reacciona con el agua residual ni con otros constituyentes. La conversión del amoníaco en gas nitrógeno por medios biológicos consta de dos etapas separadas: el amoníaco primeramente es

oxidado a nitrato y luego reducido a nitrógeno molecular. Estas reacciones deben efectuarse en reactores separados. Los organismos responsables de la nitrificación son: bacterias autotróficas, nitrosomonas y nitrobacterias. Sin embargo, una fracción de amoníaco se convierte en biomasa por esta reacción; las reacciones catabólicas son los principales procesos de conversión de amonio. La nitrificación puede efectuarse en reactores de cultivo en suspensión o fijo. La nitrificación puede ejecutarse junto con la eliminación de DBO carbónica.

En la *Eliminación de Fósforo*, las principales formas son: fósforo, polifosfatos y ortofosfatos orgánicos. El fósforo orgánico se origina en los desechos del cuerpo y de los alimentos, y de la descomposición de estos sólidos, siendo descargado como ortofosfato. Los polifosfatos se usan extensivamente en detergentes sintéticos que a menudo contribuyen con más de la mitad del fósforo contenido en las aguas residuales. El principal medio para la eliminación de fosfato es la precipitación química, a un PH ligeramente ácido; los ortofosfatos se combinan con cationes trivalentes de aluminio o hierro, para formar un precipitado. A valores altos de PH, el calcio forma un complejo insoluble con el fosfato. La adición de cal puede proveer el calcio y el ajuste de PH necesario. La eliminación del fósforo puede ser realizada en el tratamiento primario o secundario, o ser agregado como un proceso terciario.

4.3.3 TECNOLOGIA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS

De los varios tipos de materiales de desecho que las industrias pueden generar, los desechos sólidos son, sin duda, los de más difícil manejo, debido a los diferentes tipos que hay. Los desechos sólidos pueden ser combustibles y no combustibles; abarcar partículas grandes, voluminosas o muy finas; pueden estar fluyendo o inmóviles; estar humedecidos con agua u otros materiales, o estar absolutamente secos. Las limitaciones para su disposición son pocas.

Se debe examinar las posibilidades de recuperación de materiales de los desechos sólidos industriales, previo a considerar su disposición, de los que hay pocas formas apropiadas. Si se van a quemar se someterán a incineración; si pueden producir gases o líquidos como subproductos, entonces sería la pirólisis, y si son biodegradables, es posible utilizarlos como abono. Si no se prestan para ninguno de estos, se deberá constituir un relleno sanitario, que es lo más adecuado para nuestro medio y en general. Para definir un sistema de tratamiento o una forma para la disposición de los desechos sólidos, deben considerarse varios puntos:

- Cantidad del sólido
- Características físico-químicas, denotando posible peligro
- Identificación de materiales recuperables del desecho
- Condiciones socio-económicas de la población que debe pagar el servicio

La determinación de la cantidad del desecho sólido es razonablemente fácil de realizar; las densidades de varios tipos de sólido pueden obtenerse de la literatura apropiada y de muestreos in situ, y deben definirse su volumen y su peso total; esta información facilitará su manejo y disposición adecuados. Las características físicas determinan si el desecho es sólido o un residuo viscoso y alquitradado, o una mezcla de líquidos y sólidos, y si están contenidos en tambores, pacas de fibra o en bloques.

En lo posible, el conocimiento del calor específico, humedad, cantidad de materia volátil e incluso fórmula química, es importante para la selección del sistema de disposición mecánica de los materiales de desecho. La consideración de la recuperación y reciclajes de materiales, talse como metales de todos los tipos, vidrios, químicos y valor calórico, conduce a dos objetivos importantes: lograr un recurso valioso para la reutilización y un espacio valorable en un relleno.

En el campo industrial, el manejo de materiales sólidos de desecho es difícil porque no son uniformes, existiendo variaciones de tamaño y de materiales. Los residuos sólidos deben ser tratados para hacerlos más aceptables para su disposición final. Por ejemplo, si la disposición final es un relleno, es deseable compactar los desechos de alguna manera. Por otro lado, la compactación no es ventajosa cuando los residuos van a ser incinerados, puesto que el aire no entra en contacto

con el material combustible del desecho compactado, haciendo que la velocidad de combustión sea lenta. Igualmente, cuando el destino final es la elaboración de abono, lo cual no es rentable, es inconveniente que los materiales orgánicos estén finamente divididos para dar uniformidad a las operaciones.

Los **compactadores** pueden ser estacionarios o móviles. Los móviles reciben el material de desecho y lo comprimen instantáneamente para luego trasladarlo a otro punto, donde generalmente se usa para aplicaciones industriales. Ello no excluye su uso en otros procesos. Los compactadores están constituidos por la unidad receptora y la unidad de compactación. La primera alimenta a la segunda. El compactador es un pistón operado hidráulica o neumáticamente, que estruja los desechos, incrementando su densidad relativa mediante la aplicación de alta presión.

Los desechos sólidos industriales que pueden **Compactarse** adecuadamente son basura, sacos, cartones, desperdicios, etc. No se compactan piezas grandes de metales, vidrios y plásticos pesados. Los compactadores no pueden procesar breas, lodos o materiales líquidos, ya que estos provocan muchos problemas operacionales. La mayoría de los compactadores para aplicaciones industriales son estacionarios. Se deben considerar varios aspectos para la adquisición del compactador más adecuado, entre ellos podemos citar: el tamaño del área de carga y el lugar donde se va a operar; el tiempo del ciclo,

que se refiere al tiempo en segundos requerido para que el frente del pistón, completamente retraído, compacte la basura cargada en el receptáculo y retorne a su posición inicial. Otras consideraciones son la presión en el frente del pistón, la longitud de juego del pistón, etc.

En la **Reutilización de Residuos Sólidos**, las piezas metálicas grandes, y en muchos casos las pequeñas, que forman parte de los residuos sólidos, pueden causar serios problemas por daños en los compactadores. Es deseable, entonces, que se eliminen, e igualmente los vidrios, especialmente si el destino final de los desechos es un relleno o la incineración. A nivel de la planta industrial puede realizarse la separación de los desechos sólidos reusables, mediante la aplicación de métodos sencillos.

Los procedimientos para la separación de metales y vidrios son diversos según la situación particular en la que tienen que operar. Por ejemplo, los separadores magnéticos y los detectores de metales se pueden usar en los conductos de alimentación de incineradores, molinos de martillo y otros aparatos desmenuzadores, y también en transportadores, depósitos de almacenamiento y secadores, en el punto de preprocesamiento de desechos sólidos.

El **Desmenuzamiento** es un método de reducción de tamaño de los desechos sólidos (que da además uniformidad de tamaño a las

partículas), que se aplica previo al ingreso de los desechos a un incinerador, a un relleno, a un sistema de preparación de abono o a otro equipo. Este proceso tiene considerables ventajas en las tres áreas, pero esencialmente es una buena operación para la obtención de abono. Existen diferentes tipos de máquinas de reducción; se pueden citar: trituradores de rodillos, de mandíbulas, molinos de martillo, desmenuzadores, etc. El tipo de desecho y el producto final deseado determinan, fundamentalmente, la selección de la máquina adecuada. Cada tipo de aparato efectúa un tamaño de reducción de acuerdo a los diferentes tipos de trituración.

El triturador de rodillos usa el impacto del corte y la compresión; el triturador de mandíbulas usa el impacto y la compresión, y el molino de martillos el impacto, rozadura y corte. Para la selección del equipo de reducción de tamaño deben considerarse el tamaño de la alimentación, porque el depósito del alimentador no es tan grande como el material que va a ser manejado y el proceso de reducción de tamaño trabajará debidamente. También se debe conocer la capacidad en toneladas por hora y el tamaño y forma del producto final, pues afectarán al tamaño y tipo de molienda requerida.

Existen 3 áreas específicas fundamentales para la **Conservación y Recuperación de Recursos**: Reutilización del recurso mediante algún proceso de tratamiento que lo convierta en su forma inicial, Recuperación de calor de sistemas de genera-

ción con combustibles fósiles, también comprende el uso de materiales de desecho, celulósicos o plásticos, y la *Recuperación para otros propósitos* que significa cambiar las características del material de desecho para un reuso útil, mediante un reprocesamiento determinado.

La industria reutilizará internamente lo que le interesa económicamente. La industria de reuso más antigua es la metálica (debido al incentivo económico), y probablemente la más grande en su campo. Sería difícil, para el promedio de plantas de la industria metálica básica, reutilizar sus mismos productos de desecho dentro de sus límites. Existen empresas especializadas en la reutilización de tales materiales, que recuperan su valor y lo ponen en circulación, conservando así el suministro de materia virgen. Igualmente, existen muchos incentivos en términos de consumo de energía y ahorro de combustibles.

La **incineración de desechos sólidos** es un método de disposición final. Esta se realiza pocas veces fuera de la planta, a causa de los costos, de manera que muchas industrias están instalando sus propios incineradores. Un buen incinerador industrial debe reducir el peso y volumen del desecho aproximadamente en un 95%.

Estos residuos pueden ser recuperados o dispuestos de alguna otra manera. Los incineradores no se crearon para quemar vi-

drio y metales, sino para quemar materia orgánica. La incineración depende del tiempo de permanencia del material de desecho en el incinerador, de la cantidad de mezcla existente entre el aire (oxidante) y el material de desecho y de la temperatura a la que se efectúa la reacción. Cada uno de estos tres factores es significativo en la operación del incinerador y debe tenerse presente para un buen diseño. Existen varios tipos de incineradores: de dos cámaras, de foso, ciclónico, de hogar múltiple, de lecho fluidizado (incinerador de lodos), de horno rotatorio, de hogar rotatorio, de secado instantáneo, etc.

La recuperación del calor se puede aprovechar de varias formas cuando implica la utilización de materiales de desechos de una operación industrial y depende de la cantidad y características del desecho y los métodos de disposición final. Las 2 formas son: colocar un caldero de calor residual u otro dispositivo de recuperación en un incinerador de desecho sólido existente o adaptar calderos existentes para que puedan recibir los desechos sólidos generados en la planta. Esta es la opción generalmente más practicada en las plantas en las cuales se quema carbón, y el caldero es prendido por un fogonero. Considerando los incrementos en los costos de combustibles fósiles, la recuperación de calor de desecho sólido es una posibilidad muy interesante, económicamente.

La **Pirólisis** se describe como un cambio químico, inducido por

La acción de calor; esencialmente es un proceso de cocimiento más que un proceso de combustión. La aplicación de pirólisis en materiales de desechos secos causa la volatilización de algunos componentes como resultado de alguna reacción química. Este proceso se refiere al calentamiento indirecto antes que al directo; sin embargo, algunas formas de pirólisis pueden implicar combustión. La mayoría de los sistemas pirólíticos de desechos sólidos involucran combustión con deficiencia de aire. En tal proceso, la pirólisis origina gases de chimenea, rínicos en hidrocarburos, que pueden ser quemados en un quemador secundario o pueden ser recuperados y depurados, para luego ser usados como combustible en algún otro proceso.

Además, en la recuperación de energía, el fundamento para usar pirólisis antes que incineración directa es que, presumiblemente, se simplifica el control de la contaminación del aire, debido a que los gases y no sólidos son quemados al final del sistema. La mayoría de los sistemas comerciales de pirólisis están diseñados para la recuperación de calor o para la generación de combustibles gaseosos que puede ser usado en otra parte. Actualmente, la pirólisis tiene poca aplicación industrial en el campo de la disposición de desechos; se usa ampliamente en procesos químicos para elaborar materia les como carbón, carbón negro y carbón activado.

Los **Rellenos Industriales** tienen características algo diferentes a las de los relleos sanitarios municipales. Aunque

las industrias manejen materiales en parte similares a los desechos municipales (residuos, cajas de envases o cartones, empaques de madera o materiales parecidos), también tienen muchos otros distintos, tales como materiales de construcción y una amplia variedad de desechos químicos, que una planta industrial debe desechar con seguridad. Muchas de las industrias tratan de incorporar sus desechos en un relleno simple, pero es imprudente el uso de la tierra para el depósito de desechos químicos, por lo que deben tomarse particulares precauciones.

Los rellenos serán considerados bajo dos aspectos: rellenos para materiales que tienen poco o ningún peligro de filtraciones peligrosas y rellenos para una amplia variedad de materiales químicos y posiblemente materiales peligrosos. En el diseño de rellenos deben tenerse en cuenta algunos aspectos para su buen funcionamiento:

- Cumplir con todas las regulaciones existentes
- Proteger el medio físico: aguas subterráneas, superficiales y la calidad del aire
- Minimizar molestias operacionales: suciedad, polvo, ruido y fuego
- Minimizar tiempo de descarga para usuarios locales
- Minimizar costos: inicial, operacional y totales
- Proteger a trabajadores y dar seguridad a los usuarios
- Permitir el máximo uso de la tierra cuando el sitio esté

completo

- Mantener la estética del sitio

El relleno industrial resulta más económico cuando se lo realiza con materiales que han sido desmenuzados y triturados en piezas individuales con una sección de 6.5 cm^2 o menos. Los artículos grandes crean vacíos y hacen que la compactación sea difícil. Por economía, generalmente no se construye un relleno sanitario para residuos sólidos municipales y otro para residuos sólidos industriales. Para el diseño de los rellenos se deben considerar ciertos puntos:

- La cantidad de desecho
- Tipos de desecho
- Topografía del terreno
- La geología e hidrología del lugar del relleno
- El clima
- La disponibilidad de tierra para el relleno
- Los costos asociados a la operación apropiada del relleno
- Los costos de la tierra y su posibilidad para otros usos

Un **Relleno Químico** verdaderamente seguro tiene que considerar la variedad de estados físicos del material de relleno, para eliminar la posibilidad de filtraciones contaminantes hacia aguas subterráneas, o la eventual posibilidad de incendios y explosiones. El relleno debe ser construido de tal forma que los desechos puedan permanecer por un período ilimitado

sin efectos adversos sobre el medio ambiente. Debe prever que los desechos se descompongan biológicamente en productos que no sean una amenaza para el medio ambiente.

Aquellos materiales que son depositados en recipientes tales como pacas de fibra o tambores están en la primera categoría, por que virtualmente no existe otro tipo de tratamiento. Materiales que podrían ser descompuestos biológicamente en productos que no contaminen gradualmente el medio ambiente, deberán ser rellenos en bultos. Las consideraciones para el diseño de un relleno químico son las siguientes: gran volumen para almacenar no solo los desechos actuales sino también los futuros, debe ubicarse en un área cercana al origen de desechos para reducir problemas de transportes, supervisión, seguridad y operación, debe ser impermeable a filtraciones y ubicarse en una región en donde las excesivas lluvias o inundaciones no afecten adversamente su operación, debe dar protección al personal que trabaja en el área y en la planta, debe estar dividido de tal manera que esté protegido de incendios y pérdidas de propiedades por daño del fuego como de problemas de generación de olores, el desecho que podría ser interactivo, debe mantenerse en áreas diferentes de relleno para prevenir un peligro resultante de escape de una área a otra y se debe considerar la posibilidad de que se produzca gas por oxidación biológica del desecho al mezclarse con la tierra y por tanto se debe proveer de vías apropiadas que permitan escapar al gas sobre la superficie total de trabajo.

El relleno químico de desechos puede manejarse mejor a través de un relleno de trinchera, donde la tierra se remueva y se mezcle con el desecho químico. El diseño de un relleno químico debe considerar que las aguas de filtraciones fluyan por algún tipo de ducto o tuberías, que las conduzcan a una represa para un tratamiento posterior; además, las aguas superficiales deben desviarse antes de que alcancen el material del relleno químico. Cada desecho debe ser analizado completamente. Se debe tomar una decisión sobre el método de disposición, bajo la responsabilidad de personal técnico calificado. En general, debe realizarse supervisiones en los rellenos y, en especial, en los rellenos químicos. Se hacen pozos de prueba alrededor del relleno y en varias profundidades.

En rellenos químicos, los pozos de prueba deben localizarse en la dirección del flujo de aguas subterráneas y a profundidades entre las aguas subterráneas y del agua de superficie; además, deben estar situados al exterior de la membrana o del recubrimiento impermeable del relleno. El material colocado sobre el relleno deberá ser arcilla relativamente impermeable, para que se puedan reducir las infiltraciones de agua al interior del relleno; sobre ella se colocará una capa de tierra con el fin de estimular el crecimiento de plantas, luego que hayan transcurrido dos o tres años. Un relleno químico debe ser adecuadamente enmarcado y señalizado, así, éste será un relleno a perpetuidad que debe ser mantenido por la empresa que lo estableció.

CAPITULO # 5

MANTENIMIENTO DEL PROGRAMA DE AUDITORIA AMBIENTAL

La tarea de mantener el programa se hará más fácil con el establecimiento de un Programa de Conocimiento de la Prevención de la Contaminación. Un sumario de los métodos de llevar esto a cabo¹⁸, lo tenemos en el cuadro 5.1. Este programa va dirigido a promover la participación de los empleados en el esfuerzo de la prevención. Los objetivos de este programa son:

- * Fomentar un conocimiento de las actividades relacionadas al ambiente
- * Informar a los empleados de las emisiones específicas al ambiente
- * Reconocer esfuerzos de prevención de contaminación de los empleados
- * Animar a empleados a participar en la prevención de la contaminación
- * Publicar alternativas exitosamente aplicadas

5.1 RELACION CON EL RECURSO HUMANO

5.1.1 INTEGRACION DEL PROGRAMA AL PLAN DE LA EMPRESA

Las unidades que generen desechos podrían ser recargadas con los costos totales de control y disposición de los mismos. Encasillar los costos de manejo de desechos como gastos generales puede conducirnos a la idea que la disposición es gratis. Cargando los costos de manejo de desechos a las unidades que los generan se recuerda a los encargados de las mismas

¹⁸ Formas de Mantener y Mejorar Programas de Prevención de la Contaminación, Environmental Protection Agency, 1990

que el control y disposición son factores apreciablemente mayores en el costo de los negocios y motivándolos a encontrar formas de cesar la generación de desechos.

El sistema de información deberá rastrear y retener los datos necesarios para medir los resultados del programa de prevención de la contaminación. Los reportes deberán prepararse con la frecuencia necesaria para habilitar a los encargados de las unidades para monitorear y ajustar sus operaciones para acoplarse a los programas que se establecieron durante la etapa de planeación.

La gerencia general puede realizar acciones de continuo apoyo al programa con la conducción anual de revisiones al mismo. Los resultados de estas revisiones deberán ser comunicados a todos los empleados mediante anuncios escritos y reuniones. Los éxitos del programa deberán ser reconocidos y cualquier cambio en los objetivos o políticas debe ser anunciado y explicado. Si estas revisiones demuestran fallas crónicas del plan de trabajo, los ejecutivos de la compañía y la fuerza ejecutora del programa se reunirán para reevaluar el mismo.

5.1.2 EDUCACION DEL PERSONAL

El programa de entrenamiento incluirá personal de todos los niveles dentro de la compañía. La meta es hacer conciencia a los empleados de la generación de desechos, su impacto en el ambiente y las formas en que la cantidad de desechos puede

ser reducida y la contaminación prevenida¹⁹. Debe incluir aspectos dados en el **cuadro 5.2**. Un entrenamiento más detallado en la prevención de la contaminación será dado a los empleados después de que han estado en el empleo por algunas semanas. Este entrenamiento dará las habilidades necesarias para participar en la prevención de la contaminación.

En muchas plantas, los empleados en ciertos trabajos deben ser entrenados y examinados en sus conocimientos de operación específica estándar en el sitio, previo a trabajar en él. El entrenamiento en la prevención de la contaminación puede ser incorporado aquí. Sesiones de entrenamiento especializado en las políticas de prevención de la contaminación, procedimientos y técnicas serán provistas al personal cuando se expande su campo de trabajo o cuando son transferidos a otras áreas en la compañía. Si el progreso del programa de prevención es lento, se revisará la cantidad y tipo de entrenamiento de prevención dado y se considerará incrementar su frecuencia y asistencia. Un reentrenamiento periódico de los empleados puede ser necesario cuando las políticas y procedimientos cambian. Reentrenar a los empleados también reiterará las acciones para la prevención de la contaminación.

5.1.3 MANTENIMIENTO DE LA COMUNICACION INTERNA

La meta es mantener a los empleados motivados (**cuadro 5.3**). Ellos necesitan identificarse con las metas y objetivos y continuamente tener la oportunidad de contribuir a su éxito.

¹⁹ Prácticas y Motivación en la Prevención de la Contaminación, Environmental Protection Agency, 1990

Los empleados tomarán sus roles en la prevención de la contaminación más seriamente cuando sus jefes los mantengan informados y los alienten a proponer ideas de prevención.

Hay que asegurarse de que los empleados regularmente reciban programas de trabajo que sean veraces y claros. Los objetivos que se describen en términos vagos y tienen resultados pobremente cuantificados y reportes que son emitidos a intervalos irregulares, pueden dar la impresión de poca importancia para la prevención de contaminación. Se debe explicar al personal cualquier falla en el programa de trabajo, resultado de cambios inesperados y la necesidad de mayor participación. Los empleados trabajarán más efectivamente cuando saben qué dirección esperar de ellos. El cese de reportes o faltas al presentar actividades en desarrollo da a los empleados la impresión de que poco progreso se hace y/o que el programa total no es ya algo importante.

Se debe solicitar activamente las ideas de los empleados para proyectos de prevención de contaminación. Los Foros promoverán intercambio de información que ayudará a generar nuevas ideas. Puede organizarse un concurso para obtener y recompensar los aportes de los empleados. Las sugerencias serán evaluadas con premura y puestas en práctica si son encontradas factibles. En forma similar, si un empleado propone una idea que no es implementada, explicarle por qué no fue usada y trabajar con él para desarrollar una idea aceptable.

5.1.4 PROGRAMA DE INCENTIVOS A LOS EMPLEADOS

El progreso en la prevención de la contaminación puede ser presentado como un objetivo en el cual se basan evaluaciones de desempeño anual del trabajo, particularmente a nivel de directores. Los empleados que sugieren medidas para prevenir la contaminación que prueban ser satisfactorias y se preparan para implementarse, deben ser presentados en la cartelera informativa de la compañía o en los informes mensuales.

El ahorro estimado y/u otras ventajas que la compañía o unidad obtendrá serán incluidos en este informe. Reuniones periódicas de grupos pueden ser un buen foro para anunciar esfuerzos individuales para controlar la contaminación en las operaciones diarias de la empresa. Estableciendo el premio como un porcentaje del ahorro anual estimado de la compañía o unidad de producción, se elevará el valor concreto de la prevención de la contaminación.

5.1.5 ALCANCE PUBLICO Y EDUCACION

Los empleados pueden hablar en las reuniones de las organizaciones comunales y en las escuelas para publicitar el progreso del programa de prevención de la contaminación de la empresa. Folletos dados en las reuniones de carácter técnico y artículos publicados en revistas comerciales y profesionales son formas adicionales de publicidad positiva. Todas estas medidas ayudan a demostrar que las acciones de la compañía para prevenir la contaminación son bastante realistas.

5.2 DISEÑO DE PRODUCTOS AMBIENTALMENTE COMPATIBLES

Una clase completamente distinta de objetos de consumo va abriéndose camino. Se trata de productos que proporcionan directamente una protección al ambiente. Por una parte, se encuentran dispositivos automáticos que ayudan a crear procesos industriales más favorables al medio. Existen instalaciones enteras en las que las emisiones son sometidas a un tratamiento con objetivos ambientales:

- * Para que puedan ser reciclados posteriormente
- * Para que se reduzca la cantidad de inmisión
- * Para reducir o neutralizar efectos producidos por la inmisión

A este grupo pertenecen, depuradoras, instalaciones pirolíticas y dispositivos de filtración de aire. En general, suelen clasificarse según la función que desempeñen: Eliminación de Productos Residuales, tratamiento de aguas sucias, del aire o del agua potable. Su venta en los distintos mercados también está acorde con esta clasificación funcional. Así, va aumentando más y más la utilización de sistemas, en los que la protección del medio se aborde como un problema global, que puede ser tratado de forma integrada. El mercado verde está constituido por aquellos bienes que siguen las normas ambientales más estrictas en sus procesos de producción y distribución y que por lo tanto, pueden ser consumidos sin impacto ambiental significativo y con efectos ambientales positivos.

En el **cuadro 5.4** tenemos una lista de bienes verdes²⁰. El mercado

²⁰ Lista tomada de la Publicación 3602 del Convenio de Asistencia Técnica del Banco Interamericano de Desarrollo

de estos y otros productos verdes está siendo promovido por organizaciones ambientalistas y ecologistas en todo el mundo, las que piden a su vez la prohibición de importación de bienes contaminados o producidos en forma no sustentable, o sea afectando la salud humana o los ecosistemas. En el Ecuador, las empresas y microempresas tienen la ventaja de estar situadas en un país de alta diversidad tanto en lo ecológico como en lo cultural y que posee una posición geográfica llamativa y de importancia geopolítica. Estas ventajas podrían aprovecharse y obtener créditos adicionales en las instituciones que protegen la naturaleza y raíces culturales del planeta.

Tomando en cuenta consideraciones ambientales durante la planeación, diseño y desarrollo del producto, la compañía puede minimizar el impacto negativo de sus productos al ambiente. Se deberá implementar cambios de diseño para prevenir la contaminación de tal forma que la calidad o función del producto no sea fuertemente afectada. Esto puede ser realizado por las personas directamente envueltas, dentro de la estructura de la política de la compañía y con soporte de la dirección de la misma, ya sea o no como respuesta a incentivos externos a la compañía.

El proceso de observar todo aspecto del diseño del producto desde la preparación de componentes hasta el fin de su uso es el avalúo del ciclo de vida. Se evalúa los tipos y cantidades de entradas al producto como energía, materia prima y agua, y de salidas del producto como emisiones a la atmósfera, desechos sólidos y conducidos por agua y el producto terminado.

5.2.1 ETAPAS EN EL AVALUO DEL CICLO DE VIDA

Puede ser usado como herramienta técnica objetiva para identificar y evaluar oportunidades para reducir impactos ambientales asociados con un producto, proceso o actividad específica. El avalúo del ciclo de vida nos da una aproximación analizando el ciclo de vida entero abarcando desde extracción y procesamiento de materia prima; manufactura, transportación y distribución; uso/reuso/mantenimiento; reciclaje y compostaje; y disposición final. Los tres componentes de un avalúo de ciclo de vida incluyen:

- * Identificación y cuantificación del uso de energía y recursos y emisiones de desechos (análisis de inventario)
- * El avalúo de consecuencias que estos desechos tienen sobre el ambiente (análisis de impacto ambiental)
- * La evaluación e implementación de oportunidades para llevar a cabo mejoras ambientales (análisis de mejoramiento)

La información de cualquier componente puede complementar la información de los otros dos. Los beneficios ambientales pueden apreciarse en cada componente del proceso de avalúo. Por ejemplo, el **inventario** solo puede ser usado para identificar oportunidades de reducir emisiones, consumo de energía o uso de materiales. El **análisis de impacto** típicamente identifica las actividades con mayores y menores efectos ambientales, mientras que el **análisis de mejoramiento** ayuda a asegurar que se optimicen las estrategias de reducción potencial y que los

programas de mejoramiento no produzcan impactos adversos adicionales, no anticipados para la salud humana y el ambiente.

5.2.2 METAS EN EL DISEÑO O REDISEÑO DE PRODUCTOS

El primer paso es definir las metas. Cuando se rediseña un producto existente, las metas envolverán la modificación de aspectos de su ejecución que son juzgados ambientalmente inaceptables y que deben ser mejorados. Aspectos que deberían ser examinados se incluyen ya sea que se utilice escaso material de entrada, contenga sustancias peligrosas, use mucha energía o sea fácilmente reusado o reciclado. Estos criterios ambientales pueden ser añadidos al programa inicial de requerimientos del producto, como calidad, aceptación del consumidor y precio de producción.

Las metas del diseño de un nuevo producto pueden ser reformulación y reanreglo de los requerimientos de productos para incorporar consideraciones ambientales. Tanto el rediseño de productos existentes como el diseño de nuevos productos, serán afectados por requerimientos ambientales adicionales. Estos nuevos criterios ambientales serán añadidos a la lista de criterios tradicionales. El cuadro 5.5 lista algunos criterios ambientales para el diseño de productos²¹.

5.2.3 EL RECICLAJE

El ecosistema también signaliza sus carencias, pero se trata de carencia de inputs y éstos no constan sólo de outputs de

²¹ Criterios tomados de la Guía de Protección Ambiental de la Environmental Protection Agency, 1990

otros, sino también de emisiones. Por otra parte, el ecosistema no signaliza sus carencias de forma suprarregional, como hace nuestro mercado mundial, sino en pequeñas zonas de la biósfera, que se denominan biotopos. Así pues, el mercado de salida de nuestra civilización tan sólo signaliza la carencia de output, pero no un eventual exceso de residuos.

Ello implica que los residuos que supongan un problema para una producción en peligro de obstrucción han de ser considerados aparte del mercado. Además, los residuos, en principio, sólo están programados para ser eliminados o para ser acumulados en depósitos terminales. Si se desea aplicar el reciclaje con éxito en este sistema, el principio básico del reciclaje tendrá que acoplarse en este caso a diferentes condiciones que la civilización técnica conlleva. Es decir, aunque en el ecosistema el ser vivo no se preocupe de las emisiones producidas durante el trabajo de adquisición de input, la civilización técnica sí que deberá preocuparse de las emisiones que surjan en la elaboración del output y de los residuos que dicha elaboración pueda ocasionar.

Esta preocupación se puede plasmar sólo de una manera en la estructura de nuestra civilización técnica: invertir trabajo físico e intelectual, para que sus emisiones, en la mayor medida posible, puedan transformarse en output consiguiendo un lugar en el mercado. Hay varios puntos sobre los que existen y habrán en el futuro abundantes discusiones y reflexiones:

- * Para conseguir un reciclaje efectivo, los residuos serán agrupados, ello se realizará tras haber sido clasificados según su adecuación a los distintos outputs posibles.
- * Para conseguir reciclaje efectivo hay que tratar los residuos, tienen que ser transformados en algo susceptible de ser convertido en output de los distintos procesos de trabajo. Pero aún no se ha desarrollado suficientemente la tecnología propia de este sector de la producción.
- * Para conseguir un reciclaje efectivo, transformación de residuos en algo susceptible de ser convertido en output, ha de suponer una relación entre proveedor, productor y cliente distinta a la que subyace en el tema del output.

Para conseguir un reciclaje efectivo se requiere, hoy en día, un tipo de esfuerzo que no siempre es rentable desde el punto de vista económico. Se necesitará una gran imaginación creativa en la industria, también en la de otras ramas que la propia. El reciclaje es un problema interdisciplinario, que no puede resolverse fijando limitaciones de competencia. La naturaleza nos ha enseñado que el principio del reciclaje es el camino más importante para alcanzar el equilibrio ecológico. Con el incremento de los problemas ambientales, la tarea de introducir también en nuestra civilización la técnica del reciclaje como un principio básico, se convierte cada vez más en una cuestión existencial de nuestra sociedad. No se puede plantear este problema a una empresa individualmente, pero ello no significa que una individual se libre de él.

La contaminación industrial se refiere principalmente a los residuos líquidos producidos por la industria. A medida que las poblaciones crecen, crecen con ellas las demandas de bienes de consumo y, por lo tanto, los contaminantes. Los contaminantes industriales se clasifican en 5 clases principales²²: desechos orgánicos, inorgánicos, tóxicos, radiactivos y acetosos.

Desechos Orgánicos son residuos parecidos en composición a aguas negras y, pueden ser degradados por microorganismos acuáticos.

Desechos Inorgánicos son aquellos que contienen sales ácidas o alcalinas y, modifican profundamente el pH del agua. Por este motivo, los microorganismos no pueden operar en su labor de descomposición.

Desechos Tóxicos contienen sustancias tóxicas como cianuros y sales de metales pesados, como el cadmio y el plomo. El plomo es veneno acumulativo que puede llegar a producir enfermedades graves y aún muerte. Concentraciones en el agua, superiores a 0.01 mg/l, se consideran peligrosas para la salud humana. Otras sustancias tóxicas que pueden llegar al agua son: los compuestos fenólicos, los insecticidas clorados y fosforados, compuestos arsenicales y amoniacales y otros. Todos estos compuestos tóxicos impiden el normal desarrollo de la vida en el agua y por su efecto acumulativo en las cadenas alimenticias, pueden causar graves trastornos de salud en el hombre que consume alimentos a base de pescado, mariscos, etc.

Los **Desechos Radiactivos** son compuestos que contienen elementos que emiten radiaciones ionizantes, las cuales pueden ser de tipo alfa (protones), beta (electrones) y gamma (ondas electromagnéticas). Estas radiaciones, al llegar a los tejidos y células de los organismos, pueden causar desarreglos moleculares y tumores malignos, cáncer y la muerte. Si cambios o mutaciones se causan a nivel de células sexuales, se produce descendencia con malformaciones en el cuerpo, que a veces impiden la supervivencia del nuevo ser. Los principales elementos radiactivos son el torio, el uranio, el radio, el actinio, el estroncio 90 y otros. Algunos son naturales, pero otros los producen las explosiones atómicas, reactores, laboratorios de investigación atómica y clínicas de radioterapia.

Los **Desechos Aceitosos** son producidos principalmente por la industria del petróleo, mediante los procesos de producción y refinación de los distintos derivados.

5.3.1 BREVE IDENTIFICACION DE LOS RESIDUOS TOXICOS

Con el fin de desarrollar una evaluación organizada de residuos tóxicos y del manejo de los mismos, se deberá desarrollar un sistema apropiado para su identificación y clasificación. Un procedimiento utilizado es la elaboración de un listado de los factores siguientes obtenidos mediante análisis de muestras representativas del material de desecho:

- * Tipos particulares de residuos peligrosos tóxicos
- * Conocimiento de los procesos industriales generadores

- * Conocimiento de sustancias, específicas o por clases, cuya presencia en el entorno se caracteriza por causar daños a la salud humana y ambiente debido a su toxicidad
- * Potencial de ignición e inflamabilidad de los residuos
- * Potencial de corrosión de los residuos
- * Potencial de reacción de los residuos

Que tiene como fin cumplir con los siguientes objetivos:

- * Permitir que la autoridad gubernamental responsable de este control cuente con información necesaria para la emisión de las resoluciones pertinentes
- * Contar con la información adecuada y suficiente para el diseño y aplicación de las tecnologías de recuperación, tratamiento y disposición final de los residuos
- * Proveer el marco de referencia adecuado para la realización de los controles y auditorías

5.3.2 EVALUACION DE LOS RESIDUOS TOXICOS

Los residuos peligrosos y/o tóxicos, por lo general, están formados por mezclas complejas de compuestos químicos e inorgánicos conjuntamente con residuos no tóxicos ni peligrosos y se presentan en forma de sólidos, lodos, líquidos y gases o sus combinaciones. Los principales riesgos ambientales incluyen el proceso de lixivado de los químicos y la subsecuente contaminación de fuentes de agua, como también la emisión al aire. La geología e hidrología y las condiciones climáti-

cas locales, son factores importantes que influyen sobre el comportamiento de este tipo de residuos.

Identificación y Evaluación de Riesgos

Con el fin de prevenir y/o controlar los impactos ambientales adversos sobre la salud y el entorno, se hace necesario el instaurar un severo control de todos los productos químicos que tienen un alto grado de toxicidad y que pueden generar a su vez residuos tóxicos a ser procesados y/o dispuestos. Para ello se determinará la naturaleza química de cada producto residual, conjuntamente con las impurezas, subproductos y productos de degradación.

Los efectos potenciales de los materiales referentes a la salud y al medio se evalúan en forma comparativa respecto a los niveles actuales existentes en el entorno y de sus capacidad de asimilación. Como resultado se desprenderán las medidas de mitigación a ser tomadas para asegurar que se evite la generación de impactos adversos. La eficiencia de estas medidas se verificará mediante un proceso continuo de control y vigilancia. En los residuos tóxicos se determinará su grado de afección tanto a los seres humanos como a los animales. Este tipo de evaluación se verificará a través de información obtenida a partir de la fuente de origen de los residuos. Adicionalmente, para cada material residual tóxico considerado, se determinará los potenciales efectos mutagénicos, citogénicos y carcinógenos, la función de su naturaleza química, me-

diante la consulta de literatura especializada internacional.

En aquellos casos en que no existiese la información pertinente se realizará ensayos de laboratorio.

Efectos sobre el Entorno Terrestre

Tiendan a ser de naturaleza localizada. Sin embargo, un impacto ambiental importante es aquel producido por gases generados en el interior de los vertederos de residuos e inclusive en los rellenos sanitarios, cuyo efecto es el agotamiento del oxígeno disponible en las capas superiores del depósito y que causa la muerte de la flora. Este efecto puede producir problemas serios para el desarrollo de la vegetación sobre los depósitos rellenos. Los residuos ricos en metales desechados también pueden causar la inhibición del crecimiento de la capa vegetal durante el proceso de regeneración de los depósitos sanitarios. Las zonas de los rellenos sanitarios en los cuales no se desarrolla la vegetación serán susceptibles al deterioro causado por la erosión; produciéndose contaminación ambiental por la dispersión de compuestos contaminantes, ya sea por el viento o por escorrentías que arrastran dichos compuestos o materiales.

La disposición sobre el suelo de ciertos residuos tóxicos puede resultar en el incremento de la presencia de compuestos metálicos y químicos orgánicos en suelo de vocación agrícola, causando el deterioro de los mismos debido a la acción fitotóxica de los productos dispersados. Adicionalmente,

algunos de los compuestos contaminantes dispersados pueden acumularse en las partes comestibles de las plantas, lo que causa problemas de exposición directa tanto para el hombre como para los animales.

Efectos sobre el Entorno Acuático

Un impacto ambiental característico en el entorno acuático es la eficiente dispersión de los contaminantes a través de las aguas superficiales y subterráneas que se lleva en este medio. Por lo general, el principio indicador de la presencia de contaminantes en el medio acuático es el deterioro de la flora y fauna acuática y particularmente un signo visible es la muerte de peces.

Una de las características de mayor peligrosidad es la contaminación de aguas subterráneas. Los productos químicos tóxicos que se han derramado en el suelo se difunden hasta alcanzar las capas freáticas, contaminando severamente a su paso las capas intermedias entre la superficie y el agua subterránea. Una vez alcanzada la capa subterránea, los tóxicos pueden trasladarse con mayor facilidad gracias al vehículo acuoso que han encontrado, contaminando extensas zonas.

El uso humano de aguas subterráneas contaminadas conlleva graves impactos a la salud pública. El punto de vista tradicional sobre la contaminación del subsuelo causada por productos orgánicos es el desarrollo de un equilibrio reversible

entre la fracción orgánica contenida en el suelo y el medio poroso que la rodea (aire o agua). Este punto de vista implica que la contaminación orgánica que afecta los suelos puede ser fácilmente removida a través del uso de tecnología conformada o extracción mediante vapor, y el bombeo concomitante de agua subterránea. A medida que el bombeo (sea de agua o aire) reduce la concentración del contaminante en la zona porosa, el químico rápidamente se desorciona del suelo y difunde hacia el poro con el fin de restablecer el equilibrio, reiniciándose el ciclo hasta agotar la presencia del contaminante en el suelo afectado.

Parámetros de Control

Los fenómenos físicos y químicos, susceptibles de una variación que pueda ser determinada analíticamente, son parámetros de control para vigilar los impactos ambientales de residuos peligrosos y/o tóxicos; los más relevantes son:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| * Lixiviación | * Adsorción/Desorción |
| * Volatilización | * Bioacumulación |
| * Persistencia Ambiental | * Degradación Anaeróbica |

Los datos obtenidos por la aplicación de un proceso de control continuo se comparan versus los datos obtenidos durante el estudio de línea base o respecto a los valores máximos permisibles especificados por la legislación ambiental, con el fin de establecer las variaciones y las tendencias de es-

tas en el tiempo y consecuentemente planificar las medidas de mitigación necesarias que permitan evitar tanto el deterioro del entorno como los posibles efectos negativos sobre la salud humana.

5.3.3 MEDIDAS DE MITIGACION Y REHABILITACION AMBIENTAL

" Las medidas de mitigacion son el conjunto de obras físicas, planes, proyectos específicos o componentes del sistema, que se deben construir o materializar para reducir al mínimo, o eliminar totalmente, los impactos negativos del proyecto en el ecosistema comprendido dentro de la zona de influencia de

aqué¹"²³

Una vez identificados y analizados los impactos, se determinan las medidas de mitigación o prevención que será necesario instrumentar, para impedir la ocurrencia de tales cambios ambientales. Por este motivo, lo ideal es realizar el Estudio Ambiental antes de la instalación física de la infraestructura, de manera que los proyectos puedan ser dimensionados y diseñados ambientalmente, con todas las seguridades y controles del caso. Esquemas de mitigación pueden incluir la instalación de equipos para el control de la contaminación, diseño y ejecución de plantas para tratamiento, filtros para corrección de emisiones, diseñar cambios en los procesos de producción, etc. Los detalles de las medidas de mitigación y sus puntos básicos se detallan en el **cuadro 5.6.**

²³ BEDE, Manual para la Evaluación de Estudios Ambientales de Proyectos de Infraestructura Urbana, Quito, 1991

Medidas de Rehabilitación Ambiental y modo de diseñarlas

Las medidas de rehabilitación ambiental, como su nombre lo indica son aquéllas destinadas a mejorar la calidad del ambiente en el área de influencia de un proyecto y que ha sufrido deterioro a causa de los impactos generados por éste. Como en el caso de las medidas de mitigación, para estas medidas también deben presentarse diseños completos con planos arquitectónicos y de ingeniería, memorias técnicas, borradores de cálculo, presupuestos, especificaciones técnicas, etc. Cada una de las medidas de rehabilitación ambiental, deberá venir especificada de igual manera que las de mitigación, según los componentes anteriormente señalados.

En el **cuadro 5.7** tenemos algunas medidas de rehabilitación ambiental que se deben tomar en cuenta para todo proyecto²⁴. Las medidas correctivas permitirán la reducción o eliminación de los impactos generados por las operaciones del proyecto. Son medidas que se adoptan y ejecutan sobre la marcha misma del proyecto, una vez comprobada la idoneidad y efectividad de las medidas de mitigación, previamente diseñadas. Algunas de las medidas correctivas o de control que deben tenerse en cuenta para todo tipo de proyecto vienen dadas en el **cuadro 5.8**. Estas medidas se implementarán en las fases de construcción, operación y mantenimiento del proyecto.

Definición de Medidas de Prevención, Control y Mitigación

Los vertidos industriales, debido a su gran diversidad y com-

²⁴ Tomado de la Evaluación de Impactos Ambientales, Corporación Financiera Nacional, 1991

plejidad, necesitan de una investigación particular de acuerdo a cada tipo y ubicación de la industria. La aplicación de medidas de mitigación, es decir, de procesos de tratamiento para la depuración, deberán definirse industria por industria y en forma específica para cada una de ellas. La definición de todo tratamiento descontaminante deberá fundamentarse en puntos listados en el **cuadro 5.9**.

En el **cuadro 5.10**²⁵ se listan los procesos de tratamiento más comunes utilizados en la industria para la descontaminación de gases, aguas residuales y residuos sólidos. El manejo y disposición de residuos sólidos deberá realizarse con las debidas precauciones y seguridades a fin de proteger el suelo del entorno del sitio de disposición, esto incluye los posibles efectos sobre el aire y las aguas. Los sitios de almacenaje y/o disposición de residuos sólidos deberán ser diseñados y operados de tal manera que se prevenga, minimice o canalice apropiadamente los escurrimientos. Deberá evitarse la producción de lixiviados que puedan devenir en efluentes ácidos o alcalinos cuya percolación hacia cuerpos hídricos superficiales o subterráneos pueda causar daños a la salud o al medio biótico.

En todos los casos, el manejo de residuos tanto actuales como aquéllos a ser generados por el proyecto propuesto, deberán ser descritos de la manera más completa posible. Esto es par-

²⁵ Tomado de los Puntos presentados por la Organización Mundial de la Salud en la Enciclopedia Salvat de la Salud, 1986

ticularmente importante para aquéllos proyectos que por su envergadura involucran la participación de varios contratistas. La selección del sistema de tratamiento adecuado para cada tipo de desecho generado en las plantas industriales manufactureras no es fácil e involucra la consideración de: la naturaleza del residuo, las características del flujo evacuado, el cumplimiento de las normas y/o especificaciones legales ambientales, la idoneidad técnica de las alternativas de tratamiento, las disponibilidades económicas y financieras, las consideraciones respecto a la operación y mantenimiento y las consideraciones energéticas.

En vista de que la serie de procesos posibles para el tratamiento de desechos industriales es extensa, en el **cuadro 5.11** se presenta en forma resumida los sistemas de tratamiento físicos, químicos y biológicos más relevantes y más frecuentes. En la actualidad existen un sinnúmero de tecnologías para el tratamiento de residuos peligrosos y/o tóxicos, a ser aplicados previo a su disposición final definitiva. Sus propósitos fundamentales son la modificación de las propiedades físicas y/o químicas de los desechos tales como reducción del volumen, inmovilización de los componentes tóxicos y transformación a compuestos ambientalmente inocuos.

La elección de la tecnología más adecuada y de mayor viabilidad práctica a ser usada para el tratamiento de desechos específicos dependerá de muchos factores, incluidos la disponibilidad e idoneidad de las infraestructuras de tratamiento y disposición final existentes, las normas ambientales nacio-

nales y municipales y las consideraciones financieras y económicas. A continuación se revisará brevemente los principales sistemas de tratamiento físicos, químicos y biológicos utilizados internacionalmente para el control de desechos peligrosos y/o tóxicos²⁶.

Tratamientos Físicos

Estos procesos incluyen tecnologías que permiten la separación de fases y la solidificación de los residuos. En forma generalizada, los procesos de separación de fases abarcan el lagunaje, lechos de secados de lodos y el almacenamiento prolongado en tanques y/o reservorios. Los tres sistemas se fundamentan en el proceso de sedimentación por gravedad y donde los dos primeros permiten, adicionalmente, la remoción del líquido sobrenadante por decantación, drenado y evaporación. Las operaciones de lagunaje y almacenamiento en tanques y/o reservorios se utilizan ampliamente para la separación del aceite y del agua, para lo cual precisamente se aplican demulsificantes con el fin de acelerar el proceso de separación. El aceite recuperado de esta manera puede ser reciclado o reutilizado como combustibles para los procesos térmicos.

Tratamientos Químicos

Los procesos de tratamientos químicos se utilizan fundamentalmente con el propósito de degradar los residuos a compuestos ambientalmente no tóxicos o inocuos, por un lado, y por otro, para modificar las propiedades químicas de los residuos con su solubilidad en agua y posterior precipitación, a fin

²⁶ Presentados en las Técnicas de Defensa del Medio Ambiente, 1978

de proceder a su recuperación y reutilización, o para tratarlos mediante el proceso de solidificación.

Oxidación Química.- Los compuestos cianurados son un residuo tóxico industrial común que puede presentarse en forma de solución acuosa o como sólidos. Los residuos cianurados acuosos, incluyendo lodos, son tratados mediante procesos de oxidación química. La mayoría de este tipo de residuos son generados por las industrias metalmecánicas, automotrices y de galvanoplastia, razón por la cual los desechos líquidos contienen también metales tóxicos.

El método de tratamiento más común consiste en la oxidación química de los residuos cianurados contenidos en una solución alcalina (pH 8-9) con cloro o hipoclorito. Los productos de oxidación del cianuro son esencialmente gaseosos: dióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno (N_2). Una vez que la reacción se ha completado, los lodos que contienen residuos de metales pesados pueden ser tratados mediante un proceso para la recuperación de los mismos o puede aplicarse el proceso de solidificación de los residuos a fin de volverlos inocuos.

Remoción de Metales Pesados.- Los efluentes residuales provenientes de la industria de la galvanoplastia contienen, por lo general, concentraciones altas de soluciones de diferentes metales pesados tales como cobre, níquel o cinc. Estos son removidos subsecuentemente mediante la adición de un exceso

de cal apagada (hidróxido de calcio) o sosa cáustica (hidróxido de sodio) para formar compuestos insolubles en agua, denominados hidróxidos metálicos insolubles. Los residuos de metales pesados precipitados son susceptibles a ser recuperados o pueden ser solidificados con el fin de inmovilizarlos previo a su disposición final en rellenos sanitarios.

Reduccion Química.- El ácido crómico es un compuesto altamente contaminante de naturaleza corrosiva, ampliamente utilizado en las industrias automotrices y de galvanoplastia para el terminado de superficies metálicas. Mediante el proceso de reducción química se transforma del estado hexavalente altamente tóxico al estado trivalente, cuya toxicidad es mucho menor. Una vez reducido el cromo al estado trivalente, las soluciones son tratadas con soluciones fuertemente alcalinas con el fin de precipitar al cromo como hidróxido insoluble. Los lodos producidos se pueden recuperar o someter a solidificación previa su disposición final en rellenos sanitarios.

Neutralización.- Los residuos industriales cáusticos o ácidos generados por los diferentes procesos industriales, que se caracterizan por ser altamente corrosivos, pueden ser tratados con ácido sulfúrico o con hidróxido de calcio (cal apagada) con el fin de obtener un pH entre 6.5-7.5 y consiguientes precipitados insolubles cuyos lodos se trataron adecuadamente previo a su disposición.

Tratamientos Biológicos

Muchos residuos tóxicos industriales se pueden tratar por tecnologías biológicas similares a las utilizadas para tratamiento de efluentes domésticos: filtros percoladores y lodos activados. Es evidente que la concentración de materiales tóxicos presentes en los residuos industriales es, en la mayoría de los casos, letal para los microorganismos. Con el fin de superar esta limitación, se procede a diluir los efluentes y se desarrolla cepas de microorganismos más resistentes o cepas de microorganismos seleccionados que degradan compuestos químicos específicos.

Entre las industrias más relevantes que pueden aplicar este sistema de tratamiento se puede mencionar a las siguientes: químicos orgánicos, plantas farmacéuticas, fábricas de pinturas, plantas madereras y de sucedáneos de la madera.

5.4 MEDIDAS DE MITIGACION PARA AQUELLAS INDUSTRIAS CON MAYOR POTENCIAL DE DETERIORO AMBIENTAL

En consideración a la particularidad de los impactos ambientales de ciertas especialidades de la industria manufacturera del país, a causa de la descarga de determinadas sustancias y/o emisiones, se procedió a seleccionar aquellas industrias, que por su naturaleza presentan un mayor potencial de deterioro ambiental²⁷, con el fin de mencionar con mayor énfasis los temas referentes a la identificación de los impactos, identificación de las medidas de miti-

²⁷ Tomado del Estudio de Fundación Natura en el Ecuador y presentado en el libro Potencial Impacto Ambiental de las Industrias en el Ecuador

gación y disposición final de los residuos industriales.

5.4.1 PRODUCTOS CARNICOS

La principal fuente de contaminación atmosférica de la industria de productos cárnicos son los olores desagradables, particularmente aquéllos generados en la fabricación de subproductos. Otras fuentes son operaciones de ahumado y secadores. El tratamiento de mitigación de mayor frecuencia para controlar el olor son los depuradores húmedos o lavadores de gases. Con el fin de economizar el agua de lavado, ésta podría reciclarse dentro del equipo, siempre y cuando el aire proveniente de los procesos no esté excesivamente cargado de partículas de humo y grasa. El control de emisiones generadas por incineradores, cenizas, se realiza mediante la instalación de ciclones, depuradores húmedos, precipitadores electrostáticos y filtros de mangas, como medios más comunes. El tratamiento de mitigación utilizado con mayor frecuencia para controlar emisiones generadas por las fuentes fijas de combustión, son los lavadores de gases.

El volumen y concentración de la descarga de aguas residuales se puede reducir mediante un manejo óptimo del recurso, controles internos de los desechos producidos en cada proceso, modificación de los procesos productivos y mediante la instalación de sistemas de pretratamiento y tratamiento dentro del lindero industrial. Los sistemas de tratamiento para los efluentes industriales líquidos a ser usados en la planta de-

berán incluir las operaciones de cribado, flotación, desnata-
do y sedimentación (en forma individual o en combinación),
con el fin de reducir la descarga de sólidos; la razón funda-
mental para esto se debe a que la mayoría de estos sólidos
son susceptibles a ser recuperados para ser procesados a sub-
productos económicamente interesantes y permite a su vez con-
servar el agua y reducir la carga contaminante del efluente.

La disminución de la carga de DBO5 se logra mediante la coa-
gulación química, seguida de tratamientos biológicos tales
como filtros percoladores de alta tasa o sistemas de lodos
activados. En los mataderos de aves, la recuperación de dese-
chos y plumas se realiza mediante el uso de tamices de tipo
estático, rotatorios y vibratorios; los dos últimos son los
de uso más frecuente. Previa a la descarga de los efluentes
residuales hacia cursos hídricos, éstos deberán ser tratados
en unidades previstas para la desinfección, con el fin de re-
ducir la incidencia de coliformes fecales en las aguas recep-
toras. El tratamiento de lodos se realiza mediante la diges-
tión, concentración y secado de los mismos.

5.4.2 PRODUCTOS DEL MAR

La medida de mitigación fundamental a ser aplicada en las
plantas manufactureras de productos del mar es el uso de
técnicas de gestión para el óptimo manejo de los procesos
productivos que conforman la industria. Estas técnicas se
caracterizan por minimizar el uso del agua, recuperar las

proteínas solubles de los efluentes y la recuperación de fracciones sólidas para su procesamiento posterior como sub-productos alimenticios. El problema de contaminación atmosférica característico y consecuentemente el más importante de esta especialidad industrial, es el mal olor.

Los tratamientos descontaminantes más comunes para eliminar olores son la incineración ambientalmente controlada de materia orgánica, uso de filtros de carbón activado y uso de lavadores de gases, que contienen soluciones de cloro. Los primeros sistemas tienen un costo bastante elevado en tanto que el último tiene un costo relativamente menor y una eficiencia de remoción de olores del 97% aproximadamente. El tratamiento de mitigación utilizado con mayor frecuencia para controlar las emisiones generadas por las fuentes fijas de combustión son los lavadores de gases. La disminución de la carga contaminante de los efluentes residuales se realiza mediante los siguientes sistemas:

- * Pretratamiento, que incluye: uso de cribas y tamices (estáticos, rotatorios o vibratorios); procesos de sedimentación simple o mediante el concurso de floculantes; y proceso de flotación. Estas tecnologías permiten recuperar sólidos que se caracterizan por tener un valor económico una vez procesados como subproductos
- * Tratamientos Biológicos, para reducir la DBO5: unidades de lodos activados, filtros percoladores con relleno artifi-

cial y lagunas de oxidación

Los residuos sólidos, no susceptibles de recuperación, se pueden disponer en el mar o en rellenos sanitarios. Para el primer caso, los residuos deben ser previamente molturados con el fin de minimizar cualquier efecto de deterioro al ambiente marino. El vertido de los residuos molturados se deberá hacer en zonas marinas cuya profundidad no sea mayor a 15m y que estén sometidos a fuertes corrientes marinas o a la acción de las mareas. El entierro de los residuos en un relleno sanitario deberá hacerse de forma que no se generen malos olores perceptibles en el entorno en un radio de 5 a 10 mts.

5.4.3 REFINERIAS DE AZUCAR

Por lo general, el bagazo de la caña constituye el porcentaje mayoritario del combustible utilizado en los calderos de generación de vapor. Los residuos generados por la combustión son el humo y las cenizas, que pueden ser removidos mediante uso de ciclones, filtros de mangas y lavadores de gases provistos con sistemas de reciclado del agua. El tratamiento de mitigación utilizado con mayor frecuencia para controlar emisiones generadas por las fuentes fijas de combustión son los lavadores de gases.

La tecnología actual para el control y tratamiento de efluentes residuales líquidos consiste principalmente en el control de los procesos: reciclaje y reutilización de las aguas, pre-

vención del arrastre de azúcar hacia las aguas de enfriamiento de los condensadores y recuperación de las aguas que contienen solución de azúcar; represamiento de las aguas residuales para homogeneización de las aguas, neutralización y regulación del pH; tratamientos químicos: coagulación y/o floculación, sedimentación y/o clarificación; tratamientos biológicos: lodos activados, filtros percoladores, lagunas de estabilización. Disposición final. Los lodos y demás desechos sólidos generados en procesos de depuración de gases y líquidos se disponen como fertilizante en los campos de caña.

5.4.4 BEBIDAS ESPIRITUOSAS

El tratamiento de mitigación utilizado con mayor frecuencia para controlar las emisiones generadas por las fuentes fijas de combustión es el de los lavadores de gases. Las emisiones al aire producidas en algunas de las etapas del proceso pueden ser reducidas mediante el uso de precipitadores mecánicos y lavadores de gases. El residuo líquido generado se tratará conjuntamente con los efluentes residuales. El CO₂, producido principalmente en los procesos de fermentación, es recuperable usando precipitadores mecánicos y lavadores de gases. El residuo líquido generado se tratará conjuntamente con los efluentes residuales.

El CO₂, producido principalmente en los procesos de fermentación, es recuperable en cantidades del 70%-80%. Las impurezas arrastradas por el gas, alcoholes y aldehídos, pueden ser re-

movidas mediante adsorción o absorción. Los aceites de Fusel separados en columnas de destilación son recuperados para ser procesados como subproductos para la industria química y de solventes. En aquellos casos en que su recuperación y procesamiento son costosos y poco o nada rentables, aceites de Fusel se pueden utilizar como combustibles en la propia planta.

En aquellos casos en los cuales las vinazas y los residuos de las destilerías no son recuperados para ser destinados como subproductos, previo a su descarga, deberán someterse a tratamiento.

Para el efecto, los residuos son cribados y cernidos para remover los sólidos suspendidos; los efluentes líquidos se someterán a floculación y sedimentación, para que puedan ser tratados mediante procesos biológicos tales como lodos activados o filtros percoladores. Previo al tratamiento biológico, la DBO5 de los efluentes debe ser reducida al rango de 300 mg/dm³. Bajo ninguna circunstancia los residuos de las destilerías o las vinazas serán descargados hacia el ambiente sin ser previamente tratados, con el fin de proteger las aguas superficiales y subterráneas. La disposición de desechos sólidos, debe realizarse en rellenos sanitarios diseñados especialmente para este tipo de residuos.

5.4.5 PREPARACION Y TENIDO DEL CUERO

Las emisiones de gas sulfhídrico, generadas principalmente por procesos de apelmbrado se pueden controlar por oxidación

catalítica del sulfuro, previo a su descarga al sistema de alcantarillado de la planta. Posteriormente los sulfitos y sulfatos se neutralizan a través de la operación de precipitación con carbonato de calcio. Este procedimiento evita la potencial contaminación del aire y los problemas de olor y además protege la integridad de los trabajadores expuestos a los flujos residuales.

Las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de la operación de los calderos se tratan mediante el uso de precipitadores electrostáticos y lavadores de gases. Con el fin de reducir la emisión de óxidos de azufre provenientes de la quema de combustibles fósiles, se sugiere utilizar aquellos combustibles que contengan la menor cantidad de azufre posible. La cantidad de agua utilizada en las operaciones húmedas puede reducirse mediante:

- * Uso de reactores con agitación mecánica para procesamiento de pieles, en lugar de tinajas, tanques de paletas y tambores
- * Cambio de enjuagues continuos por enjuagues por lotes
- * Uso de relés temporizados para controlar flujos individuales de las operaciones
- * Reutilización de aguas de lavado para elaboración de soluciones valoradas a ser usadas en los procesos

Las descargas de efluentes residuales de las curtiembres se pueden reducir, mediante el reciclado del licor en la opera-

ción de recurtido. Las soluciones de curtido de base crómica se pueden regenerar y volver a usar con el reajuste de concentración del licor agotado a través de la adición de sales de cromo, ácido sulfúrico y cloruro de sodio. Igualmente, las soluciones de apelmbrado pueden ser susceptibles de regeneración y reutilización.

Se deberá dar especial atención a la disposición final de las soluciones de base crómica, debido a que el cromo en sus diferentes estados de valencia es peligroso para los seres humanos, la vida acuática y la vegetación. Por lo general, el cromo se precipita en clarificadores o en los tanques de homogeneización como hidróxido de cromo, a un pH alcalino entre 8.5 y 10.5. Debido a las características peligrosas y o tóxicas de los efluentes residuales vertidos por este tipo de industria manufacturera, se requiere de un sistema de pretratamiento y tratamiento dentro del lindero industrial, a fin de proteger la seguridad y mantenimiento del sistema de alcantarillado, proteger sistemas de tratamiento biológicos y cumplir con las especificaciones permisibles para la descarga del efluente residual y la disposición final de los lodos. Para el efecto, se pueden aplicar los siguientes métodos, individualmente o en combinación: cribado, homogeneización de los efluentes, coagulación, floculación, sedimentación, ajuste del pH y disposición adecuada de los lodos.

Los tratamientos biológicos subsecuentes, deberán diseñarse

en forma específica de acuerdo al volumen y características propias de las descargas. Entre estos se puede mencionar a los filtros percoladores, sistemas de lodos activados y lagunas anaeróbicas. Los rellenos sanitarios son la forma más adecuada para la disposición final de aquéllos residuos sólidos no recuperables como subproductos. La selección adecuada del sitio donde se lo ubicará es fundamental para evitar el deterioro ambiental. Los factores a tenerse en cuenta para este propósito incluyen: área suficiente; distancia razonable desde las fuentes de recolección; radio de seguridad circundante respecto a zonas residenciales, industriales, comerciales y de recreación existentes o planificadas; características del suelo y geología del lugar; acceso a las vías de comunicación; potenciales peligros de inundación e incendio. La construcción y operación del relleno sanitario estará de acuerdo con las normas y especificaciones prescritas para el manejo y disposición de residuos químicos de alta peligrosidad y/o toxicidad.

5.4.6 FABRICACION DE PULPA, PAPEL Y CARTON

El tratamiento de mitigación más utilizado para controlar las emisiones generadas por las fuentes fijas de combustión son los lavadores de gases. Excepto en situaciones eventuales tales como una topografía desfavorable o condiciones climatológicas adversas, el dióxido de azufre no representa un problema relevante de las plantas productoras de papel kraft. Un control adecuado es factible mediante la aplicación de las

operaciones apropiadas, especialmente en el horno de recuperación del licor.

La selección de los combustibles auxiliares es un factor importante para controlar la emisión de contaminantes. Para aquellas descargas que presentan concentraciones demasiado altas se requerirá de la desulfuración del combustible, remoción de los contaminantes de los gases de chimenea, modificación de los procesos o la combinación de algunas de las alternativas mencionadas. Los gases generados por los compuestos de azufre reducidos totales, TRS, pueden causar olores desagradables. Estos gases de naturaleza no condensable, son removidos mediante lavadores de gases a través de una solución alcalina, que elimina una fracción del contenido de azufre y una incineración posterior en la caldera. Durante la incineración, los TRS, son transformados en dióxido de azufre, el cual es recuperado mediante la adsorción sobre el polvo de caliza y en la industria, es removido mediante el uso de lavadores de gases, precipitadores electrostáticos y otros medios similares.

Los efluentes residuales se pueden reducir tanto en volumen como en concentración mediante la aplicación combinada de medidas de control de la planta y tratamientos al final del proceso productivo. El control interno en planta incluye el lavado eficiente de la pasta, recuperación de los productos químicos y de la fibra, tratamiento y reutilización de e-

fluentes residuales seleccionados, recolección de derrames y prevención de descargas accidentales. Comprende también el seguimiento continuo de la operación de los drenajes, incluyendo las desembocaduras, con el fin de poder detectar rápidamente la presencia de derrames accidentales.

La instalación de tanques de almacenamiento, previo al sistema de tratamiento, servirá para absorber eventuales sobrecargas y proveer un flujo y carga constantes hacia la infraestructura de tratamiento a fin de garantizar su eficiencia. El tratamiento de los efluentes al final del proceso incluye: cribado, tratamiento primario para eliminar sólidos sedimentables y tratamientos biológicos con el fin de reducir la elevada DBO5. El mayor volumen de residuos sólidos es generado, al estado de lodos, por los tratamientos descontaminantes utilizados para procesar los efluentes residuales tanto líquidos como gaseosos. En la actualidad, previo a la disposición final de los desechos sólidos en rellenos sanitarios, estos son reprocesados para la recuperación de productos útiles a ser usados como combustibles, nutrientes vegetales y fabricación de paneles y materiales para cubierta.

5.4.7 FABRICACION DE PINTURAS, BARNICES Y LACAS

Las tecnologías a ser aplicadas para reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos incluyen: optimización y/o cambios en los procesos productivos, incremento de las alturas de las chimeneas, sistemas de lavadores de gases,

depuración de gases por absorción, adsorción y eliminación de partículas mediante filtros.

El tratamiento de mitigación utilizado con mayor frecuencia son los lavadores de gases. Los efluentes residuales, debido a sus elevados contenidos de DBO5, DQO, SST y presencia de metales pesados, deberán someterse a pretratamientos y tratamientos primarios y secundarios dentro del lindero industrial con el propósito de recuperar aquellos materiales susceptibles de ser reciclados y/o reutilizados y con el fin de mantener la calidad de los vertidos dentro de las normas y especificaciones ambientales prescritas.

Los residuos sólidos están constituidos mayoritariamente por los lodos producidos durante los tratamientos descontaminantes de los gases y efluentes residuales. Su disposición final, luego de recuperar los materiales valiosos, se deberá realizar en rellenos sanitarios apropiadamente diseñados para la disposición de productos químicos peligrosos y/o tóxicos.

5.4.8 FABRICACION DE CEMENTO, CAL Y YESO

La operación de los hornos es la principal fuente de contaminantes gaseosos y de material particulado. Las partículas de mayor tamaño se pueden remover mediante ciclones u otros dispositivos mecánicos. Las partículas más pequeñas se eliminan mediante precipitadores electrostáticos, filtros o lavadores de gases. En la mayoría de los casos, el polvo recogido es

reciclado hacia el proceso como materia prima. El tratamiento de mitigación utilizado con mayor frecuencia para controlar las emisiones generadas por las fuentes fijas de combustión es el de los lavadores de gases.

Los materiales sólidos, incluyendo residuos, por lo general se apilan con el fin de almacenarlos dentro del área de la planta. Las zonas de almacenaje deben diseñarse de forma que se evite el escurremiento del material por efecto de las aguas lluvias a fin de prevenir la contaminación del entorno. En plantas de procesos húmedos y secos, toda el agua residual industrial puede ser reusada luego de la aplicación de diferentes tecnologías de depuración.

INSTRUMENTACION

La AAP provee una medida "Cualitativa" de la eficiencia con la cual, la instalación utiliza energía. La AAD provee las bases para un análisis cuantitativo del rendimiento de la instalación. Para reunir los datos de operación necesarios para hacer esta estimación cuantitativa, se utiliza una variedad de instrumentación fija y portátil. Para hacer un estudio detallado de los equipos más probables de encontrar en una planta, el auditor necesita instrumentos que puedan medir lo siguiente:

- | | |
|---------------------|----------------------------|
| * Temperatura | * Flujo |
| * Presión | * Análisis de Gases |
| * Electricidad ✕ | * Niveles de Iluminación ✕ |
| * Análisis de Aguas | * Análisis de Suelos ✕ |

Los instrumentos a emplear se presentan en el **cuadro 6.1**.

6.1 MEDICION DE TEMPERATURA

El parámetro más comúnmente medido en estudios ambientales es la temperatura, los instrumentos a usarse dependen del rango de la misma a ser medido, de la severidad del medio y de la rapidez con la cual deba medirse, así los más usados son:

- * Termómetro de vidrio (Termómetro de Hg)
- * Termómetro de disco (Bimetálico)
- * Pirómetro
- * Psicrómetro
- * Termocupla

6.1.1 TERMOMETRO DE VIDRIO

Es el más simple y normalmente utiliza mercurio como fluido indicador, aunque actualmente se emplean también fluidos orgánicos en aplicaciones bajo los 32°C. Los de mercurio pueden usarse para temperaturas entre -35°C y 650°C, con una exactitud de 0.5°C en todo el rango. Las principales desventajas de este termómetro (**figura 6.1**) son su respuesta lenta y su fragilidad, en situaciones donde el acceso al punto de medición puede ser difícil, perdiéndose así tiempo. Este termómetro es adecuado si no está sujeto a daños mecánicos o vibraciones y donde el acceso es bastante fácil.

6.1.2 PSICROMETRO

Se montan dos termómetros en un dispositivo que permita medir simultáneamente temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo de la corriente de aire y a partir de las cuales se calcula la humedad relativa. El dispositivo usado se llama Psicrómetro de Aspiración. Los instrumentos traen consigo cartas que pueden ser usadas para determinar la humedad a partir de las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo.

Para usos más convenientes, el rango de temperatura del psicrómetro de aspiración mecánico está limitado de 0°C a

50°C. Es generalmente lento para responder a cambios de temperatura, dado que utiliza normalmente termómetros de mercurio. El Psicrómetro electrónico está basado en termocuplas y electrónica para la detección de humedad. Provee un análisis rápido y lectura directa de la temperatura de bulbo seco y humedad relativa.

6.1.3 TERMOMETRO DE DISCO

Opera en un rango similar a aquél del termómetro de vidrio. Pero por su mayor resistencia puede ser usado en lugares donde el de vidrio no es adecuado. El rango de aplicación es de -100°C a 540°C, con una exactitud del 1% en el rango de medición. El termómetro de disco con rango pequeño es usado, generalmente para mejorar la exactitud de la medición.

6.1.4 TERMOCUPLA

Es posiblemente el más útil de todos. Usando la termocupla de lectura electrónica de configuraciones varias y materiales, el auditor puede virtualmente obtener la temperatura de cualquier material con el cual pueda hacer contacto. La exactitud de lectura de la termocupla es aproximadamente 0.25% del valor leído. Una termocupla consiste de un par de conductores de aleaciones de metales diferentes unidos en ambos extremos.

Un extremo se coloca en la superficie donde la temperatura va a ser medida. La diferencia de temperatura entre ese ex-

tremo y el otro, genera un voltaje. La magnitud del voltaje es función de la diferencia de temperaturas de juntas de medición y referencia. Se han reconocido 7 combinaciones y son:

Termocupla tipo B.- Consiste de 2 conductores Platino/Rodio (uno al 6% de Rodio y el otro al 30% de Rodio); puede ser usada en rangos de temperaturas de 0°C a 1820°C en una atmósfera oxidante o inerte (servicio continuo) y en vacío (servicio corto). Esta termocupla produce una salida baja de voltaje y no puede ser usada en una atmósfera reductora (Hidrógeno o Monóxido de Carbono); no puede ser usada tampoco con tubo de protección metálica o con cubiertas de termómetro.

Termocupla tipo R.- Son conductores de Platino/Rodio (13%) que pueden ser usados para rangos de temperaturas de -50°C a 1768°C. Por otra parte, su aplicación es similar a la del tipo B; la principal ventaja sobre ésta es su mayor voltaje de salida.

Termocupla tipo S.- Consiste de conductores de Platino y Platino/Rodio (10%). Puede ser usada en el mismo rango de temperaturas que la tipo R y tiene aplicaciones similares a las tipo B y R. La termocupla tipo S es la original, y es el prototipo para la medición de temperaturas entre los puntos de fusión del Antimonio y Oro (630°C a 1064°C).

Termocupla tipo J.- Consiste de un conductor de hierro aco-

plado a un conductor hecho de una aleación de 55% de Cobre y 45% de Níquel. Su rango de temperatura efectiva es -210°C a 760°C ; sobre los 540°C , el alambre de hierro tiende a oxidarse y por tanto, se requiere un alambre de medición grueso. Este tipo de termocupla es para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras o inertes, pero no usada en atmósferas sulfurosas a elevadas temperaturas. Es de bajo costo.

Termocupla tipo K. - Es conocida como termocupla Cromel/Alumel. Cromel es una aleación de 10% de Cromo y 90% de Níquel, Alumel es una aleación de 95% de Níquel más Aluminio, Silicio y Manganeso. La tipo K puede ser usada en un rango de -270°C a 1372°C en atmósferas oxidantes e inertes; es más adecuada para atmósferas reductoras, siempre y cuando tenga una protección. Es el tipo más usado en la industria.

Termocupla tipo T. - Es de construcción de Cobre y Constantán y adecuada para un rango de temperaturas de -270°C a 400°C , lo cual limita su uso en aplicaciones industriales. Puede ser usada en servicio continuo, en vacío o en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes.

La última **termocupla** es el **tipo E**. Es de Cromel/Constantán y efectiva para un rango de temperaturas de -270°C a 1000°C y tiene la más alta producción de voltaje que cualquier otro prototipo de termocupla. Puede ser usada en atmósferas oxidantes e inertes.

Las termocuplas de sonda (que consisten de la termocupla en-
vainada en un forro protector metálico con mango) se hallan
disponibles en varias longitudes y formas. Para casos donde
cierta termocupla no puede ser utilizada, el auditor selec-
cionará entre los otros tipos que estén disponibles y de ne-
cesitarse aún de la anterior, el auditor puede utilizar un
voltímetro capaz de leer producciones de voltajes del orden
de milivoltios directamente de la termocupla y convertir esta
lectura a temperatura usando tablas de referencia de la mis-
ma, teniendo en cuenta que en estas tablas la temperatura de
referencia es 0°C en todos los casos y en condiciones de tra-
bajo de campo la temperatura de referencia puede ser diferen-
te. Se corregirá el valor medido para compensarlo por la tem-
peratura ambiente, restaremos el voltaje de la termocupla con
compensación a la temperatura ambiente de la lectura medida.

6.1.5 PIROMETROS

Son para mediciones de temperatura en que el contacto con las
superficies sea impráctico o peligroso. Miden la radiación
infrarroja emitida por un objeto y la convierten en una lec-
tura equivalente de temperatura. Hay cuatro tipos: Pirómetro
de Banda Ancha, Óptico, de Franja Intermedia y de Relación.
Por ser los dos primeros los más importantes, son los que se
revisarán.

✗ **Pirómetro de Banda Ancha.** - Es el tipo más simple, tanto en
diseño como en uso. Mide la radiación en todas las longitudes

de onda, tanto en la región visible como en la infrarroja y es adecuado para ser usado a temperaturas menores que 0°C y mayores que 3000°C . La emisividad del material que va a ser medido debe ser ajustada en el control de emisividad del dispositivo. El objeto es apuntado de la misma manera que se hace con un revólver. Se oprime el disparador y la lectura aparece en la pantalla. Algunos modelos tienen pantalla digital, otros utilizan un tipo de pantalla de disco graduado.

Pirómetro Óptico.— Mide por comparación de la brillantez de la radiación visible del objeto medido con aquella de referencia. Opera en una banda estrecha directa de la emisividad con aquella de una muestra del mismo material a una temperatura conocida. Para muchos materiales, la emisividad puede ser determinada obteniendo una muestra del material y midiendo la temperatura de su superficie con una termocupla u otro dispositivo confiable para medición de temperatura. El paso siguiente es apuntar el pirómetro hacia el material y leer la temperatura. Si la lectura no concuerda con la del termómetro, se ajusta el control de emisividad del pirómetro hasta que las lecturas sean las mismas. El valor obtenido en el ajuste de emisividad del pirómetro es la emisividad del material bajo análisis y registrarse para futuras aplicaciones.

Debe recordarse que el pirómetro mide la radiación promedio emitida por todo lo que se halla dentro del ángulo de visión. El diámetro del campo de visión depende de la distancia que

hay entre el objeto a medirse y la parte frontal del pirómetro, y este diámetro se incrementa con el aumento de esta distancia. El ángulo de visión para pirómetros típicos, diseñados para operar a través de largas distancias se muestra en la figura 6.2.

6.2 MEDICION DE FLUJO

Es una variable normalmente difícil de medir porque no está instalado el equipo para ello o porque está en mal estado o descalibrado, así el auditor estimará o calculará el flujo como función de un parámetro conocido o medible o de los datos suministrados por el fabricante del equipo bajo análisis. De no existir los equipos, se estimará la necesidad de adquirirlos e instalarlos. Los medidores más se usará son:

- * Orificio
- * Rotámetro
- * Velocímetro
- * Ultrasonico (sin intrusión)
- * Tubo de Pitot y Manómetro
- * Medidor Tipo Turbina
- * Desplazamiento Positivo

6.2.1 MEDIDOR DE ORIFICIO

Es el dispositivo más común y generalmente se lo instala de forma permanente entre las bridas de las tuberías. Es relativamente barato, y de usarlo correctamente es bastante preciso para la mayoría de las aplicaciones. Puede usarse para medir

flujo de una variedad de líquidos y gases de baja viscosidad, en tuberías donde el rango de flujo máximo a mínimo no excede la relación 3 a 1. En la **figura 6.3** vemos un arreglo de medidor de orificio.

Mide la diferencia de presiones en ambos lados de la lámina de orificios. La ecuación de la relación entre flujos y caída de presión a través de la lámina de orificios es:

$$W = KA \sqrt{(2gc)(dp)}$$

donde: W = régimen de flujo másico

K = constante de la lámina de orificio, función de la geometría de la lámina y el número Reynolds

A = área del orificio

gc = constante gravitacional

d = densidad del fluido

dp = caída de presión absoluta a través de la lámina de orificios, obtenida a través de las tomas piezométricas

Esta ecuación debe ser evaluada usando un conjunto consistente de unidades. El diagrama que relaciona el número de Reynolds con la constante del orificio para láminas de forma cuadrada es válido sólo cuando la espita de presión corriente abajo se halla montada en la *vena contracta*, la cual es un área corriente abajo de la lámina de orificio, donde la vena de fluido que pasa a través de la lámina se contrae hasta un

~~Área mínima.~~

La ecuación anterior es útil para fluidos donde la caída de presión es sólo un pequeño porcentaje de la presión inicial. Si la caída de presión es mayor, debe considerarse cierta tolerancia para la compresibilidad del fluido. Para tomar en cuenta estas tolerancias, la ecuación anterior es multiplicada por un factor de corrección de compresibilidad empírico:

$$Y = 1 - (0.41 + 0.35B)(dp/GP)$$

donde: B = relación del diámetro del orificio al diámetro de la tubería

dp = caída de presión a través del orificio

G = relación del calor específico del fluido a presión constante al calor a volumen constante

P = presión del fluido corriente arriba de la lámina del orificio

X 6.2.2 TUBO DE PITOT Y MANOMETRO

Es otro dispositivo para medir flujo, usado principalmente para gases junto con un manómetro. El tubo de Pitot es insertado en la corriente del fluido cuya velocidad va a medirse. Este se basa en el principio de que una corriente de gas al cruzar el extremo de un tubo abierto produce una caída de presión. Esta caída de presión puede ser medida con el manómetro. El manómetro puede ser de configuración portable o diseñado para instalación permanente donde sea conocido que el

perfil de velocidad de la corriente es plano. Podemos apreciar el tubo de Pitot en la **figura 6.4**.

El manómetro de tubo en forma de U es llenado parcialmente con un líquido, generalmente agua o mercurio. Uno de los extremos se halla abierto a la atmósfera, mientras que el otro extremo es conectado al tubo de Pitot. La caída de presión es indicada por la diferencia de altura entre las columnas de los dos líquidos. La presión viene dada con referencia a la presión atmosférica (presión manométrica). Como un manómetro que emplee agua como líquido de columna, la velocidad del aire puede ser hallada a partir de la siguiente ecuación:

$$V = 420.4 \times (h/d)$$

donde: V = velocidad del aire, en metros por minuto

h = diferencia de altura entre las columnas, mm

d = densidad del aire, Kg por metro cubico

Esta ecuación puede ser usada para medir cualquier flujo con tal de que se aplique la conversión de factores apropiada.

6.2.3 VELOCIMETRO

Opera con el mismo principio que el tubo de Pitot y manómetro. Este instrumento es generalmente vendido como un conjunto, con cierto número de sondas para uso bajo diferentes condiciones de flujo, tiene un medidor de lectura directa. Tanto el velocímetro como el tubo de Pitot y manómetro tienen la

desventaja de que la velocidad es medida sólo en un punto y sabemos que en la práctica la velocidad no es uniforme en el ducto, por ello se traza un travesero como el de la figura del **cuadro 4.40** (seccionamiento en partes iguales) para determinar la velocidad promedio. Para estos tipos de ductos, la velocidad final se la encuentra a partir del promedio de las raíces cuadradas de las lecturas del manómetro. El flujo volumétrico a través del ducto se da multiplicando el flujo promedio por el área de la sección transversal del ducto.

X 6.2.4 MEDIDOR DE FLUJO ULTRASONICO

Es un instrumento para medir flujo de líquidos, fácil de usar y portátil, pero no muy disponible. Consiste en un conjunto de transductores acoplados a un panel computador. Los transductores se conectan a la tubería que contiene el líquido bajo estudio. Uno de los transductores inyecta una señal ultrasónica en el fluido, la cual es detectada por el otro transductor localizado corriente abajo y en el lado opuesto al primer transductor en la tubería. La velocidad es determinada midiendo el tiempo requerido para recibir la señal transmitida o midiendo el cambio de frecuencia de la señal debido al efecto Doppler.

Una característica del medidor es ser portátil, donde la instrumentación instalada permanentemente sería innecesaria o interrumpiría las operaciones de la planta, el instrumento ultrasónico es adecuado ya que no requiere hacer perforacio-

nes en el sistema. La exactitud del dispositivo es excelente, ya que tiene un error menor que 0.5% en todo régimen de flujo. Cuando se necesita analizar una línea de tubería, pueden utilizarse transductores de repuesto con el mismo panel computador. Pasando de un conjunto de transductores a otro, se pueden tomar lecturas casi simultáneamente.

El medidor de flujo ultrasónico tiene también cierto número de desventajas. El equipo es costoso. Además, su aplicación con líquidos que tienen muchos sólidos en suspensión puede verse restringida. Finalmente, algunos tipos de medidores de flujo no pueden ser usados con tuberías que no son conductoras del sonido (concreto). Hay cuatro tipos principales de medidores de flujo ultrasónicos: De gancho (disparidad de tiempo), de Inserción (húmeda, disparidad de tiempo), de flujo Doppler y para Canal Abierto

X/ **Medidor de Gancho, disparidad de tiempo**, es lo mejor para uso general, líquidos limpios y moderadamente aireados, mezclas orgánicas de densidad media. No puede ser usado con tuberías de concreto o muy ventiladas o mezclas no orgánicas.

> **Medidor de Inserción (húmeda), disparidad de tiempo**, igual que el anterior, pero los transductores se insertan en la corriente. Puede ser usado en todo tipo de tubería. Las cavidades de los transductores pueden obstruirse, exigiendo parada del proceso para la reparación.

X **Medidor de Flujo Doppler**, principalmente para medición en mezclas pastosas. No puede ser usado con líquidos limpios o no aireados. La exactitud depende de la uniformidad de la concentración de partículas en la corriente.

X **Medidor para Canal Abierto**, principalmente para agua de desecho o efluentes en conductos parcialmente llenos, abiertos o cerrados.

6.2.5 ROTAMETRO

Es un instrumento para medir gases y líquidos menos costoso, lo podemos apreciar en la **figura 6.5**. Aunque este instrumento no es portátil o rápido de instalar como el ultrasónico, si es fácil de usar. El rotámetro consiste de un flotador que se mueve libremente en el sentido vertical en un tubo de transporte. El fluido que va a ser medido, entra por la base del tubo y pasa a través del ángulo formado entre el flotador y la pared del tubo. Para cualquier régimen de flujo, el flotador alcanza una posición definida en el tubo. Rotámetros precalibrados pueden ser obtenidos para fluidos específicos y disponibles en varios tamaños.

X 6.2.6 MEDIDOR DE FLUJO TIPO TURBINA

Son dispositivos de regímenes de flujo volumétrico. Consiste de un rotor de turbina de acero inoxidable encerrado por un cuerpo de medición no magnético, el cual es suspendido en el flujo de la corriente. La corriente ejerce una fuerza sobre

los álabes del rotor de la turbina que lo hace rotar.

La velocidad rotacional de la turbina es proporcional a la velocidad del fluido y por tanto, al régimen de flujo volumétrico. Este dispositivo se lo muestra en la **figura 6.6**. Medidores de flujo tipo turbina deben ser instalados con tuberías rectas con longitudes de por lo menos 10 y 5 veces el diámetro de la tubería corriente arriba y corriente abajo respectivamente. La selección del medidor depende de las características de los fluidos a medirse.

X 6.2.7 MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Son adecuados para quedar instalados de manera permanente (ver **figura 6.7**). Estos medidores son útiles para medir flujos de líquidos y gases. El fluido a ser medido circula por compartimentos de tamaño definido. A medida que los compartimentos se llenan, éstos rotan y permiten que el fluido abandone el medidor. El régimen de flujo a través del medidor es igual al producto del tamaño del compartimento, número de compartimentos y régimen de rotación del rotor. Estos medidores son particularmente útiles para determinar flujos a través de largos períodos de tiempo.

6.3 MEDICION DE PRESION

Son útiles para evaluar la operación del sistema. La medición de presión estática de hornos, caída de presión, o elevaciones a tra-

vés de filtros de ventiladores y bombas, suministran al auditor información adicional para ayudarlo a entender las características del sistema bajo estudio. La mayoría de medidores de presión (tubos de Bourdon, manómetros y fuelles) miden realmente la diferencia de presión entre dos puntos. Estos vienen generalmente diseñados para medir la diferencia entre la presión atmosférica y otra presión. Esta diferencia de presión se denomina presión manométrica. La presión atmosférica estándar (o presión barométrica estándar) es: 760 mm Hg, 10.44 metros de columna de agua, 101.325 N/m² (Newtons por metro cuadrado), 1.033 Kg/cm² (Kilogramos por centímetro cuadrado) y 1.013 bares.

La presión atmosférica real varía con la condición climática, latitud y altitud (aproximadamente 0.8 bar menos por cada 300 metros sobre el nivel del mar). La presión absoluta es la suma de la presión manométrica y la presión atmosférica. Una presión absoluta de cero existiría sólo en el vacío perfecto. Es importante determinar el tiro de hornos y calderos en la caja de fuego y en la chimenea. El tiro indica la presión a la cual el sistema de combustión opera, la intensidad del tiro determina el régimen al cual, los gases de combustión pasan a través de la caldera u horno y la cantidad de aire suministrado por la combustión. Un tiro excesivo puede incrementar la temperatura de la chimenea (causando transferencia de calor incompleta), mientras que un tiro insuficiente puede causar humo debido a la falta de aire para la combustión. El tiro es medido con un dispositivo para medir presión, tal como el manómetro que se muestra en la ~~figura 6.4.~~

6.3.1 INDICADOR DE TIRO

La sonda se introduce en el área donde el tiro va a ser medido (ya sea en la caja de fuego o en el conducto de humo). El tiro se lee directamente en la escala. La cantidad de humo en los gases de combustión puede ser determinada ya sea, usando una bomba y filtro (medición portátil) o mediciones de la opacidad del gas (instrumentación permanente o semipermanente instalada). El tiro es normalmente medido en mm de columna de agua. Los valores correctos para cada pieza de equipo bajo una carga o régimen de fuego dado, pueden ser determinados de los datos originales del equipo suministrado por el fabricante o por información disponible de otros equipos similares.

Los manómetros indicadores de tiro pueden también ser usados para probar secadores, equipos de control ambiental u otros sistemas que utilizan aire o gas como medio de transporte. Estos dispositivos pueden también ser usados para medir caídas de presión a través de filtros, lo cual indica el grado de limpieza; presión estática en un ducto, lo cual indica el trabajo requerido para vencer la resistencia del sistema; o elevación de presión a través de un ventilador, lo cual indica el potencial que se está consiguiendo. Los indicadores de tiro y manómetros pueden ser utilizados para medir presiones diferenciales y estáticas en el rango de 0 a 0.1 bar. Indicadores de presión usados en sistemas de vapor y fluidos son por lo general manómetros de tubo de Bourdon.

El tubo de Bourdon se halla cerrado en uno de los extremos y tiene una sección transversal interna que no es un círculo perfecto. Al sufrir distorsiones, el tubo tiene la propiedad de cambiar su forma de acuerdo con la variación de presión interna. Configuraciones típicas del tubo de Bourdon se muestran en la **figura 6.8**. Este indicador puede ser empleado para medir presiones en el rango de 0 a 70 bares.

6.4 ANALISIS DE GASES

El analizador de combustión Bacharach Fyrite, es un instrumento robusto capaz de resistir los rigores del uso continuo. Además, los fluidos utilizados para el análisis sirven para un gran número de pruebas y pueden ser fácilmente reemplazados cuando se han agotado. El sistema es modular, los repuestos son baratos y pueden conseguirse y reemplazarse con facilidad. El analizador absorbe una muestra de gases y determina su contenido volumétrico. Conociendo el contenido de dióxido de carbono y de oxígeno de la muestra de gas, la temperatura de los gases de la chimenea y del aire de combustión y el tipo de combustible que está siendo quemado, es posible determinar la eficiencia de la combustión con una exactitud razonable. Otros tipos de equipos para análisis de gases se hallan disponibles y bajo uso regular en todo el mundo.

Estos analizadores incluyen al tradicional Aparato de Orsat que opera con el mismo principio que el de Fyrite, analizadores electrónicos portátiles que utilizan celdas electroquímicas como medio pa-

na medir y analizadores infrarrojos que son extremadamente sofisticados y exactos para medir CO₂ y CO de los gases de la chimenea. Para la mayoría de las plantas de nuestro medio, el analizador Fyrite suministra resultados que son bastante exactos y que lo vuelven adecuado para hacer evaluaciones de los efectos de las medidas de conservación en los equipos de la planta.

La medición de la eficiencia de la combustión requiere también mediciones de temperatura, psicrómetros y de análisis de los gases de combustión. El auditor debe observar ciertas precauciones y consejos de operación para asegurarse de que los resultados obtenidos de los análisis de gas son exactos dentro de los límites de los instrumentos y pueden ser repetidos. Para comparar la eficiencia de operación a través de un período de tiempo de un equipo que funciona con llama, los procedimientos de pruebas y sus resultados deben ser consistentes de una prueba a otra.

Por esta razón se recomienda que un pequeño grupo de cada lugar sea entrenado en los principios de análisis de gases y que sean ellos los únicos que realicen las pruebas requeridas. Antes de iniciar la prueba de la combustión, el auditor debe inspeccionar el equipo que va a ser estudiado para localizar la necesidad de los puntos de prueba desde donde se van a tomar las muestras de gases y se van a medir las temperaturas. Las mediciones que deben hacerse para una prueba completa de combustión son:

* Temperatura de entrada del aire de combustión

- * Temperatura de los gases de combustión
- * Tiro de la caja de fuego y de la chimenea
- * Cantidad de humo en los gases de combustión
- * Composición por volumen de los gases de combustión (en %)
 - dióxido de carbono (CO₂)
 - oxígeno (O₂)

SALTAH

Pg 285

6.4.1 TEMPERATURA DEL AIRE DE COMBUSTION

El auditor debe medir la temperatura del aire de combustión en la entrada del ventilador de tiro forzado. Si es una unidad de tiro natural, la temperatura del aire de combustión puede ser medida en la parte frontal del quemador donde el aire entra a la caldera. Para hacer esta medición puede usarse un termómetro de mercurio. Para algunos análisis, es necesario determinar el contenido de humedad del aire. Si fuera este el caso, debe usarse un psicrómetro de aspiración para determinar la humedad relativa y entonces, a partir de la carta psicrométrica obtener el contenido de humedad del aire.

6.4.2 TEMPERATURA Y COMPOSICION DE LOS GASES DE COMBUSTION

El punto en el cual se toma la muestra de gas y se mide su temperatura debe estar lo más cercano posible a la salida de la carcasa del sistema. Aproximándose al punto de salida, se minimiza la pérdida de temperatura en la corriente de gas y la posibilidad de contaminación con el ambiente. Los agujeros perforados para la toma de la muestra de gas deben ser lo más cercano posible a los diámetros de las sondas de la toma de

muestra y de medición de temperatura para evitar la entrada del aire exterior que podría diluir la muestra. Debe elegirse puntos separados para la toma de la muestra y la medición de temperatura para evitar interrupciones de la prueba debido al cambio de las sondas. El cambio de las sondas de gas y temperatura también significa tiempo, dado que la sonda de temperatura debe estabilizarse a la temperatura de operación. Una termocupla con estuche de protección y lectura electrónica se usa para medir temperaturas de los gases de combustión.

6.4.3 TIRO DE LA CAJA DE FUEGO Y LA CHIMENEA

Los puntos de prueba para el tiro de la caja de fuego de la chimenea dependen del tipo de unidad que está siendo probada, de la configuración de los ventiladores y de si la caja de fuego y la chimenea se encuentran sobre o debajo de la presión atmosférica. Como estas condiciones varían de una unidad a otra, el auditor debe examinar la instalación de los medidores de tiro existentes o revisar los manuales de operación para conocer dónde deben ser tomadas las lecturas y qué valores deben esperarse.

6.4.4 HUMO EN LOS GASES DE COMBUSTION

El humo contenido en los gases de combustión puede medirse en el mismo punto de toma de la muestra de los gases usando una bomba de operación manual que succiona un cierto volumen de gases de combustión y lo pasa a través de un filtro de papel. Las partículas de humo se depositan sobre el filtro de

papel y luego se compara su densidad con otras establecidas como referencia. La lectura de la escala de referencia que más se aproxima al papel de prueba nos indica la condición de operación del equipo de combustión. Usando los hallazgos del contenido de humo junto con los resultados de los análisis de combustión, el auditor está en posición de hacer recomendaciones concretas para mejorar la operación de la unidad.

X 6.4.5 COMPOSICION DE LOS GASES DE COMBUSTION

La bomba de humo requiere poco mantenimiento. Junto con la bomba se suministra un tubo con aceite de lubricación para facilitar la operación de ésta. Una vez que los puntos de prueba han sido establecidos, el auditor debe reunir los equipos que serán usados para efectuar los análisis y asegurarse de que todos se hallan en buenas condiciones de trabajo. La principal área de atención es el equipo de análisis de gases. Este equipo deber ser operado y mantenido adecuadamente para asegurar buenos resultados de las pruebas. Con respecto al equipo Fyrite el auditor debe asegurarse de que:

- * Los químicos de los cilindros del equipo sean frescos
- * Los sellos de domos de tope y base están en buen estado
- * La manguera y bomba sean herméticas
- * Las válvulas de la bomba trabajen correctamente
- * Las escalas de concentración de gases de combustión absorbidos están en su lugar y son adecuadas al gas a analizar
- * El Fyrite se ha calentado hasta la temperatura ambiente an-

tes de tomar cualquier lectura

Se puede fácilmente verificar la hermeticidad y la operación correcta de la manguera y la bomba de aire, sellando el extremo que se conecta a la muestra y operando la bomba manualmente. Si la bomba permanece desinflada por un período de unos 30 segundos después de que se ha dejado de operar, entonces la manguera, conexiones y válvulas se hallan en buenas condiciones y trabajando correctamente. Si hay fuga de aire en la conexión de los accesorios y manguera, la aplicación de un recubrimiento con alguna pasta para sellado mejorará la situación. Las conexiones en el filtro deben estar protegidas con cinta aislante eléctrica para asegurar un sellado adecuado. Si las válvulas no cierran correctamente, deben ser reemplazadas, de lo contrario, el aire externo entraría y se mezclaría con la muestra, dando resultados erróneos.

La reducción del nivel del químico en el Fyrite desde la última vez que fue utilizado puede indicar un mal sellado. Si el Fyrite se halla sometido a un uso regular, la unidad debe ser drenada, limpiada, inspeccionada y recargada después de unas 75 pruebas. Los analizadores de O₂ y CO₂ deben ser cambiados al mismo tiempo, para evitar confusión acerca de cual unidad fue recargada. Los fluidos empleados para el análisis son altamente corrosivos y deben ser manejados con cuidado. Debe usarse guantes de caucho cuando se recarga el Fyrite y un grifo de agua debe estar disponible para el caso de produ-

cirse algun derrame de líquido. El auditor debe leer con cuidado las instrucciones del fabricante antes de trabajar con el Fynite o con cualquier otra pieza del equipo de análisis químico para enterarse de los peligros y precauciones de seguridad requeridas.

Debido a que se requieren diferentes fluidos y rangos para las pruebas de O₂ y CO₂, el auditor debe asegurarse de estar usando las escalas correctas en las botellas de la muestra. El fluido empleado para la prueba del O₂ es verde azulado y el fluido para la prueba del CO₂ es rojo; ambas pruebas utilizan escalas del 0 al 20 por ciento. Cuando se inicia la prueba, el auditor debe primero reducir la presión del cilindro presionando el tope superior; entonces, puede ajustar el cero de la escala alineando la base de la escala (línea cero) con la superficie del fluido de prueba.

El fabricante sugiere que la línea cero sea mantenida alineada con el tope del menisco del líquido de prueba. Durante los períodos prolongados de pruebas, es a menudo necesario reajustar el cero de la escala de la botella de la muestra debido a la absorción residual del gas de prueba. El punto cero de la escala debe ser verificado después de cada 5 ó 6 pruebas secuenciales. La exactitud de los medidores de cualquier prueba puede ser verificada comparando los resultados de las lecturas de O₂ y CO₂. Para todos los combustibles la relación de O₂ y CO₂ es fija y puede ser determinada por medio de cál-

culos. El método más simple es usando gráficos de referencia que se hallan disponibles para muchos combustibles comunes.

X 6.4.6 DEPOSITO DE PARTICULAS Y POLVO

La medida de la velocidad de depósito de partículas y polvo procedentes del aire, no puede ser una determinación precisa. Si se expone un recipiente colocado en el suelo, el material que cae en su interior comprende no sólo las partículas y el polvo descargado de las chimeneas existentes en la zona, sino también las partículas y el polvo arrastrados por el viento procedente de montones de carbón y de diversas materias primas utilizadas por las industrias de diversos tipos. Los diversos tipos de depósitos aforados en uso, difieren en diseño y altura por encima del suelo, debido a componentes necesarias para reunir exigencias diferentes.

Y Depósito Aforado Estándar Estadounidense

Consiste en un cilindro de polietileno, de 150 a 200 mm de diámetro, abierto por su parte superior y la altura de sus lados no es inferior a 275 mm. Se coloca de modo que la parte superior del recipiente aforado este a una distancia superior a 2.5 m por encima del suelo o inferior a 1.25 m por encima de cualquier otra superficie, como por ejemplo, un tejado plano sobre el que pueda situarse. Debe ubicarse lo suficientemente lejos de objetos altos, tales como paredes o árboles, de modo que una línea trazada desde el recipiente aforado hasta la parte superior de dichos objetos, no esté inclinada

en un ángulo mayor que 30 con respecto a la horizontal.

El depósito aforado se expone durante un mes, después se separa el contenido en material insoluble en agua y material soluble en agua y se determinan las cantidades de cada uno. Posteriormente se realizan análisis más exhaustivos necesarios para cualquier inspección más detallada. La ventaja de este depósito aforado radica en su bajo costo.

X Depósito Aforado Estándar Británico

El recipiente colector (**figura 6.9**) es un embudo de vidrio o polietileno de 315 mm de diámetro y cuyos lados tienen una altura de 105 mm. Está fijado en un soporte, de modo que la boca del embudo en la parte superior, está a 1.2 m por encima del nivel del suelo. La aerodinámica del equipo queda ligeramente afectada por un ahuyentapájaros de malla de alambre, cilíndrico y abierto, que sobresale unos 100 mm por encima del recipiente, para evitar que los pájaros se posen en el embudo. El recipiente en forma de embudo descarga en una botella colectoras. En tiempo seco, los depósitos permanecen en el recipiente pero cuando llueve, la lluvia lava mayor o menor proporción de ellos y los arrastra a la botella colectoras. Las condiciones de exposición son las mismas que para el depósito aforado anterior. Tras un mes, se lava con agua destilada en la botella colectoras cualquier material seco depositado en el embudo y se analiza el contenido de la botella respecto a materia soluble, materia insoluble y en cuanto a

cualquier otro constituyente requerido.

X Depósito Aforado VDI (Alemán) de Placa Pegajosa

Se coloca horizontalmente una delgada placa de chapa de aluminio de unos 40 mm por 80 mm, a aproximadamente 1.5 m por encima del suelo en la parte superior de un poste. Un ahuyentapájaros, consistente en diez alambres recios verticales, de 120 mm de longitud cada uno, rodea la placa. Esta se halla cubierta de una fina capa de una jalea de petróleo, secada en un desecador y pesada. Se expone entonces durante el suficiente tiempo, se vuelve a secar y se pesa. La cantidad de depósito coleccionado no deberá exceder de 30 mg, pues se estropearía la naturaleza pegajosa de la superficie.

X Depósito Aforado Direccional

La perturbación causada por el polvo en el aire se relaciona mejor con la cantidad arrastrada horizontalmente por el viento o con un ángulo pequeño respecto a la horizontal, que con la cantidad que cae verticalmente o casi verticalmente. Se ideó, por tanto, un depósito aforado direccional. Consiste en un cilindro alargado de plástico, con una hendidura vertical de 45 mm de ancho y 350 mm de alto, como entrada. Cuando el viento sopla en la dirección hacia la que está orientada la hendidura, el polvo arrastrado entra en la misma y cae a la botella colectora.

Después de permanecer al aire libre durante un mes, se lava

con agua destilada cualquier material que reste en un cilindro y se recoge en la botella colectora; después se analiza el contenido por el procedimiento usual. Cabe también obtener una medida arbitraria transfiriendo el contenido a una célula especial de absorciometría y medir el oscurecimiento de la luz comparándolo con el producido por la misma cantidad de agua en la célula.

X 6.4.7 MATERIA SUSPENDIDA EN FORMA DE PARTICULAS : HUMO

Quando el tamaño de las partículas es muy pequeño, de sólo unas pocas micras, las impureza sólidas o líquidas del aire no caen fácilmente bajo la influencia de la gravedad sino que permanecen suspendidas durante largos períodos de tiempo. El más generalizado de estos contaminantes es el humo que suele ir acompañado de partículas muy finas de polvo que pueden ser de cualquier color -blancas, provenientes de fábricas de cemento; rojas, de fábricas de acero; pardas claras, de plantas de calderas calentadas con combustible pulverizado, etc-, según la fuente original.

X Gráficos de Ringelmann²⁸

Se ideó este método aproximado para facilitar la estimación del oscurecimiento que sale de una chimenea. Un gráfico de Ringelmann (figura 6.10) es una cartulina blanca rectangular, dividida en cinco cuadrados de 101.6 mm (4 pulgadas),

²⁸ Tomado de Métodos de Medida de la Contaminación Atmosférica, Organización de Cooperación y Desarrollo Económico, OCDE, 1964



de los cuales uno es blanco y los otros tienen un cuadrícula negro, de modo que el 20, 40, 60 y 80 % del fondo blanco está oscurecido. Cuando se mantiene a suficiente distancia del observador, normalmente más de 15 m, parece que el cuadrículado negro emerge del fondo blanco dando diversos tonos de gris. El gráfico se monta en un poste, para que esté situado en la línea de visión del observador que contempla el humo que sale de la chimenea y que decide cuál de los tonos de Ringelmann coincide más exactamente con el tono del humo.

El humo oscuro se define en la Clean Air Act²⁹ como más oscuro que el tono número 2 de Ringelmann. Puesto que este gráfico, montado sobre un poste, presenta algún inconveniente para su uso, la British Standards Institution confeccionó un gráfico en miniatura. Este gráfico en miniatura comprende 5 cuadrados de 25 mm, que muestran cinco tonos de gris que se corresponden con el gráfico grande de Ringelmann.

X 6.4.8 APARATOS MEDIDORES DEL OSCURECIMIENTO

Son medidores de humo o indicadores para colocarlos, cuando sea necesario, en las chimeneas de las calderas u hornos. La mayoría de ellos funcionan proyectando un haz de luz a través de la chimenea, sobre una célula fotoeléctrica colocada en el lado opuesto. La salida de la célula alimenta un registrador o indicador, de manera que muestra la pérdida de intensi-

²⁹ Acta de EEUU que regula las cantidades permisibles por la Ley de contaminantes en el aire, 1956

dad de la luz debido a la presencia de partículas en el gas de chimenea. Algunos instrumentos también activan una alarma sonora cuando la pérdida de la intensidad de la luz alcanza determinada cantidad. Normalmente, la alarma se ajusta para funcionar a una proporción de humo ligeramente menor que el máximo permitido. Han de tomarse precauciones para evitar el depósito de humo del gas de chimenea en las ventanas del instrumento en ambos lados de la chimenea; de lo contrario se obtendrá un falso valor alto del oscurecimiento.

Estas precauciones suelen incluir el suministro de un flujo continuo de aire limpio a lo largo de las superficies internas de las ventanas, para evitar que el gas de chimenea llegue a estar en contacto con ellas. Asimismo, las ventanas se protegen con una malla de aluminio en forma de panal, en cuyas estrechas celdillas la turbulencia es nula, de modo que se evita así el acceso a la ventana de incluso las partículas de polvo más finas o de los gases condensables.

X El Medidor de Humo Hartridge³⁰

Es otro tipo de aparato aforado para calibrar el oscurecimiento, es un método estándar para ensayo de los gases de escape de los motores Diesel. Se toma una muestra continua del gas del tubo de escape del motor y se pasa a través de un cilindro de 55 mm de diámetro y 407 mm de largo, con una lám-

³⁰ La Contaminación Atmosférica producida por los vehículos automóviles, S. Estrada, 1968

para en un extremo y una célula fotoeléctrica en el otro. Se obtiene la disminución de la intensidad de la luz causada por los sólidos en el gas de escape comparando la salida de la célula fotoeléctrica cuando la célula y la lámpara se colocan en sus posiciones correspondientes en un cilindro idéntico a través del cual se pasa aire puro.

X El Medidor de Humo Bosch-Dumedin

Depende del manchado de un papel de filtro blanco cuando una cantidad especificada de gas de escape atraviesa dicho aparato. Una bomba, accionada manualmente, toma un tercio de litro del gas del tubo de escape del motor y lo hace pasar lentamente a través de un papel de filtro # 4, que se separa a continuación del aparato. El oscurecimiento de la mancha de humo se valora con un reflectómetro fotoeléctrico.

X 6.4.9 MEDIDA DEL HUMO Y PARTICULAS TOTALES SUSPENDIDAS EN EL AIRE

El único método de medida de la concentración de material suspendido en el aire consiste en filtrar una muestra del aire y determinar el peso del material recogido en el filtro. Este procedimiento depende de las circunstancias y requiere tiempo, limitando esto su uso y reemplazándolo con papeles de filtro y otros.

X Métodos Gravimétricos

El aparato de muestreo de alto volumen es el más sencillo de los métodos de pesada directa y lo ha adoptado la US Environ-

mental Protection Agency como su método de referencia oficial. Un filtro de fibra de vidrio, sostenido sobre una tela metálica gruesa, se mantiene horizontalmente en un receptáculo de filtración, de modo que presenta un área de 406.5 cm² expuesta al aire bajo una protección estándar, para evitar que la lluvia y material accidental la alcance. Se pasa el aire a través del aparato con caudal de 1.13 a 1.70 m³/min, que está calculado para evitar que las partículas aproximadamente mayores que 100 µm tengan acceso al filtro. La toma de muestras continúa, por lo general durante 24 horas. La introducción de pequeños cambios en el diseño del aparato conducirían a mejoras; la corriente del aire filtrado con el dispositivo indicado, está dirigida hacia el suelo, donde puede provocar polvo y contaminar el aire que se está tomando como muestra. En el correspondiente método estándar británico se utiliza un caudal de muestreo unas veinte veces menor que el usado en el aparato de muestreo de alto volumen estadounidense, de modo que con aire que contiene 100 µg/m³ de materia suspendida, una muestra tomada en el mismo intervalo de tiempo sólo pesaría unos 10 mg; y debe ponerse más cuidado en el secado y pesado de la muestra en condiciones estándar.

X Métodos de Mancha de Humo

Se utilizan para la estimación de humo en el aire en función del humo estándar equivalente. Se arrastra el aire que interesa someter a muestreo a través del aparato (figura 6.16) a un caudal de unos 2 m³/día (24 horas) mediante una bomba

de succión. Penetra por un embudo invertido, colocado en la parte exterior del edificio en que se ha situado el aparato y lo suficientemente lejos de la pared para no quedar demasiado afectado por los cambios inducidos en el flujo general del aire, debido a la presencia del edificio. La boca del embudo tiene 40 mm de diámetro, tamaño elegido de modo que, con el caudal utilizado, el material descendente que rebasa de 10 a 20 μm no sea arrastrado a su interior. A continuación el aire atraviesa una hoja de papel de filtro Whatman #1, sostenida tal como se muestra en la **figura 6.11**, en un filtro prensa de latón, cuyas dos hojas se mantienen estrechamente juntas. Sigue un burbujeador, que contiene una solución de peróxido de hidrógeno diluida, para la determinación del SO_2 y a continuación un recipiente en que hay cloruro de calcio para absorber la humedad, seguido por una bomba de succión y un medidor de gas. Tras una toma de muestras de 24 horas de duración, se separa el papel de filtro y se determina el oscurecimiento de la mancha de humo con un reflectómetro fotoeléctrico. Entonces es posible leer la concentración de humo en la muestra de aire a partir de una curva de calibrado que relaciona el oscurecimiento de la mancha con la concentración de "humo estándar equivalente" en $\mu\text{m}/\text{m}^3$.

X Métodos Semiautomáticos-Manchas de Humo

Se puede ahorrar trabajo en la realización de inspecciones utilizando métodos de mancha de humo, preparando ocho equipos de aparatos, al principio de una semana y disponiendo inte-



ruptores automáticos para desviar la corriente de aire sometida a muestreo de un equipo al siguiente cada 24 horas. Se dispone de diversos tipos diferentes de aparatos para este propósito. En algunos casos es útil saber como varía la cantidad de humo en el aire de hora en hora. Esto se halla convenientemente usando una cinta de papel de filtro blanca, sujeta firmemente entre las dos hojas de un filtro prensa de latón ordinario, de modo que el aire pueda pasar a través de un disco circular del papel de la manera usual.

Al final de cada hora, un mecanismo automático abre el filtro prensa, mueve la cinta de papel de 20 a 30 mm y vuelve a cerrar el filtro prensa. De esta manera se obtiene una mancha de humo circular para cada hora que se valora bien por una lectura directa o mediante un reflectómetro automático. Los muelles que mantienen unidas las dos partes del filtro prensa deben ser lo suficientemente fuertes para que exista un cierre estanco al aire sobre el papel del filtro. Estas piezas del aparato son seguras y necesitan poca atención, pero la concentración media de humo obtenida a partir de las 24 manchas habidas en un día, deberá comprobarse ocasionalmente frente al instrumento estándar diario.

X 6.4.10 OXIDOS DE AZUFRE

Todos los combustibles fósiles contienen azufre, que aparece en su mayor parte como SO_2 en los gases de chimenea cuando se quema el combustible. La concentración en el gas de chi-

menea resultante varía con el contenido de azufre del combustible y con las condiciones de combustión. De los dióxidos de azufre, más del 95% en volumen, es dióxido de azufre y menos del 5% trióxido de azufre. No resulta difícil medir estas concentraciones.

El problema cambia mucho cuando los gases de chimenea se han diluido enormemente en la atmósfera y han de determinarse las concentraciones de óxidos de azufre en el aire de la ciudad y el del campo. Las dificultades para realizar medidas precisas se deben tanto a las bajas concentraciones como a la presencia en el aire de otras sustancias a concentraciones tales que puedan interferir en alguna medida.

X El Método Estándar Británico

Primero se separan los sólidos suspendidos del gas caliente con un filtro y entonces se satura el gas con isopropanol frío al 80% para promover la formación de una niebla de ácido sulfúrico, a partir del SO_3 e inhibir la oxidación del SO_2 . Se recoge la niebla de ácido sulfúrico pasando el gas a través de un disco de vidrio sinterizado y se retiene junto con el isopropanol en exceso, en un recipiente colector. En esta etapa se disuelve algo del dióxido de azufre, pero la mayor parte de él, pasa con la corriente gaseosa y se absorbe en una solución de yodo estándar. El flujo del gas continúa hasta el punto en que el yodo se decolora, lo que permite calcular la cantidad de dióxido de azufre absorbida

desde el gas. Se determina el ácido sulfúrico en isopropanol contenido en el recipiente valorando una parte alícuota con perclorato de bario utilizando torina como indicador. Una segunda parte alícuota se valora con yodo estándar para obtener la pequeña cantidad de SO₂ retenida en el isopropanol.

La precisión de este método para determinar la concentración de SO₂ en los gases de chimenea que se descargan de una de ellas, se aproxima al 5% con una concentración de 200 ppm en volumen y a un 2% para concentraciones cercanas a 2000 ppm. Para trióxido de azufre, la precisión llega al 10% para 5 ppm en volumen y al 5% para de 20 a 50 ppm.

λ El Método de la Pararosanilina

Adoptado como el de referencia por la US Environmental Protection Agency. Primero se absorbe el dióxido de azufre de una corriente de aire mediante una solución de tetracloro-mercuriato de potasio. Se origina un complejo de diclorosulfitomercuriato, que resiste la oxidación por el oxígeno del aire. Dicho complejo, una vez formado, es estable a los oxidantes fuertes, tales como ozono y óxidos de nitrógeno. Al final del período de muestreo, se trata el complejo con pararosanilina y formaldehído, con lo que se constituye el ácido pararosanilina metilsulfónico intensamente coloreado. El método no es una determinación absoluta, en el sentido que requeriría la concentración de dióxido de azufre, que se habría de calcular de las lecturas mediante las reglas

de la química y de la física. La absorbancia del producto intensamente coloreado se mide con un espectrofotómetro.

Para cada espectrofotómetro, se ha de trazar una curva de calibrado que relacione la concentración de SO₂ con la absorbancia; la relación es, afortunadamente lineal. Se efectúa la calibración empezando con soluciones de tetracloro-mercuriato a los que se añaden cantidades conocidas de sulfito de sodio en vez de hacer burbujear aire que contiene SO₂. Cabe también utilizar aire que contenga cantidades conocidas de dióxido de azufre.

X El Método del Peróxido de Hidrógeno

En él se utiliza el mismo aparato que en el método standar para humo (figura 6.11). Se pasa la muestra de aire que se ha de analizar a un caudal de 2 m³/día (24 horas), primero a través de un filtro de humo y a continuación se hace burbujear a través de una solución de peróxido de hidrógeno al 0.3% (conocido también como peróxido de hidrógeno de 1 volumen), que inicialmente se ha ajustado a pH 4.5. Al final de las 24 horas, se valora la solución con una de carbonato de sodio 0.01 N hasta un punto final de pH 4.5. La valoración puede efectuarse con un indicador o con un pH-metro. El punto final de pH 4.5 se elige de modo que la gran cantidad de ácido carbónico presente, que procede de la solución de SO₂ del aire no pueda interferir. Los resultados se registran como µm de dióxido de azufre por metro cúbico, sobre el con-

venio de que el aumento de acidez del peróxido de hidrógeno sólo se debe a la oxidación del dióxido de azufre a ácido sulfúrico. Para concentraciones de hasta $500 \mu\text{m}/\text{m}^3$, las determinaciones repetidas estarían dentro de $20 \mu\text{m}/\text{m}^3$ del valor medio.

X Registradores de Dióxido de Azufre

Son apropiados para cuando se necesitan registros continuos con diversos fines, relacionados con la magnitud de las concentraciones pico ocultas en los promedios diarios y las razones de su presencia. En uno de los mejores tipos de registro disponible se utiliza el método fotométrico de llama. Se quema hidrógeno puro en una corriente del aire que se ha de analizar y los compuestos de azufre en el aire producen intensa luminiscencia entre 300 y 423 nm. Si se dispone de un tubo fotomultiplicador para examinar la región por encima de la llama, a través de un filtro óptico de transmisión a $394 \pm 5 \text{ nm}$, este método resulta específico para azufre y puede utilizarse para concentraciones superiores ($25 \mu\text{m}/\text{m}^3$).

Este tipo de aparato es moderno y caro y la mayoría de los registros que ahora se utilizan son de un tipo anterior a éste. Muchos dependen de poner la corriente de aire que se ha de analizar en contacto con un contador lento de manera que proporcione una respuesta eléctrica, susceptible de aparecer registrada en un gráfico o alimentar un equipo de tratamiento de datos. Esto es fácil con el método de la pararo-

sanilina, ya que la salida del espectrofotómetro es una salida eléctrica. Uno de los sistemas de registro más sencillo y que tal vez requiere menos mantenimiento, es el que utiliza un método coulométrico. Se pasa la muestra de aire que se ha de analizar a través de una célula de valor coulométrica que contiene una solución de haluro tamponado. El SO₂ presente en la muestra de aire reacciona con el haluro y aumenta la resistencia al flujo de la electricidad a través de la célula. La corriente del electrodo de referencia necesaria para devolver la célula al estado estacionario está directamente relacionada con la concentración de SO₂. Después de una amplificación, la corriente del electrodo de referencia alimenta un registro o un sistema de tratamiento de datos. El método es aconsejable para medir concentraciones de dióxido de azufre superiores a unos 60 µm /m³.

X Nieblas de Acido Sulfúrico en la Atmósfera

En el método que se utiliza corrientemente para determinar su cantidad en el aire, se filtra la muestra de aire a través de papel Whatman del #1. El ácido y las sales solubles se separan por lavado con agua destilada y se valora el ácido libre con una solución estándar de tetraborato de sodio hasta pH 7.0. La cantidad de ácido indicada de esta manera es, a menudo, un valor inferior al verdadero, ya que algo del ácido puede reaccionar con las bases insolubles en agua, tales como carbonato de calcio, presentes en el filtro. Se evita este error añadiendo inicialmente un exceso de tetra-

borato de sodio y después se valora dicho exceso. Con este método se puede detectar menos de $1 \mu\text{m}/\text{m}^3$ con una muestra de aire de casi 10 m^3 y un caudal de flujo de $10 \text{ l}/\text{min}$.

6.4.11 MONOXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono, ya sea en los gases de escape de un motor o en la atmósfera, se mide por el método de absorción en el infrarrojo no dispersivo. Es no dispersivo en el sentido de que no necesita dispersar la radiación entrante por la longitud de onda como en un espectrómetro. Depende de la fuerte absorción por el CO en el infrarrojo alrededor de $4.6 \mu\text{m}$. La radiación procedente de una fuente que emite en un amplio intervalo de longitudes de onda en el infrarrojo se divide en dos haces paralelos que se dirigen a través de dos tubos, de los cuales uno contiene el aire que se ha de analizar y el otro, aire puro. Se coloca un detector en el extremo de cada tubo, alejado de la fuente de radiación; consiste en un conjunto con un diafragma cerrado en una atmósfera de CO puro. La radiación de una longitud de onda próxima a $4.6 \mu\text{m}$, que alcanzan estos detectores, la absorben el CO que contienen y causa un calentamiento. Se dispone el diafragma como parte de un sistema de un condensador, se detecta electrónicamente el calentamiento y se amplifica para proporcionar una señal de salida.

6.4.12 HIDROCARBUROS

Cuando se introducen hidrocarburos en una llama de hidrógeno

se produce una ionización y la corriente que fluye entre los electrodos, con una diferencia de potencial de 200 V entre los mismos, da una medida de la velocidad con que los hidrocarburos están añadiéndose a la llama. Hay una serie de instrumentos comerciales basados en este principio. Pueden ajustarse para medir las concentraciones comparativamente elevadas encontradas en los tubos de escape de los motores o las concentraciones relativamente bajas en el aire ambiente. Si se combina este aparato con un cromatógrafo de gases, puede separarse el metano que hay en la muestra y determinar el resto para obtener un valor distinto del metano.

6.4.13 OXIDOS DE NITROGENO

Comprende la determinación del óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno, siendo aplicable para ambos el método de quimiluminiscencia. Se basa en que cuando el óxido nítrico reacciona con ozono para dar NO_2 , aproximadamente el 10% del NO_2 está electrónicamente excitado y su transición al estado fundamental provoca emisión luminosa detectable, con longitudes de onda en la región de 590 a 630 nm. La emisión aumenta al reducir la presión y su intensidad es proporcional al caudal másico de óxido nítrico en el reactor. Se pasa la luz emitida a través de filtros ópticos para eliminar longitudes de onda indeseables y se mide con un tubo fotomultiplicador y sus aparatos electrónicos anexos.

En los instrumentos de tipo comercial, el ozono en las con-

centraciones correctas produce un ozonizador. La calibración no es complicada ya que se dispone con facilidad de NO_3 diluido de la pureza necesaria en botellas a presión. La precisión esta dentro de, aproximadamente, el 2% de la escala total de lectura. La sensibilidad varía con la presión en el reactor y va desde $1.2 \mu\text{m}/\text{m}^3$ para 1 torr hasta $6 \mu\text{m}/\text{m}^3$ a presión atmosférica. La presión se mantiene normalmente a un valor comprendido entre estos dos.

En cuanto al NO_2 , el método más sencillo es descomponerlo a NO_3 , que entonces se determina como ya se ha descrito. Se efectúa la descomposición cuantitativa pasando la muestra de aire a través de un tubo de acero inoxidable a 800°C . Sin embargo, cualquier cantidad de amoníaco que haya en la muestra queda, como mínimo, convertida parcialmente en NO_3 e interfiere la determinación. Se evita esto trabajando a una temperatura inferior a 250°C . El método más usado actualmente es usar un tubo de cuarzo lleno de cabos finos de una malla inerte, tal como oro o lana de vidrio, recubiertos de carbón y mantenidos a 220°C . De haber compuestos inestables de N del tipo de nitrato de peroxiacetilos, se descomponen y aumentan la concentración registrada de NO_2 .

X Método de Saltzman

Se pasa una muestra del aire por un filtro a $0.6 \text{ l}/\text{min}$ y luego por 2 burbujeadores en serie, que contienen una solución de ácido sulfamídico y naftiletildiamina para origi-

nar un colorante azo, de color magenta intenso. Se mide la intensidad del color con un espectrofotómetro o un colorímetro más sencillo. Este método no es una determinación absoluta, ya que depende de una calibración que ha de realizarse para cada conjunto de aparatos. Esta se efectúa representando la intensidad del color en función de concentraciones conocidas de NO₂ en aire, obtenidas con un tubo de saturación y se encuentra que la relación es totalmente lineal.

X 6.4.14 OZONO Y OXIDANTES

Hasta recientemente había sido imposible medir el ozono en el aire sin que tuviera interferencia de otros oxidantes; ahora, la introducción de la quimiluminiscencia ha permitido efectuarla bien. Nótese que el método del yoduro de potasio tamponado, más sencillo pero mucho menos preciso y que se ha empleado durante muchos años, da una indicación útil de la contaminación del aire por sustancias oxidantes.

El Método de Quimiluminiscencia depende de la reacción del O₃ de la muestra de aire con etileno. La muestra circula por el aparato a un caudal de, aproximadamente, 1 l/min, con un exceso de etileno. Se forma un ozonido de corta vida, que se descompone a formaldehído y emite luz. Se mide esta luz con un tubo fotomultiplicador, se registra su salida con lo que se obtiene una medida del O₃ que había al principio. Se efectúa la calibración del instrumento con aire purificado, procedente de una botella a presión, que se pasa a través

de un ozonizador para dar una serie de concentraciones de O_3 , determinadas por el método del yoduro de potasio neutro. El método es aplicable a concentraciones desde 10 a 2000 μm^3 y tiene una precisión aproximada del 7%.

Cuando el aire contiene ozono y otros oxidantes se hace burbujear en una solución neutra de yoduro de potasio tamponado, se libera yodo. El O_3 reacciona cuantitativamente. El 10% del NO_2 y el 20% de cualquier nitrato de peroxiacilos que pueda haber en la muestra de aire también reaccionará. La interferencia más grave es la del SO_2 , que reacciona cuantitativamente en la dirección opuesta a la del O_3 . Por tanto, se ha de separar el SO_2 antes de que la muestra de aire alcance el burbujeador que contiene yoduro de potasio. Esto se logra introduciendo un tubo grande, en U, lleno de papel de fibra de vidrio impregnado con trióxido de cromo; el CrO_3 convierte también cualquier óxido nítrico presente a NO_2 , a tener en cuenta cuando se valoren los oxidantes.

X 6.5 MEDICIONES ELECTRICAS

Hay 4 mediciones eléctricas importantes en la conducción de una auditoría detallada. Estas son: Amperaje, Voltaje, Vatiage (o demanda instantánea) y Factor de Potencia.

6.5.1 AMPERAJE

Es la medida del flujo de electrones en la corriente eléctrica-

ca. Todo conductor tiene cierta capacidad para llevar electrones. Hay tablas que muestran, para un determinado conductor y sistema de aislamiento, la corriente máxima que puede transmitir sin sufrir daño debido al calor generado. Se mide utilizando un amperímetro. Hay varios tipos disponibles, los más comunes son el de gancho y el registrador de corriente.

El Amperímetro de Gancho, es un instrumento portátil que da lectura directa de la corriente que fluye a través del conductor. El **Registrador de Corriente** es de operación similar, pero suministra una presentación gráfica del amperaje en el circuito a través de un período de tiempo. Ambos amperímetros consisten de un transductor de corriente (el toroide) que es conectado al panel del dispositivo. La corriente que fluye en el conductor establece un campo magnético que forma ángulos rectos con el conductor. Al ser colocado el transductor de corriente dentro del campo magnético se induce corriente en él. La intensidad del campo magnético es proporcional a la corriente en el conductor; la corriente eléctrica inducida en el transductor es proporcional a la fuerza magnética.

La corriente inducida en el transductor es medida con el amperímetro, el cual es calibrado con el objeto de que proporcione la corriente real en el conductor. Ambos amperímetros son fáciles de usar. Las escalas para medición difieren, por lo tanto, hay que seleccionar la escala correcta. El transductor se selecciona según la magnitud de la corriente que

va a ser medida. Para asegurar lectura correcta, el transductor debe rodear al conductor; se lo desliza sobre el conductor para alimentar la carga en estudio. Para sistemas de poder polifásicos, es a veces útil obtener las lecturas de amperaje de todas las fases para determinar los desbalances. Debe observarse las normas de seguridad al tomar mediciones en un sistema eléctrico. Hay que tener cuidado de no utilizar el transductor de corriente en un conductor eléctrico desnudo. Usar guantes de protección.

6.5.2 VOLTAJE

Es la medida de la fuerza que mueve los electrones en la corriente eléctrica y es generalmente constante. El voltaje debe ser medido para asegurarse de la operación correcta de la reducción del voltaje de la instalación y del sistema de distribución. El instrumento utilizado para medir voltaje es el **Voltímetro** y lo apreciamos en la **figura 6.12**. En algunos casos el voltaje es medido en combinación con amperaje y/o resistencia en un dispositivo llamado multímetro. El instrumento se utiliza conectando los terminales al conductor (no al aislamiento) bajo estudio. El voltaje se lee directamente de la escala apropiada del instrumento. Debe observarse normas de seguridad al tomar mediciones en un sistema eléctrico.

6.5.3 EL VATAIAJE

Es la medida de la potencia eléctrica en el circuito. Para determinar directamente la potencia consumida por un equipo

se utiliza el **Vatímetro**. El registrador de corriente o el amperímetro de gancho pueden también ser usados para determinar indirectamente la potencia consumida, dado que potencia aparente en un circuito es el producto de corriente por voltaje y por raíz cuadrada del número de fases del sistema. La potencia real en un circuito es el producto de la potencia aparente y el factor de potencia.

El Vatímetro consiste de 3 terminales con pinzas, uno de los cuales se distingue por una marca (#1), un transductor de corriente y un panel. Al usar el vatímetro, se hace conexiones a cada una de las líneas de las fases del sistema que va a ser medido y el transductor de corriente se conecta alrededor de la misma línea que el terminal marcado. La potencia en el circuito se lee directamente en el instrumento. El Vatímetro se utiliza de diferentes maneras según el tipo de fuente de poder. Algunas de estas combinaciones³¹ se describen a continuación (ver **figura 6.13**):

- * Potencia Activa sin neutro, carga balanceada, trifásica; los terminales se conectan a cada línea en secuencia arbitraria; el transductor de corriente se conecta a la misma línea que el terminal marcado. El instrumento da directamente la potencia activa trifásica.
- * Potencia Activa con neutro, carga desbalanceada, trifásica: el terminal marcado y el transductor de corriente se conectan a una de las 3 líneas y el terminal marcado #2 se con-

³¹ Tomadas de las presentadas en el Manual del Programa de Conservación de Energía Industrial, EEUU, 1984

necta al neutro. El tercer terminal no se utiliza. El instrumento mide la potencia activa de una de las fases; el proceso debe repetirse para las otras fases. Los valores medidos se suman.

- * Potencia Activa monofásica: seguir el mismo procedimiento que para carga desbalanceada trifásica con neutro.
- * Potencia Activa sin neutro, carga desbalanceada, trifásica: se necesitan 2 vatímetros de pinzas. El terminal #2 de ambos medidores se conecta a la misma fase. El terminal marcado y el transductor de corriente del 1o. vatímetro se conectan a una de las fases sobrantes, mientras que el terminal marcado y el transductor de corriente del otro vatímetro se conectan a la otra fase sobrante. El terminal #3 de ambos medidores no se usa. Los valores medidos se suman.
- * Potencia Reactiva sin neutro, carga desbalanceada, trifásica: esta medición requiere 2 vatímetros. A los 3 terminales del vatímetro se los identifica como #1 (terminal marcado) #2 y #3. Los terminales se conectan como sigue:

<u>Fase</u>	<u>Medidor # 1</u>	<u>Medidor # 2</u>
1	terminal # 1	terminal # 3
2	terminal # 2	terminal # 2
3	terminal # 3	terminal # 1

- * Potencia Reactiva sin neutro, carga balanceada, trifásica: el terminal marcado y el #2 se conectan a 2 de las fases; el transductor de corriente se conecta a la fase sobrante.

El #3 no se usa. La potencia reactiva se obtiene multiplicando la lectura por 1.73.

El transductor de corriente de cada medidor se conecta a la misma fase que el terminal #3 del medidor respectivo. La potencia reactiva es la diferencia entre las dos lecturas, dividida para 1.73. Debe observarse las normas de seguridad al tomar mediciones en un sistema eléctrico.

6.5.4 FACTOR DE POTENCIA

La última de las mediciones eléctricas es el factor de potencia. Para esto se utiliza el medidor de factor de potencia. Físicamente, este medidor es similar al vatímetro. El medidor de factor de potencia tiene parte del mecanismo del vatímetro; se compone de un transductor de corriente y 3 terminales tipo pinza, uno de los cuales (#1) se distingue por una marca; viene acompañado de un panel para lectura directa.

El terminal marcado y el transductor de corriente se conectan a una de las tres fases; los otros dos terminales se conectan a las otras fases siguiendo el orden de las mismas. El instrumento se halla incorrectamente conectado si la aguja se deflecta en la dirección equivocada cuando es activada (antes de la conexión del transductor de corriente; si esto sucede, intercambie los terminales #2 y #3). El transductor de corriente se conecta a la misma fase que el #1. Cuando se presenta un gran desbalance en la corriente de fase, deben ha-

cerse mediciones adicionales del factor de potencia para cada fase. El factor de potencia en el trifásico se computa tomando el promedio de este en relación con la corriente de fase:

$$\text{Trifásico} = \frac{(A1 \times FP1) + (A2 \times FP2) + (A3 \times FP3)}{A1 + A2 + A3}$$

donde: A = amperaje en cada fase

FP = factor de potencia en cada fase

6.6 MEDICION DEL NIVEL DE INTENSIDAD LUMINOSA

La determinación del nivel de iluminación adecuado involucra:

- * Definición del espacio abastecido por la unidad de iluminación
- * Identificación del tipo de unidad de iluminación en uso
- * Medición del nivel de intensidad luminosa en servicio

En el **cuadro 6.2** se presenta un formulario para datos de mediciones de nivel de iluminación³². Cada área de la instalación que es inspeccionada se indica en el encabezamiento del formulario. La localización y su uso principal se anotan en las columnas 2 y 3 respectivamente. Las dimensiones del área se registran en la columna 4. Se anota la longitud y ancho real. La altura se refiere a la distancia desde el bulbo hasta el piso; esto puede variar dependiendo de la altura del tumbado y de si los dispositivos de iluminación están suspendidos del mismo.

³² Tomado del Manual del Programa de Conservación de Energía Industrial para el Control de la Iluminación, EEUU, 1984

Las 6 columnas siguientes describen los dispositivos de iluminación que hay en el lugar. Se anota el número, tipo (fluorescente, incandescente, HPS), vatios por bulbo, número de bulbos y balastos por dispositivo y vatios por balastos. Mientras mayor sea la información reunida en esta sección, más fácil será evaluar el potencial de ahorro debido a cambios en el sistema de iluminación. En la fase inicial de la inspección, se debe revisar varios de los balastos. Si todos ellos son iguales, se asume que los demás son similares. Antes de iniciar la inspección, debe enterarse, a través del personal de la planta, si existe en marcha algún programa de reemplazos de lámparas o balastos, ya que esta información le dará una guía para determinar la carga debido a la iluminación.

El nivel de intensidad luminosa se mide con un **fotómetro**. Este dispositivo está basado en el efecto fotoeléctrico, por el cual, la intensidad de ciertas longitudes de onda de luz, al actuar sobre ciertos materiales, causa la generación de un voltaje que es proporcional a la intensidad de luz. El fotómetro suministra una lectura directa de la intensidad de luz medida en pie-candela. El pie-candela se define como iluminación sobre una superficie de un pie cuadrado de área sobre el cual se distribuye uniformemente un flujo de un lumen. El equivalente al pie-candela en unidades métricas es el lux, el cual es la iluminación sobre una superficie de un metro cuadrado que recibe un flujo uniforme de un lumen. Para efectuar la medición, el fotómetro se coloca en el lugar de trabajo del área bajo estudio. Al usar el fotómetro hay que tener cuidado de no producir con el cuerpo sombra sobre el dispositivo. En el **cuadro 6.3**

se presentan algunas sugerencias para niveles de iluminación en varios tipos de servicios³³.

Continuando con el formulario del **cuadro 6.2**, los niveles de iluminación medidos se registran en la penúltima columna y las horas de operación anuales en la última. Los datos reunidos pueden ser usados para calcular la carga total de iluminación y el consumo anual de energía correspondiente al sistema de iluminación. Para calcular la carga por iluminación, se aplica la siguiente fórmula para cada numeral anotado en el formulario:

$$\text{Carga de Ilumin. en KW} = (\# \text{ de dispositivos}) \times [(\text{bulbos por dispos}) \times (\text{Vatios por bulbo}) + (\text{balastos por dispos}) \times (\text{Vatios por balasto})] / 1000$$

La carga total de iluminación para la planta se obtiene sumando la carga de todos los numerales. El consumo anual de energía para el sistema de iluminación se obtiene multiplicando la carga de iluminación por las horas anuales de operación, para cada área inspeccionada. El consumo total de energía de la planta se obtiene sumando todos los numerales.

Utilizando los resultados de la investigación y los niveles de iluminación sugeridos en el **cuadro 6.3**, el auditor puede determinar que áreas están iluminadas más de lo necesario y dónde deben eliminarse lámparas para reducir el consumo de energía. Los ahorros anuales se calculan utilizando las fórmulas presentadas pero sustituyendo los números correspondientes a los bulbos o balastos desconectados o removidos.

³³ Tomado de Niveles de Iluminación Recomendados presentados en el Manual del Programa de Conservación de Energía Industrial, EEUU, 1984

6.7 MEDICION DEL NIVEL DE RUIDO

Podemos definir al ruido como un sonido indeseable, son sonidos irritantes, perturbadores, molestos y algunas veces dañinos para el oído. Con frecuencia dificultan la comunicación e impiden la llegada de señales acústicas. La unidad de medición de intensidad sonora se llama **decibel** (deci que significa diez y bel, de Alexander Graham Bell) y establece que el sonido más bajo perceptible para el oído tendrá el valor de cero decibeles (dB) y conformará el punto de partida de la escala de medición del sonido. El nivel superior es 120 dB; tales sonidos saturan plenamente nuestro sentido del oído y las intensidades mayores ya no se perciben más intensas aunque son más dañinas. Una escala de estos valores con sus fuentes podemos apreciar en la figura del **cuadro 6.4**³⁴.

La **potencia acústica o sonora** es la energía que por unidad de tiempo irradia una fuente. Se mide en vatios. La **intensidad sonora** es la fuerza que pasa a través de un área de unidad (vatios/m²). La intensidad del sonido disminuye a medida que el radio del campo aumenta, pese a que la potencia de la fuente permanezca inalterada. La **presión sonora** es la fuerza por área de unidad ejercida por el sonido de una intensidad dada. En la tabla del **cuadro 6.5** tenemos ejemplos de niveles de potencia sonora para motores de inducción. Estos valores nos pueden servir de referencia durante una medición.

6.7.1 EL SONOMETRO Y SUS ACCESORIOS

Existen muchos equipos que sirven para medir el ruido. Los

³⁴ Cuadro tomado de La Protección Auditiva, Enciclopedia Salvat de la Salud & la Organización Mundial de la Salud, 1986

laboratorios de acústica y vibración suelen contar con los dispositivos adecuados como medidores de nivel sonoro, filtros, registradores gráficos, cintas magnéticas, osciloscopios, etc, que sirven para llevar a cabo análisis de gran precisión. Sin embargo, para el control de ruido en la industria (prueba de ruido en equipos), se utilizan los medidores de nivel de sonido o sonómetros (**cuadro 6.6**). Los **sonómetros** están constituidos por los siguientes elementos: micrófono, amplificador, atenuador calibrado, redes ecualizadoras y dispositivo de lecturas. Las redes ecualizadoras introducen la compensación correspondiente a las diferentes escalas A, B, C y D. A los sonómetros se les suele acoplar un filtro de frecuencias divididas en bandas de una octava o de dos tercios de octava según el grado de precisión que se pretenda alcanzar en los análisis.

La *Walsh-Healey Act*³⁵ (Regulación Internacional que relaciona el tiempo de exposición permisible con el nivel de ruido permisible) establece los valores de L_p y t indicados para cada banda de octava (tabla del **cuadro 6.7**). Esta regulación indica que los niveles se deben medir en la posición de respuesta lenta de un sonómetro. Si no se tienen niveles globales en dB (A) medidos de la forma antes citada, sino que se tienen los valores de L_p en bandas de octava, como puede ser el caso de los resultados de un estudio teórico de niveles de ruidos, se debe emplear la figura del **cuadro 6.8** para la conversión en dB (A) y así poder utilizar los valores de la tabla del

³⁵ Walsh-Healey Act, 1936, 41 USC 35; 49 Statute 2036

cuadro 6.7. Del Acta de *Walsh Healey* se deduce que en ningún caso deben existir exposiciones a niveles por encima de los 115 dB (A); además, en dicho documento se indica que para exposición a ruidos impulsivos o de impacto no deben excederse los 140 dB de presión sonora de pico.

A partir de los valores de L_p y t se ha establecido la siguiente expresión para calcular la dosis de ruido, D :

$$D = t_1/T_1 + t_2/T_2 + \dots + t_n/T_n$$

t_n = duración de la exposición en un nivel cualquiera

T_n = duración de la exposición permisible en el mismo nivel

Antes de efectuar las lecturas, se debe proceder a calibrar el aparato. Los sonómetros admiten la posibilidad de calibrado de tipo interno utilizando el valor de sensibilidad del micrófono a un circuito abierto dado por el fabricante. Este tipo de calibración no es completo, ya que, en realidad, de esta forma sólo se ajusta el micrófono. Por ello y para mayor comodidad se suele suministrar con el sonómetro un **calibrador de nivel sonoro** que es una fuente de ruido patrón que cuando se aplica al micrófono del aparato deben dar la misma lectura de nivel en éste. De esta forma el calibrado ajusta todo el equipo. Según sea el grado de tolerancias de las lecturas, los sonómetros pueden ser normales o de precisión; para las pruebas de ruidos en equipo se suelen emplear estos últimos. Los modernos sonómetros también brindan la posibilidad de me-

dir ruidos de corta duración (impulsos).

El sonómetro no puede medir niveles pico de ruidos transientes que duran una fracción de segundo como los producidos por martillazos o golpes para impresión. Estos ruidos deben ser medidos con dispositivos llamados **medidores de impulso** y pueden conectarse a los sonómetros y calibrarse para indicar el nivel pico de sonido en el micrófono.

Los **Analizadores de Frecuencia** nos permiten obtener la distribución de frecuencia de la energía sonora. Puede ser conectado al sonómetro y la señal eléctrica del micrófono es filtrada por el circuito analizador de manera que solo señales dentro de un limitado rango de frecuencia son transmitidas al indicador. Las mediciones de niveles de presión sonora en rangos adyacentes de frecuencias nos dan datos para una comparación de nivel de presión sonora versus frecuencia. Cuando el nivel sonoro varía mucho dentro de un amplio rango, es difícil describir el ruido por lecturas de medida. Por esto se ha desarrollado **analizadores estadísticos** que indican el porcentaje de tiempo que el nivel sonoro se encuentra en ciertos rangos de nivel predeterminados. De estos datos, el nivel medio, desviación estándar y otros índices estadísticos pueden ser determinados.

6.7.2 PROTECCION CONTRA EL RUIDO

En la tabla del **cuadro 6.9** se presenta la aplicación de las

medidas directas de atenuación en las principales fuentes de ruido dentro de la industria³⁶. En tanto que en la tabla del **cuadro 6.10** se presenta el riesgo de déficit auditivo en relación al tiempo de exposición según Norma ISO 1999³⁷. En la línea superior de cada entrada se obtiene, a partir de L_{peq} y de los años de exposición agrupados de 5 en 5, el porcentaje de riesgo, y en la línea inferior de cada entrada se indica igualmente el porcentaje total de personas que presentan déficit auditivo en un grupo expuesto al ruido. En la citada figura se supone que la exposición comienza a los 18 años, es decir que la edad del individuo es igual a 18 años más los correspondientes de exposición. Observando el valor del riesgo, línea superior, de la primera entrada, ha de concluirse que 80 dB como L_{peq} es el valor a partir del cual puede existir déficit auditivo ocasionado por el ruido y no por otras causas como la edad o enfermedades.

Otra medida a tomar es el uso de **dispositivos protectores** (figuras del **cuadro 6.11**) que dependen de cómo se aplican y sujetan al oído. Se pueden clasificar en tres grupos:

- * Protectores Insertos en el Canal Auditivo (ear plugs)
- * Protectores Semiinsertos en el Canal Auditivo (canal caps)
- * Cascos que cubren completamente el oído (ear muffs)

Los protectores insertos pueden ser de dos tipos: los que son utilizables en más de una ocasión (tapones de goma) y los que

³⁶ Shore D, Chemical Engineering Programm, 1973

³⁷ Assessment of Noise exposure for Hearing Conservation Purposes, 1971

han de reponerse cada vez que se emplean (lana mineral o algodones especiales); teniendo en cuenta que los dispositivos estén adecuadamente limpios. Los primeros presentan mejor sellado que los últimos.

Los protectores semiinsertos se diferencian de los tapones insertos en que los primeros van sujetos a una cinta metálica que une los protectores de ambos oídos, de forma similar a los auriculares de una operadora de central telefónica. La banda metálica mantiene la presión de los tapones sobre el canal auditivo y por tanto no es probable el desajuste de los mismos; sin embargo, la presión que ejerce puede resultar intolerable para algunas personas si es de uso prolongado.

Los cascos que cubren completamente los oídos son los protectores con los que se puede alcanzar mayores atenuaciones. El sello que debe lograrse alrededor del oído se puede hacer mediante un líquido que llena el conducto anular en contacto con la cabeza, o bien con goma espuma (foam). El primer tipo de sello es el mejor, y sólo requiere una ligera presión de líquido para conseguir un ajuste perfecto, el segundo tipo de sello necesita mayor presión para conseguir el mismo efecto, si bien es más robusto porque no existe la posibilidad de rotura que en el primer caso produce la fuga de líquido.

La regulación de la Walsh-Healey Act considera los ruidos como intermitentes cuando los máximos de nivel sonoro aparecen

a intervalos mayores de un segundo. Los ruidos intermitentes no están lo suficientemente estudiados y, por tanto, no se conocen bien los efectos que puede ocasionar una determinada exposición a los mismos. Los niveles que han sido adoptados provisionalmente por distintos organismos³⁸ son los que aparecen en la tabla del **cuadro 6.12**, en ellas se consideran los niveles máximos a partir de 90 dB. Para utilizar esta tabla, se localiza, en base al número de ocurrencias por día, el nivel sonoro medio del ruido, con este valor en las dos primeras columnas de la izquierda se busca la duración total admisible para 24 horas.

Como no existen muchas regulaciones sobre límites de ruidos para comunidades residenciales, se aceptan los valores propuestos por el Acta Walsh-Healey en la tabla del **cuadro 6.13**. Se indica que si el ruido es impulsivo, o puede diferenciar claramente en él un tono puro, se debe reducir en 5 dB los valores de esta tabla. Por el contrario, si el ruido solo está presente parte del tiempo, los niveles pueden incrementarse de acuerdo con la figura del **cuadro 6.14**.

✓ 6.8 ANALISIS DE AGUAS

Para determinar la concentración de iones, es necesario realizar muchas pruebas del agua de caldera y agua de alimentación. Estas pruebas se efectúan como parte de un programa de tratamiento de a-

³⁸ Tomados de Santiago Páez, Ponencia presentada en la IV Convención Nacional de la Industria Química, Bilbao, 1973

gua para asegurar la operación continuada, segura y eficiente de la caldera. Las pruebas que se realizan son aquellas de alcalinidad, cloro, dureza, fosfatos, sulfitos, oxígeno, Ph y total de sólidos disueltos. En el campo del uso eficiente de la energía, la prueba más importante es la del total de sólidos disueltos (TSD), en el campo ambiental tenemos la del oxígeno y Ph como principales.

La medición de TSD en el agua de alimentación, retorno de condensado, agua de reposición y agua de caldera provee al auditor de un medio para evaluar la condición de la caldera y de los sistemas de distribución de vapor y de condensado de la planta. Aunque ésta no es prueba de la combustión, la cantidad de sólidos disueltos en el agua de caldera es una indicación de la capacidad de transferencia de calor de la misma. Concentraciones elevadas de sólidos disueltos en el agua de reposición, retorno y alimentación pueden indicar la presencia de fugas en los sistemas de vapor y condensado.

Según Fig 6.14 según que
5.15 en la conclusión se ve que
no ayuda el químico.

Para determinar la concentración de sólidos disueltos en el agua de caldera, se utiliza un **medidor de conductividad o medidor de total de sólidos disueltos (TSD)**. Este aparato mide la resistencia eléctrica (el inverso de la conductividad) de una muestra de líquido. Dado que el agua pura no es conductora, su conductividad eléctrica es cero. Sin embargo, los sólidos disueltos incrementan la conductividad. El medidor está calibrado para dar una lectura directa de los sólidos disueltos en partes por millón.

Al igual que cualquier análisis de agua, hay que tener ciertos cui-

dados para asegurarse de obtener buenos resultados. Al tomar la muestra para el análisis, el auditor debe limpiar la botella de toma de muestra con el mismo líquido que va a ser analizado con el objeto de no dejar rastros de muestras de análisis anteriores. Además, deba tomarse una cantidad de muestra suficiente que le permita lavar por 3 ó 4 veces la pequeña taza del medidor, antes de tomar la lectura. Antes de realizar la lectura, el auditor debe asegurarse de que el medidor se halla encendido y que la batería tenga carga suficiente como para marcar valores correctos. La batería puede ser revisada seleccionando la posición "S" en el selector de rango y oprimiendo el botón rojo. La aguja del medidor debe moverse hacia el valor fijado como norma que se halla impreso en la base del aparato. Si esto no sucede, reemplace la batería y repita el procedimiento. Es importante utilizar el tipo apropiado de batería en el medidor; se requiere una batería carbono-zinc como se indica en el medidor (no batería alcalina). Cuando se prueba una muestra por primera vez; seleccione la escala más alta en el medidor y vaya descendiendo hasta obtener la mejor lectura. Para este tipo de medidor, la escala da directamente el total de sólidos disueltos en partes por millón (ppm).

Se debe también tener los medios para enfriar una muestra que se halla a temperatura muy elevada, hasta llevarla por debajo de los 100°C y colocarla en un recipiente abierto a la atmósfera. La muestra que se coloca en el medidor deber estar debajo de 50°C para evitar daños en el aparato. Al tomar muestras a temperaturas elevadas, parte de ellas se evaporará, dando lugar a una concentración

mayor de sólidos en lo que queda de la muestra. Como consecuencia de esto, la lectura será incorrecta y puede guiarnos a conclusiones y recomendaciones erróneas.

Para evaluar la caldera debe tomarse una muestra del agua de caldera en el punto de purga. Para obtener el TSD puede seguirse las instrucciones del párrafo anterior. En la mayoría de las aplicaciones en calderas que operan hasta presiones de 40 bares, el contenido de sólidos en el agua de caldera debe estar en el rango de 2500 a 3000 ppm. Si la concentración es menor, se está purgando demasiada agua y, por lo tanto, se está desperdiciando agua, químicos y energía. Si la concentración es mayor, pueden producirse incrustaciones en las superficies, lo cual reduciría la eficiencia de la transferencia de calor y probablemente causaría fallas en los tubos de la caldera. Siguiendo con los análisis, el auditor debe obtener muestras y valores de sólidos disueltos en el retorno del condensado, agua de reposición y agua de alimentación a la caldera.

Con estas lecturas se puede evaluar el porcentaje de agua de reposición que se está suministrando y entonces así, calcular las pérdidas del sistema. El porcentaje de reposición puede determinarse con la siguiente fórmula³⁹:

$$\frac{(\text{TSD en agua de reposición}) - (\text{TSD en condensado})}{(\text{TSD en agua de alimentación}) - (\text{TSD en condensado})} \times 100 = \% \text{ de repos.}$$

Todas las unidades de la fórmula son partes por millón (ppm) del total de sólidos disueltos. Para la mayoría de las aplicaciones industriales se justifica hacer esfuerzos para reducir el nivel de

³⁹ Fórmula presentada en el Manual del Programa de Conservación de Energía Industrial, EEUU, 1984

agua de reposición a valores por debajo del 20 por ciento.

X 6.8.1 EL LABORATORIO PORTATIL PARA ANALISIS DE AGUA "AQUAMERCK"

Es una colección de sets de pruebas rápidas que nos brindan medios de examen de aguas en el sitio. Es ideal para pruebas ambientales, químicas y biológicas de la calidad del agua. Para usos prácticos podemos dividir el agua en los siguientes tipos: Agua Potable (mineral, de mesa, de grifo, para bebidas), Agua Industrial (para alimentación de calderos, como refrigerante, de procesos), Agua Superficial (ríos, lagos, corrientes, reservorios, agua de mar), Agua Terrestre (manantiales, pozos, cisternas) y Agua de Desechos (de alcantarilla y efluentes industriales).

Para obtención del pH, amonio, nitritos y nitratos, nos basamos en la colorimetría. La muestra de agua se coloca en dos tubos que se insertan en el comparador que se pone sobre la escala de color. Solo el tubo sobre los círculos incoloros recibe reactivo y se colocará en la posición en que ambos coincidan en color. La dureza total, dureza de carbonatos y contenido de oxígeno se determinan por titulación con una pipeta que nos indicará la concentración en una escala. Consiste en una pipeta de titulación, graduada, conectada a un tubo de goteo. La capacidad del tubo de goteo es mayor que la de la pipeta, no puede entrar líquido a la pipeta, incluso si el émbolo está retraído. Este sistema es muy preciso.

El laboratorio portátil contiene todos los reactivos y accesorios requeridos para hacer los exámenes y el maletín que los contiene es resistente a temperaturas extremas tanto altas como bajas durante su transporte (en carro por ejemplo). Para la recolección de las muestras en estanques, lagos y corrientes de aguas es mejor tomarlas en diferentes sitios y de varias profundidades. En el caso de estanques y piscinas, las muestras se recolectarán en sitios donde el agua esté quieta y también donde esté en movimiento.

Si se espera que estén siendo descargados desechos en el agua, es importante recolectar un mínimo de 3 muestras que son: en el punto de descarga supuesta, en el agua contaminada corriente abajo de este punto y en un área no afectada corriente arriba de este punto. Las muestras se tomarán entre 20 y 50 cm bajo la superficie en una botella previamente enjuagada con el agua de muestra. Debe tenerse cuidado de excluir burbujas de aire que pueden afectar la medición. Un ejemplo de los valores que se pueden obtener como resultado en una medición se presentan en el cuadro de la **figura 6.14**.

La **Determinación del pH** de una muestra de agua es la medida de su concentración de iones hidrógeno. El agua pura tiene un valor de pH de 7, se lo llama pH neutro. Sin embargo, puede reaccionar con sustancias conducidas por agua y volverse ácido o base (alcalino). Agua que ha sido acidificada (por disolución de CO₂ atmosférico) tiene un pH < 7. Agua que se

ha vuelto básica (por la disolución de cal), tiene un pH > 7. Medir el pH nos da una visión general del estado del agua y el criterio más importante para evaluar su calidad.

Los peces pueden sobrevivir sólo dentro de un cierto rango de pH. En agua dulce entre pH de 5.5 y 7.5 y en agua salada entre pH de 8 y 8.5. Exposiciones cortas a pH menores a 5 ó mayores a 9 pueden destruir su piel y escamas. Una exposición prolongada es fatal. El valor de pH ideal es entre 6.5 y 8.0. Debe tenerse cuidado especial con valores altos de pH (especialmente cuando hay amonio presente) y dentro del rango de ácidos (pH menor a 5.6), en el cual se disuelven los contaminantes altamente tóxicos de aluminio. Debe esperarse que los cursos de agua que reciben efluentes industriales riesgosos sufran fluctuaciones de pH y por tanto deben ser regularmente monitoreados para su pH y amonio/amoniaco, especialmente corriente arriba y abajo de la captación de aguas.

El **Amonio/Amoniaco, Nitritos y Nitratos**, son indicadores típicos de contaminación. Estas sustancias y la úrea son los productos finales del metabolismo de las proteínas. En áreas rurales, filtraciones de líquido fertilizante o abonos en aguas corrientes o estáticas, provocan que el amonio/amoniaco alcance niveles que, a un pH suficientemente alto, son letales para los peces. En la superficie de aguas corrientes y estáticas, los niveles de amonio son generalmente del orden de 0.1-3 mg/l, mientras que en aguas más contaminadas, se

alcanza valores de 5-10 mg/l.

El agua potable no debe contener amonio. Dependiendo de las condiciones, el amonio/amoniaco se puede acumular en el agua o ser convertido por las bacterias en presencia de O_2 a nitritos y nitratos. El proceso siguiente se refiere a la nitrificación. Bajo ciertas condiciones el proceso de reversa de desnitrificación (reducción de nitratos a amonio/amoniaco o nitrógeno) puede ocurrir a través de bacterias o acción química. Las reacciones de nitrificación y la desnitrificación son también importantes en el tratamiento de aguas de desecho, donde se busca el máximo posible de nitrificación. Las concentraciones de nitritos en aguas de alcantarilla no excederán de 1 mg/l. Los valores de amonio/amoniaco se mantendrán lo más bajo posible. Los cursos de agua que reciben efluentes industriales y de alcantarilla contienen frecuentemente de 0.5-1 mg/l de nitrito, mientras que aguas más contaminadas pueden contener incluso mayores concentraciones.

La toxicidad para los peces de una concentración dada de amonio/amoniaco es dependiente del pH, por lo que es importante **determinar Amonio** al mismo tiempo. La tabla del **cuadro 6.15** nos presentará los porcentajes de amonio total a varios valores de pH. En el diagrama de la **figura 6.15** vemos que la razón entre iones amonio y amoniaco disuelto es también bastante dependiente de la temperatura. La proporción de amoniaco tóxico para los peces se incrementa al elevarse la temperatura.

Las **concentraciones de nitritos** mayores a 0.01 mg/l para truchas y 0.03 para carpas se consideran no peligrosas. Concentraciones mayores (0.1-1.0 mg/l) pueden ser dañinas, según la especie de pez, duración de la exposición y varios otros factores. Las concentraciones en exceso de 1 mg/l son también dañinas. El agua potable no debe contener ningún nitrito.

Los **niveles de nitratos** en agua potable y agua que provea un hábitat para peces, no debe exceder los 50 mg/l.

La **dureza** es uno de los parámetros del agua medidos más frecuentemente. El término dureza total es generalmente usado para designar la suma de durezas de calcio, magnesio, estroncio y bario. Lo mismo es verdadero para durezas de carbonato, la cual es un término general para la cantidad de iones alcalinos (principalmente calcio y magnesio), lo que es equivalente a la suma de carbonato de hidrógeno e iones carbonato disueltos en el agua. En países de habla alemana, el "Grado Alemán" (°d o dH) es la unidad establecida de dureza del agua. Los constituyentes de dureza presentes se expresan como CaO. De esta forma, tenemos que 10 mg CaO/l son equivalentes a 1°d. Hay otras unidades comúnmente usadas.

La composición química del agua es ampliamente determinada por el tipo de tierra de la cual emana. Las regiones basálticas, areniscas o graníticas típicamente producen aguas de sólo 1-5°d; ya que en áreas yeseras o dolomíticas, la dureza

del agua local puede alcanzar valores tan altos como 100°d. En análisis de aguas los términos como dureza total, dureza de carbonatos y no carbonatos han sido aceptados como un criterio útil para caracterizar diferentes aguas. Gran cantidad de diferentes unidades han sido usadas para cuantificar la dureza y en el **cuadro 6.16** vemos la tabla de conversiones⁴⁰ de las más comunes.

La **dureza de carbonatos (capacidad de asociación ácida, ABC)** es el número de ml de 0.1 mol/l HCl que es requerido para titular 100 ml de agua a un pH de 4.3. La dureza de carbonatos es esa fracción de dureza total (suma de iones alcalinos) que se calcula por carbonatos y principalmente carbonato de hidrógeno. Así, 1°d es equivalente a 0.18 mmol/l. En aguas naturales no contaminadas con ácidos y álcalis (efluentes industriales) la capacidad de asociación ácida es una medida del CO₂ presente en el agua. Esta determinación es importante en el agua para proveer un buen habitat para peces y esto lo podemos apreciar en el **cuadro 6.17**⁴¹.

Aguas que contengan un bajo valor de ABC pueden ser mejoradas por calcificación. Aguas calcáreas con un alto ABC son buenas para asociar grandes cantidades de CO₂ y a través de su capacidad amortiguadora hacen que el pH se estabilice hasta un valor favorable. Un buen almacenamiento de CO₂ es esencial para la asimilación adecuada de la flora acuática. Cuando se mide el ABC es importante darse cuenta que los resultados

⁴⁰ Tomada de la Guía para Análisis de Aguas, Aquamerck, 1988

⁴¹ Referencia de Niveles de Carbonatos del Agua, Aquamerck, 1988

pueden usarse sólo para evaluar la viabilidad cuando, excepto para el CO₂ y sus aniones, no hay ácidos o bases en el agua. Este es generalmente el caso con aguas naturales pero, para estar seguros, es mejor realizar una medición conjunta de dureza total y dureza de carbonatos (ABC). La dureza de carbonatos es siempre menor, (o al menos igual) que la dureza total, ya que sólo comprende carbonatos de Ca, Mg e Hidrógeno.

Si el valor de pH es conocido, el **Dióxido de Carbono** disuelto puede obtenerse de una tabla como del **cuadro 6.18**⁴². Un factor se especifica para cada valor de pH. El ABC obtenido, se multiplicaría por su factor para dar el CO₂ contenido en mg/l.

Los peces pueden vivir aproximadamente entre temperaturas de 0°C y 40°C. **La temperatura** letal más baja para virtualmente todas las especies es alrededor de 0°C, aunque el límite superior varía de especie a especie. La temperatura óptima también varía ampliamente de especie a especie. Cambios repentinos de temperatura tienen efectos destructivos en toda especie de peces y deben evitarse. Frecuentemente conducen a cambios en la presión de los gases, los cuales pueden de hecho ser más dañinos que los cambios de temperatura en sí.

El **oxígeno** se requiere en todas las aguas naturales para sostener la vida biológica normal. Las aguas superficiales, especialmente de ríos corrientosos, disuelven y a veces se saturan

⁴² Relación de Contenido de pH con niveles de Dióxido de Carbono en el Agua, Aquamerck, 1988

ran con O₂ atmosférico. Sin embargo, el almacenaje principal de O₂ en el agua es producido por las plantas verdes acuáticas; debido al papel que desempeña la luz en el proceso, las concentraciones de O₂ fluctúan ampliamente entre el día y noche. Los requerimientos de O₂ varían para diferentes especies de peces y son sujetos también a cambios estacionales. El cuadro 6.19⁴³ nos da una tabla y diagrama que nos presentan los niveles de saturación de oxígeno como una función de la temperatura a una presión total de 760 torr en una atmósfera saturada con vapor de agua.

La **Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD)** es una medida de la cantidad de contaminantes orgánicos presentes en el agua. La BOD₂ se calcula como la diferencia entre los niveles de O₂ del agua examinada directamente después de muestreada y después de un período de 48 horas. Si se extiende el intervalo a 5 días, tendremos el valor de BOD₅. La BOD se expresa en mg/l O₂ y como porcentaje del contenido de O₂. En el cuadro 6.20 tenemos una tabla que nos relaciona el contenido de O₂, déficit y su consumo en días. En el cuadro 6.21 se presenta una tabla de límites para varios parámetros en aguas.

6.9 ANALISIS DE SUELOS

El suelo es, junto con el agua, una de las posesiones naturales preciosas del hombre. La infestación humana debida a distintas for-

⁴³ Grafica de Saturación de Oxígeno en relación a la Temperatura del Agua, Aquamerck, 1988

mas de gusanos es muy común en determinadas zonas del mundo, estos gusanos son transmitidos al hombre principalmente a través del contacto con el suelo infectado. El **suelo infectado** alberga microorganismos potencialmente peligrosos para el hombre pero no residuos de la actividad humana. El **suelo polucionado** además de tener los microorganismos que habitualmente viven en él, contiene gran cantidad de sustancias contaminantes, procedentes de las industrias cercanas y que constituyen nuevos peligros para la salud humana.

La contaminación del suelo por las bacterias y otros microorganismos que producen enfermedades en el tubo digestivo pueden tener diversos orígenes como son evacuación inadecuada de los excrementos humanos, la fertilización del suelo con residuos fecales domésticos o con cieno de las letrinas y el riego agrícola con aguas residuales. Así, las cosechas se pueden contaminar y por ende los alimentos que se produzcan de este suelo, de igual forma, las moscas que crían en el suelo contaminado por las heces o que están en contacto con él, sirven de agentes mecánicos de enfermedades.

La muestra de suelo debe ser cuidadosamente escogida, de modo que represente el área en cuestión. Los suelos pueden variar grandemente en composición química entre dos lugares de un mismo sector. Su composición cambia con la profundidad; con fines prácticos, lo mejor es tomar una serie de muestras de la capa arable y una segunda serie a profundidad inmediatamente inferior a la primera. Se toman delgadas lonjas de suelo, mediante una azada o sonda, en una docena de lugares diferentes de cada suelo tipo, se mezclan convenientemente las muestras, para homogeneizarlas y se toma un cuarto de litro para los análisis de laboratorio.

6.9.1 LA POLUCION POR SUSTANCIAS TOXICAS Y PROBLEMAS DE LOS SUELOS

Durante la Auditoria Ambiental de Suelos, dentro de las sustancias tóxicas que pueden contener, tenemos tres grupos importantes de contaminantes a determinar: Plaguicidas, Emisión de Humos y Gases Industriales a la Atmósfera y Sustancias Radiactivas.

Los Plaguicidas se aplican en plantas cultivadas y la mayoría de las cantidades van a parar al suelo, ya sea directamente o a consecuencia de la acción del viento y de la lluvia sobre las plantas. La mayoría se descomponen en un corto período de tiempo, pero algunos, especialmente los insecticidas clorados como el DDT y el Dieldrin, permanecen inalterados en el suelo, a menos que sean arrastrados por las lluvias o absorbidos por los organismos.

La Emisión de Humos y Gases Industriales a la Atmósfera también puede producir polución del suelo. Los humos contienen numerosas partículas pequeñas, que acaban depositándose sobre la tierra a diversas distancias del punto de emisión, dependiendo del viento y de otras condiciones. Alrededor de los complejos industriales, el problema es a veces grave. La polución del aire y la del suelo están íntimamente ligadas; los polucionantes afectan el suelo y la vegetación. Algunos polucionantes químicos, como el SO₂, afectan a las plantas directamente. En cambio, otros como los fluoruros, se acumulan en el suelo y originan polución cuando se encuentran en cantida-

des elevadas.

Las Sustancias Radiactivas pueden llegar hasta el suelo y acumularse en él, bien procedentes de las explosiones nucleares o a través de la evacuación de residuos líquidos o sólidos de establecimientos atómicos industriales o de investigación. La sustancia radiactiva mejor conocida es el estroncio 90, que llega al suelo básicamente por medio de la lluvia. El Cesio 137 es en cambio, absorbido por las plantas.

Otros problemas que pueden presentarse con el suelo y que deberán ser examinados por el Auditor son los de: Lixiviación, Laterización, Salinización y Exceso de Humedad.

La **Lixiviación** es la pérdida de los nutrientes en las capas más profundas del suelo, y la **Laterización** consiste en el aumento de óxidos de Aluminio y de Hierro, formas en las cuales algunos elementos esenciales como el fósforo, no pueden ser absorbidos por las plantas; estos suelos son excesivamente ácidos y poseen un bajo contenido de materia orgánica. Para resolver los problemas de irrigación en las cosechas han creado otros problemas secundarios como son los de **salinización** de terrenos o el **exceso de humedad** de los mismos. Se recomienda que los análisis sean hechos por un laboratorio especializado en suelos.

6.9.2 IDENTIFICACION DE SUELOS

El Auditor tomará las muestras necesarias según el grado de contaminación del suelo. Este debe ser identificado y clasificado por el laboratorio. Por simplicidad, los suelos se pueden dividir en dos clases: Granulares y Cohesivos.

Los **suelos granulares** no poseen ninguna cohesión y consisten en rocas, gravas y limos combinados o aislados. Las partículas que forman los suelos granulares se clasifican por su tamaño. En la descripción del suelo granular, se deberán anotar: Color, Componentes minerales, Materia orgánica, Forma de granos cuando sean visibles (angular, subangular, redonda) y Tamaño máximo de partículas tratándose de gravas o rocas.

Los **suelos cohesivos** son los que poseen características de cohesión y plasticidad. Dichos suelos pueden ser granulares con parte de arcilla o limo orgánico, que les importen cohesión y plasticidad o pueden ser arcillas o limos orgánicos sin componentes granulares. Los suelos cohesivos aparecen solos o combinados. Tanto la arcilla como el limo orgánico poseen características de plasticidad entre determinados límites de contenido de agua; estos límites son generalmente más amplios.

6.9.3 NITROGENO DEL SUELO

Se encuentra en el suelo en solución, como nitrato y se combina rápidamente con los carbohidratos para formar los aminoácidos. Al variar otros factores como contenido de humedad,

variará también el N. Aunque el total de N del suelo está más en relación recíproca con el fósforo total. Para la determinación del Nitrógeno tenemos que establecer 3 parámetros: el Nitrógeno Total, Amónico y Nitrato.

6.9.4 AIRE DEL SUELO

La composición de aire del suelo es diferente a la del atmosférico, siendo más alto en CO₂ y más bajo en O₂. Si el CO₂ es mayor al 5% por volumen, es tóxico para las plantas, pero esta cifra no se alcanza, a menos que el agua tapone la superficie, debido a la rápida renovación del aire del suelo por la difusión. La parte porosa del suelo que no contiene agua, está llena de aire y la proporción de los dos es importante para el crecimiento de las plantas.

6.9.5 MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Está formada por la descomposición de plantas y residuos animales y es fuente de nitrógeno, fósforo, azufre y coloides arcillosos, tiene muy importantes efectos físicos y químicos en relación con la estructura del suelo, relaciones del agua, cambio de base y de pH. Los suelos saturados de agua son ácidos debido a la producción de ácidos orgánicos, ácido carbónico y ácido sulfónico. Para la materia orgánica se hacen dos determinaciones, una preliminar que sirve de base para la definitiva; aunque para usos corrientes es suficiente, en general, la aproximación que da la preliminar.

6.9.6 CONTENIDO DE HUMEDAD

La determinación del contenido de agua se requiere para todo tipo de suelos, tanto para aquellas condiciones donde se tiene una completa saturación, como para aquellos casos en donde la humedad encontrada es de naturaleza higroscópica y en cantidades tan pequeñas, que a la simple vista la muestra parece estar completamente seca.

El contenido de humedad o más comúnmente la humedad de la muestra de un suelo es la relación entre el peso de agua contenida en la muestra y el peso de la muestra después de ser secada en el horno. Este es sin duda alguna el ensayo que se efectúa más a menudo en los laboratorios de suelos. El equipo requerido para esto consta de una Balanza (aprox. 0.01 gr), Horno (105°C - 108°C), Espátula y Recipientes para meter en el horno las muestras. Se calcula el contenido de humedad de la muestra usando la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{100 \times \text{Peso perdido por la muestra}}{\text{Peso de la muestra seca (110°C)}}$$

El tamaño de la muestra que se debe tomar depende de la cantidad de material que se vaya a usar en ensayos posteriores y cuyo contenido de humedad sea requerido.

6.9.7 DETERMINACION DEL PH DEL SUELO

El pH puede producir un desequilibrio de los elementos nutritivos. La causa de este fenómeno reside en el desarrollo de

concentraciones tóxicas de iones hidrógeno, aluminio, hierro y manganeso. El factor importante es el ión H, que en el pH expresa la concentración en mol-g por litro de disolución. En el cuadro 6.22⁴⁴ se da una idea los valores entre los que se pueden desarrollar ciertos cultivos tropicales. La determinación del pH del suelo se hace por el método colorimétrico y el método eléctrico. El método colorimétrico se puede realizar con el Aparato de Hellige con los indicadores de Clark, Lubs y Cohen; comprende las etapas de preparación de la disolución del suelo y de la elección del colorante. Luego de la adición de estos colorantes, la siguiente tabla nos da una idea del valor de pH según el color obtenido⁴⁵:

Verde de Bromocresol	3.8 - 5.4
Rojo de Clorofenol	5.2 - 6.8
Azul de Bromotinol	6.0 - 7.6
Rojo de Fenol	6.8 - 8.4
Azul de Bromofenol	3.0 - 4.6
Azul de Timol (alcalino)	8.0 - 9.6

En el método eléctrico se utiliza el acidímetro de Trenel, el electrodo de Quinhidrona o cualquier otro dispositivo para este fin y primeramente se debe regular el aparato mediante la solución de control y medición de la lectura del amperímetro luego de hacer girar las resistencias del circuito de la pila hasta que no se mueva la aguja del galvanómetro. Luego se toma una medida preliminar del suelo y si el aumento del

⁴⁴ Estudio de la Acidez del Suelo, R. Ignatieff, 1958

⁴⁵ Tomada de la Guía para Análisis de Suelo, F. Bear, 1970

valor del pH de 10 a 60 segundos es mayor que 0.2, el suelo no es apropiado para el método de la Quinhidrona. Por otro lado, si el valor es inferior a 0.2, agregamos la Quinhidrona y agitando por 10 segundos, se regula los mandos hasta que no sufra desviación la aguja del galvanómetro, luego se lee en dichos mandos el valor de pH.

6.9.8 COLORACION Y TEMPERATURA DEL SUELO

El color de los suelos está relacionado estrechamente con la ventilación. En suelos bien drenados los compuestos de hierro se hallan oxidados al estado férrico; ello indica coloraciones rojizas, amarillentas o pardas (porcentaje elevado de materia orgánica). En ausencia de un buen drenaje, el subsuelo es gris verdoso veteado, lo que indica la presencia de formas reducidas de hierro. El suelo situado bajo un montón de estiércol tiene con frecuencia una coloración verdeazulada. Las turberas, que son tierras con un 60% de Carbono (generalmente estiércol con carbón mineral), situadas en zonas bajas son negras o pardas, según la naturaleza de la descomposición que haya tenido lugar.

La temperatura del suelo, con su efecto sobre la actividad de los microorganismos del mismo y la acumulación de materia orgánica es un factor ecológico importante. La temperatura del suelo está influida por el sol, el aire y otros factores. Así: latitud, altitud, distribución de la tierra y del agua, distribución de las corrientes de agua y aire, cantidad

de polvo y vapor de agua en el aire para absorber el calor del sol, aspecto y pendiente, efecto de la sombra, color del suelo (el suelo negro puede ser 6°C más caliente que un suelo blanco adyacente, humedad del suelo y calor específico del suelo. La variación de la temperatura del suelo está confinada principalmente a los 30 cm del suelo superficial y depende de la conductividad térmica del mismo.

6.9.9 DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA

Es la relación entre el peso de los sólidos del material y el peso del volumen de agua que dichos sólidos desalojan, lo llamaremos simplemente densidad. En el caso de los suelos, la densidad se da en relación al agua destilada a una temperatura de 4°C. Tratándose de gravas o piedras, la densidad se da en relación al agua limpia a la temperatura ambiente, con el material en estado de saturación. El valor de la densidad (el cual es expresado por un número), además de servir para fines de clasificación, juega un papel muy importante en la mayor parte de las pruebas de suelos. Para su determinación, se hace uso de recipientes aforados llamados picnómetros, los cuales son generalmente matraces calibrados a distintas temperaturas. La densidad de los suelos por lo general, varía entre los siguientes valores:

Cenizas volcánicas	2.30-2.50
Suelos orgánicos	2.40-2.65
Arenas y gravas	2.65-2.67

Limos inorgánicos y guijarros arcillosos	2.67-2.72
Arcillas poco plásticas y medianamente plásticas	2.72-2.78
Arcillas medianamente plásticas y muy plásticas	2.72-2.78
Arcillas Bentoníticas	2.84-2.88

El equipo que utilizaremos para esta determinación consta de Balanza sensible a 0.001 gr, Estufa, Horno de secado a 105°C constantes, Termómetro graduado de 0°C a 50°C, con divisiones de 1/10 de grado, Matraz calibrado de 500 cc de capacidad, Cápsulas de porcelana, Pipeta y Embudo de vidrio.

6.9.10 DETERMINACION DE LA GRANULOMETRIA

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen. El análisis se hace en dos etapas:

- a) Por medio de una serie de tamices para tamaños grandes y medianos de las partículas. Este análisis se hace con la muestra íntegra o con una fracción de ella, dependiendo de las características del material fino en la muestra. Cuando los finos consisten esencialmente de arcillas, el análisis de tamices se hace con material al cual se le quitan los finos por medio de lavado. Con los tamices se hace la separación de partículas desde 0.074 mm de diámetro (malla # 200) hasta granos mayores de 2". Al preparar la muestra, se separa y pesa la fracción mayor que la malla #4; el ensayo de esta fracción se hará como va des-

crito a continuación para el material que pasa la malla # 4 con la diferencia de que los tamices usados serán: 3", 2", 1 1/2", 3/4", 1/2" y 3/8". La cantidad de suelo requerido para el ensayo de la fracción que pasa la malla # 4, depende de la cantidad de finos que contenga.

b) Por medio de un proceso de vía húmeda para granos finos.

El análisis mecánico húmedo se basa en el comportamiento del material granular en suspensión, dentro de un líquido, al sedimentarse. Los métodos consisten esencialmente en una serie de mediciones en la suspensión del suelo, hechas durante el proceso de sedimentación.

El equipo requerido consta de: Un juego de tamices # 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, fondo y tapa, Balanza de 0.1 gr de aproximación, Balanza de 0.01 gr de aproximación, Horno de temperatura constante de 105°C y Accesorios como cápsula de 25 cm de diámetro, brocha y tubo de vidrio.

6.9.11 ENSAYO DE HIDROMETRO

El método más usado para hacer la determinación indirecta de los porcentajes de partículas que pasan la malla # 200, es el del hidrómetro, basado en la sedimentación de un material en suspensión en un líquido. El hidrómetro sirve para determinar la variación de la densidad de la suspensión con el transcurso del tiempo y medir la altura de caída del grano de tamaño más grande correspondiente a la densidad media.

Si se distribuye un gran número de granos de suelo en un líquido y se sumerge un hidrómetro, el empuje hidrostático ejercido en el bulbo, es igual al peso de la suspensión desalojada por el bulbo. De la lectura del hidrómetro puede determinarse directamente el porcentaje de granos de suelo por peso con relación a la concentración original, calibrando la escala del hidrómetro en gramos por litro. El tamaño de los granos obtenidos con el hidrómetro es el equivalente de una esfera cuya velocidad de caída sea igual a la del grano del suelo. El diámetro equivalente de los granos para una lectura dada se obtiene por medio de la Ley de Stokes, considerando como altura de caída la distancia entre la superficie del líquido y el centro de flotación del bulbo. El centro de flotación es variable y no se comete un error grave si en lugar de la distancia al centro de flotación se usa la distancia al centro del volumen del bulbo.

Puesto que el hidrómetro se conserva sumergido solo durante el tiempo que se requiere para hacer una lectura, la profundidad del centro del volumen del bulbo requiere una corrección debido a que cuando el hidrómetro se sumerge se produce un movimiento en el nivel del agua, resultado de desalojar un volumen igual al volumen del bulbo del hidrómetro. Este movimiento es proporcional al volumen del bulbo e inversamente proporcional al área del cilindro de sedimentación usado. La suspensión que está al nivel del centro de volumen y que es la que determina la lectura del hidrómetro, estaba

más próxima a la superficie durante el proceso de sedimentación. El cálculo del tamaño del grano debe basarse en la profundidad durante el proceso de sedimentación, que es igual a la distancia que hay entre la superficie de la suspensión y el centro del volumen del bulbo, indicada por la lectura del mismo hidrómetro, menos la corrección debida al movimiento relativo causado por la inmersión del hidrómetro. La calibración de un hidrómetro consiste en la determinación de la distancia efectiva de caída en función de la lectura del hidrómetro.

El equipo usado en la calibración consta de: Hidrómetro calibrado en gr/lt y divisiones de gramo en gramo, Probeta de 500 cc, Probeta de 1000 cc, Escala de acero en mm, Compas de puntas y Balanza de 0.01 gr de aproximación. A las lecturas anteriores hay que hacerles la corrección debida al desalojamiento del agua producido por la inmersión del hidrómetro. La suspensión que está al nivel del centro de volumen y que es la que determina la lectura del hidrómetro, estaba más próxima a la superficie durante el proceso de sedimentación que cuando el hidrómetro está sumergido.

6.9.12 DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Las propiedades plásticas de los suelos arcillosos o limosos pueden ser estudiadas aproximadamente por medio de pruebas simples. Las más usuales se denominan límites de consistencia o de Atterberg. Un suelo arcilloso, con un alto conteni-

do de agua, se comporta como líquido. Al perder agua va aumentando de resistencia hasta tener un estado plástico, fácilmente moldeable; al continuar el secado llega a adquirir un estado semisólido. Al continuar la pérdida de agua pasa al estado sólido. Los cambios de estado se producen gradualmente y los límites fijados arbitrariamente entre ellos se denominan límite líquido, límite plástico y límite de contracción. El primero fija el cambio entre el estado líquido y el plástico, el segundo entre el plástico y el semisólido y finalmente, el tercero, el cambio entre el estado semisólido, quebradizo y el sólido de gran resistencia. Este último límite es de poco interés práctico. El límite líquido es el contenido de agua tal que, para un material dado, fija la división entre el estado casi líquido y el plástico. El límite plástico es el contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semisólido. La definición arbitraria estándar que se ha dado a estos límites es:

El límite líquido (L_w) es el contenido de agua de un suelo (expresado en % del peso seco) que posee una consistencia tal que una muestra con una ranura, al sujetarse al impacto de varios golpes fuertes, se cierra sin que el suelo resbale sobre su apoyo. En la determinación de este límite definido arbitrariamente influye la técnica de operación y el factor personal, este último se ha eliminado mediante un medio mecánico para producir un impacto estándar y una herramienta para hacer una ranura de dimensiones estándar, así que el L_w

podría definirse como el contenido de agua que permite cerrar la ranura con 25 golpes. Para llevar a cabo la prueba con este dispositivo, se determina el número de golpes necesarios para cerrar la ranura hecha en la muestra de suelo, con diferentes contenidos de agua. Se ha encontrado empíricamente que la curva que se obtiene trazando una gráfica en papel semilogarítmico, con el contenido de agua en la escala aritmética y el número de golpes en la logarítmica, es una línea recta. Esta curva, se llama "curva de escurrimiento". El contenido de agua que corresponde en esta curva a 25 golpes es el límite líquido. El límite plástico (P_w) de un suelo se define como el contenido de agua (expresado en % del peso seco) con el cual se agrieta un cilindro de material de 3 mm de diámetro al rodarse con la palma de la mano sobre una superficie lisa.

6.9.13 DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD

Para determinar la permeabilidad del suelo, tenemos la siguiente fórmula del flujo de agua a través del mismo:

$$Q = k \times i \times A$$

donde: Q = Gasto que pasa a través de la muestra de suelo

k = Coeficiente de permeabilidad

i = Gradiente Hidráulico

A = Area de la sección transversal de la muestra

Esta expresión sólo es válida si el escurrimiento es lami-

nar. El coeficiente de permeabilidad k depende del tamaño y forma de los granos que componen el suelo, de su relación de vacíos, del contenido de materia orgánica y de la temperatura. Siendo este coeficiente distinto para cada tipo de suelo, es necesario determinarlo experimentalmente, mediante pruebas de permeabilidad, para cada suelo en particular. Con el objeto de establecer una base de comparación, es conveniente expresar el coeficiente de permeabilidad refiriéndolo a la temperatura de 20°C. Si se conoce el valor k , a cualquier temperatura t , su valor a 20°C será:

$$K_{20} = (V_t/V_{20}) \times K_t$$

donde: V = viscosidad del agua

La permeabilidad de un suelo se puede determinar directamente en el terreno o bien en el laboratorio utilizando muestras representativas de éste. Las pruebas de laboratorio se ejecutan utilizando aparatos especiales llamados permeámetros que pueden ser de carga constante o de carga variable. Las pruebas deben efectuarse a una temperatura lo más constante posible. En las pruebas con el permeámetro de carga constante se utilizan suelos relativamente permeables tales como gravas, arenas y mezclas de arena y grava. Los coeficientes de permeabilidad para esta clase de suelos varían entre 100 y 0.001 cm/seg.

El procedimiento consiste en someter la muestra del suelo a un escurrimiento de agua bajo una carga constante. Es ne-

cesario conocer el área de la sección transversal de la muestra, su longitud, la carga a que está sometida y la temperatura del agua. Para encontrar el coeficiente de permeabilidad se aplica la fórmula:

$$k = QL / Aht$$

donde: Q = volumen medido

L = longitud de la muestra

A = área de la sección transversal de la muestra

h = carga bajo la cual se produce la filtración

t = tiempo en el cual se efectuó la prueba

Se calcula el valor del coeficiente de permeabilidad a temperatura de 20°C por medio de la fórmula:

$$c = Vt \times Kt / V20$$

Se repite el proceso anterior hasta encontrar una concordancia satisfactoria en los resultados. Se determina la relación de vacíos "e" de la muestra con la fórmula:

$$e = Vv / Vs = (VtG - Ws) / Ws$$

donde: Vv = volumen de vacíos de la muestra de suelo

Vs = volumen de sólidos

Vt = volumen total

G = gravedad específica

Ws = peso de los sólidos

En las pruebas con el permeámetro de carga variable se determina el coeficiente de permeabilidad de suelo relativa-

mente impermeables, tales como arenas muy finas, mezclas de arena y limo, mezclas de arena, limo y arcilla y arcillas. El coeficiente de permeabilidad para estos suelos varía entre 10^{-3} y 10^{-9} cm/seg.

Para determinar coeficientes de permeabilidad que sean menores a 10^{-3} cm/seg se requiere que el operador tenga amplia experiencia en esta clase de pruebas. Es necesario que la prueba se haga con agua destilada y sin aire. El agua desae- reada se obtiene calentando agua destilada ligeramente y haciéndola pasar por un tubo al vacío. El aparato es un perme- ámetro como el de carga constante, al cual se le agrega un tubo de vidrio (piezómetro) que sirva para medir las cargas que actúan sobre la muestra y los volúmenes de agua que se filtran a través de ésta.

Con el fin de conocer con precisión el área interior del piezómetro, se vierte dentro de él una cantidad de agua conocida, se mide la longitud del tubo que se llenó con ella y dividiendo el volumen vertido por dicha longitud se obtiene el área interior media del tubo. El diámetro del piezómetro se eligirá de acuerdo con el orden de magnitud de la permeabilidad del suelo que se va a ensayar.

POLITICAS Y NORMAS AMBIENTALES EN EL ECUADOR

La Constitución de la República del Ecuador en sus Artículos 19, 27, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 118 y 146 establece el fundamento constitucional para la acción ambiental del Estado y de los particulares.

Las políticas y normas ambientales básicas del Ecuador están dadas por la Ley para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, Decreto Supremo 374 de 1976, el cual tiene los siguientes capítulos:

- Disposiciones Generales
- Del Comité Interinstitucional de Protección del Ambiente
- De la Coordinación
- De los Organismos Ejecutivos
- De la Prevención y Control de la Contaminación del Aire
- De la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas
- De la Prevención y Control de la Contaminación de los Suelos
- De las Sanciones

Esta Ley esta reglamentada por los siguientes instrumentos legales:

- Acuerdo 2144 del Ministerio de Salud Pública sobre contaminación del Agua
- Acuerdo 1138 del Ministerio de Salud Pública sobre contaminación del Aire

- Acuerdo 7789 del Ministerio de Salud Pública sobre el ruido
- Acuerdo 14630 del Ministerio de Salud Pública sobre manejo de desechos sólidos
- Acuerdo 14629 del Ministerio de Salud Pública sobre contaminación del suelo
- Acuerdo 621 del Ministerio de Energía y Minas sobre regulación ambiental de actividades hidrocarburíferas

Entre otras normas que regulan la materia deben mencionarse:

- Código de la Salud de mayo de 1976
- Ley Forestal de agosto de 1981
- Ley de Minería 126 de mayo de 1991
- Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio/Ambiente No. 2393 de Noviembre de 1986

El Código de la Salud establece que toda persona está obligada a proteger las fuentes y cuencas hidrográficas que sirven para abastecimiento de agua, sujetándose a las disposiciones de este Código, Leyes Especiales y Reglamentos.

La Ley de Aguas prohíbe toda contaminación que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora y la fauna; el INERHI, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y las demás entidades estatales, aplicará la política que permita el cumplimiento de esta disposición. En el anexo # 2 tenemos un compendio de los Artículos de la Legislación Ambiental Ecuatoriana.

CAPITULO # 8

AUDITORIA AMBIENTAL PRELIMINAR DE "MUEBLES EL BOSQUE S.A."

8.1 RESUMEN

Este reporte localiza los puntos de consumo de recursos naturales de la empresa "Muebles el Bosque S.A.". Por ser un trabajo preliminar, se exponen los puntos de mayor incidencia para ser analizados posteriormente en la Auditoría Ambiental Detallada.

La compañía "Muebles El Bosque S.A." se halla localizada en el Km 6½ vía a Daule en La Prosperina, en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Esta compañía se encarga de la construcción de muebles y modulares para el hogar, oficina y equipos de sonido. En el **cuadro 8.1** se muestra un trazado de la distribución de las oficinas y planta con sus principales departamentos. Las medidas identificadas en este reporte representan un ahorro en los costos actuales. Datos sobre períodos de retorno de capital, costos de implantación, cambios de materia prima o proveedor, medidas detalladas de protección ambiental y su forma específica de aplicación dentro de la empresa, se detallarán en la Auditoría Ambiental Detallada.

Fisicamente la planta consta de 4 edificios industriales y 2 bloques de departamentos. Los edificios comprenden la fábrica y bodegas, mientras que de los bloques de departamentos, uno constituye las oficinas de administración y el otro tiene 6 divisiones que co-

responden a comedor, cocina, servicios higiénicos, vestidores, cisterna y taller mecánico. Datos sobre construcción, capital y organización administrativa, financiera, laboral y presupuestaria de la empresa no pueden ser presentados por constituir información confidencial de la misma.

Se presentó el desarrollo del plan de trabajo propuesto con un cronograma aproximado de actividades de duración de alrededor de dos semanas. Los pasos que se siguieron para realizar la Auditoría Ambiental Preliminar se presentan a continuación:

1. *Organización de Recursos.* - Se estructuró un cronograma de trabajo para las actividades a realizar y se reunió la instrumentación necesaria para las mediciones.
2. *Identificación de los Datos Requeridos.* - Se reunió información y se examinó:
 - * Datos de Placa de los principales equipos consumidores de electricidad
 - * Planillas de consumo eléctrico del último año
 - * El proceso de producción, **cuadro 8.2**
 - * Diferentes tipos de formularios para llenar con la información sobre operaciones, consumo de recursos naturales y generación de residuos
 - * Datos de producción del último año
 - * Planos de Planta existentes; sin embargo, los planos presentados, debieron realizarse y actualizarse por mediciones hechas en planta con instrumental proporcionado por la misma empresa

durante la Auditoría

3. *Reunión de Datos.*- Se realizó dentro de los siguientes pasos:

- * Realización de las Entrevistas Informales, que se efectuaron a nivel de:
 - Ingeniería de Planta
 - Personal de Operaciones y Mantenimiento
 - Personal de Producción
 - Personal de Control de Calidad

De acuerdo con conversaciones sostenidas con el personal de la planta durante la Auditoría Ambiental Preliminar, las medidas que han sido implantadas son:

- a. Empleo de boquillas de pistolas de aire más efectivas para la dosificación y evitar el desperdicio del aire comprimido
- b. Cambio de ubicación de las máquinas para la reducción de espacios inútiles y mejorar el ciclo de trabajo
- c. Adquisición de varias máquinas como taladro y máquinas de corte para así mejorar la producción y consumo de energía
- d. Reducción del uso de iluminación artificial mediante la colocación de planchas transparentes en el techo

* Inspección Visual de la Planta, en la que se anotó información sobre:

- El Flujo de los tableros de madera dentro de la planta en el proceso productivo

- Los Importancia de los Departamentos de Corte y Fresado dentro de la planta
- Ubicación de los transformadores y medidores de energía eléctrica

4. *Análisis de Datos.*- El desarrollo de esta etapa comprende:

- * El Desarrollo de la Base de Datos, en la que se ordenó y relacionó datos anteriormente recolectados sobre horarios, flujo de procesos e inventarios de equipos consumidores de energía.
- * La Evaluación de Datos, en la que se registró:
 - El empleo de la electricidad y su costo para la planta
 - Las horas pico de trabajo en la mañana y en la tarde
 - Se hicieron balances de datos de producción, de consumo de materia prima y desperdicios generados por la planta
 - Estudio de hábitos de trabajo y normas de seguridad industrial en planta y oficina y relaciones obrero-patronales

5. *Desarrollo del Plan de Acción.*- Esta etapa servirá de punto de partida para la Auditoría Detallada y comprende:

- * Determinación de oportunidades de Conservación Preliminares en cuanto al empleo de aire comprimido y energía eléctrica en las oficinas
- * Determinación de las áreas que requieren estudio dentro de la Auditoría Ambiental Detallada y se presentan en las conclusiones
- * Instrumental requerido para las pruebas a realizarse dentro de la Auditoría Ambiental Detallada

Con el fin de tomar ordenadamente los datos de máquinas e identificar las oportunidades de conservación, se dividió la planta en ocho departamentos bien definidos:

- * Laminación
- * Corte
 - tableros aglomerados y contrachapados
 - tiras
 - madera maciza
- * Chapillado-Perforado
- * Fresado
- * Pintura
- * Preensamble
- * Ensamble-Acabado
- * Control de Calidad

Se hicieron balances de datos de producción, de materia prima y desperdicios generados por la planta, así como estudio de los hábitos de trabajo y seguridad industrial en planta y oficina para utilizarse en la parte ambiental.

Los diagramas nos dan una visión de la distribución de la red de aire comprimido (**cuadro 8.3**) y puntos claves a ser revisados en el recorrido de planta como posibles fugas y la consiguiente pérdida de presión, al mismo nos permiten apreciar el recorrido actual del sistema de tuberías y poder eliminar tramos de tubería innecesarios en caso de haberlos, con los

mismos planos podemos revisar los diámetros de tubería y su posible sobredimensión en áreas no críticas en caso de haberla. La factibilidad económica de los posibles cambios encontrados se detallará en la Auditoría Ambiental Detallada.

En los balances de materia prima y registros de producción se utilizó los datos facilitados por el archivo, y se recolectaron datos de proveedores, forma de despacho, existencia y eliminación de envases de entrega, calidad del material recibido y criterio de la compañía en cuanto al material de recepción. En cuanto a los desperdicios, se investigaron sus fuentes a lo largo del proceso de producción, se hizo su descripción y su medición directa en planta durante los horarios de trabajo de tres días al azar y luego se extrapoló su valor a la producción mensual, asimismo se observó su forma de manipulación y eliminación.

Con los datos eléctricos obtenidos en el archivo se elaboraron los cálculos de demanda máxima (ver cuadro 8.4), se estableció los meses de mayor consumo y se los relacionó con los de mayor producción.

La obtención de la información anterior en esta Auditoría Ambiental Preliminar nos dio los datos requeridos sobre:

- * Condiciones y consumo de la materia prima
- * Consumo de energía eléctrica y fuente de suministro

- * Costos de energía
- * Inventario de equipos de mayor consumo de energía en la planta
- * Horarios de operación de los principales departamentos de la planta
- * Detalles de los programas actuales de administración de energía
- * Inventario de los materiales de desperdicio

No se necesitó realizar estudios de contaminación del aire con gases de la combustión ya que no hay equipos como calderas o equipos térmicos que produzcan estos gases o contaminen el agua con sus sistemas de enfriamiento.

El consumo de agua es para uso sanitario y la cantidad es mínima, la fuente es de pozo y como ya se dijo antes no sufre contaminación.

En cuanto al recurso suelo, tampoco recibe contaminación ya que no se lo emplea como parte del proceso productivo y al no generarse desechos peligrosos, no se los vierte en él.

8.2 INFORMACION OBTENIDA

8.2.1 INTRODUCCIÓN

El reporte presenta las oportunidades de conservación ambiental

tal y de energía registradas durante la inspección visual preliminar realizada en el mes de Mayo de 1994. Los datos obtenidos se han utilizado para elaborar las recomendaciones de ahorros de energía, conservación de recursos naturales y mejoras de operación que podrían lograrse con la aplicación de las medidas indicadas.

La compañía Muebles Modulares El Bosque se encarga de la confección de muebles para el hogar y la oficina, así como de la construcción de armazones para equipos de sonido. Su producción está principalmente dirigida a dos líneas que son las de modulares y de ICESA. En el siguiente cuadro apreciamos la producción relativa de cada tipo de producto desde el año de 1991 hasta 1993. Para propósitos de contabilidad interna, la planta mide la producción en unidades.

	<u>1991</u>	<u>1992</u>	<u>1993</u>
Muebles para Equipos de Audio	77504	89788	116682
Muebles para el Hogar y la Oficina	4386	4964	3151

Sobre la procedencia de los materiales empleados para el proceso, se puede decir que:

- * El vinil y los bordos son importados desde Colombia a la Compañía FILMTEX.
- * El pegamento empleado es adquirido a la Compañía Ecuatoriana H.B. Fuller.
- * La goma epóxica es importada desde EEUU a la Compañía

Daubert Chemical.

- * Los herrajes son en su mayoría importados desde Colombia a la Compañía SILVATRIN y en menor cantidad a nivel nacional en CIMERSA.
- * Los vidrios son comprados a la Compañía Ecuatoriana Cristavid.

8.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El modo de entrega de la materia prima es por camión, sin cubierta protectora en el verano y con lonas de protección en invierno. Tiene una proporción de consumo anual de 20000 tableros para los muebles de ICESA y 8000 para modulares. La materia prima se descarga en forma manual y se recibe en forma de tableros contrachapados y aglomerados de 6, 9, 12, 15, 18 y 19 mm, se clasifica y almacena. El material que se recibe siempre es de buena calidad, de otra forma no podría trabajárselo.

Luego de haber almacenado la cantidad solicitada de tableros para la obra específica, se realiza la laminación programada que es la adhesión de la película de vinil (de colores: Guayaacán, Negro Florida, Negro plus, Blanco Florida y Teka) a los tableros en la máquina laminadora Walco (1001) utilizando un pegamento de resina que es una mezcla preparada de EPOXI CAC-A y CAC-B.

Esta laminación no es un trabajo diario, ya que se programan

turnos según la cantidad de tableros recibidos y las necesidades de trabajo; en cada uno de estos turnos se deja material laminado que abastezca a la planta para la obra determinada. Los tableros ya laminados, son transportados mediante una plataforma rodante a un almacenamiento provisional donde permanecerán entre 1 y 2 semanas con el fin de que el pegamento pueda secarse. Después son llevados al departamento de corte y aquí son repartidos para ser trabajados entre las máquinas Z-45, Steton, SI12 y escuadradora, según el trabajo que se les quiera realizar.

A partir de aquí los tableros ya cortados siguen tres caminos diferentes:

- * Una parte de los componentes ya cortados, la del camino # 1, va a la sección de perforado-chapillado donde está la máquina canteadora B5L y los taladros múltiples para hacerles el pegado de bordos en los filos y el perforado para las uniones, luego de esta etapa, una parte va directamente al departamento de ensamble y la otra parte (en su mayoría componentes de equipos de sonido) pasa antes por el departamento de pintura.

Luego, cuando han llegado al departamento de ensamble, se les coloca los herrajes (accesorios), se les pone goma caliente, grapas, clavos, goma blanca y tela transparente. Siguiendo el flujo del proceso, los muebles pasan por el

departamento de control de calidad, donde la persona encargada comprobará que los muebles no tengan fallas o daños y en caso de haberlos, los manda a reparar cuanto sea necesario y en caso de ser irreparable, se los da de baja.

Posterior a esto, se separa el producto terminado entre muebles modulares y mesas para equipos de sonido para ICESA y se los almacena en la bodega de cada uno de ellos para luego esperar por el vehículo que los transportará a su destino final.

- * La otra parte de los componentes ya cortados, la del camino # 2, va al departamento de fresado-ruteado para ser trabajada y se le harán labores como fresado-virado, ruteado, calado, acanalados, fresado en media línea y fresado en V en las máquinas Vic Grouver Longitudinal, Horizontal, Routers y Tupi para luego regresar al departamento de corte en el caso de la Vic Grouver Longitudinal y unirse al #1.

- * La otra parte de los componentes ya cortados, la del camino # 3, va al departamento de corte de tiras, donde, mediante las sierras múltiples se cortará tiras que van a servir para soporte y consistencia del mueble y de aquí se divide en dos rutas, la primera va al departamento de pintura (que es mediante spray y en tono negro) y luego va al de ensamble, donde se le añaden clavos I-15, I-20, I-25 (I=invisible), malla y goma caliente y fría; la segunda va directa-

mente al departamento de ensamble. Las tiras defectuosas son rechazadas y desechadas.

Tanto al principio como al final del proceso, los artículos almacenados están protegidos contra la lluvia, el sol y el calor. El modo de embarque del producto terminado desarmado es por camión de fungón cerrado y envuelto en cajas de cartón. Este cartón es adquirido por la empresa a la Cantonera Nacional.

8.2.3 HORARIOS DE PRODUCCION

La operación de la fábrica está compuesta de varios departamentos de procesos. La planta opera 8 horas al día en un solo turno, cinco días por semana: 08:30 hasta 17:00 de Lunes a Viernes con media hora al mediodía para almorzar.

Las horas de comida son fijas y hay turnos que van desde las 12:00 pm hasta las 12:30 pm y desde las 12:30 pm hasta las 13:00 pm para los trabajadores y desde las 13:00 hasta las 15:00 para el personal administrativo y de oficina, siendo estos horarios de libre elección.

Los horarios de operación por departamento se rigen por las máquinas (**cuadro 8.4**) y se presentan en la siguiente tabla:

Departamento	horas/día	horas/sem.	horas/mes
Laminadora	-	6,2	27
Cortadora de Tableros	7	35	154
Chapilladora	4	20	88
Vic Grouver Longitud. (1 calibr.)	6	30	132
Máquina de Corte de Tiras	5	25	110
Taladros	6	30	132
Cámara de Pintura (extractor)	7	35	154
Vic Grouver Transversal	5	25	110
Ruter (c/u de 3 máquinas)	5	25	110
Taladro Neumático	7,6	38	167,2

El resto de las horas laborables se emplean en calibración de máquinas y transporte de materiales. Con la laminadora se trabajó en base de datos de orden semanal y mensual ya que su trabajo no es preparado ni requerido diariamente. Estas mediciones fueron tomadas en el sitio de operación de los equipos y hay que indicar que todas las máquinas son apagadas durante la media hora de almuerzo. Las edades de los equipos se presentan en el **cuadro 8.11**.

8.2.4 DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO

Una lista de las principales características de los motores se presenta en el **cuadro 8.6**, aquí se los ha separado por departamento y estos datos nos servirán para más adelante elaborar el cálculo de carga eléctrica estimada consumida por ellos.

Los datos del sistema de acondicionadores de aire, se presentan en el **cuadro 8.7** y asimismo servirán para cálculo de energía consumida.

La planta cuenta con tres transformadores cuya ubicación se presenta en el **cuadro 8.1** y sus datos de placa se presentan en el **cuadro 8.8**.

8.2.5 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGIA

La energía es consumida por algunos sistemas principales. En los **cuadros 8.6 y 8.7** se muestra una lista de éstos. La electricidad es utilizada primordialmente para generar potencia, aire comprimido, iluminación, ventilación industrial y aire acondicionado. Cabe señalar que todos los equipos principales tienen manómetros, filtros y lubricantes en sus unidades de mantenimiento.

El aire comprimido es producido en tres compresores recipro-cantes capaces de suministrar hasta 160 cfm de aire a 6 bares, de los cuales aproximadamente el 40 % es empleado en las necesidades de los procesos y el otro 60 % se emplea en limpieza de las máquinas. Se debe señalar que el sistema de aire comprimido tiene numerosas fugas y caídas de presión. El aire comprimido se utiliza en todos los departamentos para las máquinas (cilindros neumáticos), herramientas y limpieza. La sección que consume más aire comprimido es el departamento de fresado. La sección que consume más electricidad es el

departamento de corte.

La iluminación (**cuadro 8.9**) se hace principalmente con lámparas de Mercurio (cerramiento), fluorescentes (oficinas y planta) y focos de luz mixta (planta). La carga de iluminación se presenta en la respectiva tabla. La iluminación es utilizada sólo parte del día en ciertas áreas donde la natural es insuficiente, pero en la máquina canteadora las lámparas están permanentemente prendidas durante su trabajo. Los datos del número de luces en las diferentes secciones de la planta se presentan en la respectiva tabla (en las oficinas la iluminación está constituida por fluorescentes que pasan encendidos diariamente durante ocho horas y media en caso de no trabajarse horas extra).

Finalmente en el cerramiento de la fábrica, la iluminación está constituida por 20 lámparas de Mercurio que están encendidas un total de 11 horas diarias, desde las 7:00 pm hasta las 6:00 am. Los consumidores de electricidad más importantes son los motores CD-CA y los compresores. Los más grandes motores se encuentran en los departamentos de corte y fresado.

8.2.6 ANALISIS DE LAS PLANILLAS DE ENERGIA ELECTRICA

La electricidad es proporcionada por la Empresa Eléctrica del Ecuador con una tarifa IDBD de uso industrial. El costo actual de electricidad es de 262 sucres por kilovatio-hora (incluyendo los impuestos). La empresa tiene un factor de

potencia que varía entre 0.90 y 0.91.

En el **cuadro 8.4** se muestra el consumo de energía eléctrica por la planta por mes en el último año. Los costos mostrados son el consumo, multiplicado por los costos marginales de energía correspondiente al año anterior. Como resultado tenemos que para el año 1993:

	<u>unidades</u>	<u>consumo</u>	<u>costo anual (s/.)</u>
Electricidad	KW-hora	254640	61'437205

De esto podemos decir que el costo anual de electricidad fue:

$$6479968 / 24720 = 262.2 \text{ sucres por KW-hora}$$

8.3 ANALISIS DE LA INFORMACION

8.3.1 ESTIMACION DEL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA DE LOS EQUIPOS

Podemos apreciar este cálculo en la tabla del **cuadro 8.10** y por tratarse de una Auditoría Preliminar, se consideran los valores nominales y no se los ha medido aún en el sitio. Por ser una planta cuyos equipos funcionan básicamente con electricidad, el cálculo de consumo se restringió a los motores de sus máquinas, se incluye también el estimado de acondicionadores de aire. El detalle de los cálculos ya se lo explicó en el capítulo de Auditoría Preliminar.

8.3.2 DESECHOS GENERADOS

Las principales fuentes de viruta y pedazos pequeños de madera son los departamentos de laminado y corte. El contaminante está constituido por partículas finas de madera lo suficientemente grandes para poder ser observadas y asentarse en pocos segundos y por retazos de madera muy finos o pequeños que no pueden ser empleados para el proceso. Los medios empleados para atrapar el polvo son dos extractores con sus respectivos ciclones a la salida de la planta; sin embargo, los ciclones no cuentan con depósito de material colectado y éste es expulsado al aire libre. Los retazos de madera son recogidos en cajones que se depositan en el exterior de la planta para luego ser recogidos. Estos desperdicios son eliminados por una persona que diariamente se los lleva y no se cuenta con información sobre su destino final. Por mediciones realizadas en la planta, se puede decir que de este tipo de desechos se producen:

desechos sólidos :	2026 lb/día
polvo :	<u>1720 lb/día</u>
total :	3746 lb/día = 97396 lb/año

Para evitar desperdicio de material, se prueba toda la materia prima antes de ser aceptada del proveedor, si acaso hubiere material en mal estado, se devuelve. Otro factor contaminante observado es el Cloruro de Metileno empleado como solvente durante la operación de laminado. Su empleo es ma-

nual utilizando franelas como aplicadores. Esta labor no se realiza diariamente sino que se planea por mes, según sea necesario. El personal que ejecuta esta tarea es rotativo.

8.3.3 PLAN DE ACCION

En el desarrollo de la Auditoría Ambiental Detallada se debe llevar una distribución de tareas como la que sigue:

1. Medir voltajes y amperajes de los equipos de mayor consumo de energía; en este caso de los motores de las máquinas del departamento de corte, chapillado y fresado. Con estos valores establecer el consumo de energía de planta por día y determinar la razón de bajo factor de potencia. Chequear la capacidad de los transformadores para buscar sobredimensionamiento. Estudiar la distribución de redes eléctricas dentro de la planta para optimizar ubicación.
2. Conseguir toda la información necesaria sobre la materia prima empleada para la elaboración de los tableros por parte del proveedor. Realizar un estudio de los químicos empleados en la elaboración del aglomerado y revisar con tablas si son nocivos o no lo son para el contacto y manejo directo de los trabajadores. Investigar la forma de obtención de materia prima por parte del proveedor para saber si tiene algún tipo de programa de reforestación o no lo tiene. Si no lo tuviere, obtener una lista de proveedores potenciales que si tengan estos programas.
3. Realizar con un sonómetro, la medición de ruido en toda

la planta, empezando por la sección de corte de tableros y asignar a cada sección su valor promedio medido. Investigar el tiempo de tolerancia máximo a este tipo de ruido y si la protección empleada es la suficiente. Revisar los datos médicos de los empleados de la planta para encontrar si hay relación de empleados con problemas auditivos con el departamento de corte.

4. Revisar los datos del tipo de mascarilla para protección de polvo empleada, encontrar la razón de su falla y recomendar el tipo adecuado para el tipo de partículas del aire. Revisar las fichas médicas para encontrar si hay relación de las enfermedades respiratorias de los empleados con el departamento de corte y fresado.
5. Hacer un estudio del volumen necesario de aire comprimido para analizar la deficiencia actual en las horas pico de trabajo y poner en marcha su optimización. Revisar a fondo el sistema de tuberías de aire comprimido para identificar todas sus fugas y pérdidas de presión.
6. Utilizando un fotómetro, medir y comprobar los niveles de iluminación de las oficinas y las secciones de planta que emplean fluorescentes durante el día.
7. Hacer un cálculo detallado de la capacidad de cada acondicionador de aire según el área que debe enfriar, buscar sobredimensionamientos.
8. Analizar datos de los tipos de solventes empleados y el tiempo máximo de exposición del trabajador al mismo antes de considerarse nocivo, comparar con los reales.

9. Hacer un estudio del sistema de extracción de polvo actual para calcular el desperdicio de capacidad de recolección, así como el desperdicio de tubería innecesaria. Hacer estudios de capacidad y factibilidad para proponer el cambio a una nueva ubicación más eficiente y la consiguiente eliminación de colectores individuales.
10. Diseñar el plan de aplicación de un programa de Educación y Manejo Ambiental dentro de la empresa.
11. Reunir los resultados de encuestas a los trabajadores sobre puntos que quisieran mejorar dentro de la empresa a todo nivel y presentar a los directivos con las correspondientes recomendaciones.
12. Hacer estudios de factibilidad económica de los puntos anteriores y tiempo de retorno de capital, en caso de ser posible, y presentarlos con el resto de la información.
13. Para cada punto antes mencionado, se debe plantear soluciones a los problemas identificados, utilizando la información que sea necesaria de soporte.

8.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de el análisis preliminar se puede concluir que:

- * La electricidad es la fuente de energía que proporciona potencia motriz, aire comprimido, aire acondicionado, iluminación y ventilación. Representa el 100% del consumo de energía en "Muebles El Bosque S.A.". Como costo entonces representa el 100% de la factu-

na de energía. En cuanto al sistema eléctrico, en general, este sistema se halla en muy buenas condiciones, sin embargo se identificaron ciertas áreas como mejoras. El factor de potencia global de la planta se estableció en el rango de 90%. Es posible mejorar este factor de instalando un banco de capacitores en el punto de entrada; o mejorar el factor de los motores instalando capacitores locales. Se recomienda analizar y hacer las mediciones en planta para averiguar la razón del bajo factor de potencia de la planta y aumentarlo para evitar las multas que cobra la Empresa Eléctrica por factor de potencia bajo.

Es imperativo que los departamentos de corte y fresado trabajen simultáneamente y no se puede reprogramar su encendido. Se recomienda un estudio detallado del consumo energético por máquina.

- * En cuanto a los sistemas de iluminación, tenemos que la iluminación consiste principalmente de lámparas fluorescentes de 40 Vatios, de Mercurio de 125 Vatios y Mixtas de 175 Vatios, lo cual es complementado con luz natural. Se han colocado en el techo paneles transparentes para permitir mayor paso de luz natural. El uso de fluorescentes es muy eficaz y apropiado para las labores, aunque se observó necesidad de reparar algunas, en especial en los departamento de corte y fresado. Son pocas las lámparas que se mantienen encendidas innecesariamente, a excepción del departamento de administración donde se podría prescindir de ellas al estar temporalmente las áreas desocupadas. Se recomienda analizar el tiempo innecesario de uso de luz y medir si se tiene el nivel

adecuado de luz por operación.

- * En cuanto al sistema de acondicionamiento de aire, se puede revisar los datos en el **cuadro 8.7** y observamos que algunos de ellos han sido sobredimensionados para la demanda que se les da y que se podría reducir su número u operarlos más eficientemente, controlando sus horas de trabajo realmente necesarias. En las oficinas, debido a que se usa normalmente todo el día luz de fluorescentes, se puede colocar cortinas en las ventanas para así lograr una menor transferencia de calor desde el exterior al interior y así reducir la operación de los acondicionadores de aire. Se recomienda un estudio de estas medidas.

- * En cuanto al control de calidad, su operación es continua y no se emplea en él energía eléctrica ya que la inspección es visual debido a que las fallas son fácilmente apreciables. Se detectó diferencias de criterios en cuanto a la apreciación de fallas según el operario, por lo tanto se recomienda estandarizar y establecer parámetros de control de calidad.

- * Los sistemas de extracción de polvo (**ver cuadro 8.12**) trabajan aproximadamente al 50 % de su capacidad (porque prácticamente trabaja un solo extractor) y podría incrementarse su eficiencia optimizando la reubicación del sistema de tuberías de conducción y la forma en que estas tuberías se acercan a las máquinas que producen la mayor cantidad de desperdicio de viruta. El material de las tuberías si bien tiene una edad de 10 años, se encuentra

en estado aceptable y sirve bien para su propósito, aunque presenta unos cambios de diámetro innecesarios. Se sugiere estudiar la posibilidad de cambiar el recorrido actual a uno más uniforme y que no dé muchas vueltas incluso para evitar depósitos de material en las tuberías por pérdidas de presión. En cuanto a la tubería anillada flexible con la que los brazos del conducto principal se unen a las máquinas, están algo sobredimensionadas en largo; este es un punto que se necesitará analizar en la auditoría detallada. Hay fugas y un diagrama de este sistema de recolección de polvo se presenta adjunto.

Como ya se dijo anteriormente, es conveniente atender a la salida de los extractores en la recolección del material particulado, ya que en uno de los dispositivos, este material tiene salida al aire libre, ensuciando los alrededores, y el otro está cubierto con una lona por la cual logra filtrarse cantidad de polvo a los alrededores. Se recomienda estudiar la forma de eliminar desperdicios y la reubicación de la línea del extractor # 2 como ya se dijo anteriormente. Así mismo, se recomienda el averiguar el destino final de los desechos sólidos luego de ser recogidos diariamente por la persona encargada.

- * En cuanto al sistema de aire comprimido, éste es suministrado a la planta por tres compresores cuyos datos de placas se determinan en el **cuadro 8.6**. En cuanto a la eficiencia y dimensionamiento de los tres compresores se puede decir que es del 85% y que en ciertos momentos de producción, falta aire comprimido y se de-

be alternar el suministro a las máquinas. De lo inspeccionado, no se detectaron fugas a lo largo del sistema de tuberías, lo que sí se observó es que este sistema era usado por los empleados para confort y limpieza personal. En cuanto a la forma de disposición del aire comprimido, es mediante pistolas dosificadoras lo que nos da una mejor eficiencia. Un asunto importante al que atender es el rediseño de un recorrido menos sinuoso del sistema para ahorrar material de tubería y conservar la presión deseada. Se recomienda realizar este estudio. Se recomienda seguir con el estudio (ya comenzado en la empresa) del cambio de boquilla de las mangueras de aire comprimido para regular su presión. Además, se recomienda que se continúe con el estudio que se está haciendo sobre una nueva mascarilla para protección de polvo más eficaz que la actual.

- * La planta en general presenta problemas de altos niveles de ruido y se observó que muchos de los empleados de las áreas críticas de ruido (departamento de corte), no utilizaban ni la mínima protección adecuada. Se recomienda una medición y publicación de los niveles de ruido dentro de la planta, así como una campaña de enseñanza de Seguridad Industrial dentro de la planta haciendo obligatorio el uso de estos dispositivos. Además se recomienda que se realicen estudios audiométricos a los trabajadores de la empresa, en especial a los que laboran en departamentos de ruido crítico.

- * Se puede decir que el ambiente laboral dentro de la empresa es

tranquilo, sin embargo se ha observado un descontento de los trabajadores por la existencia de botellas de agua para beber solo en el área Administrativa y no en la planta. Frente a esta situación se recomienda:

- Realizar encuestas para saber la opinión de los trabajadores sobre este y otros puntos
- Incentivar a los trabajadores a que ellos mismos propongan soluciones a estos problemas

* Se ha detectado que el personal de planta tiene conocimientos mínimos, o no los tiene, de Seguridad Industrial, en especial sobre la protección contra el ruido (que es bastante alto en la sección de corte y fresado), la inhalación de partículas de residuos de madera (especialmente en la sección de corte) y la coincidencia de personas con enfermedades respiratorias en esta sección y uso del aire comprimido para limpieza personal (en todas las áreas). Además, el dispensario médico de la planta no se encuentra en funcionamiento actualmente. Ante esta situación se recomienda establecer un Plan de Manejo Ambiental, el que, además de la Auditoría, incluye:

- Programas de Educación Ambiental, mediante cursos, seminarios y charlas
- Concientización sobre la importancia de la Seguridad Industrial
- Seguimiento y control del programa mediante la designación de personas responsables del mismo y reuniones informales para evaluar los resultados obtenidos
- Difusión del programa mediante carteles dentro de la empresa,

- folletos o informes sobre costo de recursos desperdiciados
- Incentivos a los operadores de maquinaria de consumo más crítico de energía según su habilidad para ahorrar energía, disponer de los residuos generados y seguir procedimientos de seguridad o establecer concursos de ahorro de energía mediante el consumo de la cantidad adecuada por departamento dentro de la empresa; asimismo de concursos de sugerencias dadas por trabajadores y empleados de conservación energética y ambiental

Las recomendaciones dadas se tomarán en cuenta dentro de la Auditoría Ambiental Detallada y constituyen los puntos de análisis al elaborar el informe de la misma.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como conclusiones y recomendaciones luego de este trabajo se tiene que:

- 1.- Para realizar la Auditoría Ambiental a una industria, se requiere tener experiencia y familiarización con los diferentes procesos e instrumentos de medida que se vayan a utilizar; esto será un factor determinante en el tiempo que se requiera y la efectividad y precisión para llevarla a cabo.

Por tanto se recomienda que si la persona que la va a realizar no tiene experiencia con el instrumental ni con los diferentes tipos de maquinarias que encontrará, se asesore o trabaje conjuntamente con los ingenieros de planta, ingenieros eléctricos, industriales, etc, que puedan proporcionarle los datos que requerirá.

- 2.- Los análisis de los recursos naturales aquí presentados: como agua, suelo y aire; son opciones válidas de aplicación en una Auditoría Ambiental, sin embargo no son los únicos y constantemente se están perfeccionando en el mercado.

Se recomienda no solo restringirse a los procedimientos de prueba ni instrumentos de medida presentados en esta tesis, sino estar siempre actualizados sobre nuevas técnicas más accesibles que se desarrollen y aplicarlas a conveniencia. Los parámetros de medición son los valores que no se alterarán y sea cual sea el método empleado, es a estos valores a los que deberemos atender.

3.- Si bien este manual da en forma bastante detallada los pasos a seguir en una Auditoría Ambiental, el trabajo es largo y requiere de por lo menos dos personas para realizarlo: para toma, análisis de datos y revisión de archivos.

Se recomienda que al momento de realizar la Auditoría Ambiental (Preliminar y Detallada) trabajen dos personas con conocimiento del tema y de ser posible tengan más ayudantes a su disposición.

~~4.-~~ Para poder establecer dentro de una empresa un criterio de Protección Ambiental, las iniciativas deben partir desde la gerencia y de aquí recibir el apoyo para el resto de los miembros. Si no se tiene apoyo de las principales autoridades, el trabajo no será de gran provecho para la conservación de los recursos y puede estar condenado a fracasar.

Se recomienda analizar muy cuidadosamente el criterio de toma de decisiones y la valoración de la Compañía para los problemas ambientales que ella produce y trabajar desde aquí en la concientización y educación ambiental.

~~5.-~~ Los pasos a seguir dentro de este manual no son únicos y es muy probable que en ciertas industrias, se requiera más información que la que los formularios, cuadros y tablas de este trabajo proporcionan.

Se recomienda, adaptar el manual a la necesidad particular que se

tenga y seguir sus procedimientos lo más que se pueda, pero atender siempre a las necesidades del trabajo que estemos realizando.

~~6.-~~ Una Auditoría Ambiental no debe quedarse en su fase preliminar ya que los datos recolectados no se aplicarían y la mayoría del esfuerzo sería en vano. La verdadera presentación de los resultados se hará en la Auditoría Detallada.

Se recomienda la posterior terminación y presentación del trabajo de la Auditoría Detallada por parte de otro estudiante relacionado con la materia.



BIBLIOGRAFIA

1. F. E. Bear, Suelos y Fertilizantes (3a. Edición; Barcelona: Ediciones Omega S.A., 1970) pp. 112-193.
2. Conaue-BID, Microempresa y Medio Ambiente (Quito: Conaue, 1993), pp. 5-20.
3. F. De Lora y J. Miró, Técnicas de Defensa del Medio Ambiente (Calabria, Barcelona: Editorial Labor, 1979), pp. 654-720, 1276-1284.
4. V. M. Faires & C. M. Simman, Thermodynamics (6a. Edición; New York: MacMillan Publishing Co. Inc, 1978) pp. 508-512.
5. Conferencias sobre Gestión Ambiental de la Industria en el Ecuador, 1993, Quito, Marzo 1-4 de 1993, "Problemas Ambientales producidos por la Industria y Alternativas de Tratamiento" (Quito: Fundación Natura-EDUNAT III, 1993), pp. 16-27.
6. Hagler, Bally & Company y Reliance Energy Services, Manual de Auditoría Energética Industrial, Volumen I (Washington DC: Agencia Internacional para el Desarrollo de los EEUU -US AID-, 1984).
7. Hagler, Bally & Company y Reliance Energy Services, Manual de Auditoría Energética Industrial, Volumen II (Washington DC: Agencia Internacional para el Desarrollo de los EEUU -US AID-, 1984).

8. C. Mataix, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas (2a. Edición; México D. F.: Harla S.A., 1982) pp. 125-153.
9. Fundación Natura, Potencial Impacto Ambiental de las Industrias en el Ecuador (Quito: Edunat III, 1991), pp 551-589.
10. R. H. Petrucci, Química General (Bogotá: Editorial Presencia Ltda., 1977) pp. 594-610.
11. J. B. de Quirós y N. D'Elia, Introducción a la Audiometría (Buenos Aires: Ediciones Paidós, 1981) pp. 30-36.
12. G. Roldán, L. F. Velásquez y T. Machado, Ecología, La Ciencia del Ambiente (Bogotá: Editorial Norma, 1981), pp. 108-122, 183-186, 191-195, 224-229.
13. Salvat, editores, Enciclopedia Salvat de la Salud, Volumen 3 (A-rieta, Pamplona: Salvat S. A. de Ediciones, 1980).
14. Salvat, editores, Enciclopedia Salvat de la Salud, Volumen 5 (A-rieta, Pamplona: Salvat S. A. de Ediciones, 1980).
15. Salvat, editores, Enciclopedia Salvat de la Técnica, Volumen 8 (A-rieta, Pamplona: Salvat S.A. de Ediciones, 1986).
16. Siemens, editores, Protección del Medio Ambiente (Berlín, Siemens Aktiengesellschaft, 1989).

17. A. Torres y E. Villate, Análisis de Suelos (Bogotá: Editorial Norma, 1982), pp. 248-276.
18. US Department of Health, Education and Welfare, The Industrial Environment -Its Evaluation & Control (Washington D.C.: US Government Printing Office, 1973), pp. 299-321, 533-563.
19. G. Wrigley, Agricultura Tropical (4a. Edición; México D. F.: Compañía Editorial Continental, 1980) pp. 23-47.

