

11
TUES
1506
G633p
1996
EJ.1

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

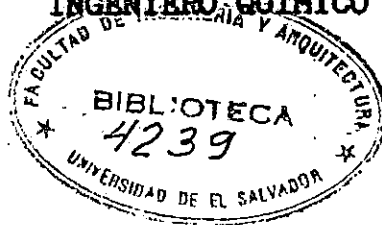


**PROPUESTA PARA LA INTRODUCCION EN LA ENSEANZA DE
LA INGENIERIA QUIMICA DEL CONCEPTO Y PRACTICA DE
"TECNOLOGIAS MAS/LIMPIAS DE PRODUCCION". 2a. Parte.**

PRESENTADO POR

**RENE GOMEZ PINEDA
NOE ZENON RODRIGUEZ CHICA**

**PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

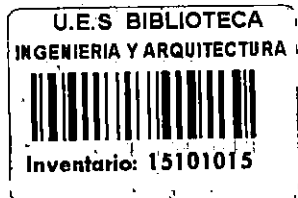


CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 1996.

15101015

15101015

el 4 de Septiembre / 96



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR : DR. BENJAMIN LOPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL : LIC. ENNIO ARTURO LUNA

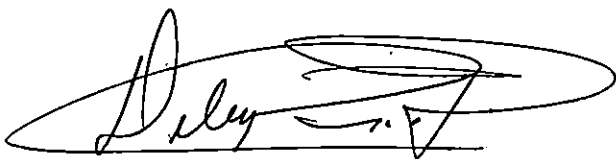
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO : ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO : ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



DIRECTORA :  ING. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO QUIMICO

Título:

PROPUESTA PARA LA INTRODUCCION EN LA ENSEÑANZA DE
LA INGENIERIA QUIMICA DEL CONCEPTO Y PRACTICA DE
"TECNOLOGIAS MAS/LIMPIAS DE PRODUCCION". 2a. Parte.

Presentado por:

RENE GOMEZ PINEDA
NOE ZENON RODRIGUEZ CHICA

Trabajo de Graduación aprobado por:

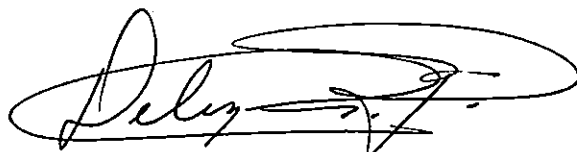
Coordinadora: Ing. Delmy del Carmen Rico Peña

Asesora: Dra. Elvia Berenice Huevo de Oliva

Asesor: Ing. Juan Rodolfo Ramírez Guzmán

San Salvador, Agosto de 1996

Trabajo de Graduación aprobado por:



Coordinadora y Asesora : Ing. Delmy del Carmen Rico Peña



Asesora : Dra. Elvia Berenice Huevo de Oliva



Asesor : Ing. Juan Rodolfo Ramirez Guzman

RESUMEN

En el presente Trabajo de Graduación se aborda el concepto y práctica de las "Tecnologías Más/Limpias de Producción" (TMLDP), las cuales constituyen una respuesta tecnológica a los problemas ambientales, dado que aplican la filosofía de la prevención de la contaminación antes que la corrección de esta.

Aunque no se pretende dar solución a todos los problemas ambientales de El Salvador, este Trabajo constituye un punto de referencia para sentar bases que conduzcan a la concienciación sobre la realidad de crisis ambiental del país, entre los docentes y estudiantes de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador.

En ese sentido, se presenta un panorama general de la situación ambiental de El Salvador y un marco teórico para la aplicación de las TMLDP en las Areas de estudio de la Ingeniería Química: Fisicoquímica, Balance de Materia y Energía, Termodinámica Química y Operaciones Unitarias.

De tal manera, se realizó la revisión de los contenidos, solución de problemas con temática ambiental y la auditoría de laboratorios (donde fuera posible), para las asignaturas de: Fisicoquímica I y II, Balance de Materia y Energía, Termodinámica Química I y II, Operaciones Unitarias I, II y III, y Procesos de Separación y de Manejo de Sólidos.

Se presenta también un ejemplo de aplicación de las TMLDP para una industria láctea.

INDICE

| CONTENIDO | PAGINA |
|---|--------|
| Introducción..... | 1 |
| I. PANORAMA GENERAL DE LA PROBLEMATICA AMBIENTAL EN EL SALVADOR..... | 4 |
| 1.0 Introducción..... | 5 |
| 1.1 Flora..... | 6 |
| 1.2 Fauna..... | 7 |
| 1.3 Recursos costeros y marinos..... | 7 |
| 1.4 Suelos..... | 8 |
| 1.5 Agua..... | 13 |
| 1.6 Abastecimiento de agua..... | 17 |
| 1.7 Alcantarillados..... | 17 |
| 1.8 Aire..... | 17 |
| 1.9 Residuos sólidos..... | 18 |
| 1.10 Residuos hospitalarios..... | 20 |
| 1.11 Mortalidad y morbilidad..... | 20 |
| II. MARCO TEORICO PARA LA APLICACION DE LAS "TECNO- LOGIAS MAS/LIMPIAS DE PRODUCCION"..... | 23 |
| 2.0 Marco referencial para la aplicación de las "Tecnologías Más/Limpías de Producción"..... | 24 |
| 2.1 Desarrollo sustentable..... | 25 |
| 2.1.1 Desarrollo sustentable y tecno- logía..... | 26 |
| 2.2 "Tecnologías Más/Limpías de Produc- ción" (TMLDP)..... | 27 |
| 2.3 Inclusión de la temática ambiental en el desarrollo del programa de las asig- naturas analizadas..... | 32 |
| 2.3.1 Método de revisión de contenidos teóricos..... | 32 |

| | |
|--|----|
| 2.3.2 Método de revisión de guías de laboratorios..... | 33 |
| III. REVISION DE LA ASIGNATURA FISICOQUIMICA I Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE..... | 35 |
| 3.0 Programa de la asignatura..... | 36 |
| 3.1 Temas relacionados con el medio ambiente sugeridos para el programa de la asignatura Fisicoquímica I..... | 42 |
| 3.1.1 Las sustancias gaseosas y la contaminación..... | 42 |
| 3.1.1.1 Uso de sustancias gaseosas en la Ingeniería Química y su incidencia en el medio ambiente..... | 42 |
| 3.1.1.2 Contaminantes secundarios..... | 45 |
| 3.1.2 Primera Ley de la Termodinámica y el medio ambiente..... | 49 |
| 3.1.3 Efecto térmico del CO ₂ en el medio ambiente..... | 52 |
| 3.1.3.1 Medidas recomendadas para disminuir las cantidades de CO ₂ | 53 |
| 3.2 Solución de problemas de Fisicoquímica I, con temática ambiental..... | 55 |
| 3.3 Revisión de las prácticas de laboratorios de Fisicoquímica I..... | 62 |
| IV. REVISION DE LA ASIGNATURA FISICOQUIMICA II Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE..... | 67 |
| 4.0 Programa de la asignatura..... | 68 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.1 | Temas relacionados con el medio ambiente sugeridos para el programa de la asignatura Fisicoquímica II..... | 77 |
| 4.1.1 | Medio ambiente y desarrollo humano..... | 77 |
| 4.1.2 | Problemática de los ríos y mantos acuíferos en El Salvador..... | 80 |
| 4.1.3 | Galvanostegia y galvanoplastia, sus aplicaciones y efectos en el medio ambiente..... | 85 |
| 4.2 | Solución de problemas de Fisicoquímica II, con temática ambiental..... | 89 |
| 4.3 | Revisión de las prácticas de laboratorios de Fisicoquímica II..... | 97 |
| 4.3.1 | Laboratorio No. 1. Presión de vapor..... | 98 |
| 4.3.2 | Laboratorio No. 2. Destilación de una mezcla azeotrópica..... | 101 |
| 4.3.3 | Laboratorio No. 3. Cristalización..... | 104 |
| 4.3.4 | Laboratorio No. 4. Sistema ternario de líquidos..... | 107 |
| 4.3.5 | Laboratorio No. 5. Peso molecular por crioscopia..... | 111 |
| 4.3.6 | Laboratorio No. 6. Electroquímica..... | 115 |
| 4.3.7 | Laboratorio No. 7. Velocidad de reacción..... | 119 |
| V. | REVISION DE LA ASIGNATURA BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE..... | 128 |
| 5.0 | Programa de la asignatura..... | 129 |
| 5.1 | Temas relacionados con el medio ambiente sugeridos para el programa de la asignatura Balance de Materia y Energía..... | 136 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 5.1.1 | El Ingeniero Químico, la industria y el medio ambiente..... | 136 |
| 5.1.2 | Límites máximos de diversos tipos de sustancias contaminantes..... | 138 |
| 5.1.3 | Técnicas de minimización de residuos..... | 154 |
| 5.1.3.1 | Reducción en la fuente..... | 156 |
| 5.1.3.2 | Reciclaje..... | 158 |
| 5.2 | Solución de problemas de Balance de Materia y Energía, con temática ambiental..... | 162 |
| VI. | REVISION DE LA ASIGNATURA TERMODINAMICA QUIMICA I Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE..... | 181 |
| 6.0 | Programa de la asignatura..... | 182 |
| 6.1 | Temas relacionados con el medio ambiente sugeridos para el programa de la asignatura Termodinámica Química I..... | 192 |
| 6.1.1 | Concepto y enfoque de la Termodinámica y su relación con el medio ambiente..... | 192 |
| 6.1.1.1 | Diversas fuentes de energía empleadas en la producción de energía y su incidencia en el medio ambiente..... | 192 |
| 6.1.1.2 | Panorama global del consumo de energía primaria y secundaria en El Salvador..... | 195 |
| 6.1.2 | Entropía, sociedad y medio ambiente..... | 200 |
| 6.1.3 | Ruido y contaminación ambiental..... | 204 |
| 6.1.3.1 | Efectos del ruido..... | 205 |
| 6.1.4 | Uso de combustibles derivados del petróleo y su incidencia en el medio ambiente..... | 207 |

| | |
|---|-----|
| 6.1.5 Efectos de la generación hidroeléctrica y geotérmica en el medio ambiente..... | 209 |
| 6.1.6 Generalidades sobre estudios de impacto ambiental. El caso de la generación termoeléctrica..... | 211 |
| 6.1.7 Los refrigerantes y la capa de ozono..... | 215 |
| 6.1.7.1 Refrigerantes que dañan la capa de ozono..... | 216 |
| 6.1.7.2 Efectos del agotamiento de la capa de ozono..... | 216 |
| 6.1.7.3 Cambio hacia tecnologías alternativas..... | 217 |
| 6.2 Solución de problemas de termodinámica química I, con temática ambiental..... | 219 |
| | |
| VII. REVISION DE LA ASIGNATURA TERMODINAMICA QUIMICA II Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE..... | 230 |
| 7.0 Programa de la asignatura..... | 231 |
| 7.1 Temas relacionados con el medio ambiente sugeridos para el programa de la asignatura Termodinámica Química II..... | 237 |
| 7.1.1 Fuentes de contaminación térmica..... | 237 |
| 7.1.1.1 Efectos de la contaminación térmica..... | 238 |
| 7.2 Solución de problemas de Termodinámica Química II, con temática ambiental..... | 241 |
| | |
| VIII. REVISION DE LA ASIGNATURA OPERACIONES UNITARIAS I Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE..... | 249 |
| 8.0 Programa de asignatura..... | 250 |

| | | |
|--|--|-----|
| 8.1 | Temas relacionados con el medio ambiente sugeridos para el programa de la asignatura Operaciones Unitarias I..... | 258 |
| 8.1.1 | El ciclo hidrológico y calidad del agua..... | 258 |
| 8.1.2 | Parámetros de calidad del agua..... | 263 |
| 8.1.2.1 | Parámetros físicos..... | 264 |
| 8.1.2.2 | Parámetros químicos..... | 265 |
| 8.1.2.3 | Parámetros orgánicos..... | 266 |
| 8.1.2.4 | Parámetros biológicos..... | 267 |
| 8.2 | Solución de problemas de Operaciones Unitarias I, con temática ambiental..... | 268 |
| 8.3 | Revisión de las prácticas de laboratorios de Operaciones Unitarias I..... | 273 |
| 8.3.1 | Laboratorio No. 1. Propiedades de los fluidos..... | 274 |
| IX. REVISION DE LA ASIGNATURA OPERACIONES UNITARIAS II Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE..... | | |
| 9.0 | Programa de la asignatura..... | 283 |
| 9.1 | Temas relacionados con el medio ambiente sugeridos para el programa de la asignatura Operaciones Unitarias II..... | 291 |
| 9.1.1 | Radiación: efectos y aplicaciones..... | 291 |
| 9.1.2 | Radiación solar y su incidencia en el medio ambiente..... | 295 |
| 9.2 | Solución de problemas de Operaciones Unitarias II, con temática ambiental..... | 306 |

| | |
|---|-----|
| X. REVISION DE LA ASIGNATURA OPERACIONES UNITARIAS III Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONA- DOS CON EL MEDIO AMBIENTE..... | 311 |
| 10.0 Programa de la asignatura..... | 312 |
| 10.1 Temas relacionados con el medio ambiente su- geridos para el programa de la asignatura Operaciones Unitarias III..... | 321 |
| 10.1.1 Absorción en el control de la conta- minación..... | 321 |
| 10.1.2 Adsorción en el control de la conta- minación..... | 327 |
| 10.2 Solución de problemas de Operaciones Unita- rias III, con temática ambiental..... | 332 |
| 10.3 Revisión de las prácticas de laboratorios de Operaciones Unitarias III..... | 344 |
| XI. REVISION DE LA ASIGNATURA PROCESOS DE SEPARACION Y DE MANEJO DE SOLIDOS Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE..... | 345 |
| 11.0 Programa de la asignatura..... | 346 |
| 11.1 Temas relacionados con el medio ambiente sugeridos para el programa de la asignatu- ra Procesos de Separación y de Manejo de Sólidos..... | 355 |
| 11.1.1 La reducción de tamaño de sólidos y sus efectos en el medio ambiente..... | 355 |
| 11.1.1.1 Equipo para el control de la contaminación por partí- culas sólidas..... | 355 |
| 11.1.1.2 Selección de equipos para el control de partículas sólidas en el aire..... | 361 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 11.1.2 | Aplicaciones de operaciones de separaciones mecánicas en el tratamiento de aguas de desecho..... | 363 |
| 11.1.3 | Reciclaje de plástico, una alternativa para mitigar el impacto de los desechos sólidos en el Area Metropolitana de San Salvador..... | 368 |
| 11.1.3.1 | Reciclaje de plástico para el Area Metropolitana de San Salvador..... | 369 |
| 11.1.4 | Empaques biodegradables..... | 371 |
| 11.1.5 | Los desechos sólidos en el Area Metropolitana de San Salvador..... | 374 |
| 11.1.6 | Incineración de los desechos sólidos urbanos..... | 375 |
| 11.1.6.1 | Impacto de la incineración de los desechos sólidos..... | 375 |
| 11.1.7 | Reciclaje de diversos residuos en el Area Metropolitana de San Salvador..... | 377 |
| 11.2 | Solución de problemas de Procesos de Separación y Manejo de Sólidos, con temática ambiental..... | 379 |
| 11.3 | Revisión de las prácticas de laboratorios de Procesos de Separación y de Manejo de Sólidos..... | 386 |
| 11.3.1 | Laboratorio No. 5. Cristalización por evaporación y nucleación..... | 387 |
| XII. | APLICACION DE LAS TMLDP A UNA INDUSTRIA LACTEA..... | 390 |
| 12.0 | Ejemplo de aplicación de las "Tecnologías Más/Limpas de Producción" en una industria láctea..... | 391 |

| | |
|--|-----|
| 12.1 Problemática del sector lechero en El Salvador..... | 391 |
| 12.2 Problemas de contaminación que genera la industria láctea..... | 393 |
| 12.3 Ejemplo del proceso de producción en la industria láctea visitada..... | 394 |
| 12.4 Recomendaciones para mejorar el proceso de la leche fluida..... | 397 |
| 12.4.1 Medidas para mejorar la higiene..... | 398 |
| 12.4.2 Minimización de residuos..... | 399 |
| 12.5 Observaciones..... | 402 |
| Observaciones..... | 404 |
| Conclusiones..... | 405 |
| Recomendaciones..... | 407 |
| Referencias Bibliográficas..... | 409 |
| Apéndices..... | 424 |
| Apéndice A. Ubicación geográfica de los principales ríos de El Salvador..... | 425 |
| Apéndice B. Guía para la realización de una auditoría de residuos..... | 426 |
| Apéndice C. Características de sustancias de laboratorio..... | 444 |
| Apéndice D. Disposición de residuos de laboratorio..... | 457 |

INDICE DE CUADROS

| | | |
|--------------|---|-----|
| Cuadro 1.1: | Clasificación general y usos de suelos..... | 9 |
| Cuadro 1.2: | Potencial agropecuario de las tierras de El Salvador..... | 10 |
| Cuadro 1.3: | Disponibilidad de aguas en los años 1985 y 1993 (en millones de m ³) y su porcentaje de reducción..... | 15 |
| Cuadro 1.4: | Industrias salvadoreñas que más conta- minan con sus aguas de desecho..... | 16 |
| Cuadro 1.5: | Datos sobre la recolección de basura en el Area Metropolitana de San Salva- dor..... | 19 |
| Cuadro 1.6: | Primeras diez causas de consultas médi- cas por cada mil habitantes en El Sal- vador en 1990..... | 21 |
| Cuadro 1.7: | Primeras diez causas de consultas médi- cas por cada mil niños menores de cua- tro años en El Salvador en 1990..... | 22 |
| Cuadro 3.1: | Contaminantes primarios del aire..... | 44 |
| Cuadro 3.2: | Resumen del laboratorio de leyes de los gases..... | 66 |
| Cuadro 4.1a: | Análisis fisico-químicos promedios de aguas residuales de industrias de El Salvador..... | 82 |
| Cuadro 4.1b: | Análisis fisico-químicos promedios de aguas residuales de industrias de El Salvador..... | 83 |
| Cuadro 4.2: | Datos sobre la disociación del pentóxi- do de nitrógeno..... | 93 |
| Cuadro 4.3: | Sustancias químicas empleadas o genera- das en los laboratorios de fisicoquími- ca II..... | 125 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Cuadro 5.1: | Efectos observados de algunas partículas en el aire a diferentes niveles de concentración..... | 138 |
| Cuadro 5.2: | Algunos efectos del monóxido de carbono en la salud a diferentes concentraciones y tiempos de exposición..... | 140 |
| Cuadro 5.3: | Efectos de la carboxihemoglobina en la salud a concentraciones entre menor a 1% p/p y 80% p/p..... | 141 |
| Cuadro 5.4: | Efectos del SO ₂ en la salud y el ambiente a diversas concentraciones y tiempos de exposición..... | 142 |
| Cuadro 5.5: | Algunos efectos del NO ₂ en la salud..... | 143 |
| Cuadro 5.6: | Efectos del ozono a diferentes concentraciones y tiempos de exposición sobre la salud y el medio ambiente..... | 144 |
| Cuadro 5.7: | Límites promedios máximos permisibles para contaminantes atmosféricos más comunes..... | 145 |
| Cuadro 5.8: | Promedios de límites máximos de sustancias de la industria de la galvanotecnia permisibles en efluentes líquidos..... | 147 |
| Cuadro 5.9: | Efectos de algunos hidrocarburos en la salud..... | 148 |
| Cuadro 5.10: | Promedios de límites máximos para desechos líquidos domésticos descargados en un cuerpo receptor..... | 149 |
| Cuadro 5.11: | Promedios de valores máximos permisibles para desechos líquidos industriales descargados en un cuerpo receptor..... | 150 |
| Cuadro 5.12: | Clasificación general de cuerpos receptores de descargas de aguas residuales..... | 151 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Cuadro 5.13: | Valores máximos permisibles de sustancias tóxicas en cuerpos receptores..... | 152 |
| Cuadro 5.14: | Valores promedios máximos permisibles de plaguicidas en cuerpos receptores..... | 153 |
| Cuadro 6.1: | Volumen y estructura del destino de la energía primaria por forma de energía primaria para 1992 y 1993..... | 196 |
| Cuadro 6.2: | Consumo neto de energía secundaria por producto para los años 1992 y 1993..... | 198 |
| Cuadro 6.3: | Consumo neto de energía secundaria por sector..... | 198 |
| Cuadro 6.4: | Promedio diario de importación de petróleo en El Salvador..... | 207 |
| Cuadro 6.5: | Emisiones de bióxido de carbono no biogénico en El Salvador (miles de toneladas)..... | 208 |
| Cuadro 6.6: | Campo de trabajo de una EIA..... | 214 |
| Cuadro 8.1: | Distribución mundial del agua..... | 259 |
| Cuadro 8.2: | Parámetros de calidad del agua..... | 263 |
| Cuadro 8.3: | Resumen de las prácticas de laboratorio realizadas en Operaciones Unitarias I..... | 280 |
| Cuadro 9.1: | Espectro electromagnético..... | 292 |
| Cuadro 10.1: | Adsorbentes de uso común y sus aplicaciones en la industria..... | 329 |
| Cuadro 10.2: | Operaciones de Transferencia de Masa empleadas en el control de la contaminación..... | 331 |
| Cuadro 10.3: | Datos de equilibrio para el sistema agua - amoníaco..... | 339 |
| Cuadro 10.4: | Resumen de prácticas de laboratorio de Operaciones Unitarias III..... | 344 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 11.1: Situaciones en la selección del equipo para controlar partículas..... | 362 |
| Cuadro 11.2: Aplicaciones de operaciones de separaciones mecánicas en el tratamiento de aguas residuales..... | 367 |
| Cuadro 11.3: Compañías que producen materiales biodegradables..... | 373 |
| Cuadro 11.4: Composición de los desechos sólidos en el Area Metropolitana de San Salvador..... | 374 |
| Cuadro 11.5: Cuadro resumen de los laboratorios de procesos de separación y de manejo de sólidos..... | 389 |
| Cuadro 12.1: Análisis proximal de la composición química del suero de queso..... | 395 |
| Cuadro 12.2: Parámetros de contaminación de aguas residuales de la industria láctea..... | 395 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 2.1: | Pirámide de reacción vrs. pirámide de anticipación en el control de la contaminación ambiental..... | 29 |
| Figura 2.2: | (A) Proceso industrial tradicional y (B) proceso industrial tradicional empleando TMLDP..... | 30 |
| Figura 3.1: | Interrelaciones de energía en diferentes cambios en la naturaleza..... | 51 |
| Figura 4.1: | Diagrama de equilibrio naftaleno-benceno..... | 90 |
| Figura 4.2: | Diagrama de equilibrio líquido-vapor para benceno y tolueno..... | 95 |
| Figura 4.3: | Esquema para la resolución del problema 4..... | 96 |
| Figura 5.1: | Técnicas de minimización de residuos..... | 155 |
| Figura 5.2: | Esquema para la resolución del problema 5..... | 171 |
| Figura 5.3: | Esquema para la resolución del problema 6..... | 173 |
| Figura 5.4: | Esquema para la resolución del problema 8..... | 179 |
| Figura 6.1: | Degradación de energía en calor..... | 202 |
| Figura 6.2: | Esquema del ciclo mejorado de refrigeración..... | 223 |
| Figura 6.3: | Esquema de un ciclo de refrigeración sin aplicar TMLDP..... | 224 |
| Figura 6.4: | Esquema para la resolución del problema 4..... | 227 |
| Figura 7.1: | Diagrama entalpía/concentración para H_2SO_4/H_2O | 248 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Figura 8.1: | Ciclo del agua..... | 260 |
| Figura 8.2: | Esquema para la resolución del problema 1..... | 268 |
| Figura 8.3: | Esquema para la resolución del problema 2..... | 270 |
| Figura 8.4: | Gráfica para el cálculo del factor k | 271 |
| Figura 9.2: | Esquema de una cocina solar..... | 298 |
| Figura 10.1: | Torre de aspersion para absorción de gases..... | 324 |
| Figura 10.2: | Torre de platos para absorción de gases..... | 325 |
| Figura 10.3: | Torre empacada para absorción de gases..... | 326 |
| Figura 10.4: | Adsorbedor de lecho fijo..... | 330 |
| Figura 10.5: | Adsorbedor de tanque agitado..... | 330 |
| Figura 10.6: | Esquema para la resolución del problema 1..... | 333 |
| Figura 10.7: | Gráfica para la resolución del problema 3..... | 340 |
| Figura 11.1: | Sedimentador de partículas por gravedad..... | 356 |
| Figura 11.2: | Separador ciclónico para partículas..... | 357 |
| Figura 11.3: | Filtros de bolsa para partículas..... | 359 |
| Figura 11.4: | Precipitador electrostático para partículas..... | 360 |
| Figura 11.5: | Partes de un separador ciclónico..... | 380 |
| Figura 11.6: | Gráfica de eficiencia de un separador ciclónico..... | 382 |
| Figura 12.1: | Esquema de producción de leche fluida..... | 396 |
| Figura 12.2: | Esquema del procesamiento de leche fluida y queso..... | 400 |

INTRODUCCION

El ser humano se encuentra estrechamente ligado a su medio ambiente, así, las actividades realizadas por el hombre afectan directamente su entorno natural, ya sea positiva o negativamente, siendo el mismo género humano quien recibe las consecuencias de la transformación ejecutada.

El acelerado desarrollo de la ciencia y la tecnología, aunado a una mayor demanda para satisfacer necesidades básicas de la población, han generado un deterioro alarmante en los recursos disponibles del planeta. Muestra de ello es el efecto de invernadero que provoca un calentamiento mundial, el agotamiento de la capa de ozono por el uso excesivo de clorofluorocarbonos, la contaminación de aguas superficiales por efluentes líquidos, deforestación con alarmante pérdida de la biodiversidad, etc.

El Salvador ha sido gravemente afectado por el mal uso de los recursos naturales, sus efectos se ponen de manifiesto a través de la deforestación, aumento de enfermedades respiratorias, bajo potencial de tierras de cultivo, disminución de los mantos acuíferos, etc.

El país necesita implementar un conjunto de medidas que conforman lo que se ha llamado, a nivel mundial, un modelo de "Desarrollo Sustentable", entendiéndose bajo dicho concepto aquel desarrollo que "satisfaga las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras". La Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente Para América Latina y El Caribe (1991), le dio una concepción más operativa y funcional al manifestar que, el propósito fundamental de este con-

cepto, es la satisfacción de las necesidades esenciales de la población, en especial de los sectores menos favorecidos (SEMA, 1994a).

Las "Tecnologías Más/Limpias de Producción", constituyen un cambio en la manera tradicional de efectuar los procesos industriales. Es decir, que proponen técnicas preventivas de la contaminación, tales como cambios en el producto, control de materias primas, innovaciones tecnológicas, etc. lo cual se traduce, en un proceso industrial, en nuevas formulaciones, cambios de equipo, reciclaje, etc., lo cual permite un aprovechamiento racional de los recursos.

Algo importante que debe ser realizado en una industria determinada es la auditoría de residuos. Esta permite medir los residuos provenientes de una planta, proceso o una operación unitaria. A través de éstas puede determinarse el origen, cantidad, composición y las posibles formas de los residuos, además de lograr su identificación.

A pesar de lo anterior, debe tenerse en cuenta que las "Tecnologías Más/Limpias de Producción" no constituyen por sí mismas una panacea para resolver los problemas del medio ambiente, debido a que éstos no sólo tienen su origen en la tecnología. En ese sentido, las TMLDP constituyen un aporte tecnológico que debe vincularse con aspectos económicos, políticos, sociales, etc. en la solución de la problemática ambiental. Es decir, que sin un enfoque integral no es posible enfrentar adecuadamente la crisis del medio ambiente.

El presente Trabajo de Graduación tiene como objetivos principales, describir la problemática ambiental de El Salvador,

establecer el marco conceptual de las "Tecnologías Más/Limpias de Producción", proponiendo cambios en los programas y contenidos de las asignaturas Fisicoquímica I y II, Balance de Materia y Energía, Termodinámica Química I y II, Operaciones Unitarias I, II y III, y Procesos de Separación y de Manejo de Sólidos; tendientes a la introducción del concepto y práctica de las "Tecnologías Más/Limpias de Producción". Además, se presentan problemas resueltos con temática ambiental y auditorías de las prácticas de laboratorio correspondientes a las asignaturas antes mencionadas.

CAPITULO I
PANORAMA GENERAL DE LA PROBLEMATICA AMBIENTAL
EN EL SALVADOR

1.0 INTRODUCCION

La crisis ambiental de El Salvador tiene sus raíces en el acelerado proceso de cambios en el modelo económico, que se dio como consecuencia de la síntesis de dos culturas: la americana y la europea. Así, en solamente 500 años se pasó de la organización autóctona, al modelo económico capitalista. Las consecuencias de este abrupto cambio se manifiestan en todo el entorno natural del país (UES, 1995).

Al igual que toda Centroamérica, El Salvador atraviesa por problemas de tipo ambiental. Factores como una alta tasa de densidad poblacional, cuyo valor de 285 hab/Km² (OPS/OMS, 1993a) es la más elevada de Latinoamérica, un ingreso per cápita anual de \$1,102.00 U.S. que en 1992 fue el más bajo del continente, la falta de concientización respecto al ambiente, la ausencia de leyes ambientales, la falta de educación de la población, etc., hacen que dichos problemas sean más graves que en el resto de la región (UES, 1995).

El elevado crecimiento poblacional del país produce consecuencias directas sobre el medio y la salud de las personas. Por su causa se incrementa la deforestación de bosques y tierras de cultivo produciéndose mayor erosión, se contaminan ríos por efluentes industriales, domésticos y por el uso de plaguicidas, lo cual, junto a la falta de servicios sanitarios básicos, generan una alta tasa de mortalidad infantil especialmente en el área rural entre otros problemas, siendo las enfermedades gastrointestinales las que han ocupado por muchos años los primeros lugares. La expansión desordenada de las ciudades genera grandes cantidades de desechos que, al no ser totalmente recolectados, provocan enfermedades que llevan aún a la muerte. Esta situación se agrava debido a las grandes cantidades de humo negro procedente principalmen

te de las unidades del servicio público, así como de emisiones industriales, quema de basura, etc, que causa enfermedades en las vías respiratorias.

A continuación se proporciona otra serie de datos que han sido tomados de la Estrategia Nacional del Medio Ambiente - (SEMA, 1994a), a menos que se indique lo contrario

1.1 FLORA.

Para 1978 El Salvador contaba con un 12.4% de bosques y matorrales en su área superficial, el 0.6% eran plantaciones forestales y menos del 3% estaban en condiciones de vegetación natural o primaria (Procuraduría Para los Derechos Humanos del Medio Ambiente, 1992). Para los años 80 se deforestó un aproximado del 15% de la cantidad existente en el país y los bosques tropicales en este momento poseen menos del 2% de la superficie original (OPS/OMS, 1993a).

Se consumen 4.6 millones de metros cúbicos de leña y 0.3 millones de metros cúbicos de postes durmientes y madera aserrada por año para producir energía. Si no se ejecutan acciones que tiendan a corregir este problema, los bosques se terminarán (exceptuando los cafetales) para el año 2,004.

La gran deforestación del país promueve la pérdida de otros recursos naturales como suelos por erosión, con su consiguiente pérdida de productividad, disminución de la capacidad de las cuencas hidrográficas para almacenar aguas subterráneas, alteraciones del clima, pérdida de la biodiversidad y pérdida de opciones para el turismo, la recreación y la educación.

Causas de la deforestación en el país son la ampliación de la frontera agrícola (sustituyendo bosques por cultivos como café, algodón, caña de azúcar, agricultura de subsistencia y ganadería extensiva), la explotación desmedida de los manglares, el aumento poblacional, etc.

1.2 FAUNA.

En términos generales no existen leyes que protejan este recurso. Para 1978 se informó la extinción de 4 especies de mamíferos y dos de aves; además corren el mismo peligro las siguientes especies: 21 de reptiles, 78 de aves, 18 de mamíferos, 5 de peces de agua dulce y 3 de anfibios (Procuraduría Para los Derechos Humanos del Medio Ambiente, 1992).

1.3 RECURSOS COSTEROS Y MARINOS.

La franja costero-marina comprende desde el ecotono o zona de transición hasta las 200 millas marinas definidas en la constitución política. Estos recursos están constituidos por la franja costera de transición, los manglares, esteros, playas, arrecifes, acantilados marinos, bocanas, el océano y su fauna asociada, incluyendo los recursos pesqueros.

Para 1989 solamente existían 26,000 hectáreas de manglares, a diferencia de los años 50, en donde existían 100,000 hectáreas. La sedimentación de los esteros ocurre a una velocidad mayor a las 500 ton/ha/año.

La planta Geotérmica de Ahuachapán (cuyas aguas residuales contienen arsénico entre 7.6 y 12.1 ppm y boro entre 138 hasta 161 ppm) contaminan el medio marino de Garita Palmera con un efluente que oscila entre 300 a 400 l/seg.

El derrame de petróleo de la refinería de Acajutla, en el año 1994, amenaza el arrecife de coral ubicado en los Cóbanos, departamento de Sonsonate. Además, la pesca del camarón está más allá de la captura máxima sostenible (cuyo valor es de 3,500 TM/año).

El deterioro de estos recursos afecta el ingreso económico de unos 702,882 habitantes de los 29 municipios costeros existentes en El Salvador. También se puede producir el cierre de empresas productivas que traen como consecuencia desempleo y por ende, crisis en familias salvadoreñas.

1.4 SUELOS.

Un 83% de la superficie del país se encuentra dañada por la erosión, produciéndose pérdidas de 20 a 30 ton/ha/año de suelos con cultivos limpios. El cuadro 1.1 presenta la clasificación general de suelos, el cual muestra que las clases de la I a la IV son adecuadas para el cultivo, mientras que las clases de la V a la VIII no lo son. Tomando como base la clasificación anterior, el cuadro 1.2 muestra el potencial agropecuario de las tierras en El Salvador, siendo el 53% de estas tierras no apto para el cultivo de alimentos.

El problema del suelo puede caracterizarse a través de: a) erosión y pérdida de fertilidad; b) modificación de su naturaleza física y c) deterioro químico-biológico.

Al deteriorarse los suelos se producen otros efectos como la modificación drástica del régimen hidrológico de las cuencas hidrográficas, la contaminación de los ecosistemas acuáticos, menor disposición de agua para usos domésticos, agrícola-

CUADRO 1.1. CLASIFICACION GENERAL Y USOS DE SUELOS

| Clase | Características de la clase | Usos |
|-------|---|--|
| I | Tierra excelente, plana y bien drenada | Agricultura |
| II | Buena tierra con limitaciones menores como pendiente ligera, suelo arenoso o drenaje deficiente | Agricultura Pastura |
| III | Terreno moderadamente bueno con limitantes importantes en suelo, pendiente o drenaje | Agricultura Pastura Cuenca colectora |
| IV | Tierra regular, limitaciones severas en suelo, pendiente o drenaje | Pastura y agricultura limitadas, huertos e industria urbana |
| V | Rocosa; suelo somero, humedad o pendiente alta imposibilitan la agricultura | Apacentamiento Silvicultura Cuenca colectora |
| VI | Limitaciones moderadas para apacentamiento (ganadería) y silvicultura | Apacentamiento Silvicultura, Cuenca colectora e industria urbana |
| VII | Limitaciones severas para apacentamientos (ganadería) y silvicultura | Silvicultura, recreación, vida silvestre |
| VIII | Inadecuada para apacentamiento y silvicultura a causa de fuertes pendientes, suelo somero, carencia de agua o falta de agua | Recreación Paisaje estético Vida silvestre Industria urbana |

FUENTE: TURK Y WITTES (1985)

CUADRO 1.2. POTENCIAL AGROPECUARIO DE LAS TIERRAS DE
EL SALVADOR

| Aptitud natural | Superficie (ha) | % del territorio nacional | Descripción de las características |
|---|-----------------|---------------------------|---|
| Tierras aptas para agricultura intensiva | 354,409 | 18.84 | Comprenden las clases de tierras I, II y III texturas gruesas y/o extractos discontinuos de materiales finos que afectan la profundidad efectiva no menor de 80 cm. |
| Tierras aptas para agricultura semi-intensiva | 271,640 | 12.91 | Constituidas por las tierras de la clase IV y asociaciones con las clases II, III, IV y VI. Drenaje limitado y pedregosidad. Apropriadas para cultivos anuales. |
| Tierras aptas para ganadería | 103,953 | 4.94 | Comprende las tierras de la clase V y sus asociaciones con las clases III, IV y VII. Limitaciones texturales y de profundidad. Excelentes para actividad ganadera. |
| Tierras aptas para cultivos permanentes | 235,858 | 11.21 | Son tierras de las clases VI y asociaciones con las clases IV y VII. Susceptibilidad erosiva, pedregosidad moderada. Apropriadas para café o frutales |

...CONTINUACION CUADRO 1.2

| Superficie total | 2'104,100 | 100% | |
|---|-----------|-------|---|
| <p>Tierras de vocación forestal</p> | 739,488 | 35.15 | <p>Comprende las tierras de la clase VII y algunas de la clase VIII y algunas de las clases V y VI. Buena aptitud erosiva y pedregosidad superficial. Inapropiadas para uso agrícola.</p> |
| <p>Tierras de protección</p> | 276,927 | 13.16 | <p>Conformadas por tierras de la clase VIII y asociaciones con la clase VII. Presentan fuertes problemas de erosión. Incluye superficies fuertemente degradadas, bancos arenosos estériles y el substrato de los bosques salados.</p> |
| <p>Superficies para usos agrícolas no agroparcelarios ni forestales</p> | 121,825 | 5.79 | <p>Están constituidas por extensiones fértils ocupadas por torales para extensiones fértils para cuerpos de agua, lagunas, áreas urbanas, industriales e infraestructura de servicios.</p> |

FUENTE: SEMA (1982)

las, etc. Se ven también afectados los ingresos de los agricultores, pues no obtienen los mismos resultados de su siembra.

Causas de la degradación de los suelos son la necesidad de producir cada vez mayores cantidades de alimentos, costos de producción, el nivel cultural de la población rural (el 47% de los trabajadores son analfabetas y el 42% de los propietarios de tierra lo son, funcionalmente hablando), etc.

Entre 1980 y 1989 El Salvador fue el mayor importador de plaguicidas por área del país (301 Kg/Km²) a nivel centroamericano, aumentando el daño en los suelos al cambiar su composición química. Además, posee el menor número de plaguicidas prohibidos y restringidos en Centroamérica (OPS/OMS, 1993). Los plaguicidas prohibidos en El Salvador debido a su impacto negativo son: toxafeno, clordano, heptacloro, clordimeform, DDT, aldrin, dieldrin, endrin y paratión (González, 1995).

Como plaguicidas ha de entenderse a un grupo muy amplio de sustancias químicas consideradas indispensables para la producción agrícola y el control de plagas que afecten la producción o la salud humana y animal, estimándose que existen alrededor de 1,500 principios activos de plaguicidas y unos 60,000 preparados comerciales (Jenkins, 1995).

Se ha determinado que ciertos plaguicidas son cancerígenos para el ser humano, como los compuestos arsenicales, otros como dibromuro de etileno, clorofenoles, dicloropropeno, etc. Por otra parte, la exposición a los plaguicidas puede causar afecciones de corto, mediano y largo plazo que no se incluyen en cánceres ni en intoxicaciones agudas, es decir,

irritación de mucosas, alteraciones endócrinas sutiles, efectos neurológicos, etc (Goldenman y Rengan, 1988; Jenkins, 1995).

Como producto del uso indiscriminado de plaguicidas en El Salvador, se tiene además los siguientes efectos: bioacumulación de residuos de pesticidas en la cadena alimenticia, en tejidos humanos y en la leche materna; mortandad de especies acuáticas, animales domésticos y ganado (Jenkins, 1995).

1.5 AGUA.

El exceso de uso, la deforestación de cuencas hidrográficas y la variación en los lugares de recarga afectan grandemente los mantos de agua subterráneos, que son los preferidos para consumo humano. En los años 70 los mantos acuíferos en el área metropolitana de San Salvador disminuyeron un metro por año (Procuraduría Para los Derechos Humanos del Medio Ambiente, 1992).

En cuanto a la disponibilidad de los recursos hídricos (incluyendo aguas subterráneas), El Salvador posee un caudal unitario de 30 l/s/Km² y una disponibilidad por habitante de 3,302 m³/hab, que son los más bajos del istmo centroamericano. Sin embargo, se reconoce que el país cuenta con un potencial hídrico aceptable en términos cuantitativos. A pesar de ello, el hecho de que aproximadamente el 45% de la población no cuente con abastecimiento público, genera el deterioro en las zonas de recarga hídrica y la contaminación generalizada en los cuerpos de agua, produciendo a la vez, una rápida disminución en la disponibilidad del agua para usos domésticos, industriales y agrícolas.

Para 1993 el 65% de la disponibilidad total bruta de agua fue producida por el río Lempa, el resto fue proporcionada por 360 medianos y pequeños ríos que desembocan en el Océano Pacífico. El cuadro 1.3 muestra la comparación entre la disponibilidad del agua en los principales ríos de El Salvador para los años 1985 y 1993, así como la disminución en la disponibilidad de la misma en ese período.

Para 1970 se determinó que el agua era el recurso natural más contaminado en el país, así, un 30% de los ríos estaban altamente contaminados, 60% moderadamente y solamente el 10% sin contaminación.

Los factores más importantes causantes de la contaminación hídrica son: a) la deforestación y el mal uso y manejo de los suelos; b) la falta de una política para el desarrollo y manejo integral de los recursos hídricos y de las cuencas hidrográficas; c) falta de claridad en las políticas de desarrollo por sector o usuario; d) debilidad de mecanismos y escasez de recursos para aplicar eficientemente las regulaciones; e) deficiencia del sistema tarifario actual; f) falta de seguridad jurídica en cuanto al derecho de uso del agua y g) falta de información técnica actualizada sobre cuestiones cualitativas y cuantitativas del recurso.

El deterioro de los recursos hídricos trae consecuencias como disminución de la salud de la población, pérdida del potencial hidroeléctrico, pérdida de la biodiversidad acuática, reducción en las posibilidades del uso futuro de los recursos y menores oportunidades de lograr un desarrollo sustentable de la agricultura.

CUADRO 1.3. DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LOS AÑOS 1985 Y 1993
(EN MILLONES DE m³), Y SU PORCENTAJE DE REDUC-
CION

| Río (*) | 1985 | 1996 | % de reducción |
|---|-----------------|--------------|-------------------|
| Lempa(A) | 11,260 | 4,482 | 60.2 |
| Paz(B) | 938 | 567 | 39.6 |
| Sacramento Sunza(C) | 398.1 | 240 | 39.7 |
| Sensunapán- San Pedro(D) | 805.4 | 341 | 57.7 |
| Mandigo- Tihuapa(E) | 379 | 129 | 66.0 |
| Comalapa- Guayabi(F) | 960.6 | 300 | 68.8 |
| Afluentes a la Bahía de Jiquilisco(G) | 649.1 | 127 | 80.4 |
| Grande de San Miguel(H) | 1,161 | 334 | 71.2 |
| Afluentes al Golfo de Fonseca(I) | 298 | 69 | 76.8 |
| Sirama- Goascorán(J) | 1,123 | 350 | 68.9 |
| Total | 17,972.2 | 6,939 | 61.4 |

(*) Las letras entre paréntesis indican la ubicación geográfica de los ríos, que se muestra en la figura A1 del apéndice A.

FUENTE: CANAS (1996)

Entre los principales agentes contaminantes de los recursos hídricos se mencionan:

- a) Descargas de residuos orgánicos de procesos industriales sin tratamiento, que para 1990 presentaban una contaminación en términos de población equivalente de 4,500,000 habitantes. Las industrias que más contaminan en ese aspecto son, en orden descendente: beneficiado de café, ingenios azucareros, beneficiado de henequén, producción de alcohol etílico, tenerías, lácteos, textileras, mataderos y fábricas de papel y cartón (CESTA, 1990). El cuadro 1.4 muestra la contaminación producida por dichas industrias en términos de población equivalente. Además de los efluentes industriales, las descargas de aguas negras municipales también constituyen una fuente de contaminación orgánica.

CUADRO 1.4. INDUSTRIAS SALVADOREÑAS QUE MAS CONTAMINAN CON SUS AGUAS DE DESECHO

| Industria | Carga (Población equivalente) | |
|------------------------|-------------------------------|------|
| Beneficios de café | 2,000,000 | Hab. |
| Ingenios azucareros | 1,600,000 | Hab. |
| Beneficios de henequén | 695,000 | Hab. |
| Destilerías de alcohol | 194,000 | Hab. |
| Curtiembres | 86,000 | Hab. |
| Industria Láctea | 24,200 | Hab. |
| Industria Textil | 23,000 | Hab. |
| Mataderos | 18,500 | Hab. |
| Industria Papelera | 11,400 | Hab. |
| Total de la población | 4500,000 | Hab. |

FUENTE: CASTILLO Y MENA (1993)

- b) Otras fuentes de contaminación principalmente de naturaleza inorgánica son: aplicación indiscriminada de agroquímicos, electrorecubrimientos, fabricación de pinturas, producción de ácido sulfúrico, etc.

1.6 ABASTECIMIENTO DE AGUA.

Del 54.8% de la población que cuenta con abastecimiento público, el 95.5% lo recibe a través de tuberías públicas, el restante lo obtiene sobre todo de pozos (OPS/OMS, 1993a). En 1991 El Salvador obtuvo el más bajo índice, a nivel centroamericano, de abastecimiento de agua a la población, un total de 41%. De éste, el 79% era para la población urbana y el 10% para la rural (OPS/OMS, 1992).

1.7 ALCANTARILLADOS.

De la población total del país, solamente un 32.8% cuenta con este servicio y un 24.1% emplea letrinas. El 59.4% de las poblaciones urbanas y periurbanas están conectadas a este sistema. De la población rural el 51.1% posee letrinas y un 48.1% lo hacen al aire libre (OPS/OMS, 1993a).

1.8 AIRE.

Las partículas en suspensión, en el área metropolitana de San Salvador, superan los límites permisibles establecidos por la Agencia Para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA), cuyo valor es de 100 ug/m³. El sulfuro de hidrógeno incrementó su valor, pero no supera todavía el establecido por la EPA (70 ug/m³) (Procuraduría Para los Derechos Humanos del Medio Ambiente, 1992).

Respecto a la lluvia ácida, en la zona metropolitana de San Salvador (entre 1990 y 1991) se obtuvieron, a partir de muestras de agua lluvia, los siguientes valores: de 1.03 a 5.0 ppm de CO_2 , de 0.1 a 2.8 ppm de nitratos y entre 0.3 y 10 ppm de sulfatos. El análisis realizado indicó que el área de Soyapango fue la de mayor acidez (5.51 pH como promedio).

Teniendo en cuenta que el pH normal del agua lluvia es de 5.6, se considera que el problema de lluvia ácida no es tan grave, sin embargo, los datos recabados sugieren una tendencia al aumento en la acidez de la lluvia (Pérez y Reynado, 1991).

1.9 RESIDUOS SOLIDOS.

En el área metropolitana de San Salvador se generan aproximadamente 1,500 toneladas de basura por día, de las cuales se recolecta un 65%, convirtiéndose el resto en focos de contaminación (Alcaldía Municipal de San Salvador, 1995).

El mayor porcentaje de residuos corresponde a desechos orgánicos (57.9%), seguido por residuos de papel (18.9%) y de plásticos (11.3%), el resto lo constituyen residuos de vidrios, metal, etc (Alcaldía Municipal de San Salvador, 1995). El cuadro 1.5 muestra la cobertura de recolección en el área metropolitana de San Salvador estimada para el año 1993 (SEMA, 1994b).

El botadero existente en Apopa, contamina una importante zona de recarga acuífera y no cumple con los requerimientos establecidos para los rellenos sanitarios (SEMA, 1994b).

CUADRO 1.5. DATOS SOBRE LA RECOLECCION DE BASURA EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR EN 1993

| Municipio | Producción de basura (Ton/día) | Cantidad no recolectada (Ton/día) | porcentaje no recolectado |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| San Salvador | 460 | 73.6 | 16.00 |
| Mejicanos | 87 | 39.2 | 45.00 |
| Soyapango | 151 | 147.9 | 98.00 |
| Ciudad Delgado | 63 | 32.8 | 52.00 |
| Ayutuxtepeque | 13 | 0.5 | 0.36 |
| Cuscatancingo | 33 | 7.5 | 22.60 |
| Ilopango | 57 | 32.5 | 56.90 |
| San Marcos | 34 | 8.2 | 24.30 |
| Nueva San Salvador | 70 | 34.3 | 4.90 |
| Antiguo Cuscatlán | 18 | 1.8 | 9.50 |
| Santo Tomás | 15 | 3.3 | 14.70 |
| Santiago Texacuangos | 10 | 1.0 | 9.60 |
| Totales | 1,011 | 382.0 | 62.22 |

FUENTE: SEMA (1994a)

1.10 RESIDUOS HOSPITALARIOS.

En El Salvador no se da la práctica de segregación de los diferentes tipos de residuos, por lo cual se mezclan los domésticos con los hospitalarios. Solamente el Hospital de Especialidades y el Hospital Militar someten sus desechos a incineración. Dicho problema es agravado por la utilización creciente de materiales descartables para las prácticas médicas, incrementando la cantidad de residuos hospitalarios en función del tiempo (OPS/OMS, ASDI, ICAITI, 1993; MSPAS, 1994).

1.11 MORTALIDAD Y MORBILIDAD.

Para 1992 se reportaban como principales índices de morbilidad las enfermedades gastrointestinales, siendo las principales parasitismo intestinal, enfermedades diarréicas y disentería amebiana (OPS/OMS, 1993a).

Solamente dos años más tarde (1994) dichos índices habían cambiado y la tendencia mayor era hacia enfermedades de las vías respiratorias, de las cuales, se mencionan como principales la rinofaringitis aguda (resfrío común) e infecciones agudas en las vías respiratorias. Durante este año, las enfermedades gastrointestinales ocupaban el segundo lugar (Ministerio de Salud, 1990-1994).

Los cuadros 1.6 y 1.7 muestran las primeras diez causas de consulta médica por cada 1,000 habitantes y 1,000 niños a nivel nacional, respectivamente, evidenciando el incremento de las enfermedades respiratorias, en gran medida como consecuencia de la contaminación del aire producida por automotores, fábricas, etc. (en el capítulo V, ver los cuadros 5.1 a 5.6 y 5.8).

CUADRO 1.6. PRIMERAS DIEZ CAUSAS DE CONSULTAS MEDICAS POR
CADA MIL HABITANTES EN EL SALVADOR EN 1990

| No. | Causas de primeras consultas | Número de consultas | Porcentaje de consultas |
|-----|--|---------------------|-------------------------|
| 1 | Infecciones agudas en las vías respiratorias | 198,864 | 8.5 |
| 2 | Rinofaringitis aguda | 119,346 | 5.1 |
| 3 | Infección intestinal mal definida | 116,960 | 5.0 |
| 4 | Embarazo normal | 106,366 | 4.5 |
| 5 | Trastornos de la uretra y del aparato urinario | 93,862 | 4.0 |
| 6 | Parasitosis intestinal | 87,416 | 3.7 |
| 7 | Influenza | 77,050 | 3.3 |
| 8 | Control de la salud del lactante o el niño | 67,612 | 2.9 |
| 9 | Bronquitis aguda | 62,762 | 2.7 |
| 10 | Faringitis aguda | 54,416 | 2.3 |
| | Subtotal | 984,654 | 41.9 |
| | Otras causas de consulta | 1,367,056 | 58.1 |
| | Total general | 2,351,710 | 100.0 |

FUENTE: SEMA (1994a)

CUADRO 1.7. PRIMERAS DIEZ CAUSAS DE CONSULTAS MEDICAS POR
CADA MIL NIÑOS MENORES DE CUATRO AÑOS EN EL
SALVADOR EN 1990

| No. | Causas de primeras consultas | Número de consultas | Porcentaje de consultas |
|-----|--|---------------------|-------------------------|
| 1 | Infecciones agudas de las vías respiratorias | 73,258 | 16.8 |
| 2 | Rinofaringitis aguda | 41,588 | 9.5 |
| 3 | Infección intestinal mal definida | 38,768 | 8.9 |
| 4 | Parasitosis intestinal | 26,362 | 6.1 |
| 5 | Bronquitis aguda | 24,514 | 5.6 |
| 6 | Influenza | 21,334 | 4.9 |
| 7 | Control de la salud del lactante o el niño | 14,582 | 3.3 |
| 8 | Faringitis aguda | 13,776 | 3.2 |
| 9 | Bronconeumonía | 12,626 | 2.9 |
| 10 | Infecciones parasitarias | 11,168 | 2.6 |
| | Subtotal | 277,960 | 63.8 |
| | Otras causas de consulta | 157,486 | 36.2 |
| | Total General | 435,446 | 100.0 |

FUENTE: SEMA (1994a)

CAPITULO II
MARCO TEORICO PARA LA APLICACION DE LAS "TECNOLOGIAS
MAS/LIMPIAS DE PRODUCCION"

2.0 MARCO REFERENCIAL PARA LA APLICACION DE LAS "TECNOLOGIAS MAS/LIMPIAS DE PRODUCCION"

En los últimos años el desarrollo de la ciencia y la tecnología alcanza niveles insospechados en cortos períodos de tiempo; así, entre la innovación y la obsolescencia existen pocos años, el descubrimiento e invención se vuelven producto de un desarrollo corporativo que apunta hacia la competencia en el mercado. Estos hechos plantean, a su vez, una contradicción inherente a un desarrollo acelerado que conlleva a un deterioro al medio ambiente y desequilibrios sociales marcados por la pobreza creciente (Cifuentes, 1994).

En ese sentido, se da una ruptura del hábitat natural del hombre en dos vertientes: medio ambiente y sociedad, que cuestionan a la ciencia y la técnica sobre como encauzar el desarrollo, el progreso económico, la conservación del entorno natural y el respeto a la dignidad del hombre en la sociedad (Cifuentes, 1994).

No es de extrañar entonces, que se busquen urgentes soluciones, como la adopción de "Tecnologías Más/Limpias" (menos contaminantes) y eficientes, desarrolladas a través de incentivos para la protección del medio ambiente o por medio de políticas destinadas a la protección del ecosistema (Holliman, 1993 y Rolz, 1994).

Sin embargo, el papel de la tecnología en la solución de los problemas ambientales es ambiguo, e incluye por un lado, el potencial de una "Tecnología Más/Limpia" , y por el otro, el bien conocido impacto negativo de las tecnologías tradicionales sobre el medio ambiente; siendo la primera opción la que podría conducir a un desarrollo en armonía con la naturaleza (Moser, 1994b).

En consecuencia, es necesario un nuevo enfoque para ofrecer una respuesta que contribuya a resolver los problemas del medio ambiente y la sociedad, así como los económicos. Dicho enfoque corresponde al concepto del Desarrollo Sustentable, el cual se aborda en la sección 2.1.

2.1 DESARROLLO SUSTENTABLE (D.S.)

El Desarrollo Sustentable es un concepto reciente que surge de la necesidad imperante de proteger el medio ambiente y lograr un equilibrio entre el desarrollo económico y social, se define como "la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades de las futuras" (SEMA, 1994a).

A raíz de la definición anterior, surge la interrogante de cómo puede alcanzarse el Desarrollo Sustentable, la cual no es fácil de contestar dada la amplitud de la definición, sin embargo puede afirmarse que para alcanzar el D.S. se requieren condiciones estructurales y ambientales que puedan propiciarlo. De tal manera, los pilares en que descansa el D.S. son (Córdova, 1995 y Orellana, 1995):

- a) Crecimiento económico que garantice el bienestar general.
- b) Equidad social, para que el bienestar sea una constante a todo nivel, lo cual significa que el Estado debería manejar un plan para combatir la extrema pobreza.
- c) Equilibrio ambiental, que permita a las metas alcanzadas mantenerse en el futuro.
- d) Transparencia institucional, dirigida a los organismos estatales, para que las operaciones sean más eficientes y para generar un clima de confianza en el gobierno, que permita la ejecución de programas sociales para erradicar la pobreza.

De lo anterior se deduce que el D.S. es una propuesta compleja de desarrollo que involucra un cambio en el modelo económico, orientado hacia un uso eficiente de la naturaleza que permita el equilibrio de los ecosistemas; sin embargo, en los países en vías de desarrollo, sin un crecimiento económico y una equidad social, no puede haber un Desarrollo Sustentable ni mucho menos una protección al medio ambiente (Argüello, 1995 y Orellana, 1995).

2.1.1 DESARROLLO SUSTENTABLE Y TECNOLOGIA

El orientar a la sociedad hacia una propuesta para alcanzar el D.S. es algo complejo, que tiene vinculaciones estrechas con aspectos económicos, políticos, jurídicos, ambientales y, por supuesto, tecnológicos.

La tecnología es parte de una red que influye en el medio ambiente de forma que, de acuerdo al concepto de Desarrollo Sustentable, la tecnología puede ayudar a satisfacer las necesidades primordiales para un desarrollo humano adecuado, que permita brindar los medios para establecer nexos de armonía entre el hombre y la naturaleza.

En ese sentido, pueden distinguirse tres concepciones acerca del papel de la tecnología en el desarrollo humano y su incidencia en el entorno natural (Sung y Wang, 1992, y Moser, 1994b), las cuales son:

- a) La tecnología tradicional, la cual en su aplicación al medio ambiente, se enfoca hacia el tratamiento de residuos al final de las operaciones o procesos; diseñando plantas de tratamiento de residuos e instalando equipo para el control de la contaminación generada por los mismos procesos industriales.

- b) Las "Tecnologías Más/Limpias de Producción" (TMLDP), - asociadas a lo que es la Producción Limpia. Con estas tecnologías se busca reducir o eliminar el impacto negativo de los procesos industriales en el medio ambiente a través de métodos preventivos, lo cual significa evitar la contaminación antes que esta aparezca (Moser, 1994a).
- c) La Ecotecnología, es la forma más avanzada de tecnología sustentable. Esta sigue una metodología, en el diseño de procesos, fundamentada en principios que buscan la seguridad ecológica, la equidad social y la eficiencia económica (Moser, 1994b y 1994c).

De la tecnología tradicional puede decirse que no representa un camino viable hacia la sustentabilidad porque no se evitan las emisiones contaminantes y porque los tratamientos correctivos que emplea pueden resultar onerosos, sin mencionar otros inconvenientes. En el caso de la Ecotecnología, aún falta realizar más estudios e investigaciones que permitan su aplicación generalizada a través del enorme potencial que ofrece la biotecnología (Moser, 1994d).

De lo anterior puede concluirse que la producción limpia parece ser, actualmente, el camino más viable hacia el Desarrollo Sustentable hasta que la ecotecnología sea perfeccionada.

2.2 "TECNOLOGIAS MAS/LIMPIAS DE PRODUCCION" (TMLDP)

Las "Tecnologías Más/Limpias de Producción" son parte de una estrategia encaminada a la prevención de la contaminación; aumentar la eficiencia de los procesos productivos; mayor aprovechamiento de los recursos naturales, entre otros aspectos (Haynard, 1993).

La implementación de las TMLDP debe provenir de los mandos generales de una organización, generando un compromiso con la sociedad, el cual lleve a la protección del ecosistema mediante la reducción de efluentes contaminantes y/o tratamiento y disposición final de residuos que asegure una contaminación mínima; lo que en otros términos se traduce en un uso eficiente de recursos y energía, en concordancia con el Desarrollo Sustentable (Haynard, 1993).

Parte de lo anterior se muestra en la figura 2.1, en donde se tiene un esquema de dos pirámides. En la primera pirámide (de reacción) se tienen como base los métodos correctivos de contaminación, mientras que la segunda (de anticipación), se fundamenta en métodos preventivos de la contaminación, presentándose por ello invertida, en contraposición de la primera. Es la filosofía de la prevención sobre la corrección de la contaminación (Moser, 1994d). En otras palabras, representan la tecnología tradicional (que tiene como base la corrección de los contaminantes generados) contrapuesta a las "Tecnologías Más/Limpias de Producción" (que tienen como base la prevención de la contaminación, antes que la corrección de la contaminación). La prevención de la contaminación es una inversión que conlleva a un ahorro en materia prima y energía, lo que se traduce en una reducción en los costos de producción, en menores niveles de contaminación, etc.

Un ejemplo aplicado a un diagrama de flujo de un proceso industrial, como el de la figura 2.2A, (Moser, 1994d), muestra un proceso tradicional con sus correspondientes flujos de entrada de materia y energía, así como los productos de interés, efluentes y la liberación de energía. Es interesante notar que en el diagrama no hay flujos que indiquen una recuperación de materia y/o energía, lo cual conduce a pensar que

no se han aplicado técnicas que propicien un uso eficiente de los recursos. En su lugar se presenta un tratamiento de efluentes al final del proceso.

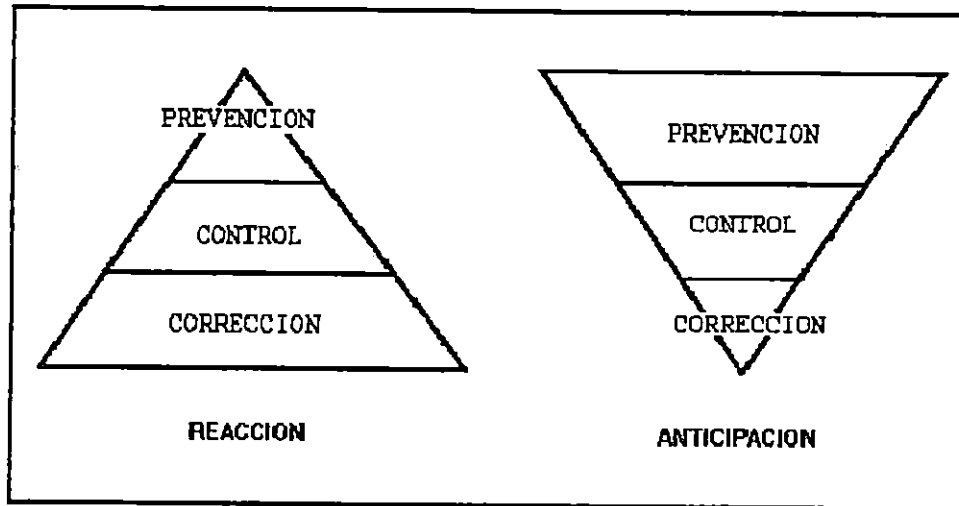


FIGURA 2.1. PIRAMIDE DE REACCION VRS. PIRAMIDE DE ANTICIPACION EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL
FUENTE: MOSER (1994b)

Para el mismo ejemplo, pero mostrando la aplicación de técnicas de minimización de residuos, tales como reducción en la fuente (cambios en el producto, en materias primas, en tecnología y en práctica de operación) y reciclaje (uso, reuso y regeneración), en la figura 2.2B, puede observarse que es posible emplear dichas técnicas para lograr un uso más eficiente de los recursos y una menor contaminación (Moser, 1994d).

Por otra parte, la aplicación de técnicas preventivas en los procesos industriales lleva hacia un medio ambiente más limpio; pero además trae consigo otros beneficios inherentes a las mismas, como son según EPA (1994) y UNEP (1994):

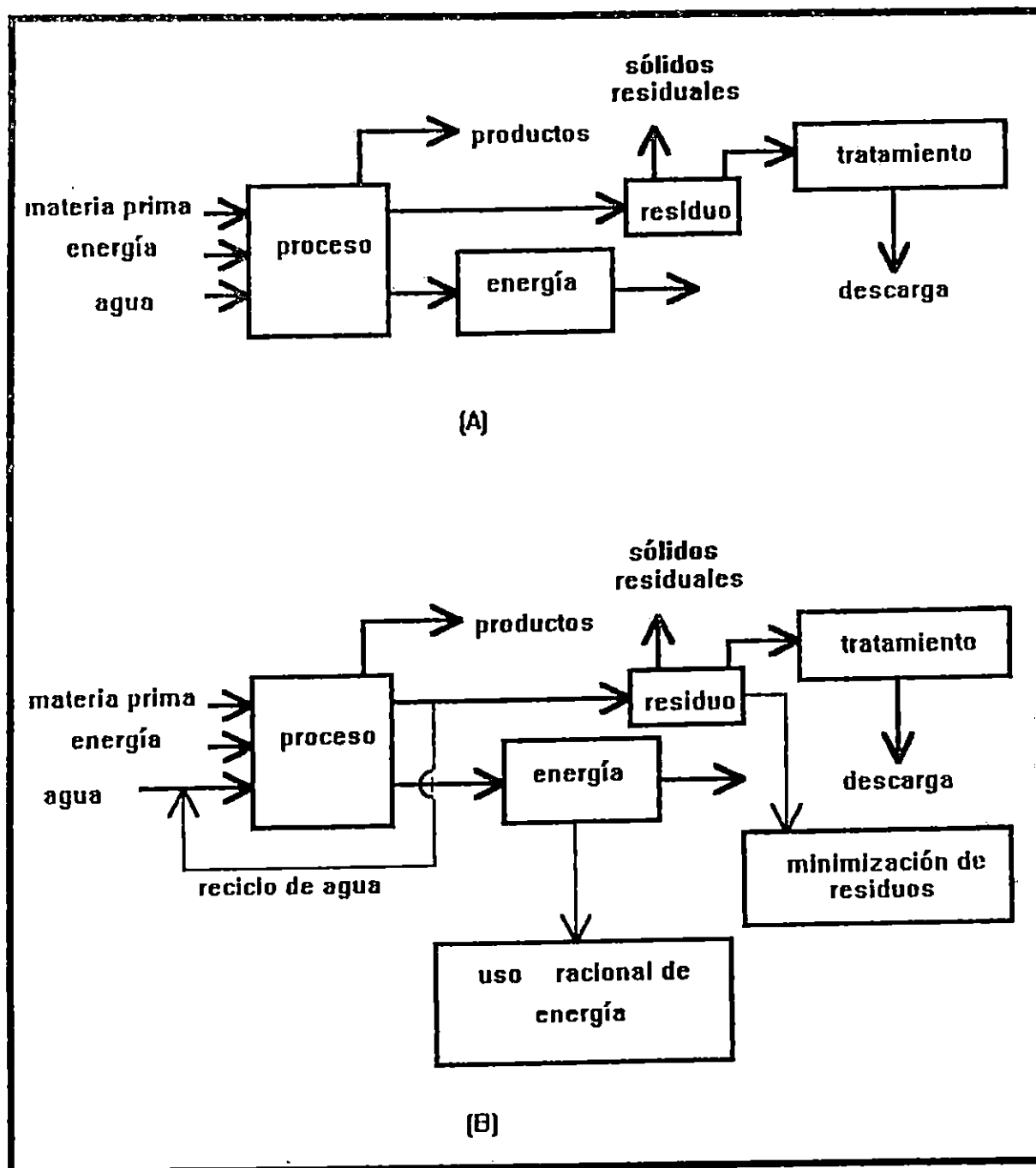


FIGURA 2.2. (A) PROCESO INDUSTRIAL TRADICIONAL y (B) PROCESO INDUSTRIAL TRADICIONAL EMPLEANDO TMLDP

FUENTE: MOSER (1994b)

- a) Menor consumo de materias primas;
- b) Disminución en la cantidad de residuos;
- c) Reducción de costos de tratamiento de desechos
- d) Aumento en la eficiencia del proceso. Para ello es necesario realizar una auditoría de residuos (véase el apéndice B, referido a la auditoría de residuos);
- e) Protección de la salud pública;
- f) Crea una buena imagen de la organización;
- g) Permite cumplir regulaciones relativas a la contaminación.

Lo anterior pone de manifiesto la importancia de aplicar técnicas preventivas de la contaminación en los procesos industriales; pero queda la duda sobre cómo anticiparse a la generación de residuos, la cual está asociada directamente con la Producción Limpia. En la sección 5.1.2 se presentan las Técnicas de Minimización de Residuos, las cuales son una herramienta en la prevención y manejo de la contaminación industrial.

En ese sentido, la Producción Limpia se ha vinculado con el concepto de minimización de residuos, el cual comprende técnicas y procedimientos encaminados a reducir los desechos, para lo cual puede consultarse el capítulo V, numeral 5.3, referido a las Técnicas de Minimización de Residuos.

2.3 INCLUSION DE LA TEMATICA AMBIENTAL EN EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE LAS ASIGNATURAS ANALIZADAS

En base al marco teórico presentado en el apartado anterior y a la necesidad de disminuir el impacto ambiental generado por las diversas industrias de El Salvador, se plantea a continuación un método de revisión para el análisis de los programas de las asignaturas Fisicoquímica I y II, Balance de Materia y Energía, Termodinámica Química I y II, Operaciones Unitarias I, II y III y Procesos de Separación y de Manejo de Sólidos, correspondientes a la carrera de Ingeniería Química, que permitirá, desde el punto de vista educativo, contribuir a alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico y social, tan necesario en la etapa atravesada por El Salvador.

2.3.1 METODO DE REVISION DE CONTENIDOS TEORICOS

- a) Se recopilaron los programas de estudio y guías de discusión de problemas de las asignaturas.
- b) Se plantean objetivos específicos en los programas de las asignaturas encaminados a introducir el concepto de las Tecnologías Más/Limpias de Producción y, a mostrar el impacto en el ambiente y la salud de los residuos industriales.
- c) Se desarrollan temas teóricos que permitan al estudiante relacionarse con la problemática ambiental, enfocados éstos en los objetivos que al respecto se planteen.
- d) Se recopilaron datos sobre límites permisibles de sustancias contaminantes en el aire, agua, suelo, etc; para po-

der comparar con las concentraciones de sustancias obtenidas en diferentes tipos de industrias.

- e) Se seleccionaron problemas de aplicación en diferentes temas para ejemplificar el uso de las "Tecnologías Más/Limpias de Producción" (TMLDP) y el efecto de diversos procesos en el ambiente y la salud humana.

Los capítulos del III al XI contienen la revisión de los programas de las asignaturas Fisicoquímica I y II, Balance de Materia y Energía, Termodinámica Química I y II, Operaciones Unitarias I, II y III y Procesos de Separación y de Manejo de Sólidos, respectivamente.

2.3.2 METODO DE REVISION DE GUIAS DE LABORATORIOS

Un aspecto que a menudo se pasa por alto, en la ejecución de los laboratorios, es el relativo a la identificación de las características de los reactivos que se manipulan.

Por ello, es necesario conocerlas para que el estudiante tome las medidas necesarias en el manejo de reactivos. Por esta razón, en cada práctica de laboratorio se definirán los peligros y riesgos específicos de las sustancias, los cuales se encontrarán en las frases R y los aspectos de prudencia, identificados a partir de las frases S (ver apéndice C).

De tal manera, la letra R indicará que se trata de una frase de peligros específicos a partir de una sustancia determinada, mientras que el número que le siga indicará el numeral de la respectiva frase. Lo mismo sucederá con las frases S de seguridad y con las combinaciones que se dieron (Merck, 1988).

Además de lo anterior, con el propósito de disminuir la contaminación en el ambiente, se darán sugerencias que permitan efectuar de manera adecuada la desactivación y disposición final de las sustancias de laboratorio. Para una mayor información al respecto se recomienda ver el apéndice D (Merck, 1988).

Los pasos empleados en la revisión de laboratorios fueron los siguientes:

- a) Se determinaron las cantidades y características de los reactivos empleados y residuos generados.
- b) Se analizaron los objetivos de las prácticas, equipos y procedimientos utilizados, así como, el efecto del residuo en el ambiente y la salud.
- c) Se plantearon opciones para la desactivación y disposición final de las sustancias empleadas en las prácticas de laboratorio.

Se revisaron los laboratorios de las asignaturas Fisicoquímica I y II, Operaciones Unitarias I y III y de Procesos de Separación y de Manejo de Sólidos.

La revisión no se efectuó en las materias Balance de Materia y Energía, Termodinámica Química I y II y Operaciones Unitarias II por carecer, en la actualidad, de laboratorios prácticos que presenten características físicas o fisicoquímicas.

CAPITULO III
REVISION DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA FISICOQUIMICA I
Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS
CON EL MEDIO AMBIENTE

3.0 PROGRAMA DE ASIGNATURA

I. GENERALIDADES

Asignatura: Fisicoquímica I. Prerrequisito: Introducción a la Informática, Matemática III y Química General II Código: EQR-115 U.V.: 4 Plan de Estudios: 1978 R. Ciclo: II Año

Año Académico: _____ Profesor: _____

Instructor: _____

II. SYLLABUS

Introducción a los cálculos en ingeniería, comportamiento de gases y vapores, efectos de gases y de procesos térmicos en el medio ambiente primera ley de termodinámica, termoquímica, segunda y tercera leyes de la termodinámica, energía libre.

III. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Que el estudiante conozca y comprenda los principios y leyes fundamentales de la fisicoquímica y los aplique en la resolución de problemas específicos relacionados con la Ingeniería Química y en la relación de ésta con el medio ambiente.

IV. CONTENIDO PROGRAMATICO

UNIDAD I: Introducción a los Cálculos en Ingeniería

Objetivos Especificos

- a. Recuerde y aplique conceptos tales como: Dimensión, unidades, sistemas de disoluciones, sistemas de unidades.
- b. Comprenda y aplique el uso de factores de conversión.
- c. Comprenda y aplique el factor de conversión gravitacional

Contenido

- 1.1 Dimensiones y unidades.
- 1.2 Sistemas de Unidades y Dimensiones.

- 1.3 Masa y Peso, factor "Gc"
- 1.4 Conversión de unidades.
- 1.5 Ecuaciones dimensionalmente homogéneos.

UNIDAD II: Comportamiento de Gases, Vapores y Líquidos.

Objetivos Específicos

- a. Conozca e interprete las leyes que rigen los gases, vapores y líquidos.
- b. Aplique las ecuaciones y métodos de cálculo de los gases ideales y reales para analizar su comportamiento.
- c. Adquiera conocimiento sobre algunas emisiones gaseosas en el medio ambiente.

Contenido

- 2.1 Las sustancias gaseosas y la contaminación
 - 2.1.1 Uso de sustancias gaseosas en la Ingeniería Química y su efecto en el medio ambiente.
 - a. Fuentes de emisión.
 - 2.1.2 Contaminantes secundarios
 - a. Inversión de Temperatura.
 - b. Neblumo Fotoquímico.
 - c. Lluvia ácida.
- 2.2 Gases Ideales.
 - 2.2.1 Definición.
 - 2.2.2 Leyes fundamentales (Boyle, Gay Lussac, Dalton, Amagat, Graham, Avogadro).
 - 2.2.3 Ecuación de estado de los gases ideales.
 - 2.2.4 Constante universal de los gases ideales y su determinación.
 - 2.2.5 Condiciones normales.
 - 2.2.6 Teoría cinética de los gases ideales.
- 2.3 Gases Reales.
 - 2.3.1 Definición y comportamiento.

2.3.2 Desviación de la idealidad y su cuantificación a través de:

- Factor de compresibilidad generalizado:
 - a. Temperatura, presión y volumen reducido.
 - b. Cartas generalizadas.
 - c. Ecuaciones de estado; Vander Waals, Berthe - lot, etc.
 - d. Estado crítico.
 - e. Principio de continuidad de los estados.
 - f. Principio de los estados correspondientes.

2.4 Comportamiento P-V-T de sustancias puras.

2.4.1 Diagonal PVT-principio de continuidad de los estados.

UNIDAD III: Primera Ley de la Termodinámica.

Objetivos Específicos.

- a. Comprenda el concepto de la Primera Ley de la Termodinámica.
- b. Interprete y establezca la diferencia entre las funciones de estado y de trayectoria.
- c. Aplique la Primera Ley de la Termodinámica a procesos reversibles, irreversibles, isotérmicos, isobaricos y adiabáticos, en sistemas cerrados y abiertos.
- d. Entienda la relación de la Primera Ley de la Termodinámica con el medio ambiente.

Contenido.

- 3.1 Propiedades intensivas y extensivas.
- 3.2 Funciones de estado y de trayectoria.
- 3.3 Capacidad calorífica y calor específico.
- 3.4 Primera Ley de la Termodinámica.
 - 3.4.1 Enunciadas y formulación.
 - 3.4.2 La Primera Ley de la Termodinámica y el medio ambiente.

3.4.3 Primera Ley en Sistemas cerrados y abiertos.

3.5 Aplicaciones de la Primera Ley en:

- a. Procesos reversibles e irreversibles.
- b. Procesos isotérmicos, isobáricos, adiabáticos.

UNIDAD IV: Termoquímica.

Objetivos Específicos.

- a. Conozca e interprete los cambios de energía térmica que se producen con un cambio químico.
- b. Identifique y calcule los diferentes tipos de calores de reacción.
- c. Conozca e interprete cuando una reacción es exotérmica o endotérmica.
- d. Conozca el efecto térmico del CO₂ sobre el medio ambiente.

Contenido.

- 4.1 Introducción.
- 4.2 Calores de reacciones y Ley de Hess.
- 4.3 Calores de formación y combustión.
- 4.4 Calores de solución y dilución.
- 4.5 Variación del calor de reacción con la temperatura.
- 4.6 Efecto térmico del CO₂ en el medio ambiente.

UNIDAD V: Segunda y Tercera Ley de la Termodinámica.

Objetivos Específicos.

- a. Conozca e interprete la Segunda y Tercera Ley de la Termodinámica.
- b. Aplique la Segunda Ley de la Termodinámica a diferentes procesos y establezca si un proceso es posible o no.
- c. Realice cálculos de eficiencia termodinámica.

Contenido.

- 5.1 La Segunda Ley de la Termodinámica.
 - 5.1.1 Enunciadas.
- 5.2 Concepto de Entropía.
- 5.3 Cambios de Entropía en sistemas cerrados y abiertos y sus alrededores.
- 5.4 Limitaciones de la Segunda Ley de la Termodinámica.
- 5.5 Ciclo de Carnot y eficiencia termodinámica.
- 5.6 Tercera Ley de la Termodinámica.
 - 5.6.1 Cálculo de entropías absolutas.

UNIDAD VI: Energía Libre.Objetivos Específicos.

- a. Conozca y comprenda el concepto de energía libre y su relación con la capacidad de un sistema para desarrollar trabajo.
- b. Determine cuando un proceso es o no espontáneo.
- c. Conozca y comprenda los conceptos de fugacidad, actividad y estado tipo.

Contenido.

- 6.1 Energía libre de Gibbs y Helmholtz.
- 6.2 Fugacidad y actividad.
- 6.3 Estados tipo para sólidos, líquidos y gases.
- 6.4 Determinación de coeficientes de actividad.

V. METODOLOGIA

Para cumplir con los objetivos propuestos, se pretende desarrollar durante el ciclo las siguientes actividades:

- a. Sesiones de exposición teórica.
- b. Discusión de problemas.
- c. Laboratorios.

- d. Tareas ex-aula
- e. Sesiones de consulta.

VI. SISTEMA DE EVALUACION

Se implementará el sistema de evaluación con fines de promoción y para determinar el grado de alcance de los objetivos durante el desarrollo del ciclo. Las evaluaciones a implementar son:

| | |
|--|------------|
| - Primer examen parcial (Unidad 1 y 2)..... | 20% |
| - Segundo examen parcial (Unidad 3 y 4)..... | 20% |
| - Tercer examen parcial (Unidad 5, 6 y 7)..... | 20% |
| - Exámenes de discusión, tareas..... | 15% |
| - Laboratorios..... | 10% |
| - Controles de lectura..... | <u>15%</u> |
| TOTAL..... | 100% |

VII. BIBLIOGRAFIA.

1. Maron, S.; Pruton, C. "Fundamentos de Fisicoquímica"; Editorial Limusa Willey; 13 Reimpresión, 1982.
2. Alberty-Daniels, "Fisicoquímica, versión S.I.", Editorial Continental, 1 Edición en Español, 1984.
3. Moore, W. "Fisicoquímica Básica", Editorial Prentice-Hall, 1 Edición, 1986.
4. Himmelblau, D. "Balance de Materia y Energía", Editorial Prentice-Hall, 4 Edición, 1988.

3.1 TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE SUGERIDOS PARA EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA FISICOQUIMICA I

3.1.1 LAS SUSTANCIAS GASEOSAS Y LA CONTAMINACION

(Unidad II. Tiempo estimado: 1 hora clase).

(Albert, 1988)

3.1.1.1 USO DE SUSTANCIAS GASEOSAS EN LA INGENIERIA QUIMICA Y SU EFECTO EN EL MEDIO AMBIENTE

El aire puro realmente no existe debido a que hay un intercambio constante de materia entre seres vivos de las tres capas que conforman el planeta: la hidrósfera, litósfera y atmósfera. A pesar de ello posee una composición natural con el nitrógeno y el oxígeno como componentes mayoritarios (76 y 23% peso respectivamente) y gases inertes o nobles (argón, bióxido de carbono, neón, hidrógeno, etc) presentes en mínimas cantidades. Cada uno de estos compuestos son imprescindibles para llevar a cabo los diversos procesos biológicos, químicos y físicos necesarios para la continuidad de la vida en el planeta (Wark y Warner, 1990).

La contaminación de este recurso con sustancias ajenas a su constitución o la debida a emisiones excesivas de sus componentes naturales lanzados a la atmósfera, afecta la salud de los seres humanos, plantas y animales.

Existen antecedentes históricos que muestran los graves efectos de la contaminación atmosférica sobre el hombre. Siendo algunos de éstos: los romanos se quejaban del humo que llenaba su ciudad, el Rey Eduardo I de Inglaterra (1272) prohibió que se quemara carbón mientras se realizaban las sesiones del Parlamento. Con la llegada de la revolución industrial los efectos fueron de mayor gravedad para el ser humano.

Muestra de ello es la muerte de 60 personas en Bélgica (1930), y la de 4000 seres humanos en Londres, Inglaterra (1952) debido a una inversión de temperatura prolongada con una atmósfera cargada por contaminantes gaseosos (Wark y Warner, 1990).

En la actualidad existen grandes centros urbanos con elevados índices de contaminación atmosférica, entre ellos se mencionan las ciudades de México, Sao Paulo, Los Angeles, Milán, Melbourne y Tokio (Albert, 1988).

Los contaminantes del aire se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que se encuentran en la atmósfera tal y como fueron emitidos. Los secundarios resultan de la interacción de los anteriores entre sí.

El cuadro 3.1 muestra las diferentes contaminantes con sus respectivos efectos sobre la salud. Para efectos de otras emisiones gaseosas ver el tema sobre límites permisibles de algunos contaminantes en el capítulo V.

a) FUENTES DE EMISION DE LOS CONTAMINANTES PRIMARIOS

i) Monóxido de Carbono (CO).

La principal en este caso son los medios de transporte. Más del 90% proviene de automóviles y el resto de otros vehículos (aviones, camiones, ferrocarriles). La industria petroquímica, la refinación de petróleo, la generación termoeléctrica y las quemaduras agrícolas, también contribuyen a aumentar las emisiones de CO.

ii) Oxidos de azufre (SO_x).

Proviene de la combustión del carbón y petróleo en las plantas que generan energía eléctrica (Carbón y termoe -
léctricas). También, de los procesos de producción de á-
cido sulfúrico, fertilizantes, manufactura de papel y fa-
bricación de fenol sintético, sin dejar de lado los vehí-
culos automotores (Grimaldi y Simmonds, 1991).

CUADRO 3.1. CONTAMINANTES PRIMARIOS DEL AIRE

| Contaminante | Algunos efectos sobre la salud |
|---|--|
| Monóxido de Carbono CO | Impide el transporte de oxígeno en la sangre. Daña los sistemas nerviosos central y cardiovascular. |
| Bióxido y trióxido de Azufre SO ₂ y SO ₃ | Problemas Cardiovasculares y respiratorios. |
| Monóxido y Bióxido de Nitrógeno NO y NO ₂ | Dan origen a Tracto respiratorio alto y bajo. |
| Hidrocarburos no saturados y aromáticos | Propiedades cancerígenas, teratogénicas y mutagénicas. |
| Macropartículas (sólidas y líquidas) | Causan problemas respiratorios, gastrointestinales, afectan el sistema nervioso central, renal, etc. |
| Bióxido de Carbono CO ₂ | No existen pruebas de que sea tóxico como contaminante. |

FUENTE: ALBERT (1988)

iii) **Oxidos de Nitrógeno (NO_x).**

Como fuente natural existen bacterias que producen cantidades elevadas de óxido nítrico, lo cual no puede ser controlado. Las plantas productoras de ácido nítrico, la manufactura de tintes, pinturas de nitrocelulosa y las operaciones de fundición generan también emisiones de nitratos (Grimaldi y Simmonds, 1991; Peavy et al, 1985).

iv) **Hidrocarburos.**

Se dan por la evaporación de los productos de combustibles fósiles, como la gasolina. Los vehículos de transporte son la fuente más importante. Estos emiten hidrocarburos por evaporación del combustible y, en forma de hidrocarburos no quemados por el tubo de escape.

Además, se tienen solventes químicos empleados en procesos de separación o dilución como contribuyentes a la contaminación por hidrocarburos.

v) **Macropartículas.**

Se producen al lado de los contaminantes gaseosos del aire. Las emisiones más importantes se dan en la fabricación de hierro, la producción de cemento, la extracción de rocas y minerales, el almacenamiento y manipulación de granos, la elaboración de pulpa y papel, fabricación de vidrio, ácido sulfúrico, fabricación de textiles, etc (Wark y Warner, 1990).

3.1.1.2 CONTAMINANTES SECUNDARIOS

La contaminación atmosférica no está distribuida uniformemente alrededor del mundo, sino que se concentra en los centros urbanos y las zonas industriales.

Pueden permanecer largos períodos en la región cercana a su lugar de origen, hasta que, cualquier cambio climático o reacción química en la atmósfera produce sustancias, a partir de los contaminantes primarios, de mayor gravedad y generalmente, con consecuencias difíciles de predecir.

Los principales elementos que pueden producir cambios en los contaminantes primarios son: la temperatura, la humedad y los vientos.

Los nuevos contaminantes formados causan trastornos como: inversión de temperatura, neblumo fotoquímico y lluvia ácida.

i) Inversión de Temperatura.

La inestabilidad atmosférica es el fenómeno mediante el cual el aire que se ha calentado cerca de la superficie terrestre sube por su baja densidad a las capas más elevadas de la atmósfera y, el aire frío de las regiones más elevadas desciende (debido a su mayor densidad). En este intercambio, los contaminantes pueden subir y dispersarse en las capas atmosféricas superiores.

Durante la noche, generalmente esta situación se invierte, debido a que la temperatura superficial terrestre no alcanza a calentar el aire cercano a ella, produciéndose que el aire tibio quede en la parte superior de las capas atmosféricas y el frío cercano a la corteza de la tierra.

Este fenómeno es el que se conoce como inversión de temperatura.

La inversión produce una zona de aire estancado (frecuente en ciertas regiones) que, si la atmósfera está limpia,

no causa problemas. Sin embargo, si se genera contaminación, dichos agentes quedan atrapados desde el momento que inicie la inversión hasta que ésta cese.

El aire tibio, puede contener proporcionalmente más humedad que el frío, de tal manera que, al enfriarse el aire, el vapor de agua tiende a condensarse y convertirse en niebla (de acuerdo a la cantidad de agua en la atmósfera y la temperatura). Además, las partículas sólidas y líquidas que se encuentran como contaminantes del aire contribuyen a formar pequeñas gotas de niebla y a su estabilidad, actuando como núcleos de ellas. Esta niebla que posee partículas contaminantes (sobre todo carbón) es lo que se conoce como "neblumo".

Si la inversión es demasiado prolongada, se producen graves incidentes.

ii) Neblumo Fotoquímico.

Cuando los contaminantes primarios quedan atrapados debido a la inversión producida, factores como la humedad y la temperatura hacen que se efectúen reacciones con los componentes normales de la atmósfera. Como estas reacciones requieren de la luz solar, se les llama reacciones fotoquímicas. Sus productos son los contaminantes secundarios y, al neblumo producido, se le conoce con el nombre de neblumo fotoquímico.

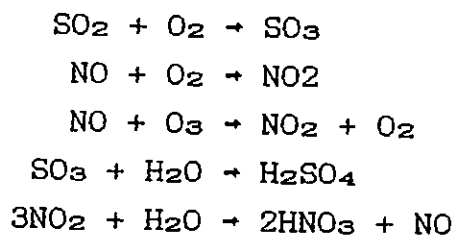
Entre los efectos de este neblumo se mencionan:

- Condensación acelerada del vapor de agua, generándose lluvias en grandes cantidades en una zona (generalmente urbana) y disminución en otras.
- Lluvia ácida.

- Aumento en la susceptibilidad a las enfermedades respiratorias no específicas con síntomas similares a los del catarro común.
- Constricción crónica de las vías respiratorias.
- Asma bronquial.
- Bronquitis crónica.
- Enfisema pulmonar.
- La exposición crónica puede producir cáncer en los pulmones.
- Enfermedades cardiovasculares.

iii) Lluvia ácida.

Se produce a partir de la generación de ácidos sulfúrico y nítrico, de acuerdo a las siguientes reacciones:



Efectos de la lluvia ácida son:

- Disminución de la capacidad de los suelos para sostener la vida vegetal.
- Acelera la corrosión en monumentos y edificios.
- Acidifica lagos, suelos y cuerpos de aguas dulces.
- Provoca la muerte de peces y plancton.
- Induce a la proliferación de ciertas algas y moluscos a expensas de otros.
- Causa irritación del tracto respiratorio.

3.1.2 PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA Y EL MEDIO AMBIENTE
(Unidad IV. Tiempo: 1/2 hora clase)
(Johansson, SFP*)

Etimológicamente la palabra termodinámica proviene de la unión de dos términos: Termo, que significa calor y Dinamos, que significa fuerza. La combinación de éstas llega a ser calor-fuerza o Energía.

Existen diversos tipos de energía como la mecánica, eléctrica, química, radiante, etc. Sin embargo, la forma más frecuente en que se manifiesta la energía es por medio de un flujo de calor. Bajo determinadas condiciones las diferentes clases pueden transformarse de un tipo a otro. La manera en que interactúan los distintos tipos en un sistema es el objeto de estudio de la termodinámica.

Todos los cambios y transformaciones en la naturaleza son acompañados de energía. Así, todo ser viviente experimenta procesos de absorción, emisión y redistribución de energía. Aún en la caída de una piedra, por acción de la fuerza de gravedad, se dan los procesos mencionados anteriormente.

En el medio ambiente la transferencia de energía se produce a partir de la energía radiante del sol a las plantas y luego por medio de la cadena alimenticia desde el animal herbívoro hasta el carnívoro y, finalmente el hombre.

La radiación solar es asimilada por la clorofila presente en las hojas verdes de la planta. Con esta energía se producen hidratos de carbono complejos (azúcares, almidones y celulosas) a partir de agua y bióxido de carbono, dando como sub -

*SFP: Sin fecha de publicación

productos oxígeno y calor. Este proceso de conversión realizado en los vegetales recibe el nombre de fotosíntesis.

Los azúcares y almidones generados son consumidos por animales como vacas, caballos, venados, etc; que posteriormente son fuente de alimentación para el ser humano. La figura 3.1 muestra un ejemplo de tal situación, donde la energía solar permite el desarrollo de la vegetación que a su vez constituye el primer eslabón de la cadena alimenticia que sirve como fuente de energía para el consumidor primario (conejo), el cual será el alimento del consumidor secundario (el zorro). A través de la cadena alimenticia se dan distintas transformaciones de energía que conllevan al equilibrio de los ecosistemas.

En el caso de los sistemas acuáticos existen organismos vegetales microscópicos, llamados fitoplancton, que realizan el proceso de fotosíntesis con la energía radiante que incide sobre la superficie del mismo. El fitoplancton es consumido por los peces, que a su vez son consumidos por peces mayores, llegando en la cadena de alimentación hasta el hombre.

De lo anterior se puede concluir que "todo lo que existe en el universo es alguna forma de energía, y todo lo que sucede es algún tipo de conversión de energía".

Una mayor relación con el medio ambiente de la Primera y Segunda Ley de la Termodinámica, se presenta en el capítulo VI, sección 6.1.

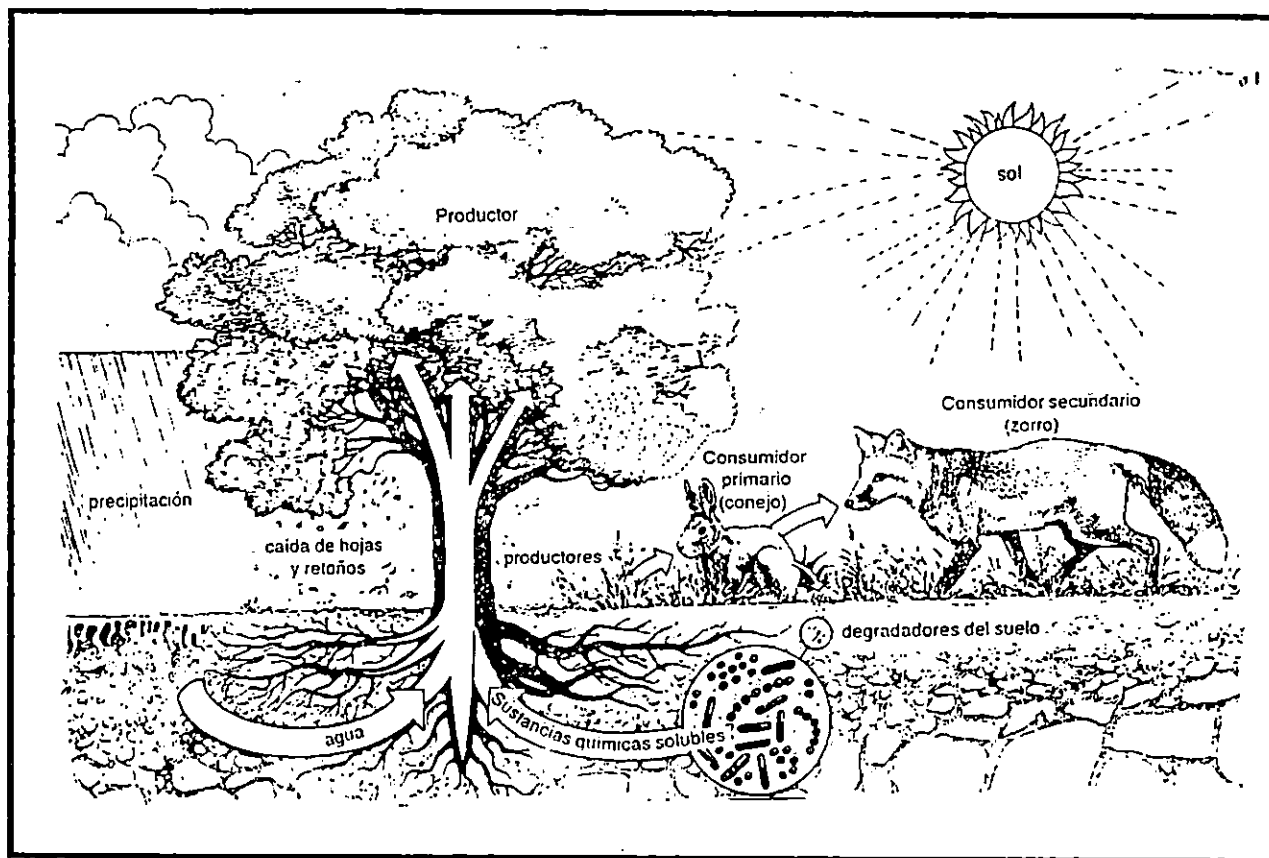


FIGURA 3.1. INTERRELACIONES DE ENERGIA EN DIFERENTES CAMBIOS
EN LA NATURALEZA

FUENTE: TURK Y WITTES, 1985

3.1.3 EFECTO TERMICO DEL CO₂ EN EL MEDIO AMBIENTE

(Unidad IV. Tiempo: 1/2 hora clase)

(Albert, 1988)

La tropósfera es la capa de la atmósfera que constituye el aire que respiramos. En esta se dan los fenómenos de meteorología que determinan el clima, además, se generan los vientos que pueden dar la vuelta alrededor de la tierra en unos cuantos días.

Dentro de dicha capa atmosférica se encuentran sustancias que sirven como filtro de la radiación solar y detienen la salida de los rayos infrarrojos que se irradian de la corteza terrestre. El vapor de agua, las neblinas, las nubes y principalmente el dióxido de carbono cumplen esta función.

Existe un equilibrio térmico entre los rayos solares que penetran la atmósfera y la cantidad de radiación retenida. Este permite una temperatura promedio global de 16°C en la superficie terrestre.

La propiedad del CO₂ de servir como filtro y retener determinada cantidad de energía se conoce con el nombre de efecto de invernadero. Dicha capacidad se ha incrementado sobre todo a partir del siglo XIX a la fecha. Así, para 1830 se estimaba una concentración de CO₂ de 290 ppm en la tropósfera; en cambio, en 1980 se reportaron 320 ppm.

La producción mundial del CO₂ se estima en unas 20x10⁹ toneladas al año. Existen estimaciones que consideran que para el año 2000 se tendrán 400 ppm de CO₂ en la atmósfera y, para el año 2040, 800 ppm. Estas concentraciones permiten estimar un aumento de temperatura equivalente a 1°C para el año 2000 y de 2°C para el 2040.

Como consecuencia del incremento de temperatura a nivel mundial se tienen las siguientes efectos:

- a) Disminución de la producción mundial de alimentos que va del 1 al 3% por 1°C. Debido a que los cambios pueden no ser continuos, algunas regiones serían más afectadas que otras.
- b) Fusión de la capa de hielo del Polo Norte.
- c) Desintegración de la capa de hielo del Antártico Occidental.
- d) Derretimiento de las casquetes polares.

De acuerdo a las estimaciones realizadas, se necesitarán unos 5000 años para que ocurran los tres últimos.

Las causas principales del aumento de CO₂ en la atmósfera (considerando que un 50% permanece en ella y el resto se absorbe por los océanos) son las siguientes:

- a) El uso excesivo de fuel-oil, gasóleo y gas natural (combustibles fósiles).
- b) La combustión del carbón.

3.1.3.1 MEDIDAS RECOMENDADAS PARA DISMINUIR LAS CANTIDADES DE CO₂

Existen medidas que pueden llevarse a cabo para tratar de disminuir las emisiones de este gas, tales como: sustitución de los combustibles utilizados y emplear esta fuente solo cuando sea absolutamente necesario, cambiar el método de operación de motores (alterando el contenido químico de los combustibles, la forma de los contaminantes o la eficiencia del

equipo). Estos mecanismos permitirían no solamente reducir las emisiones de las cantidades de CO₂ en la atmósfera, sino también la de otros contaminantes primarios.

**3.2 SOLUCION DE PROBLEMAS DE FISICOQUIMICA I, CON
 TEMATICA AMBIENTAL
 (Maron y Lando, 1978).**

Con el propósito de que el estudiante se relacione con los efectos provocados por diversos gases contaminantes, se presentan cinco problemas que contienen, en primer lugar, una explicación de los efectos generales en el medio ambiente de diversos gases empleados en la industria, luego, la presentación acostumbrada para los problemas.

Todos los problemas se relacionan con la unidad II del programa: comportamiento de gases, vapores y líquidos.

PROBLEMA 1

Una planta industrial produce gases de N_2 , CO , H_2 y O_2 . Se sabe que el Nitrógeno inhibe el crecimiento de ciertos cultivos agrícolas, el CO y el H_2 con las lluvias producen soluciones ácidas que, al llegar a los ríos tienen un efecto directo sobre los organismos que viven en ellos. Calcule la composición de una mezcla de esos gases en porcentaje peso, si poseen la siguiente composición en volumen: 30% N_2 , 50% CO , 15% H_2 y 5% O_2 .

Solución:

Se asumen gases ideales y entonces el porcentaje volumen = porcentaje mol.

Así, se tiene en porcentaje mol:

$$\begin{array}{r}
 30\% N_2 \\
 50\% CO \\
 15\% H_2 \\
 \hline
 5\% O_2 \\
 \hline
 100\%
 \end{array}$$

PROBLEMA 2

El nivel de CO_2 en la atmósfera es producto de la respiración de los organismos vivos, y sobre todo, de la quema de combustibles fósiles, de amplio uso en la industria de proceso químico. El aumento en el contenido de CO_2 en la atmósfera, provoca alteraciones en el clima que tienen efecto sobre los organismos que habitan la tierra. a) Empleando la ecuación de Van der Waals calcule la presión desarrollada por 100 g de CO_2 contenidos en un volumen de 5 litros a 40°C . b) Compare este valor con el calculado utilizando la ley de los gases ideales.

Solución:

a) La ecuación de Van der Waals es:

$$[P + (n^2 a / V^2)] (V - nb) = nRT$$

Despejando la Presión:

$$P = [nRT / (V - nb)] - (n^2 a / V^2)$$

Donde: a y b son constantes características del gas independientes de la presión y la temperatura.

Para el CO_2

$$a = 3.59 \text{ atm l}^2/\text{gmol}^2$$

$$b = 0.0427 \text{ l/gmol}$$

Además:

$$R = 0.08205 \text{ atm l/K gmol}$$

$$PM \text{ CO}_2 = 44 \text{ g/gmol}$$

$$V = 5 \text{ l}$$

$$\text{Masa de CO}_2 = 100 \text{ g}$$

$$T = 40^\circ \text{ C}$$

Luego:

$$100 \text{ g CO}_2 * \text{gmol CO}_2 / 44 \text{ g CO}_2 = 2.27 \text{ gmol CO}_2$$

$$T = 40 + 273 = 313\text{K}$$

$$P = 2.27 * 0.08205 * 313 / (5 - 2.27 * 0.04270) - 2.27^2 * 3.59 / 5^2$$

$$P = 11.89 - 0.74$$

$$P = 11.15 \text{ atm}$$

$$b) PV = nRT$$

$$P = nRT / V$$

$$P = 2.27 * 0.08205 * 313 / 5 = 11.66 \text{ atm}$$

$$P = 11.66 \text{ atm}$$

El valor obtenido es mayor que el calculado con la ecuación de Van der Waals

PROBLEMA 3

En diversas investigaciones se han encontrado que el pH superficial del suelo es inferior debido al SO_2 . Lo que acarrea, en muchos casos, la muerte de la flora existente, cuyo mayor efecto es en las zonas cercanas a la fuente de emanación. La disminución del pH se asocia a las grandes cantidades de azufre soluble y total del suelo. Usando la ecuación de Van der Waals encuentre la temperatura a la cual 3 gmol de SO_2 ocuparán un volumen de 10 l a una presión de 15 atm.

Solución:

$$T = [(P + n^2 a / V^2)(V - nb)] / nR$$

Donde:

$$a \text{ para el } \text{SO}_2 = 6.71 \text{ atm l}^2 / \text{gmol}^2$$

$$b \text{ para el } \text{SO}_2 = 0.0564 \text{ l/gmol}$$

$$V = 10 \text{ l}$$

$$n = 3 \text{ gmol}$$

$$P = 15 \text{ atm}$$

$$R = 0.08205 \text{ atm l/K gmol}$$

Sustituyendo:

$$T = [(15 + 3^2 * 6.71 / 10^2) (10 - 3 * 0.0564)] / (3 * 0.08205)$$

$$T = 15.60 * 9.83 / 0.25$$

$$T = 613.39 \text{ K}$$

PROBLEMA 4

Los hidrocarburos pueden interrumpir las cadenas de información de especies animales y vegetales imprescindibles para su desarrollo, alterando radicalmente la supervivencia de una infinidad de especies. El metano, es un gas resultante de la descomposición de la materia orgánica en el suelo y en el agua, generándose también en la refinación de petróleo. Calcule el valor de la constante R , en cc atm/ K gmol, si se tienen 4 g de CH_4 a una temperatura de 27°C y una presión de 2.5 atm; ocupando un volumen de 2.46 l.

Solución: se asume gas ideal.

$$PV = nRT$$

$$PV/nT = R$$

Donde:

$$P = 2.5 \text{ atm}$$

$$V = 2.46 \text{ l}$$

$$T = 27^\circ\text{C}$$

$$\text{masa de } \text{CH}_4 = 4 \text{ g}$$

$$\text{PM } \text{CH}_4 = 16 \text{ g/gmol}$$

Luego:

$$T \text{ K} = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$4 \text{ g } \text{CH}_4 * \text{gmol } \text{CH}_4 / 16 \text{ g } \text{CH}_4 = 0.25 \text{ gmol } \text{CH}_4$$

Calculando:

$$R = 2.5 \text{ atm} * 2.46 \text{ l} * 0.001 \text{ m}^3 * 100^3 \text{ cc} / (0.25 \text{ gmol} * 300 \text{ K} * 1 \text{ l} * 1 \text{ m}^3) = 82 \text{ atm cc/gmol K}$$

PROBLEMA 5

El amoníaco es un gas utilizado en la producción de fertilizantes, ácido nítrico, tintes, en sistemas de refrigeración, etc. El amoníaco es un irritante de las membranas mucosas del aparato respiratorio y de la conjuntiva. Además dicho gas produce dificultad en la capacidad de la hemoglobina para captar oxígeno. Encuentre la densidad del amoníaco a 100°C cuando se tiene una presión de 1,600 mm de Hg. a) En unidades SI; b) en unidades americanas de ingeniería.

Solución:

a) Se asume una base de cálculo de 1m³ y gas ideal.

Ahora:

$$PV = nRT$$

$$PV/RT = n$$

Donde:

$$T = 100 + 273 = 373 \text{ K}$$

$$P = 1,600 \text{ mmHg} * 1 \text{ atm} / 760 \text{ mmHg} = 2.11 \text{ atm}$$

$$V = 1 \text{ m}^3 * 1 \text{ l} / 0.001 \text{ m}^3 = 1,000 \text{ l}$$

$$PM \text{ NH}_3 = 17 \text{ g/gmol}$$

$$R = 0.08205 \text{ atm l/K gmol}$$

Calculando:

$$n = 2.11 * 1,000 / (0.08205 * 373) = 68.94 \text{ gmol NH}_3$$

Luego:

$$68.94 \text{ gmol NH}_3 * 17 \text{ g NH}_3 / (\text{gmol NH}_3 * 1,000 \text{ g NH}_3) = 1.17 \text{ Kg NH}_3$$

Para la densidad:

$$\begin{aligned}\rho \text{ NH}_3 &= \text{masa NH}_3 / \text{volumen NH}_3 = 1.17 \text{ Kg NH}_3 / \text{m}^3 \\ &= 1.17 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

b) Se efectúa una transformación.

$$\begin{aligned}\rho \text{ NH}_3 &= 1.17 \text{ Kg} * 1 \text{ lb} * 1 \text{ m}^3 / (\text{m}^3 * 0.454 \text{ Kg} * 35.31 \text{ ft}^3) \\ \rho \text{ NH}_3 &= 0.073 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

3.3 REVISION DE LAS PRACTICAS DE LABORATORIOS DE FISICOQUIMICA I (UES, 1993a)

En Fisicoquímica I se efectuó la revisión del laboratorio de las leyes de los gases, en el cual se determina la constante Z , de la ecuación $PV = ZnRT$. A continuación se detalla su desarrollo.

3.3.1 LABORATORIO No.1. LEYES DE LOS GASES REALES

Determinación de la Constante Z

Objetivos:

- a. Determinar el valor de la constante Z en la ecuación $PV=ZnRT$.
- b. Comparar el comportamiento de un gas real con el calculado a partir de las Leyes de los Gases Ideales.

Introducción:

A Temperatura y Presión Constante:

A temperatura y presión ambiente se puede considerar que muchos gases actúan como gases ideales. Sin embargo, para ciertos gases en condiciones normales y para la mayor parte de los gases en condiciones de presiones altas, los valores de sus propiedades que se podrían obtener usando la ley de los gases ideales variarían ampliamente con la evidencia experimental.

Se ha logrado una forma conveniente y exacta de acercamiento al comportamiento real a través de una ecuación de estado ge

neralizada expresada de la siguiente manera:

$$PV=ZnRT \quad (1)$$

donde la cantidad adimensional Z se conoce con el nombre de Factor de compresibilidad y es función de la presión y la temperatura:

$$Z=f(P,T)$$

En este experimento se va determinar el valor de la constante "Z" en la ecuación (1) a partir de mediciones de volumen, temperatura y presión de una cantidad conocida de moles de CO₂ producidos por la reacción del carbonato de sodio con ácido clorhídrico.

Reactivos:

- Carbonato de sodio (Na₂CO₃)
 - R 36: Irrita los ojos.
 - S 24: Evitar contacto con la piel.
 - S 26: En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente.

DISPOSICION FINAL: puede efectuarse en el recipiente colector de sales inorgánicas (I*), si es solución de la sal, en el recipiente colector D, ajustando previamente el valor de pH entre 6 y 8.

- Acido clorhídrico (HCl, mayor a 25% p/p)
 - R 34: Provoca quemaduras.
 - R 37: Irrita las vías respiratorias.
 - S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.
 - S 26: En caso de contacto con los ojos, lavar de inmediato con agua abundante y acudir al médico.

* Letras entre paréntesis ubicadas de acuerdo a apéndice D.

DISPOSICION FINAL: debe diluirse el ácido con agua, luego neutralizarse con solución de hidróxido de sodio hasta un pH entre 6 y 8. Finalmente se coloca el producto obtenido en el recipiente para soluciones salinas (D).

Material y Equipo:

- 1 Ampolla de separación de 50 ml
- 1 Erlenmeyer 50 ml
- 1 Probeta 100 ml
- 1 Recipiente de plástico
- 1 Tapón de hule 2 orificios
- Manguera
- Esterina
- Mechero

Procedimiento

A cada grupo se le dará 0.25 g de Carbonato de Sodio (Na_2CO_3). Anotar presión y temperatura del lugar. Secar perfectamente el erlenmeyer y colocar dentro el Na_2CO_3 . Insertar la ampolla de separación en uno de los orificios del tapón de hule y en el otro colocar la manguera.

Armar el sistema y sellarlo con esterina. Llenar con agua la probeta y el recipiente de plástico. Invertir la probeta sobre el recipiente de tal manera que esta quede totalmente llena.

Anotar el nivel inicial del agua. Colocar el extremo de la manguera dentro de la probeta. Asegúrese de que la llave de la ampolla esté en posición horizontal y colocar el ácido.

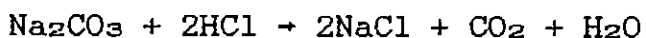
Al tener el sistema listo, abrir llave para dejar caer el ácido sobre el Na_2CO_3 y cerrarla rápidamente.

Observar que el gas que se produce por la reacción, desaloja el agua de la probeta. Al estabilizarse anotar el nuevo nivel.

Repetir la prueba 2 veces y obtener un promedio.

| | V ₁ | V ₂ | V = V ₂ - V ₁ |
|----------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| Prueba 1 | | | |
| Prueba 2 | | | |
| Promedio | | | |

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



Recomendación:

- Especificar el volumen necesario de HCl para realizar el experimento, con el objeto de evitar desperdicios y/o contaminación.

El cuadro 3.2 muestra un resumen de la práctica anterior.

CUADRO 3.2. RESUMEN DEL LABORATORIO DE LEYES DE LOS GASES

| Título de la Práctica | Reactivos o sustancias utilizadas | Cantidad por 25 alumnos | Riesgo al ambiente o la salud |
|-----------------------|---|--------------------------------------|---|
| Leyes de los gases | Carbonato de sodio Na_2CO_3 Acido clorhídrico HCl | 1.25 g Al 30% p/p: 2.867 g | Irrita los ojos Provoca quemaduras e irrita las vías respiratorias. Genera lluvia ácida |

CAPITULO IV
REVISION DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA FISICOQUIMICA II
Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS
CON EL MEDIO AMBIENTE

4.0 PROGRAMA DE ASIGNATURA

I. GENERALIDADES.

Asignatura: Fisicoquímica II Código: FOR-215 Prerrequisito: Fisicoquímica I U.V.: 4 Plan de Estudios: 1978 Re formado Duración: 92 HC Ciclo I Año Académico: _____
Profesor: _____ Instructor: _____

II. SYLLABUS.

Equilibrio físico y químico, regla de las fases, sistemas de un componente, soluciones diluidas ideales, sistemas de dos componentes, conductancia y equilibrio iónico, introducción a la electroquímica, introducción a la cinética química.

III. OBJETIVOS GENERALES.

- a. Que el estudiante conozca e interprete las propiedades fisicoquímicas de las soluciones y los equilibrios entre fases.
- b. Que el estudiante conozca las leyes y ecuaciones que rigen el equilibrio químico.
- c. Introducir al estudiante al estudio de las reacciones químicas en la electroquímica y cinética de reacciones.
- d. Que el estudiante aplique o diseñe programas de computadora para la solución de problemas de ingeniería química.
- e. Orientar al estudiante para que relacione la temática de la asignatura con sus aplicaciones en la industria de proceso químico y la relación de ésta con el uso racional de los recursos energéticos, el tratamiento de los desechos generados por la misma y el impacto sobre el ambiente.

IV. CONTENIDO PROGRAMÁTICO.

UNIDAD I: Equilibrio Físico y Químico.

Objetivos Específicos.

- a. Comprender el significado de equilibrio, su naturaleza dinámica, los factores que lo determinan y lo alteran.
- b. Expresar matemáticamente la constante de equilibrio.
- c. Establecer la constante de equilibrio en función de la actividad, concentración y presión.
- d. Mostrar la importancia de lograr un equilibrio entre medio ambiente y desarrollo humano.

Contenido.

- 1.1 Concepto de actividad y fugacidad.
- 1.2 Equilibrios físicos que comprenden las sustancias puras.
 - 1.2.1 Ecuación de Clapeyron.
 - 1.2.2 Ecuación de Clausius-Clapeyron.
- 1.3 Equilibrio Químico.
 - 1.3.1 Energía libre tipo de formación.
 - 1.3.2 Constante de equilibrio (K_p , K_c y K_a) en las reacciones gaseosas.
 - 1.3.3 Propiedades de las constantes de equilibrio.
 - 1.3.4 Constante de equilibrio en las reacciones heterogéneas.
 - 1.3.5 Variación de K_p en función de la temperatura.
- 1.4 Medio Ambiente y Desarrollo Humano.

UNIDAD II: Regla de las Fases.

Objetivos Específicos.

- a. Disponer de un criterio generalizado que le permita estudiar todos los tipos de equilibrio heterogéneo conocidos.
- b. Poder interpretar los diferentes diagramas correspon

dientes a los equilibrios heterogéneos y manejar las variables que determinan dichos equilibrios.

- c. Conocer los conceptos fundamentales que le serán necesarios para el estudio de equilibrios heterogéneos en los diferentes tipos de sistemas.

Contenido.

- 2.1 Conceptos básicos: Sistema, Fase, Equilibrio, Tipos de Equilibrio, Componentes de un Sistema, Variancia.
- 2.2 Establecimiento matemático de la Regla de las Fases.
- 2.3 Teorema de Duhem.
- 2.4 Clasificación de los sistemas de acuerdo a la Regla de las Fases.

UNIDAD III: Sistemas de un Componente.

Objetivos Específicos.

- a. Conocer el comportamiento de las sustancias puras y aprenda a manejar las variables involucradas en los equilibrios entre sus diferentes fases y en los cambios de fase que experimentan aquellas.
- b. Estar en capacidad de interpretar los diagramas de equilibrio de estos sistemas utilizando como herramienta la Regla de las Fases.
- c. Identificar la problemática de los ríos y mantos acuíferos en El Salvador.

Contenido.

- 3.1 Aplicación de la regla de las fases a sistemas de un componente.
- 3.2 Sistema Agua. Diagrama de fases a bajas y altas presiones.

- 3.3 Problemática de los ríos y mantos acuíferos en El Salvador.
- 3.4 Equilibrios Físicos.
- 3.5 Aplicación de las ecuaciones de Clapeyron y de Clausius Clapeyron.
- 3.6 Sistema Azufre.

UNIDAD IV: Sistemas de Dos Componentes.

Objetivos Específicos.

- a. Conocer los diferentes tipos de equilibrio en sistemas de dos componentes. Equilibrios Líquido-Líquido, Sólido-Líquido y Líquido-VApor.
- b. Utilizar los conocimientos aprendidos en la regla de las fases, en problemas de tipo práctico, como separación de componentes por destilación, cristalización, etc. Como una introducción a temas que serán enfocados con mayor detalle en las Operaciones Unitarias de Ingeniería Química.
- c. Saber manejar e interpretar los diagramas de equilibrio en sistemas de dos componentes utilizando como herramientas las fases.
- d. Conocer el efecto de la adición de solutos de naturaleza no volátil sobre las propiedades de los solventes.

Contenido.

- 4.1 Aplicación de la Regla de las Fases a sistemas de dos componentes.
- 4.2 Soluciones Binarias.
 - 4.2.1 Definición y Tipos.
 - 4.2.2 Factores que afectan la solubilidad.
- 4.3 Soluciones ideales. Desviación del comportamiento ideal.
- 4.4 Soluciones Reales.

- 4.5 Equilibrios líquido-líquido: Sistemas líquidos de dos componentes parcialmente miscibles.
- 4.6 Equilibrio Líquido-vapor: Equilibrio entre una solución y su fase vapor, Diagramas de presión de vapor-composición. Puntos de ebullición-composición para:
 - 4.6.1 Sistemas de dos componentes líquidos completamente miscibles en equilibrio con su vapor. Ley de Raoult.
 - 4.6.2 Presión de vapor de dos líquidos reales completamente miscibles.
 - 4.6.3 Destilación de soluciones miscibles. Soluciones Azeotrópicas.
 - 4.6.4 Sistemas de dos componentes líquidos parcialmente miscibles en equilibrio con su vapor.
 - 4.6.5 Sistemas de dos componentes líquidos inmiscibles parcialmente en equilibrio con su vapor.
- 4.7 Solubilidad de gases en líquidos. Ley de Henry.
- 4.8 Equilibrio Sólido-Líquido. Cristalización.

UNIDAD V: Soluciones Diluidas Ideales.

Objetivos Específicos.

- a. Conocer e interpretar las propiedades coligativas de las soluciones.
- b. Aplicar las propiedades coligativas en la resolución y análisis de problemas.

Contenido.

- 5.1 Propiedades coligativas de las soluciones.
- 5.2 Ley de Raoult.
- 5.3 Soluciones Reales.
- 5.4 Fugacidad y Actividad.

UNIDAD VI: Sistemas de Tres Componentes.**Objetivos Específicos.**

- a. Conocer los diferentes tipos de equilibrio en sistemas de tres componentes aplicando el criterio de la regla de las fases.
- b. Construir y utilizar los diagramas ternarios en la resolución de problemas específicos.
- c. Aplicar los conocimientos adquiridos en procesos de tipo práctico como la extracción por solvente.

Contenido.

- 6.1 Representación gráfica en diagramas ternarios.
- 6.2 Procesos de extracción en sistemas de tres componentes.
- 6.3 Ley de Nerst.
- 6.4 Sistemas de dos sólidos y un líquido. Cristalización.

UNIDAD VII: Conductancia y Equilibrio Iónico.**Objetivos Específicos.**

- a. Conocer las propiedades y el comportamiento de las soluciones electrolíticas.
- b. Utilizar los conocimientos adquiridos sobre conductancia de las soluciones electrolíticas a problemas propios de la química, tales como solubilidad y grado de ionización.
- c. Mostrar el efecto de los efluentes de aplicación de la electroquímica sobre el medio ambiente.
- d. Conocer los equilibrios de ionización de los ácidos y bases débiles y su relación con la determinación del pH.
- e. Conocer la hidrólisis y solubilidad y la forma de calcular su constante.

Contenido.

- 7.1 Conceptos básicos de electricidad.
 - 7.1.1 Electrodo y celdas electrolíticas.
- 7.2 Electrólisis. Leyes de Faraday, Números de transporte, Regla de Hittosf.
- 7.3 Conductancia electrolítica.
 - 7.3.1 Efecto de la concentración y de otros factores sobre la conductancia.
 - 7.3.2 Aplicaciones de las medidas de conductancia.
 - 7.3.3 Galvanostegia y Galvanoplastia, sus aplicaciones y efectos en el medio ambiente.
- 7.4 Ionización de ácidos y bases. Determinación de las constantes de ionización.
- 7.5 Producto iónico del agua.
- 7.6 Hidrólisis.
- 7.7 Producto de solubilidad.

UNIDAD VIII: Introducción a la Cinética Química.Objetivos Específicos.

- a. Comprender los principios básicos de la cinética de las reacciones químicas.
- b. Calcular la velocidad de reacción para diferentes tipos de reacciones.
- c. Basándose en la estequiometría de una reacción, deducir la ecuación cinética y sus posibles mecanismos de reacción.
- d. A partir de datos experimentales calcular el orden de una reacción química.

Contenido.

- 8.1 Clasificación de las reacciones químicas.
 - 8.1.1 Reacciones simples y compuestas; de fase homogénea y heterogénea; elementales y no elementales.

8.2 Concepto de velocidad de reacción.

8.2.1 Orden de reacción y molecularidad.

8.2.2 Cinética y reacciones de primer y segundo orden.

8.2.3 Variables que afectan la velocidad de reacción.

8.2.4 Tiempo de vida media.

8.2.5 Ecuación de Arrhenius.

8.2.6 Energía de activación.

V. METODOLOGIA DE LA ENSEÑANZA.

4 horas de clase, dos horas de discusión de problemas y 3 horas de laboratorio práctico.

VI. SISTEMA DE EVALUACION.

| | |
|---|------|
| - Primer Examen Parcial (Unidad I, II y III)..... | 20% |
| - Segundo Examen Parcial (Unidad IV)..... | 15% |
| - Tercer Examen Parcial (Unidad V y VI)..... | 20% |
| - Cuarto Examen Parcial (Unidad VII y VIII)..... | 15% |
| - Tareas y Exámenes Cortos..... | 10% |
| - Reportes de Laboratorios..... | 20% |
| TOTAL..... | 100% |

VII. BIBLIOGRAFIA.

1. Alberty-Daniels, "Fisicoquímica, versión S.I", Editorial Continental, 1 Edición en Español, 1984.
2. Green, D. "Perry's Chemical Engineering Hand Book" McGraw Hill, 6 Edición. USA. 1989.
3. Hougen, O.A.; Watson, K.M. y R.A. Ragatz, "Principios de los Procesos Químicos. Parte 1. Balance de

- Materia y Energía; Parte 2. Termodinámica", Editorial Reverté, España.
4. Himmelblau, D. "Balance de Materia y Energía", Editorial Prentice-Hall, 4 Edición, 1988.
 5. Maron, S.; Pruton, C. "Fundamentos de Fisicoquímica"; Editorial Limusa Willey; 13 Reimpresión, 1982.
 6. Moore, W., "Fisicoquímica Básica", Editorial Prentice-Hall, 1 Edición, 1986.
 7. Tinoco, Ignacio. "Fisicoquímica. Principios y Aplicaciones en las Ciencias Biológicas", Editorial Prentice-Hall, 1 Edición, 1978.
 8. Revistas Técnicas: Chemical Engineering y Chemical Engineering Progress.

4.1 TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE SUGERIDOS PARA EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA FISICOQUIMICA II

4.1.1 MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO HUMANO (Unidad I. Tiempo: 1 hora clase)

El ser humano se encuentra estrechamente ligado a su medio ambiente, de tal manera, que las actividades realizadas por el mismo provocan un impacto ambiental positivo o negativo.

La demanda en la satisfacción de necesidades básicas, a nivel mundial, son cada vez mayores, produciendo como consecuencia un acelerado desarrollo de la ciencia y la tecnología. Así, en los últimos años, entre la innovación y la obsolescencia existe solamente un corto período de diferencia (Cifuentes, 1994).

La tecnología tradicional se enfoca hacia el tratamiento de residuos al final de las operaciones o procesos; diseñando plantas de tratamiento de residuos e instalando equipo para el control de la contaminación generada por los procesos industriales. Sin embargo, no evita las emisiones gaseosas, efluentes líquidos y desechos sólidos contaminantes, que tanto daño causan al medio ambiente (Moser, 1994d).

La relación existente entre la satisfacción de necesidades básicas y los acelerados avances científicos y tecnológicos, producen un deterioro alarmante en los recursos disponibles del planeta. Muestra de ello es el efecto de invernadero que provoca un calentamiento mundial (debido a las emisiones de CO₂ a la atmósfera), el agotamiento de la capa de ozono por el uso excesivo de clorofluorocarbonos, la formación de neblumo fotoquímico y lluvia ácida por la reacción de los contaminantes primarios del aire con otros componentes atmosféricos.

ricos, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por efluentes líquidos, el deterioro de la calidad del suelo por el uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes, etc (Albert, 1988).

En ese sentido, se da una ruptura del hábitat natural del hombre en dos vertientes: medio ambiente y sociedad, que cuestionan a la ciencia y la tecnología sobre como encauzar el desarrollo, el progreso económico, la conservación del entorno natural y el respeto a la dignidad del hombre en la sociedad (Cifuentes, 1994).

Lo anterior muestra que existen relaciones fundamentales de interdependencia entre el medio ambiente-desarrollo económico, calidad de vida-población-ciencia y tecnología. Es pues imprescindible, lograr un equilibrio entre el desarrollo humano y el medio ambiente.

El concepto de desarrollo sustentable, que se define como "la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades futuras", busca alcanzar dicho equilibrio (SEMA, 1994a).

La definición expuesta señala que para alcanzar el Desarrollo Sustentable se requieren condiciones estructurales y ambientales que puedan propiciarlo. De tal manera, los pilares sobre los que descansa son (SEMA, 1994a):

- a) Crecimiento económico que garantice el bienestar general.
- b) Equidad social, para que el bienestar sea una constante a todo nivel, lo cual significa que el estado debería mantener un plan para manejar la extrema pobreza.

- c) Equilibrio ambiental, que permita a las metas alcanzadas mantenerse en el futuro.
- d) Transparencia institucional, dirigida a los organismos estatales, para que las operaciones sean más eficientes y para generar un clima de confianza en el gobierno, que permita la ejecución de programas sociales para erradicar la pobreza.

Lo anterior indica que el Desarrollo Sustentable involucra un cambio en el modelo económico, orientado a alcanzar un uso eficiente de la naturaleza que permita el equilibrio de los ecosistemas. En los países en vías de desarrollo alcanzar dicha eficiencia se ve obstaculizada por el bajo crecimiento económico y la falta de equidad social.

4.1.2 PROBLEMATICA DE LOS RIOS Y MANTOS ACUIFEROS EN EL SALVADOR

(Unidad III. Tiempo: 1 hora clase)

(SEMA, 1994a)

En el capítulo I, sección 1.0, se mencionó que El Salvador, al igual que toda Centroamérica, atravieza por problemas de tipo ambiental. Todos los factores mencionados en dicha sección, aunados a la falta de concientización y educación ambiental de la población, la ausencia de leyes ambientales, etc, hacen que dichos problemas sean más graves que en el resto de la región (UES, 1995).

El elevado crecimiento poblacional del país incrementa la deforestación de bosques y tierras de cultivo, se contaminan ríos por efluentes industriales, domésticos y por el uso de plaguicidas, lo cual, junto a la falta políticas para la preservación del medio ambiente y de servicios sanitarios básicos, generan una alta tasa de mortalidad infantil especialmente en el área rural, siendo las enfermedades gastrointestinales las que ha ocupado por muchos años los primeros lugares (UES, 1995).

El uso excesivo de agua, la deforestación de cuencas hidrográficas y la variación en los lugares de recarga afectan grandemente los mantos de agua subterráneos, que son los preferidos para consumo humano.

Para 1993 el 65% de la disponibilidad total bruta de agua fue producida por el río Lempa, el resto fue proporcionada por 360 medianos y pequeños ríos que desembocan en el Océano Pacífico.

Para 1970 se determinó que el agua era el recurso natural más contaminado en el país, así, un 30% de los ríos están altamente contaminados, el 60% moderadamente y solamente el 10% sin contaminación.

Los principales agentes contaminantes son:

a) Descarga de desechos orgánicos sin tratamiento, siendo nueve industrias que más contaminan con estas sustancias (en orden descendente), las siguientes: beneficiado de café, ingenios azucareros, beneficiado de henequén, producción de alcohol etílico, tenerías, lácteos, textileras, mataderos y fábricas de papel y cartones. Los cuadros 4.1a y 4.1b muestran el análisis físico-químico realizado en aguas residuales de estas industrias.

Dichas industrias generaron en 1990 una contaminación, en términos de población equivalente, de 5, 500,000 habitantes (Castillo y Mena, 1993).

- b) Efluentes industriales, como los procedentes de las industrias de textiles, curtiembres, electrorecubrimientos, etc.
- c) Erosión de los suelos.
- d) Agroquímicos.
- e) Efluentes de aguas negras de las ciudades que contienen bacterias, virus, amebas, parásitos y otro tipo de microorganismos patógenos, causantes de enfermedades gastrointestinales.

Los factores más importantes causantes de la contaminación hídrica son: a) la deforestación y el mal uso y manejo de los suelos; b) la falta de una política para el desarrollo y

CUADRO 4.1a. ANALISIS FISICO-QUIMICOS PROMEDIOS DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS DE EL SALVADOR

| Industria | pH | T°C | Oxígeno Disuelto (mg/l) | Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l) |
|-------------------------------|------------|-----|-------------------------|--------------------------------------|
| Beneficiado de café | 4.3 | 27 | 0 | 4,250-7,000 |
| Ingenios azucareros | 7.3 | 37 | 0 | 5,000-8,700 |
| Beneficiado de henequén | 4.9 | -- | -- | 4,575 |
| Producción de alcohol etílico | 4.85 | 59 | 0 | 25,000 |
| Tenerías | 3.6 a 11.7 | 27 | 0 | 4,700 |
| Láctea | 4.5 | 30 | 0 | 4,000-8,000 |
| Textil | 8.9 | 40 | 0 | 700 |
| Mataderos | 7.1 | 28 | 0 | 1,200 |
| Papel | 7.4 | 25 | -- | 400 |

FUENTE: UES (1993e)

CUADRO 4.1b. ANALISIS FISICO-QUIMICOS PROMEDIOS DE AGUAS
RESIDUALES DE INDUSTRIAS DE EL SALVADOR

| Industria | Sólidos totales (mg/l) | Sólidos sus - pendidos (mg/l) | Olor |
|-----------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Beneficiado de café | 2,866 | 1,246 | Acido acé - tico |
| Ingenios a- zucareros | 2,500 | 500 | Fétido |
| Beneficiado de henequén | 10,861 | 4,698 | |
| Producción de alcohol e tílico | 87,134 | 120 | Fétido |
| Tenerías | 10,600 | 2,200 | Fétido |
| Láctea | 3,000-10,000 | 600-1,100 | |
| Textil | 1,278 | 72 | Fétido |
| Mataderos | 3,692 | 2,264 | Fétido |
| Papel | 586 | 540 | Materia or - gánica |

FUENTE: UES (1993 e)

manejo integral de los recursos hídricos y de las cuencas hidrográficas; c) falta de claridad en las políticas de desarrollo por sector o usuario; d) debilidad de mecanismos y escasez de recursos para aplicar eficientemente las regulaciones; e) deficiencia del sistema tarifario actual; f) falta de seguridad en cuanto al derecho de uso del agua y g) falta de información técnica actualizada sobre cuestiones cualitativas y cuantitativas del recurso.

Consecuencias del deterioro de los recursos hídricos son la disminución de la salud de la población, pérdida del potencial hidroeléctrico, pérdida de la biodiversidad acuática, reducción en las posibilidades del uso futuro de los recursos y disminución de poder lograr un desarrollo sostenible en la agricultura.

4.1.3 GALVANOSTEGIA Y GALVANOPLASTIA, SUS APLICACIONES Y EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE

(Unidad VII. Tiempo: 1 hora clase)

(Fundación Natura, 1991)

La galvanoplastia consiste en el recubrimiento metálico sobre la superficie de metales, aleaciones y cuerpos no metálicos, a través de electrólisis.

La electrodeposición se realiza con el propósito de mejorar el aspecto de los materiales, aumentar la resistencia a la corrosión y al ataque de sustancias químicas e incrementar la resistencia a la fricción y a la abrasión. Las etapas del proceso son las siguientes:

a) Decapado.

Donde se suprimen escamas y manchas mediante un baño químico (H_2SO_4 o HCl).

b) Preparación mecánica de la superficie.

Con el propósito de dar un aspecto óptimo y buenas propiedades.

c) Limpieza física.

Se eliminan aceites, grasas, compuestos empleados en el pulimento y otras impurezas superficiales. Se utilizan disolventes orgánicos o soluciones acuosas alcalinas.

d) Limpieza química.

Para neutralizar la película alcalina que haya quedado de la limpieza física. Se emplea H_2SO_4 o HCl de 10 a 30% en volumen.

e) Electrólisis.

Aquí se efectúa el recubrimiento con níquel y cromo.

Esta industria emplea sustancias como ácido clorhídrico, cobre, cinc, cromo, níquel, tricloroetileno, plata, cianuros, plomo y cadmio, cuyos efectos en el ambiente y el ser humano se detallan a continuación.

a) Acido clorhídrico.

En las plantas provoca lesiones similares a las de las he-
ladas. Se aprecian defoliaciones y, si la contaminación
es permanente, se presentan anomalías en el crecimen-
to vegetal.

Irritaciones en la piel y las mucosas, quemaduras térmi-
cas, necrosis corneal, perforación del tabique nasal, ero-
sión dental e incluso edemas laríngeos o pulmonares.

b) Iones metálicos: cobre, cinc y cromo.

Impiden la oxidación biológica, disminuyendo la acción en-
zimática para oxidar la materia orgánica.

El cobre es altamente tóxico para plantas marinas e inver-
tebrados, pero es relativamente tóxico para los mamífe-
ros.

El cinc produce la muerte de los peces por hipoxia (falta
de oxígeno).

El cromo irrita la nariz y el tracto respiratorio supe-
rior. Por ingestión produce vómitos, diarrea, hemorragia
gastrointestinal, cirrosis pigmentaria y nefritis.

c) **Níquel.**

Produce cáncer, tumores, neoplaxia y es teratogénico en mamíferos.

d) **Efectos del tricloroetileno.**

Produce cáncer, tumores y esteratogénico en mamíferos.

e) **Efectos de la plata.**

Produce tumores en mamíferos, y es altamente tóxica para los hongos, protozoos, platelmintos y vertebrados, especialmente mamíferos.

f) **Efectos de los cianuros.**

En concentraciones superiores a 5 mg/m³ de aire, al ser inhalado por las personas, provocan ahogos, vértigos, aumento del pulso o la muerte, dependiendo del tiempo de exposición y de la concentración del gas.

g) **Efectos del plomo.**

Puede generar malnutrición, piorrea, anorexia, náuseas, vómitos, estreñimiento, cólico, nicturia, albuminuria, adormecimiento, parálisis, nerviosismo, cefalea, vértigo, delirio, neuritis óptica, anemia normocítica y reticulocitosis.

En las plantas, al penetrar al citoplasma, inhibe las enzimas que se relacionan con el proceso clorofílico.

h) **Efectos del cadmio.**

Evita la producción de celulosa, destruye microorganismos y disminuye la biomasa de las plantas en crecimiento.

En animales afecta la termoregulación y produce decrecimiento progresivo del peso corporal.

Los límites permisibles para esta industria pueden observarse en el cuadro 5.8 del capítulo V.

El grave efecto negativo provocado por el proceso de la galvanoplastia sobre el medio ambiente y el ser humano, muestran la imperiosa necesidad de buscar nuevas alternativas a partir de las "Tecnologías Más/Limpias de Producción" que disminuyan su impacto.

4.2 SOLUCION DE PROBLEMAS DE FISICOQUIMICA II, CON TEMATICA AMBIENTAL

Los problemas presentados a continuación pueden emplearse en las siguientes unidades:

- Unidad IV, problemas 1, 2 y 4.
- Unidad VIII, problema 3.

PROBLEMA 1

En la industria de proceso químico el benceno es de amplio uso como solvente en procesos de separación para purificación de sustancias; sin embargo, la exposición al mismo puede causar en el ser humano trastornos como pérdida de la conciencia, hiperactividad, acción narcótica, irritación cutánea (por su acción desengrasante de la piel) y otros males. Se preparó una disolución de naftaleno en benceno, cuya concentración fue de 1.4 lbmol de naftaleno por 1,000 lb de benceno. Calcular el peso y la composición de las sustancias que cristalizarían a partir de 100 lb de disolución, al enfriar ésta a -3°C (ver figura 4.1).

Solución:

Base de Cálculo = 100 lb de disolución

A partir de la concentración de la disolución (1.4 lbmol de naftaleno/1000 lb de benceno), se pueden calcular los porcentajes de benceno y naftaleno en la misma.

Peso fórmula del naftaleno (C_{10}H_8) = 128 lb/lbmol

$$1.4 \text{ lbmol } \text{C}_{10}\text{H}_8 * (128 \text{ lb } \text{C}_{10}\text{H}_8 / 1 \text{ lbmol } \text{C}_{10}\text{H}_8) / 1,000 \text{ lb } \text{C}_6\text{H}_6 \\ = 179.2 \text{ lb naftaleno} / 1,000 \text{ lb benceno}$$

$$\% \text{ naftaleno} = \text{lb naftaleno} / (\text{lb benceno} + \text{lb naftaleno}) * 100 \\ = 179.2 \text{ lb} / (1,000 + 179.2) \text{ lb} * 100 = 15.2$$

Por diferencia, % benceno = 84.8

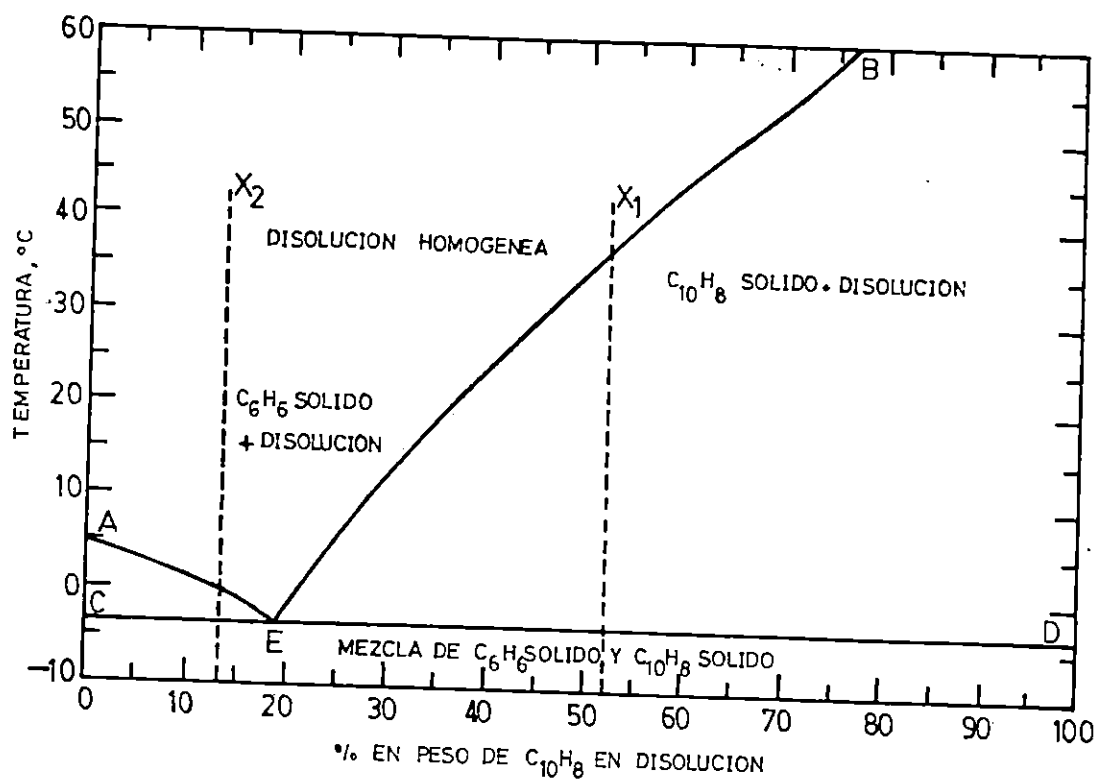


FIGURA 4.1. DIAGRAMA DE EQUILIBRIO NAFTALENO-BENCENO
FUENTE: UES (1995)

Por regla de la palanca inversa.

$$\begin{aligned} M \text{ naftaleno} / M_{\text{total}} &= (Z-X)/(Z-Y) = (19-15.2)/(19-0) \\ &= 0.2 \text{ lb de naftaleno} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ naftaleno} &= (0.2 \text{ lb de naftaleno} / 1 \text{ lb sol}) * 100 \text{ lb sol} \\ &= 20 \text{ lb de naftaleno} \end{aligned}$$

Por diferencia, se tiene:

$$\begin{aligned} M \text{ benceno} &= M \text{ sol} - M \text{ naftaleno} = 100 - 20 \\ &= 80 \text{ lb de benceno} \end{aligned}$$

PROBLEMA 2

El contacto con tetracloruro de carbono (CCl_4) y/o n-hexano (C_6H_{14}), puede provocar intoxicación aguda y puede ser cancerígeno. El tetracloruro de carbono se utiliza como limpia-dor y desengrasador de partes mecánicas, en la fabricación de lacas, plásticos, tintes, insecticidas, pulidores, etc. El hexano se utiliza como solvente en la fabricación de pinturas, como limpiador, como combustible en lámparas, etc. Se tiene una solución ideal de tetracloruro de carbono y hexano, a una temperatura de 40°C , formada por 75 g y 25 g, respectivamente. Si las presiones de vapor de los componentes puros son 0.2429 atm, para el hexano. Calcular las presiones parciales y la composición del vapor.

Solución:

$$\text{Peso Molecular de } \text{CCl}_4 = 153.8 \text{ g/gmol}$$

$$\text{Peso Molecular del } \text{C}_6\text{H}_{14} = 86 \text{ g/gmol}$$

Por la ley de Raoult:

$$P_i = X_i P_i^\circ$$

Donde:

P_i = Presión parcial de vapor de un componente volátil en una solución.

X_i = Fracción molar del componente en solución.

P_i° = Presión de vapor del componente puro

Identificando al CCl_4 con el número 1 y al CH_2Cl_2 con el 2, se tiene:

$$P_1 = X_1 P_1^\circ$$

$$P_2 = X_2 P_2^\circ$$

Para encontrar el número de moles se sabe que:

$n = \text{masa} / \text{peso fórmula}$

Así:

$$n_1 = M_1 / PF_1 = 75 \text{ g} / 153.8 \text{ g/gmol} = 0.488 \text{ gmol}$$

$$n_2 = M_2 / PF_2 = 25 \text{ g} / 86 \text{ g/gmol} = 0.291 \text{ gmol}$$

$$n \text{ totales} = 0.488 + 0.298 = 0.786 \text{ gmol}$$

Luego:

$$X_1 = 0.63 \quad \text{y} \quad X_2 = 0.37$$

Sustituyendo en la ecuación de la ley de Raoult

$$P_1 = (0.63)(0.2807) = 0.177 \text{ atm}$$

$$P_2 = (0.37)(0.2429) = 0.09 \text{ atm}$$

Para encontrar la composición del vapor, se tiene

$$P_i = Y_i P_t$$

Donde:

Y_i = fracción molar del vapor

P_t = Presión total del sistema

Por la ley de Dalton de las presiones parciales

$$P_t = P_1 + P_2$$

$$P_t = 0.177 + 0.09 = 0.267 \text{ atm}$$

De manera que:

$$Y_1 = P_1 / P_t$$

$$Y_1 = P_1 / P_t = 0.177 / 0.267 = 0.66$$

$$Y_2 = P_2 / P_t = 0.09 / 0.267 = 0.34$$

PROBLEMA 3

La combustión a alta temperatura de combustibles fósiles, facilita la formación de óxidos de nitrógeno. Los óxidos de nitrógeno participan en la formación de contaminantes secundarios. Se ha comprobado que el dióxido de nitrógeno puede causar problemas respiratorios a concentraciones de 13 ppm. Además, el monóxido de nitrógeno contribuye a destruir la capa de ozono (ver cuadro 5.5).

A continuación se presentan datos experimentales de la disociación del pentóxido de nitrógeno.

CUADRO 4.2. DATOS SOBRE LA DISOCIACION DEL PENTOXIDO DE NITROGENO

| Tiempo (s) | $\ln[P_0 / (P_0 - P)]$ |
|------------|------------------------|
| 1,200 | 0.577 |
| 1,800 | 0.831 |
| 2,400 | 1.147 |
| 3,000 | 1.479 |
| 3,600 | 1.742 |
| 4,200 | 2.008 |
| 4,800 | 2.28 |
| 5,400 | 2.7 |
| 7,200 | 3.708 |
| 8,400 | 4.956 |

Calcule la constante de velocidad de reacción.

Solución:

La expresión $\ln[P_0 / (P_0 - P)]$ equivale a tener una ecuación de velocidad de reacción de primer orden, pues:

$$\ln [a/(a-x)] = \ln [P_0 / P_0 - P] = Kt$$

De esta manera, pueden graficarse los datos de t vs $\ln [a/(a-x)]$, para obtener la pendiente de la línea que sería la constante pendiente de la ecuación de regresión. Utilizando este último procedimiento se tiene que para la ecuación de regresión $y = a + bx$, a es igual a cero (intercepto) y la pendiente igual a 5.6×10^{-4} , con un coeficiente de correlación igual a 0.99, lo cual confirma que en efecto la línea es una recta.

Por lo tanto,

$$K = 5.6 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

PROBLEMA 4

El Tolueno es un irritante de las vías respiratorias, causando neumonitis; además, irrita la piel y produce conjuntivitis. El tolueno se usa ampliamente en la fabricación de explosivos, tintes, solventes y como adelgazador para lacas. El benceno es capaz de generar hipertonia muscular, hiperreflexia y afectar la médula ósea. El benceno se usa en la producción de nitrocelulosa, en productos químicos para fotografía, en fabricación de solventes para pinturas, gomas, etc. Se destila una mezcla de benceno y tolueno, la cual comienza a calentarse desde 65°C hasta alcanzar los 75°C .

- a) ¿Cuál es la composición del residuo?
- b) ¿Cuál es la composición total destilado?
- c) ¿Cuál es el peso del total destilado?

Solución:

Sea:

Tolueno = A

Benceno = B

Despejando F en ecuación (2):

$$(100 - 0.7 E) / 0.2 = F$$

Sustituyendo (3) en (1):

$$200 = E + 100 / 0.2 - 0.7 E / 0.2$$

$$200 - 500 = E - 3.5 E$$

$$-300 = -2.5 E$$

$$-300 / -2.5 = E$$

$E = 120$ g, que es el peso total de destilado.

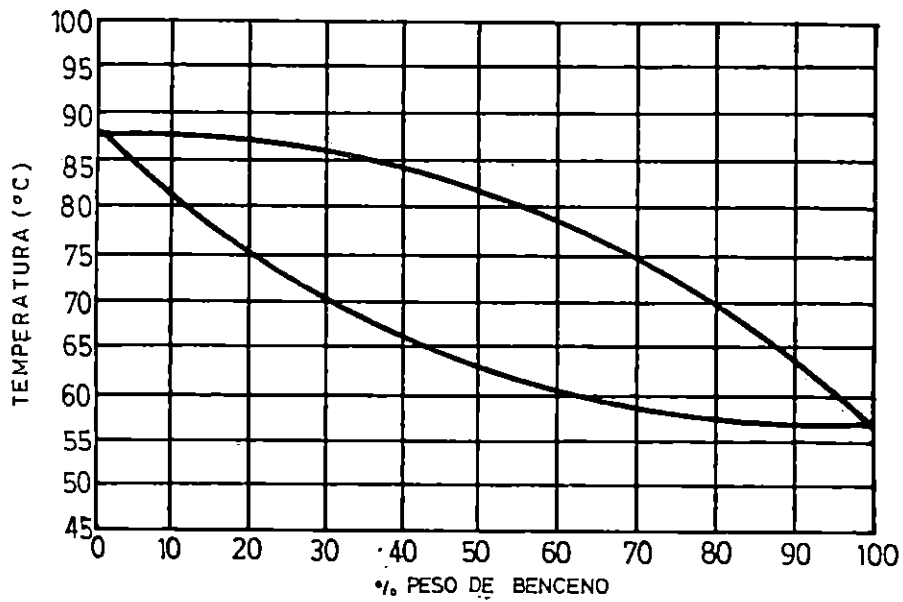


FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO LIQUIDO-VAPOR PARA BENCENO Y TOLUENO
FUENTE: UES (1995)

A partir de la figura 4.2 se obtienen las composiciones del residuo y el destilado:

a) La composición del residuo es:

- 20% A
- 80% B

b) La composición del total destilado es:

- 70% A
- 30% B

c) Aplicando Balance de Masas:

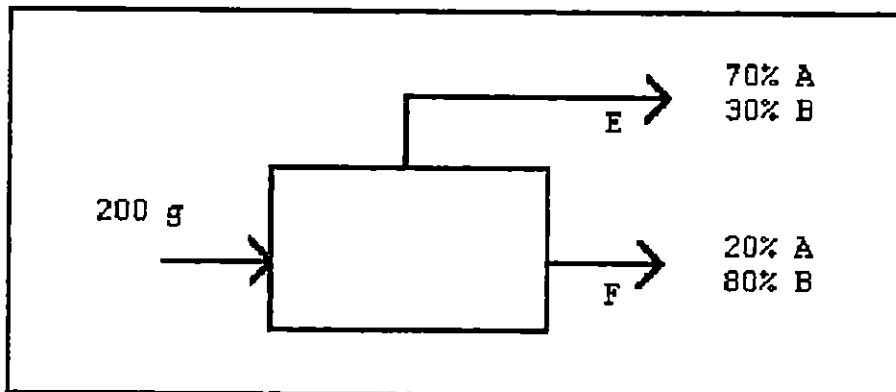


FIGURA 4.3. ESQUEMA PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA 4

A 65°C la composición es:

50% A y 50% B

Balance Total:

$$D = E + F$$

$$200 = E + F \quad (1)$$

Balance para componente A:

$$200(0.5) = 0.7 E + 0.2 F$$

$$100 = 0.7 E + 0.2 F \quad (2)$$

4.3 REVISION DE LAS PRACTICAS DE LABORATORIOS DE FISICOQUIMICA II (UES, 1993b)

Para la revisión realizada en esta sección se emplean las frases de seguridad R y S para sustancias químicas, además se sugiere un método de desactivación y disposición final de residuos de laboratorio (que pueden ser reactivos sobrantes o productos obtenidos). Para una mayor ampliación sobre lo realizado consultar la sección 3.3.1 que trata sobre las características de sustancias de laboratorio.

La mayor parte de las sustancias empleadas en las prácticas de laboratorio de fisicoquímica II causan efectos, en mayor o menor grado, sobre el ambiente y el ser humano (ver sección 4.3.3 y cuadro resumen 4.1 al final de esta sección), por ello, en términos generales, es recomendable un uso racional y un manejo adecuado de los compuestos para reducir al mínimo sus efectos negativos.

Las prácticas de laboratorio revisadas a continuación son las siguientes:

- a) Presión de vapor.
- b) Destilación de una mezcla azeotrópica.
- c) Cristalización.
- d) Sistema ternario de líquidos.
- e) Peso molecular por crioscopia. Método de Rast.
- f) Electroquímica.
- g) Velocidad de reacción..

4.3.1 LABORATORIO No.1. PRESION DE VAPOR

Objetivo:

Trazar la curva de presión de vapor y calcular el calor de vaporización de un líquido.

Teoría:

La presión de vapor de un líquido puro, es la presión a la cual el líquido está en equilibrio con su vapor. Este equilibrio es dinámico, es decir el número de moléculas que se evaporan del líquido es igual al número de moléculas de vapor que se condensan.

La presión de vapor aumenta con la temperatura hasta llegar a la temperatura crítica, temperatura a la cual no existe líquido.

Para calcular el calor de vaporización de un líquido se utiliza la ecuación de Clausius-Clapeyron, que relaciona la presión de vapor con la temperatura y el calor de vaporización, así:

$$\ln P = H_v/R (1/T) + C$$

Donde:

P = Presión de vapor

H_v = Calor de vaporización

R = Constante de los gases

C = Constante de Integración

Reactivos:

- Eter etílico
- R 10: Inflamable.
- R 36: Irrita los ojos.
- R 47: Puede provocar malformaciones.
- S 24: Evitar contacto con la piel.

DISPOSICION FINAL: puede efectuarse en el recipiente colector A (disolventes orgánicos y soluciones de sustancias orgánicas que no contengan halógenos).

Procedimiento

1. Armar el aparato. Colocar en la ampolla de vidrio (para el caso un erlenmeyer herméticamente cerrado) de 5 a 10 ml de Eter Etílico.
2. Sumergir la ampolla en un baño de agua helada, entre 0 - 10°C. Tomar como referencia de altura igual 0 en el manómetro diferencial empleado, cuando la temperatura del agua sea de 6°C.
3. Aumentar la temperatura del baño gradualmente, y a partir de los 32°C, tomar lecturas de las alturas de la columna de mercurio a intervalos de 2°C (10-12 lecturas), hasta alcanzar el punto de ebullición del éter etílico.

Cálculos:

1. Calcular la presión para cada temperatura a partir de la siguiente fórmula:

$$P = P_0 + gh$$

Donde:

P_0 = Presión atmosférica ; ρ = densidad del mercurio

g = Aceleración de la gravedad;

h = Altura de la columna

2. Construya las gráficas P contra T(K) y de $\ln P$ contra $1/T$ (K)
3. Calcular a partir del gráfico el calor de vaporización del éter etílico.

Recomendaciones:

- Reutilizar el éter etílico para prácticas posteriores.

4.3.2 LABORATORIO No.2. DESTILACION DE UNA MEZCLA AZEOTROPICA

Objetivo:

Comprobar la desviación negativa de la Ley de Raoult de una mezcla binaria de líquidos.

Teoría:

Las mezclas cuyo punto de ebullición es constante son denominados "Azeotrópicos" ó "Azeótropos". La composición de cada una de estas mezclas es marcadamente constante a una presión dada. Cuando la presión total cambia, varía el punto de ebullición y la composición del azeótropo.

Materiales:

- 20 Tubos de ensayo
- 1 Bureta de 50 ml
- 1 Mechero Bunsen
- 1 Malla de asbesto
- 1 Trípode
- 1 Balón de 250 ml
- 1 Condensador west
- 1 Adaptador curvo
- 1 Pinza para bureta
- 2 Soportes
- 3 Pinzas de sostén
- 1 Pinza de extensión
- 1 Pinza versátil
- 1 Probeta de 25 ml
- 1 Termómetro de 110°C
- 1 Pipeta de 5 ml (graduada)
- 6 Erlenmeyer de 125 ml
- 1 Balanza granataria

- 1 Agitador
- 1 Beaker de 250 ml

Reactivos:

- Acido clorhídrico (HCl, puro), véase laboratorio de gases reales, sección 3.3.1.

- Hidróxido de sodio
 - R 35: Provoca graves quemaduras.
 - S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.
 - S 26: En caso de contacto con los ojos, lavar con agua abundante y acudir al médico.
 - S 37/39: Llevar guantes y gafas o máscara de protección adecuada durante la manipulación.

DESACTIVACION : debe realizarse diluyéndose en agua y neutralizándose con ácido sulfúrico hasta un pH entre 6 y 8. Luego debe colocarse en el recipiente colector D.

Procedimiento

1. Rotular 10 tubos de ensayo con D₁ a D₁₀ y otros con R₁ a R₁₀.

2. Armar el aparato para destilación simple y agregar al balón 100 ml de agua y 40 ml de HCl.

3. Destilar la mezcla y cuando la temperatura esté constante, coleccionar 5 ml de destilado (D₁), anotar la temperatura (T₁).

4. Suspender el calentamiento al balón y cuando la mezcla deje de ebullición, sacar con una pipeta 5 ml de residuo (R₁).

5. Agregar 5 ml de HCl concentrado al balón y repetir para obtener D₂ y R₂.
6. Agregar 4 porciones de 15 mls de HCl concentrado y cada vez destile y enfríe para obtener D₃ y R₃, D₄ y R₄, D₅ y R₅, D₆ y R₆.
7. Finalmente, agregar 20 ml de HCl concentrado y tomar 4 muestras más de destilado (D₇ a D₁₀) y cuatro de residuo (R₇ a R₁₀), a intervalos de tiempo, sin haber agregado más HCl concentrado. Tómense las temperaturas correspondientes.
8. Determinar la composición de los destilados y residuos, tomando 2 ml de muestra y titulando con NaOH 0.4 M. El indicador utilizado en rojo de metilo.
9. Anotar la presión barométrica y temperatura de ebullición del agua, ésta puede determinarla en el mismo aparato.

Cálculos

1. Hacer dos gráficas de temperatura versus composición para el destilado y el residuo, diferenciando la curva del vapor y la del líquido.

4.3.3 LABORATORIO No.3. CRISTALIZACION

Introducción:

La Cristalización tiene como finalidad recuperar un componente de una solución. Para lograr una formación adecuada de cristales se hace necesario que la precipitación lograda se realice de forma que no haya lugar a cristales amorfos, es decir, entre menos violenta se realice la precipitación los resultados serán puestos de manifiesto en la calidad de los cristales formados.

Toda solución que contenga una cantidad de un soluto que se encuentre en proporción tal que sature a dicha solución tenderá a cristalizar si las condiciones de temperatura y presión favorecen las condiciones de equilibrio.

En la presente práctica de laboratorio se construirá una curva de solubilidad temperatura para el $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ disuelto en H_2O , y posteriormente se procederá a cristalizar una muestra de aguas madres de sulfato de cobre.

Material y Equipo

- 6 Tubos de ensayo grande (tapón de rosca)
- Termómetro
- Pinza
- Espátula
- Agitador de vidrio
- Probeta 25 ml
- Beakers 400 ml
- Hot Plate ó mechero, Tripode, Malla
- Papel filtro

Reactivos:

Sulfato de cobre (CuSO_4):

R 22: Nocivo por ingestión

DISPOSICION FINAL: puede efectuarse en el frasco colector E (residuos inorgánicos tóxicos).

Procedimiento

1. Construcción de la curva solubilidad-temperatura.
 - a. Mida 25 ml agua destilada en cada uno de los tubos de ensayo.
 - b. Pese una cantidad de Sulfato de Cobre y anote dicho valor.
 - c. Caliente en baño maría un tubo de ensayo manteniendo la temperatura constante a 40°C .
 - d. Agregue Sulfato de Cobre poco a poco hasta que observe que los cristales no solubilizan.
Anote la cantidad de Sulfato agregado (Mi) para lograr la saturación a dicha temperatura.
 - e. Continúe con los pasos (c) y (d) incrementando la temperatura en 10°C hasta alcanzar 80°C .
Anote la masa adicionada y la temperatura en cada caso.
 - f. Efectúe el paso (d) a temperatura ambiente.
 - g. Efectúe el paso (d) a temperatura inferior a ambiente colocando hielo y enfriando el tubo de ensayo.
 - h. Construya la curva de saturación de Sulfato de Cobre en (solución) contra temperatura.
Grafique temperatura ($^\circ\text{C}$) en abscisas y (Mi) Masa adicionada para saturar la solución en ordenadas.
Traslade la masa correspondiente a fracción ó (por ciento).
Peso/peso y molaridad.

La Temperatura (T_i) y la Masa Añadida (M_i) servirán para la construcción de la curva solubilidad-temperatura.

2. Recuperación de Cristales del Sulfato de Cobre. (Método de Purificación de Cristales).
 - a. Agregue el Sulfato de Cobre (en solución) de cada tubo a un Beaker de 400 ml.
 - b. Si la solución precipita al tenerla a temperatura ambiente, colóquela en un baño de agua fría (con hielo), para favorecer la cristalización.
 - c. Evapore un poco de agua de la solución, con esto se logra aumentar la concentración de la solución.
 - d. Enfríe a temperatura ambiente y raspe las paredes del Beaker con el agitador de vidrio, se favorece la formación de cristales al romper el equilibrio.
 - e. Baje la temperatura con hielo. Raspe las paredes del Beaker y agregue unos cristales de sulfato de cobre (siembra de cristales).
 - f. Si la formación de cristales se ha verificado enfríe un poco el sistema y luego proceda a filtrar. Recircule las aguas filtradas hasta que determine que no hay sulfato de cobre presente en ellas.

Recomendaciones:

- Definir en la marcha de laboratorio la cantidad inicial de CuSO_4 tratando de utilizar la menor cantidad posible.

4.3.4 LABORATORIO No.4.SISTEMA TERNARIO DE LIQUIDOS

Objetivos:

Que el estudiante construya gráficamente un diagrama ternario para un sistema líquido de tres componentes (agua, benceno y ácido acético) a partir de datos experimentales.

Teoría

La curva de solubilidad de dos líquidos poco miscibles entre sí y un tercero completamente miscible en los otros dos, se determine preparando mezclas conocidas de los dos líquidos poco miscibles y agregando con una bureta un volumen del líquido completamente miscible en los otros dos, hasta que la turbiedad de la mezcla desaparezca.

Material y Equipo

- 3 Erlenmeyer 125 ml
- 2 Bureta de 25 ml
- 1 Soporte universal
- 2 Pinzas para bureta
- 1 Embudo de separación 250 ml
- 1 Pipetas de 5 y 10 ml
- 1 Beaker 50 y 150 ml
- Hot-plate
- Agitador magnético
- Aro metálico

Reactivos:

- Acido acético glacial (CH_3COOH)
 - R 10: Inflamable
 - R 35: Provoca graves quemaduras.
 - S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.
 - S 23: Evitar respirar los gases/humos/vapores/aerosoles

S 26: En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con agua y acudir al médico.

DISPOSICION FINAL: es necesario neutralizarlo hasta un pH entre 6 y 8, luego debe colocarse en el frasco colector de soluciones salinas.

- Hidróxido de sodio (NaOH, 1.0 N)
 - R 35: Provoca graves quemaduras.
 - S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.
 - S 26: En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente y abundantemente con agua y acudir al médico.
 - S 27: Quitarse inmediatamente la ropa contaminada o empapada.
 - S 37/39: Llevar guantes y gafas o máscara de protección adecuadas durante la manipulación.

DESACTIVACION: debe diluirse con agua y luego neutralizarse con ácido sulfúrico. Posteriormente puede ser colocado en el recipiente colector D.

- Benceno (C₆H₆)
 - R 11: Muy inflamable.
 - R 45: Puede ser cancerígeno.
 - R 23/24: Tóxico por inhalación y contacto con la piel.
 - S 9: Tener el recipiente en sitio ventilado.
 - S 16: Mantener lejos de fuentes de ignición. No fumar.
 - S 29: No tirar residuos por los desagües.

DISPOSICION FINAL: debe ser en el frasco colector F, para compuestos combustibles tóxicos.

Procedimiento

1. Obtención de la Curva Binodal

- a. Preparar soluciones de agua y benceno que contengan: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 65, 70, 75, 80, 85 y 90% volumen de agua.

El volumen final de cada mezcla debe ser aproximadamente 92 y 95% de 20 ml y su porcentaje peso debe ser exactamente conocido.

- b. Estas mezclas forman dos capas, siendo la capa inferior la acuosa. A cada mezcla se le agrega gota a gota ácido acético glacial hasta que la turbiedad, al agitar desaparece (observe bien que las dos fases realmente desaparecen).
- c. Anotar la temperatura.

2. Obtención de las Líneas de Unión

- a. Se preparan 50 ml de cada una de las soluciones siguientes:

| N° | <u>Composición en Volumen</u> | | |
|----|-------------------------------|-------|---------------|
| | Benceno | Aguas | Acido Acético |
| 1 | 45% | 45 | 10 |
| 2 | 45 | 40 | 15 |
| 3 | 45 | 35 | 20 |
| 4 | 45 | 30 | 25 |
| 5 | 45 | 25 | 30 |
| 6 | 45 | 20 | 35 |
| 7 | 45 | 15 | 40 |
| 8 | 45 | 10 | 45 |

- b. Se agita cada solución durante dos minutos dentro de un embudo de separación, se deja reposar y se separan las dos fases (la inferior es la acuosa).
- c. Separar las fases de cada una de las mezclas.

- d. Se determina el % de ácido en cada fase por titulación con hidróxido de sodio 1.0 N. Tomándose muestras de 2 ml de la fase acuosa y 5 ml de la fase bencénica.

Cálculos:

1° Parte

Se calcula la composición de cada solución en el punto en que desaparece la turbiedad. Se hace ese cálculo en % peso y % mol. Se grafican en un diagrama triangular los puntos obtenidos y se traza la curva binodal correspondiente

2° Parte

- a. A partir de los datos de las tabulaciones con el NaOH se calcula el porcentaje en peso de ácido en cada capa.

Se ubican los puntos correspondientes a las composiciones de las mezclas 1 a 8 en el diagrama ternario ya contruido. Los puntos caerán dentro de la curva binodal. Después se ubican los puntos correspondientes a las composiciones de las capas analizadas según el párrafo anterior colocando los % de ácido de la capa acuosa en la rama acuosa de la curva y los % de ácido de la capa bencénica en la rama bencénica. Se une cada par de puntos conjugadas con una línea recta. Estas rectas deberán pasar por los puntos que indican las composiciones totales de las mezclas.

- b. Trace la línea conjugada, extrapolando para ubicar el punto doble.

4.3.5 LABORATORIO No.5. PESO MOLECULAR POR CRIOSCOPIA-METODO DE RAST

Objetivos:

Que el estudiante:

- a. Evalúe la constante crioscópica de un solvente orgánico (alcanfor).
- b. Aplique las ecuaciones deducidas para el descenso crioscópico en la predicción de pesos moleculares de solutos no volátiles disueltos.

Introducción

El método de Rast emplea alcanfor como solvente debido a que esta sustancia tiene una constante crioscópica muy elevada, lo que facilita la determinación de pesos moleculares de solutos que se disuelven en alcanfor. No se requiere aparato especial y un termómetro ordinario es suficiente.

Materiales:

- 1 Espátula
- 1 Gradilla
- 1 Mechero
- 1 Pinza para bureta
- 1 Pinza para tubo de ensayo
- 1 Soporte universal
- 1 Malla con asbesto
- 1 Termómetro graduado
- 3 Tubos capilares
- 1 Beaker 150 ml
- 2 Vidrios de Reloj
- 3 Bandas de hule
- Balanza analítica o granataria
- 1 Tubo de ensayo 15 x 125 mm
- 1 Tapón de corcho

Reactivos:

- Alcanfor ($C_{10}H_{16}O$).
No presenta riesgos específicos.

DISPOSICION FINAL: puede realizarse en recipiente para disolventes orgánicos y soluciones de sustancias orgánicas que no contengan halógenos (A).

- Glicerina ($C_3H_8O_3$).
No presenta riesgos específicos.

DISPOSICION FINAL: al igual que el anterior, debe ser en el recipiente colector A.

- Naftaleno ($C_{10}H_8$).
R 22: Nocivo por ingestión.

DISPOSICION FINAL: se recomienda emplear el frasco colector A.

Procedimiento

La muestra problema en polvo (20 a 30 mg) se pesa en un vidrio de reloj y luego se pasa a un tubo de ensayo limpio y de peso conocido, se le agregan 500 a 600 mg de alcanfor y se vuelve a pesar.

El tubo de ensayo conteniendo la mezcla se tapa con un tapón de corcho, se sujeta con las pinzas y se sumerge en un baño de glicerina previamente calentado a $180^{\circ}C$. La mezcla se funde y agita rápidamente, no debe estar dentro de este baño por más de un minuto ya que el alcanfor se sublima.

El material del tubo se deja enfriar a temperatura ambiente hasta que solidifique. Se toma un poco de la mezcla sólida

con una espátula, se pone en un vidrio de reloj y se pulveriza con la espátula.

Este material se introduce en un capilar sumergiendo la parte abierta del mismo en el polvo golpeándolas por el fondo hasta que la muestra alcanza unos 5 mm de altura del capilar.

Para determinar el punto de fusión, el capilar se adhiere al bulbo del termómetro sujetándolo con una banda de hule e introduciéndolo en el baño de glicerina. Una vez montado el termómetro dentro del baño, este se calienta con el mechero.

La temperatura debe subir primero rápidamente y ya que se acerca a unos 15°C del punto de fusión, el calentamiento debe ser muy lento para que la temperatura suba a razón de 2 a 3°C por minuto. El punto de fusión es la temperatura a la cual la muestra queda perfectamente líquida.

Todo el proceso anterior se repite sustituyendo la muestra problema por Naftaleno, para determinar la constante crioscópica del alcanfor.

Los puntos de fusión de la muestra problema y naftaleno así como del alcanfor se determinan por duplicado.

Cálculos:

1. Evaluar la constante crioscópica del alcanfor.
2. Determinar el peso molecular de la muestra problema.
3. Calcular el calor de fusión del alcanfor a partir de su constante crioscópica y de su punto de fusión.

Recomendación:

- Por las características y cantidades de los reactivos, la ejecución de este laboratorio no presenta mayores riesgos.

4.3.6 LABORATORIO No.6. ELECTROQUIMICA

Objetivo General.

- Establecer experimentalmente las relaciones que existen entre un proceso oxido-reducción y la corriente eléctrica.
- Conocer experimentalmente las leyes básicas en soluciones electrolíticas.

Teoría

El flujo de electricidad por un conductor involucra una transferencia de electrones desde un punto de potencial más negativo a otro de menor negatividad.

El mecanismo de transferencia no es siempre igual en los conductores electrónicos como los metales sólidos o fundidos y ciertas sales sólidas, la conducción tiene lugar por la migración directa de los electrones a través del conductor bajo la influencia del potencial aplicado. En los conductores electrolíticos, la transferencia electrónica tiene lugar por migración iónica positiva o negativa hacia los electrodos.

El flujo de corriente en los conductores electrolíticos va siempre acompañado de cambios químicos en los electrodos que son muy característicos y específicos de las sustancias que componen el conductor electrolítico y los electrodos.

Ley de Faraday

Las leyes que obedecen las deposiciones electrolíticas de metales, se representa en la siguiente expresión general:

$$W = Z Q$$

Donde:

W = Masa depositada del metal.

Q = Carga que circula por la solución electrolítica.

Z = Equivalente electroquímico del metal.

Reactivos:

- Sulfato de Cobre (CuSO_4)

R 22: Nocivo por ingestión.

DISPOSICION FINAL: debe ser en el recipiente colector de residuos inorgánicos tóxicos (E).

- Yoduro de Potasio. (KI)

No presenta riesgos específicos.

DISPOSICION FINAL: es el recipiente colector I, para sólidos inorgánicos; si está en solución debe colocarse en el recipiente colector D (para soluciones salinas previo ajuste del pH entre 6 y 8).

- Hidróxido de sodio (NaOH , solución)

R 35: Provoca graves quemaduras.

S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.

S 26: En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente y abundantemente con agua y acudir al médico.

S 27: Quitarse inmediatamente la ropa contaminada o empapada.

S 37/39: Llevar guantes y gafas o máscara de protección adecuadas durante la manipulación.

DESACTIVACION: debe efectuarse con ácido sulfúrico hasta un Ph entre 6 y 8, luego, puede colocarse en el recipiente colector D, para soluciones salinas.

- Acido nítrico (HNO_3)
 - R 8: Peligro de fuego en contacto con sustancias combustibles.
 - R 35: Provoca graves quemaduras.
 - S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.
 - S 23: Evitar respirar los gases/humos/vapores/aerosoles
 - S 26: En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente y abundantemente con agua y acudir al médico.
 - S 27: Quitarse inmediatamente la ropa contaminada o empapada.

DISPOSICION FINAL: Antes de ser colocado en el recipiente colector D (soluciones salinas), debe ser diluido y neutralizado con hidróxido de sodio hasta un pH entre 6 y 8.

Procedimiento

1. Disponer de un pedazo de papel humedecido con agua corriente y coloque a ambos lados, las placas de cobre y zinc. Establezca el contacto correcto con las terminales de un multímetro y observe el voltaje registrado.
2. Prepare una celda electrolítica que contenga 2 electrodos de carbono y una solución de yoduro de potasio mezclada con una solución de almidón diluida. Conecte las terminales de cada electrodo a los polos de una fuente de voltaje y verificar si ocurre un cambio químico.
3. Armar otra celda, esta vez con los electrodos de zinc y de cobre, y solución de sulfato de cobre II. Conecte la fuente y observe los cambios en el lapso de 10 minutos.

Antes limpiar con NaOH y HNO₃, los electrodos a usar. Ajustar la intensidad de corriente.

Cálculos

1. Calcule la masa depositada según la Ley de Faraday para la parte II.
2. Consulte una tabla de potenciales de oxidación (o de reducción) y calcule el voltaje que se produce en el par Cu /Zn . ¿A qué se debe no haber observado el valor calculado?
3. Escriba las ecuaciones que describen los cambios químicos en los numerales II y III.

Questionario

1. Investigue un método para la determinación del número de transporte (método experimental).
2. Investigue en que consiste el anodizado de aluminio, forma de realizarlo, y la aplicación industrial de este proceso.
3. ¿Cuál es la diferencia entre el galvanizado y el anodizado?
4. Investigue los efectos generados en el ambiente y la salud humana por los contaminantes de la industria electrolítica.

4.3.7 LABORATORIO No.7. VELOCIDAD DE REACCION

Objetivo

Que el estudiante durante la práctica conozca el efecto que algunos factores ejercen sobre la velocidad de reacción.

Introducción

Muchas reacciones químicas han adquirido importancia desde el punto de vista industrial, médico y biológico; por lo que es importante su estudio con el fin de determinar las condiciones que afectan su velocidad y rendimiento.

El ritmo o velocidad de reacción química se mide en términos de la cantidad relativa de algunas de las sustancias que reaccionan en la unidad de tiempo. Por ejemplo, si reacciona el 50% de una sustancia en un segundo o en un minuto, la reacción ocurre con rapidez y si dicho 50% necesita un día o una semana para reaccionar, la reacción tiene lugar con lentitud.

Cinco factores ejercen influencia en la velocidad de una reacción química: La naturaleza de los reactantes, el tamaño de las partículas de los mismos, la temperatura, la concentración de los reactivos y los catalizadores.

En este experimento estudiaremos la influencia de todos ellos.

Parte Experimental

1. Naturaleza de los Reactantes.

Reactivos:

- Nitrato de Plata (AgNO_3)

R 34: Provoca quemaduras.

S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.

S 26: En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente y abundantemente con agua y acudir al médico.

DISPOSICION FINAL: debe ser en el recipiente de de residuos de sales metálicas regenerables (frasco colector H).

- Formaldehído (HCHO)

R 40: Posibilidad de efectos irreversibles.

R 43: Posibilidad de sensibilidad en contacto con la piel.

R 23/24/25: Tóxico por inhalación, ingestión y contacto con la piel.

S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.

S 26: En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente y abundantemente con agua y acudir al médico.

S 28: En caso de contacto con la piel, lavarse inmediatamente y abundantemente con (producto adecuado: véase etiqueta).

S 51: Utilizar sólo en zonas bien ventiladas.

DISPOSICION FINAL: antes de disponerse en el recipiente colector A, debe transformarse con una solución de hidrogenosulfito sódico.

- Permanganato de Potasio (KMnO₄)

R 8: Peligro de fuego en contacto con sustancias combustibles.

R 22: Nocivo por ingestión.

S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.

DISPOSICION FINAL: debe ser en el recipiente colector D, después de ser tratado con una solución de tiosulfato sódico.

Procedimiento:

- a. En un tubo de ensayo colque 2 ml de solución de NaCl al 5% y añádale 5 gotas de solución acuosa de AgNO_3 al 5%. Anote los resultados.
- b. En otro tubo de ensayo coloque 2 ml de formaldehído y agréguele 5 gotas de KMnO_4 al 2%. Anote los resultados.
- c. Compare la reactividad entre los dos experimentos realizados.

2. Tamaño de las Partículas.

Reactivo:

- Hidróxido de Sodio. (NaOH).
 - R 35: Provoca graves quemaduras.
 - S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.
 - S 26: En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente y abundantemente con agua y acudir al médico.
 - S 27: Quitarse inmediatamente la ropa contaminada o empapada.
 - S 37/39: Llevar guantes y gafas o máscara de protección durante la manipulación.

DISPOSICION FINAL: debe diluirse y neutralizarse con una solución de ácido sulfúrico hasta obtener un pH entre 6 y 8, luego debe ser colocado en el recipiente colector D para soluciones salinas.

Procedimiento:

- a. En cada uno de dos tubos de ensayo coloque 2 ml de NaOH al 2%.
- b. Añada a un tubo una granalla de aluminio y al otro una cantidad igual de aluminio pulverizado.
- c. Compare las velocidades de reacción en ambos casos.

3. Efecto de la Temperatura.Reactivo:

- Acido Clorhídrico (HCl)
R 36/38: Irrita los ojos y la piel.
S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.
S 28: En caso de contacto con la piel, lavarse inmediatamente y abundantemente con (productos adecuados, véase etiqueta).

DISPOSICION FINAL: puede ser neutralizado con una solución de hidróxido de sodio, posteriormente debe colocarse en el recipiente colector D.

Procedimiento:

- a. En cada uno de dos tubos de ensayo coloque 2 ml de HCl al 5%.
- b. Añada a cada tubo 0.1 g de aluminio pulverizado.
- c. Deje un tubo en reposo y caliente suavemente el otro. Anote sus observaciones y conclusiones.

4. Efecto de la Concentración.Reactivos:

- Permanganato de potasio ($KMnO_4$)
R 8: Peligro de fuego en contacto con sustancias combustibles.

R 22: Nocivo por ingestión.

S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.

DISPOSICION FINAL: debe reducirse por medio de una solución de tiosulfato sódico. Luego puede ser colocado en el recipiente colector D.

- Acido Oxálico ($C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$).

R 21/22: Nocivo por contacto con la piel y por ingestión.

S 2: Mantener fuera del alcance de los niños.

S 24/25: Evitar contacto con los ojos y la piel.

DISPOSICION FINAL: su neutralización puede realizarse con una solución de hidróxido de sodio hasta un pH entre 6 y 8, luego debe colocarse en el recipiente colector D.

Procedimiento:

- En un tubo de ensayo coloque 2 ml de ácido oxálico al 10% en solución acuosa; agréguele 5 gotas de $KMnO_4$ al 2%, agite y anote el tiempo que tarda en desaparecer la coloración violeta del permanganato.
- Repita el procedimiento anterior utilizando 2 ml de ácido oxálico al 2%.
- Compare la velocidad de reacción en ambos casos. Anote resultados y conclusiones.

5. Catálisis.

Reactivos:

- Formaldehído (HCHO) y Permanganato de Potasio ($KMnO_4$).
Mirar el numeral 1.

Procedimiento:

- a. En un tubo de ensayo coloque 2 ml de formaldehído y 3 gotas de Permanganato al 2% agite. Anote observaciones y resultados.
- b. En un tubo de ensayo coloque 2 ml de formaldehído, 4 gotas de NaOH al 2% y 3 gotas de Permanganato de Potasio. Agite y anote los resultados.
- c. Compare la reactividad en ambos casos; y anote los resultados y conclusiones.

Recomendación:

- Debe tenerse especial cuidado en la manipulación del formaldehído.

CUADRO 4.3. SUSTANCIAS QUIMICAS EMPLEADAS O GENERADAS EN LOS LABORATORIOS DE FISICOQUIMICA II

| Título de la práctica | Reactivos utilizados | Cantidad por 25 alumnos | Sustancias generadas | Riesgos para el ambiente o la salud humana |
|---------------------------------------|----------------------|--|----------------------|--|
| Presión de vapor | $C_6H_{14}O_3$ | de 25 a 50 ml | | Causa malformaciones y es inflamable |
| Destilación de una mezcla azeotrópica | HCl | 625 ml | | Irrita los ojos Genera lluvia ácida y contaminación térmica |
| | NaOH | 1.5 l | | Provoca graves quemaduras Genera contaminación térmica |
| | | | NaCl | No presenta riesgos específicos |
| Cristalización | $CuSO_4$ | 250 g | | Nocivo por ingestión |
| Sistema ternario de líquidos | CH_3COOH | Base 50 ml; 550 ml | | Inflamable Provoca graves quemaduras |
| | NaOH | 75 ml | | Provoca graves quemaduras Genera contaminación térmica |
| | C_6H_6 | Base 50 ml: 900 ml Base 20 ml: 900 ml | | Muy inflamable Cancerígeno Tóxico por inhalación y en contacto con la piel |

Pasa...

...Continuación del CUADRO 4.3.

| Título de la práctica | Reactivos utilizados | Cantidad por 25 alumnos | Sustancias generadas | Riesgos para el ambiente o la salud humana |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|--|
| Peso molecular por crioscopía | $C_{10}H_{16}O$ | 3000 mg | | No presenta riesgos específicos |
| | $C_3H_8O_3$ | 50 g | | No presenta riesgos específicos |
| | $C_{10}H_8$ | 100 a 150 mg | | Nocivo por ingestión |
| Electroquímica | $CuSO_4$ | 250 ml | | Nocivo por ingestión |
| | KI | 250 ml | | No presenta riesgos específicos |
| | NaOH | 250 ml | | Provoca graves quemaduras Produce contaminación térmica |
| | HNO_3 | 250 ml | | Provoca graves quemaduras |
| Velocidad de reacción | $AgNO_3$ | 25 gotas de sol. al 5% | | Provoca graves quemaduras |
| | HCHO | 30 ml | | Tóxico por inhalación, ingestión y contacto con la piel |

Pasa...

...Continuación del CUADRO 4.3.

| Título de la práctica | Reactivos utilizados | Cantidad por 25 alumnos | Sustancias generadas | Riesgos para el ambiente o la salud humana |
|-----------------------|--|---|----------------------|---|
| | KMnO_4 | 105 gotas de sol. al 2% | | Nocivo por ingestión |
| | NaOH | 100 ml de sol. al 2% | | Provoca graves quemaduras Genera contaminación térmica |
| | HCl | 10 ml de sol. al 5% | | Irrita los ojos Genera lluvia ácida |
| | NaCl | 10 ml de sol. al 5% | | No presenta riesgos específicos |
| | $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 10 ml de sol. al 10 %. 10 ml de sol. al 2% | | Nocivo por ingestión y contacto con la piel |
| | Al | 0.5 g | | |
| | | | AgCl | No presenta riesgos |

CAPITULO V
REVISION DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA BALANCE DE MATERIA
Y ENERGIA Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS
CON EL MEDIO AMBIENTE

5.0 PROGRAMA DE ASIGNATURA

I. GENERALIDADES

Asignatura: Balance de Materia y Energía Prerrequisito: Programación I Correquisito: Fisicoquímica II Código: BME-115 U.V.: 4 Plan de Estudios: 1978 Reformado Nivel: V Ciclo: I Año Académico: _____ Profesor: _____
 _____ Instructor: _____

II. SYLLABUS

El papel del Ingeniero Químico y del Balance de Materia y Energía en la Industria Química, Estequiometría, Balances de Materia en Estado Estable, Balances de Energía en estado estable, Balance de Materia y Energía combinados, Balance en Estado Inestable.

III. OBJETIVOS ESPECIFICOS

2.1 Dar al estudiante los principios y métodos de cálculo involucrados en diversas operaciones y procesos en los que se realizan tanto cambios físicos como químicos.

2.2 Que el estudiante se capacite para la resolución de problemas tanto teóricos como prácticos que involucren Balance de Masa y Energía, identificando los efectos de las sustancias contaminantes sobre el ser humano y el medio ambiente y, sugiriendo posibles cambios o mejoras en los procesos industriales.

2.3 Introducir al estudiante en el uso de la computadora para resolución de problemas relacionados con los Balances de Masa y Energía.

IV. CONTENIDO PROGRAMÁTICO

UNIDAD I: Introducción.

Objetivos Específicos

Que el estudiante:

- a. Identifique las variables más importantes en los procesos y su influencia en ellos.
- b. Conozca la importancia del balance de materia y energía en la industria en general.
- c. Identifique la relación y responsabilidad del Ingeniero Químico con el medio ambiente.
- d. Conozca parámetros máximos permisibles de contaminantes atmosféricos, acuáticos y terrestres.

Contenido

- 1.1 El papel del Ingeniero Químico en la Industria Química y su dominio.
- 1.2 El Ingeniero Químico, la Industria y el Medio Ambiente.
- 1.3 Límites máximos de diversos tipos de sustancias contaminantes.
- 1.4 Importancia del Balance de Materia y Energía en la educación de los Ingenieros Químicos.
- 1.5 Variables en los procesos: densidad, presión, temperatura.

UNIDAD II: Estequiometría y Relaciones de Composición.

Objetivos Específicos

Que el estudiante:

- a. Interprete toda la variedad de información, tanto cualitativa como cuantitativa, que proporcionan las ecuaciones químicas.
- b. Realice cálculos con la información antes mencionada, en reacciones que no se llevan a cabo completamente.

Contenido

- 2.1 Principio de conservación de la masa
- 2.2 Ecuación química y relaciones estequiométricas.
- 2.3 Reactivo en exceso y reactivo limitante.
- 2.4 Reacción incompleta.

UNIDAD III: Balance de Materia en Estado Estable.Objetivos Específicos.

Que el estudiante:

- a. Aplique el principio de la conservación de la masa para la solución de problemas con la presión total y la temperatura.
- b. Aplique las técnicas específicas en la solución de problemas que involucran balances de masa.
- c. Use la carta de humedad como herramienta de cálculo en problemas que involucren su aplicación.

Contenido

- 3.1 Fundamentos.
- 3.2 Técnicas específicas: algebraicas, elementos de correlación, reciclo y corriente de derivación.
- 3.3 Humedad y saturación. Uso de la carta psicrométrica

UNIDAD IV: Balance de Energía en Estado Estable.Objetivos Específicos

Que el estudiante:

- a. Conozca los fundamentos del principio de la conservación de la energía.
- b. Aplique el principio de conservación de la energía para calcular y estimar los requerimientos de energía, tanto en procesos físicos como químicos.

Contenido

- 4.1 Fundamentos. Ley de la conservación de la energía.
- 4.2 Termofísica: Energía, calor, trabajo, entalpía, calores específicos, calores latentes.
- 4.3 Termoquímica: calores de reacción: Formación, Combustión; Solución.
- 4.4 Aplicaciones.

UNIDAD V: Balances Combinados de Materia y Energía.Objetivos Específicos

Que el estudiante:

- a. Dados los conocimientos acumulados de las unidades anteriores los utilice para la resolución de problemas en procesos que requieren balances de masa y energía, como los problemas de diseño y operación de proceso, así como para minimizar y/o tratar los desechos.
- b. Conozca las Técnicas de Minimización de Residuos que tengan que ver con las Tecnologías Más/Limpias de Producción.

Contenido

- 5.1 Fundamentos.
- 5.2 Aplicaciones.
 - 5.2.1 Balances simultáneos de masa y energía.
 - 5.2.2 Gráficas de entalpía concentración.
 - 5.2.3 Carta Psicrométrica.
- 5.3 Técnicas de Minimización de Residuos.
 - 5.3.1 Reducción en la Fuente.
 - 5.3.2 Reciclaje.
 - 5.3.3 Otras Técnicas de Minimización.

UNIDAD VI: Balances de Estado Inestable.**Objetivos Específicos**

Que el estudiante:

- a. Adquiera las bases para tratar situaciones en las cuales las cantidades de masa y energía y demás condiciones de proceso varían con el tiempo; situación que a menudo ocurre en la mayoría de procesos industriales.

Contenido

- 6.1 Fundamentos.
6.2 Aplicaciones.

V. METODOLOGIA

- 4.1 Clases expositivas. 4 horas semanales.
4.2 Discusión de problemas. 2 horas semanales.
4.3 Trabajo exaula (al menos uno).
4.4 Controles de lectura.
4.5 Consultas.

VI. SISTEMA DE EVALUACION

| | |
|---|------|
| - Primer examen parcial (Unidad 1 y 2)..... | 15% |
| - Segundo examen parcial (Unidad 3)..... | 15% |
| - Tercer examen parcial (Unidad 4)..... | 20% |
| - Cuarto examen parcial (Unidad 5 y 6)..... | 20% |
| - Trabajo ex-aula (investigar una industria de proceso químico que incluya los impactos ambientales y alternativas de solución a los mismos)..... | 15% |
| - Discusión de problemas..... | 15% |
| TOTAL..... | 100% |

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Himmelblau, D.M., "Balances de Materia y Energía", Cuarta Edición, Prentice-Hall Hispanoamérica, S.A., México, 1988.
2. Hougen, O.A., K.M. Watson y R.A. Ragatz, "Principios de los Procesos Químicos", Tomo I (Balance de Materia y Energía). Cuarta Edición, Editorial Reverté S. A., España, 1974.
3. Whitwell J.C., P.K. Toner, "Conservation of Mass and Energy", Mc. Graw-Hill Book Company, Estados Unidos, 1969.
4. Schmidt, A.X., H.L. List, "Material and Energy Balances", Prentice-Hall Inc., Estados Unidos, 1962.
5. Reklaitis, G.V., "Balances de Materia y Energía", Primera Edición, Nueva Editorial Interamericana, S. A. de C.V., México, 1986.
6. Henley, E.J, H. Bieber. "Chemical Engineering Calculations". Mc Graw-Hill Book Company Inc. Estados Unidos, 1959.
7. Richard M. Felder, Ronald W. Rousseau, "Principios Elementales de los Procesos Químicos", Addison-Wesley Iberoamérica.
8. Henley, E.J, E.M. Rosen. "Cálculos de Balances de Masa y Energía". Editorial Reverté S.A. Barcelona. 1973.

9. Tyner, M. "Process Engineering Calculations"/Material & Energy Balances. The Ronald Press Company. New York. 1960.

10. Redid, R.C, J.M. Prausnitz, T.K. Sherwood. "The Properties of Gases and Liquids". Mc Graw-Hill Book Company. New York. 1977.

5.1 TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE SUGERIDOS PARA EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

5.1.1 EL INGENIERO QUIMICO, INDUSTRIA Y EL MEDIO AMBIENTE (Unidad I. Tiempo: 1/2 hora clase)

El sector industrial tiende a ser el prioritario en el proceso de desarrollo de casi todos los países y, por ello, el más fomentado y ampliado. Sin embargo, también es el responsable de muchos impactos negativos de tipo ambiental, que amenazan la vida biológica y atentan contra la calidad de la vida social (Albert, 1988).

Graves son los efectos causados a nivel mundial por procesos como la galvanoplastia (que emplea soluciones electrolíticas), la producción de papel (que termina con las reservas forestales, provoca la degradación de suelos, disminuye la cantidad de agua disponible, etc) la refinación de petróleo, la elaboración de ácido sulfúrico y ácido nítrico (que son fuente de producción de lluvia ácida por las emisiones de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno) (Fundación Natura, 1991).

El Salvador, al igual que toda Centroamérica, atraviesa por una crisis ambiental de enormes proporciones. El quehacer industrial es en parte responsable de la misma; lo que se indica en el capítulo I.

El conocer características y propiedades de determinadas sustancias, permiten determinar su toxicidad o grado de contaminación. Pueden proponerse soluciones a dichos problemas, tales como cambios en el producto (substitución, conservación,

nuevas formulaciones), control en materias primas (purificación y sustitución), innovaciones tecnológicas (cambios en proceso, equipo, operación), prácticas adecuadas de manufacturas, reciclaje de desperdicio para emplearse en el mismo proceso o como materia prima de otra actividad y, como última alternativa, tratamiento final. Es decir, aplicar técnicas de prevención en vez de únicamente corregir. El objetivo es sugerir medidas que permitan alcanzar un equilibrio entre el desarrollo socio-económico y el medio ambiente (Moser, 1994b).

Desde la perspectiva anterior, la labor del Ingeniero Químico (si bien la realiza en mayor grado con sustancias y equipo inanimado) acarrea consecuencias que tienen importante incidencia sobre el medio y el bienestar del ser humano en general. Por ello, es fundamental reconocer la relación del mismo con el ambiente que lo rodea. Su contribución puede realizarse a partir de las "Tecnologías Más/Limpias de Producción (para una ampliación sobre éstas ver el capítulo II, secciones 2.1 y 2.2).

**5.1.2 LIMITES MAXIMOS DE DIVERSOS TIPOS
DE SUSTANCIAS CONTAMINANTES**
(Unidad I. Tiempo: 2 horas clase)
(Wark y Warner, 1990; Calderon y Monge, 1994)

A continuación se presentan una serie de cuadros que muestran los efectos causados y los límites máximos permitidos en el ambiente de diversos tipos de contaminantes.

**CUADRO 5.1. EFECTOS OBSERVADOS DE ALGUNAS PARTICULAS EN EL
AIRE A DIFERENTES NIVELES DE CONCENTRACION**

| Concentración | Tiempo de medición | Efectos |
|----------------------------------|---|---|
| 60-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Media geométrica anual, con SO_2 y humedad | Aceleración en la corrosión de las láminas de acero y zinc. |
| 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Media anual | Norma de calidad del aire ambiente. |
| 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Humedad relativa menor del 70% | Visibilidad reducida a 5 millas. |
| 100-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | | Luz solar directa reducida en un tercio. |
| 80-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Con niveles de sulfatación de 30 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ | Puede ocurrir un aumento en la tasa de mortalidad de personas mayores de 50 años. |

Pasa...

...Continuación cuadro 5.1

| Concentración | Tiempo de medición | Efectos |
|------------------------------|---|--|
| 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Promedio de 24 h y $\text{SO}_2 > 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ | La morbilidad de los obreros industriales puede ser causa de un aumento en el ausentismo. |
| 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Máximo una vez en cada 24 h | Norma de calidad del aire ambiente. |
| 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Máximo de 24 h y $\text{SO}_2 > 630 \mu\text{g}/\text{m}^3$ | En los pacientes con bronquitis crónica puede que se presente empeoramiento agudo de los síntomas. |
| 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Promedio de 24 h y $\text{SO}_2 > 715 \mu\text{g}/\text{m}^3$ | Puede ocurrir un número excesivo de muertes y un considerable aumento en las enfermedades. |

FUENTE: WARK Y WARNER (1990).

CUADRO 5.2. ALGUNOS EFECTOS DEL MONOXIDO DE CARBONO EN LA SALUD A DIFERENTES CONCENTRACIONES Y TIEMPOS DE EXPOSICION

| Condiciones ambientales | Efectos |
|---|--|
| 9 ppm con 8 h de exposición | Norma sobre la calidad del aire ambiente. |
| 50 ppm con 6 semanas de exposición | Cambios estructurales en el corazón y cerebro de los animales. |
| 50 ppm con 50 min de exposición | Cambios en el umbral de la luminosidad relativa y la agudeza visual. |
| 50 ppm con exposición de 8 a 12 h para los no fumadores | Impedimentos en el funcionamiento de las pruebas psicomotoras. |

FUENTE: WARK Y WARNER (1990).

CUADRO 5.3. EFECTOS DE LA CARBOXIHEMOGLOBINA EN LA SALUD A CONCENTRACIONES ENTRE MENOR A 1% P/P Y 80% P/P

| % p/p de COHb | Efectos |
|---------------|--|
| <1.0 | No hay efectos aparentes. |
| 1.0-2.0 | Hay alguna evidencia de efectos sobre la conducta. |
| 2.0-5.0 | Efectos sobre el sistema nervioso central. Efectos en el discernimiento de los intervalos de tiempo, agudeza visual, discernimiento de la luminosidad, y algunas otras funciones psicomotoras. |
| >5.0 | Cambios funcionales cardiacos y pulmonares |
| 10.0-80.0 | Dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, fallas respiratorias, muerte. |

FUENTE: WARK Y WARNER (1990)

CUADRO 5.4. EFECTOS DEL SO₂ EN LA SALUD Y EL AMBIENTE A
DIVERSAS CONCENTRACIONES Y TIEMPOS DE EXPOSICION

| Concentración | Efectos |
|------------------------------|---|
| 0.03 ppm promedio anual | Lesiones crónicas en plantas. |
| 0.037-0.092 ppm, media anual | Puede haber, acompañadas por partículas a una concentración de 185 µg/m ³ , un aumento en la frecuencia de síntomas respiratorios y enfermedades pulmonares. |
| 0.11-0.19 ppm, media en 24 h | Con un bajo nivel de partículas puede haber un aumento en la admisión de personas de edad mayor en los hospitales, debido a trastornos respiratorios. Aumento en la tasa de corrosión de los metales. |
| 0.19 ppm, media en 24 h | Puede haber un aumento en la de mortalidad con bajos niveles de partículas. |
| 0.25 ppm, media en 24 h | Puede haber un aumento en la tasa diaria de mortalidad, acompañado por partículas a una concentración de 750 µg/m ³ (datos de fuentes británicas); una marcada elevación en la tasa de morbilidad. |
| 0.3 ppm, 8 h | Algunos árboles muestran lesiones. |

Pasa...

...Continuación cuadro 5.4

| Concentración | Efectos |
|----------------------------|--|
| 0.52 ppm, promedio en 24 h | Puede haber un aumento en la mortalidad, acompañado por la presencia de partículas; puede ocurrir aumento en tasa de mortalidad. |

FUENTE: WARK Y WARNER (1990)

CUADRO 5.5. ALGUNOS EFECTOS DEL NO₂ EN LA SALUD

| Concentración (ppm) | Efecto |
|---------------------|--|
| 1 - 3 | Concentración mínima que se detecta por el olfato. |
| 13 | Irritación de nariz, garganta y ojos. |
| 25 | Congestión y enfermedades pulmonares. |
| 100 - 1000 | Puede ser mortal, incluso tras una exposición breve. |

FUENTE: WARK Y WARNER (1990)

CUADRO 5.6 EFECTOS DEL OZONO A DIFERENTES CONCENTRACIONES Y TIEMPOS DE EXPOSICION SOBRE LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE

| Concentración | | Tiempo de exposición | Efectos en la salud y el ambiente |
|---------------|------------------------------|----------------------------|---|
| (ppm) | ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | |
| 0.02 | 40 | 1 hora | Grietas en el hule estirado |
| 0.03 | 60 | 8 horas | Daños en la vegetación |
| 0.10 | 200 | 1 hora | Aumento en la resistencia a la respiración |
| 0.30 | 590 | Horas continuas de trabajo | Irritación en la nariz y la garganta, constricción al pecho |
| 2.00 | 3,900 | 2 horas | Tos violenta |

FUENTE: WARK Y WARNER (1990).

CUADRO 5.7. LIMITES PROMEDIOS MAXIMOS PERMISIBLES PARA
CONTAMINANTES ATMOSFERICOS MAS COMUNES

| Contami- nante | Promedio de tiempo | Norma primaria | Norma se- cundaria | Método de medición |
|--|-----------------------------------|--|---|---|
| Dióxido de Azufre SO ₂ | Promedio anual | 80 µg/m ³ (0.03 ppm) | | Método de la pararrosani- lina |
| | 24 h | 365 µg/m ³ (0.14 ppm) | | |
| | 3 h | | 1,300 µg/m ³ (0.5 ppm) | |
| Partícu- las en suspen- sión | Promedio geométri- co anual | 75 µg/m ³ | 60 µg/m ³ | Muestreo de alto volumen |
| | 24 h | 260 µg/m ³ | 150 µg/m ³ | |
| Hidrocar- buros (corregi- dos para el meta- no) | 3 h (6-9 a.m.) | 160 µg/m ³ (0.24 ppm) | Igual a norma primaria | Detector de ionización de la flama, que se utiliza en la cromatogra- fía gaseosa |
| Ozono O ₃ | 1 h | 240 µg/m ³ (0.12 ppm) | Igual | Método quimo- luminiscente |
| Plomo Pb | 3 meses | 1.5 µg/m ³ | Igual | |

...Continuación cuadro 5.7

| Contami- nante | Promedio de tiempo | Norma primaria | Norma se- cundaria | Método de medición |
|---|-----------------------|--|-----------------------|--|
| Monóxi- do de Carbono CO | 8 h | 10 mg/m ³ (9 ppm) | Igual | Espectrosco- pia infrarro ja no disper siva |
| | 1 h | 40 mg/m ³ (35 ppm) | Igual | |
| Dióxido de ni- trógeno NO ₂ | Promedio anual | 100 mg/m ³ (0.05 ppm) | Igual | Colorimétri- co, utilizan do NaOH |

FUENTE: USA-EPA (1990)

CUADRO 5.8. PROMEDIOS DE LIMITES MAXIMOS DE SUSTANCIAS DE LA INDUSTRIA DE LA GALVANOTECNIA PERMISIBLES EN EFLUENTES LIQUIDOS

| Contaminante | Concentración (ppm) |
|-----------------------|---------------------|
| Amonio | <2.5 |
| Arsénico | <1.0 |
| Bario | <1.0 |
| Cadmio | <0.05 |
| Cromo | |
| Hexavalente | <0.5 |
| Trivalente | <1.0 |
| Cobre | <0.5 |
| Hierro | <2.0 |
| Plomo | <0.1 |
| Manganeso | <1.0 |
| Níquel | <2.0 |
| Selenio | <0.01 |
| Plata | <0.05 |
| Estaño | <2.0 |
| Zinc | <1.0 |
| Cloruros | <150 |
| Cianuros | <0.05 |
| Fluoruros | <1.5 |
| Nitratos | <45 |
| Sulfatos | <250 |
| Sólidos en suspensión | <20 |
| Aceites | <10 |

FUENTE: SORIA Y MIRO (1979)

Para ampliar la información sobre la industria de la galvanoplastia véase el capítulo IV, sección 4.1.3.

CUADRO 5.9. EFECTOS DE ALGUNOS HIDROCARBUROS EN LA SALUD

| Contaminante | Concentración | Efecto |
|--------------|---------------|--|
| Petróleo | 0.1 µg/g | En sistemas acuosos retarda la división celular y el crecimiento del plancton. |
| | 1 µg/g | Muerte de organismos acuáticos y especies fitoplanctónicas, de larvas y huevos cillos de peces. |
| Estireno | 100 mg/Kg | Irrita los ojos y mucosas nasales. |
| | 200 mg/Kg | Produce conjuntivitis. |
| Benceno | 2.1 mg/l | Pérdida de la conciencia, hiperactividad motora e hipertonia muscular, hiperreflexia y acción narcótica. |

FUENTE: CALDERON Y MONGE (1994)

CUADRO 5.10. PROMEDIOS DE LIMITES MAXIMOS PARA DESECHOS LIQUIDOS DOMESTICOS DESCARGADOS EN UN CUERPO RECEPTOR

| Contaminante | Parámetros |
|---------------------|---|
| Materia flotante | Nada deber ser visible |
| Temperatura | 35°C |
| Color | 50 unidades de color verdadero |
| Turbiedad | 100 UTN |
| pH | 5 - 9 |
| Sólidos suspendidos | 50 mg/l |
| Aceites y grasas | 20 mg/l |
| DBO | 30 mg/l |
| DQO | 60 mg/l |
| Nitrógeno total - N | 40 mg/l |
| Fósforo total - P | 10 mg/l |
| Coliformes totales | 1,000 NMP/100 ml promedio mensual no excederá a 2,400/100 ml en ningún día. |

FUENTE: CALDERON Y MONGE (1994)

CUADRO 5.11. PROMEDIOS DE VALORES MAXIMOS PERMISIBLES PARA DESECHOS LIQUIDOS INDUSTRIALES DESCARGADOS EN UN CUERPO RECEPTOR

| Industria | pH | Temperatura °C | Sólidos suspendidos mg/l |
|------------------------|-----|----------------|--------------------------|
| Azucarera | 5-9 | 35 | 60 |
| Papelería | 5-9 | 35 | 100 |
| Cervecería y derivados | 5-9 | 35 | 100 |
| Lechería y derivados | 5-9 | 35 | ---- |
| Enlatados y conservas | 5-9 | 35 | 240 |
| Refinería de Petróleo | 5-9 | 35 | ---- |
| Cafetalera | 5-9 | 35 | 40 |
| Licorera | 5-9 | 35 | ---- |
| Tenerías | 5-9 | 35 | 300 |
| Industria Pesquera | | | |
| Procesamiento de Atún | 5-9 | 35 | 60 |
| Harina de pescado | 5-9 | 35 | 60 |
| enlatado sardina | 5-9 | 35 | 70 |
| congelado camarón | 5-9 | 35 | 250 |
| Empacado de pollo | --- | ---- | 80 |
| Matadero y frigorífico | --- | ---- | 200 |

FUENTE: CALDERON Y MONGE (1994)

Una mayor información respecto a otros parámetros importantes de estas industrias puede obtenerse a partir de los cuadros 4.1a y 4.1b del capítulo IV.

CUADRO 5.12. CLASIFICACION GENERAL DE CUERPOS RECEPTORES
DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

| Clase | Usos aceptados |
|-------|--|
| AS1 | Para abastecimiento de sistemas de agua potable e industria alimentaria con desinfección unicamente. Recreación de contacto primario. |
| AS2 | Para abastecimiento de agua potable con potabilización por medio de coagulación, filtración, sedimentación y desinfección o similar. Industrial. |
| AS3 | Para la recreación y conservación de flora y fauna (pesca) y usos Industriales. |
| AS4 | Agricultura e Industria. |
| AS5 | Hidroeléctricos, industria. Excepto procesamiento de alimentos. |

FUENTE: CALDERON Y MONGE (1994)

El cuadro anterior es importante debido a que los límites de sustancias máximas permitidas que se encuentran en los cuadros 5.13 y 5.14 se colocan en base al uso del agua.

CUADRO 5.13. VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUSTANCIAS
TOXICAS EN CUERPOS RECEPTORES

| Clasificación | Límite máximo en miligramos por litro | | | |
|--|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| | AS1 | AS2 | AS3 | AS4 |
| Arsénico | 0.05 | 0.005 | 1.00 | 5.00 |
| Bario | 1.00 | 1.00 | 5.00 | -- |
| Boro | 1.00 | 1.00 | -- | -- |
| Cadmio | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.005 |
| Cianuro | 0.002 | 0.20 | 0.002 | -- |
| Cobre | 1.00 | 1.00 | 0.10 | 1.00 |
| Cromo Hexavalente | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 5.00 |
| Fenoles | 0.001 | 0.001 | 1.00 | -- |
| Mercurio | 0.005 | 0.005 | 0.01 | -- |
| Plomo | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 5.00 |
| Selenio | 0.05 | 0.01 | 0.05 | 0.05 |
| Sustancias acti- vas al azul de Metileno | 0.50 | 0.50 | 3.00 | -- |
| Extractables con Cloroformo | 0.15 | 0.15 | -- | -- |
| Níquel | 0.10 | -- | -- | -- |

FUENTE: CALDERON Y MONGE (1994)

CUADRO 5.14. VALORES PROMEDIOS MAXIMOS PERMISIBLES DE PLAGUICIDAS EN CUERPOS RECEPTORES

| Clasificación | Límite máximo en miligramos por litro | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-------|-----|-----|
| | AS1 | AS2 | AS3 | AS4 |
| Aldrin | 0.017 | 0.017 | --- | --- |
| Clordano | 0.003 | 0.003 | --- | --- |
| D.D.T. | 0.042 | 0.042 | --- | --- |
| Dieldrin | 0.017 | 0.017 | --- | --- |
| Endrin | 0.001 | 0.001 | --- | --- |
| Hepóxido de heptacloro | 0.018 | 0.018 | --- | --- |
| Fosfatos Orgánicos con carbamatos | 0.005 | 0.100 | --- | --- |
| Heptacloro Herbicidas | 0.018 | 0.018 | --- | --- |
| totales | 0.100 | 0.100 | --- | --- |
| Lindano | 0.056 | 0.056 | --- | --- |
| Metoxicloro | 0.035 | 0.035 | --- | --- |
| Toxafen | 0.005 | 0.005 | --- | --- |

FUENTE: CALDERON Y MONGE (1994)

5.1.3 TECNICAS DE MINIMIZACION DE RESIDUOS

(Unidad V. Tiempo: 1 hora clase)

(EPA, 1992; Sung y Wang, 1992)

En los últimos años el desarrollo de la ciencia y la tecnología alcanza niveles insospechados en cortos períodos de tiempo; así, entre la innovación y la obsolescencia existen pocos años, el descubrimiento e invención se vuelven producto de un desarrollo corporativo que apunta hacia la competencia en el mercado. Estos hechos plantean, a su vez, una contradicción inherente a un desarrollo acelerado que conlleva a un deterioro del medio ambiente y desequilibrios sociales marcados por la pobreza creciente (Cifuentes, 1994).

Como se mencionó en el capítulo II, sección 2.1, ante la necesidad de proteger el medio ambiente surge el concepto de Desarrollo Sustentable (SEMA, 1994a).

Para lograr dicho desarrollo existen diversas medidas, una de éstas se expresa mediante el concepto de "Tecnologías Más/Limpias de producción", que son una estrategia encaminada a la prevención de la contaminación; aumentar la eficiencia de los procesos productivos; mayor aprovechamiento de los recursos naturales, entre otros aspectos. (Moser, 1994b).

En otras palabras es la filosofía de la prevención sobre la corrección de la contaminación.

Las "Tecnología Más/Limpias de producción" involucra técnicas de minimización de residuos que llevan hacia un medio ambiente más limpio; pero además trae consigo otros beneficios inherentes a las mismas, como son (Moser, 1994b):

- Menor consumo de materias primas;
- Disminución en la cantidad de residuos;

- Reducción de costos de tratamiento de desechos;
- Aumento en la eficiencia del proceso;
- Protección de la salud pública;
- Crea una buena imagen de la organización;
- Permite cumplir regulaciones relativas a la contaminación.

Minimización de residuos significa la reducción, en lo posible, de cualquier residuo sólido o peligroso generado o, con secuentemente, tratado, almacenado o eliminado, que ponga en riesgo a la salud humana y al medio ambiente.

Las técnicas de minimización de residuos se enfocan principalmente en la reducción en la fuente o en el reciclaje, de manera que se disminuya el volumen de residuos producidos o su toxicidad. La ligura 5.1 muestra lo anterior.

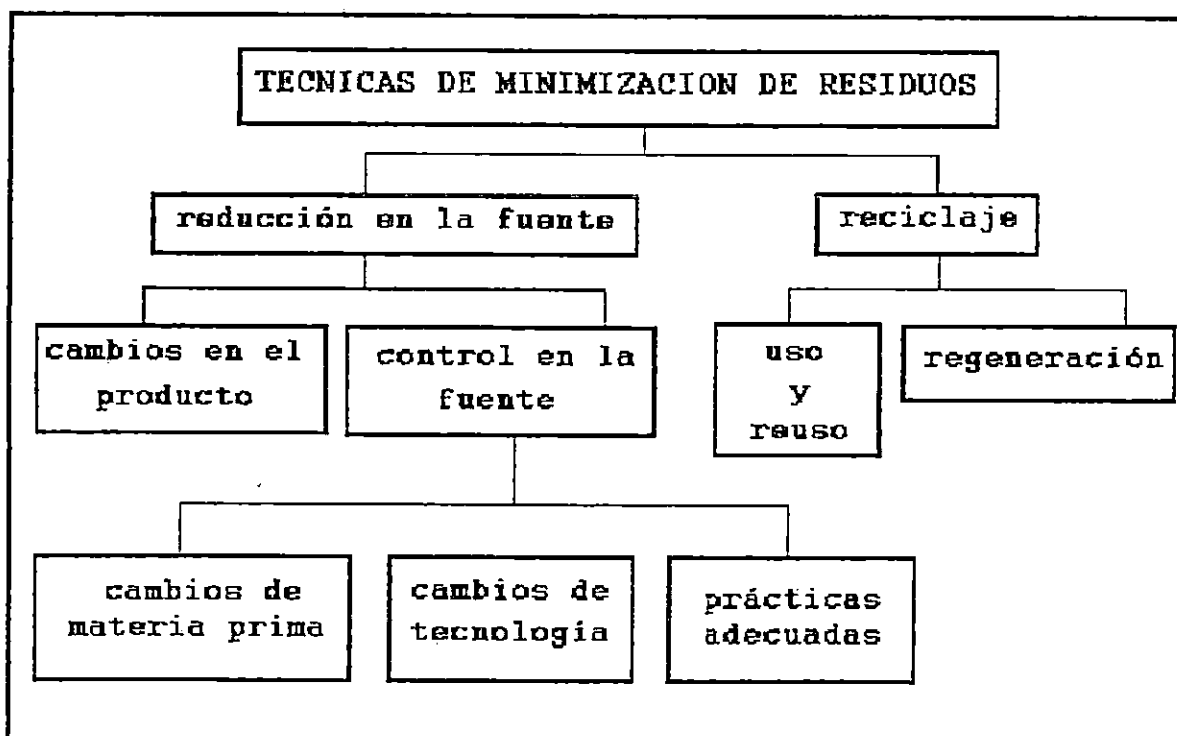


FIGURA 5.1. TECNICAS DE MINIMIZACION DE RESIDUOS
FUENTE: MOSER, 1994b

5.1.3.1 REDUCCION EN LA FUENTE

La reducción en la fuente se define como cualquier actividad que reduzca o elimine la cantidad de una sustancia peligrosa o contaminante, descargada al medio ambiente. Dicho en términos más simples, es la prevención de la contaminación en el punto o situación donde se genera. De esta manera, la reducción en la fuente abarca dos grandes áreas.

a) CAMBIOS EN EL PRODUCTO.

Son aquellos ejecutados por el fabricante del producto con el objeto de reducir los residuos resultantes del uso mismo del producto. Esta área puede incluir una sustitución, mayor vida útil o cambios en la composición del producto.

Debe considerarse que la implementación de esos cambios requiere no sólo de la factibilidad para llevarlos a cabo, sino también el hecho de mantener las características del producto, de lo cual dependerá su aceptación en el mercado, incluyendo su potencial impacto ambiental.

b) CONTROL EN LA FUENTE.

Se aplica esta opción cuando no se realizan cambios o modificaciones en el producto para la eliminación de residuos. El control en la fuente puede efectuarse de acuerdo a tres alternativas:

b.1) CAMBIOS EN LOS MATERIALES DE ENTRADA AL PROCESO.

Puede significar una reducción de residuos al disminuir o eliminar los materiales peligrosos que entran al proceso, lo cual puede llevarse a cabo por una purificación del material o por sustitución de materias primas.

b.2) CAMBIOS DE TECNOLOGIA.

Los cambios en la tecnología de un proceso pueden ejecutarse a pequeña escala y en corto plazo, o por reemplazo del proceso con un alto costo de inversión.

La decisión de efectuar cambios a nivel de tecnología puede incluir los siguientes aspectos: cambios en el proceso de producción; sustitución de equipos; automatización del proceso y; cambios en los parámetros de operación (velocidad de flujo, tiempos de residencia, temperaturas, etc).

b.3) PRACTICAS DE OPERACION ADECUADAS.

Pueden realizarse a nivel de procedimientos, administración o, medidas institucionales que la organización realiza para disminuir los residuos. Dichas medidas pueden aplicarse a nivel de recursos humanos o de procedimientos de fabricación.

Estas medidas aplicadas a grandes industrias, proporcionan mejoras importantes a costos relativamente bajos, en áreas como producción, operaciones de mantenimiento, materias primas y almacenamiento del producto. Entre las más adecuadas prácticas de operación se tienen:

- Programas de minimización de residuos;
- Capacitación del personal;
- Manejo correcto de materiales;
- Segregación de residuos;
- Prevención de fugas o derrames;
- Realización de auditorías de residuos.

Un aspecto relevante, que contribuye a disminuir los residuos de un proceso, lo constituye el adiestramiento y

concientización a los empleados sobre las ventajas de minimizar los desperdicios, pues son ellos quienes saben del proceso y pueden aportar soluciones efectivas a los problemas de contaminación.

5.1.3.2 RECICLAJE

Es el uso, reuso o reclamación de materiales o residuos, incluyendo los procesos que regeneran un material o recuperan un producto para su uso posterior. El reciclaje de materiales puede darse dentro del proceso o fuera de él, a través de las técnicas de uso/reuso y regeneración.

a) USO/REUSO.

El reciclaje por la técnica del uso y/o reuso incluye el retorno del material al proceso original, como complemento al material de entrada al mismo o su derivación a otro proceso como materia prima.

b) RECLAMACION.

Consiste en la recuperación de un material útil de una corriente de residuos. De manera que, la técnica de reclamación difiere del uso/reuso en que el material recuperado no se incorpora al proceso, sino que es vendido a otra compañía.

5.1.3.3 OTRAS TECNICAS RELACIONADAS CON LA MINIMIZACION DE RESIDUOS

Si bien es cierto que el término minimización de residuos se refiere básicamente a la reducción en la fuente y al reciclaje, existen otras actividades asociadas con las operaciones industriales que apuntan hacia una atenuación del impacto de

éstas en la salud y en el medio ambiente. Estas operaciones incluyen técnicas para reducir el volumen y toxicidad de las corrientes de residuos. Es decir, que cuando se reduce el volumen de los mismos, inmediatamente se reducen los sitios para la disposición y el control a largo plazo de éstos.

Por otro lado, la reducción de la toxicidad implica la conversión, destrucción o remoción de especies químicas contenidas en residuos peligrosos, donde la reducción en volumen tiene un efecto limitado. A continuación se exponen brevemente ambas técnicas.

a) REDUCCION DE VOLUMEN

Se identifica con técnicas como: segregación de residuos, conservación del agua y concentración de residuos.

Los residuos (incluidas aguas de desecho) generados en los procesos de fabricación, son generalmente de tres tipos: residuos del proceso, aguas residuales (sin contacto físico) y residuos sanitarios.

Los residuos del proceso se consideran como aquellos que contienen parte de las materias primas, sustancias químicas y/o productos o subproductos del proceso. Las aguas residuales (sin contacto físico), incluyen las aguas de enfriamiento y el vapor de escape de ebulliciones, así como otras aguas que contienen al menos una pequeña concentración de las sustancias químicas empleadas en el proceso.

a.1) SEGREGACION DE RESIDUOS.

Muchos residuos consisten realmente de una mezcla de residuos peligrosos y no peligrosos. Gran parte del conte

nido puede incluso ser agua. Al separar los elementos tóxicos principales, aislando el agua o evitando la mezcla de los flujos de residuos peligrosos y no peligrosos, los generadores pueden en ocasiones ahorrar gran cantidad de dinero destinado a la disposición o encontrar nuevas posibilidades para el reciclaje (Sung y Wang, 1992; EPA, 1987).

a.2) CONSERVACION DEL AGUA.

Un uso eficiente de todos los recursos de un proceso industrial debe incluir necesariamente un uso adecuado del agua de proceso. Esto es, al utilizar racionalmente el agua se obtiene una reducción en el volumen de residuos que contribuya a una mayor eficiencia en el tratamiento de los mismos.

a.3) CONCENTRACION DE RESIDUOS.

Una reducción en volumen también puede acompañarse de una concentración de los residuos, ya sea por evaporación, cristalización, intercambio iónico, ósmosis inversa o cualquier otro cambio físico que no destruya las especies químicas contaminantes.

En esta técnica los contaminantes se concentran en un volumen reducido para su tratamiento o disposición final. En el caso de aguas residuales, parte del volumen se descarga en la atmósfera. Los desperdicios no acuosos, solventes por ejemplo, podrían ser destilados y reciclados, mientras logran concentrarse para volver a utilizarse.

b) REDUCCION DE LA TOXICIDAD

La reducción de toxicidad en aguas residuales puede lograrse por tratamientos químicos, físicos, biológicos o por combinación de éstos.

En el caso de soluciones no acuosas la reducción puede darse por incineración (que es una forma de tratamiento que resulta en la destrucción de contaminantes orgánicos y en la conversión de muchas especies inorgánicas a formas inertes); e inmovilización a través de tecnologías de solidificación/estabilización/fijación.

En la situación de residuos inmovilizados, el constituyente tóxico no es removido o destruido sino que es mezclado en una matriz en la cual se minimiza la tendencia al escape de tal constituyente.

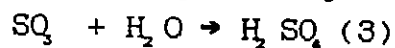
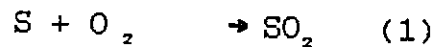
5.2 SOLUCION DE PROBLEMAS DE BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA, CON TEMATICA AMBIENTAL

Los problemas desarrollados a continuación pueden desarrollarse en las siguientes unidades:

- Unidad II: problemas 1, 2, 3 y 8.
- Unidad III: problemas 4, 5, 6 y 7.

PROBLEMA 1

Se puede fabricar ácido sulfúrico por el proceso de contacto de acuerdo a las reacciones siguientes:



Usted se encuentra preguntando, como parte del diseño preliminar de una planta de ácido sulfúrico con una capacidad de diseño de 2,000 ton/día de 66°Be (Baumé) (93.2% H_2SO_4 en peso) para calcular lo siguiente:

- a) ¿Cuántas toneladas de azufre puro se requieren por día para operar esta planta?
- b) ¿Cuántas toneladas de oxígeno se requieren por día?
- c) ¿Cuántas toneladas de agua se requiere por día para la reacción (3) si la conversión es del 100%?
- d) ¿Cuántas toneladas se requieren de agua por día para diluir el H_2SO_4 hasta 66°Be?
- e) El SO_2 es uno de los gases que se escapan al ambiente, durante este proceso ¿Qué pasaría con un obrero que, durante las pruebas preliminares, estuviera expuesto a SO_2 durante 24 horas, en un recinto cuya área es de 16 m² y con una altura de 5 m, si la masa del gas dentro del lugar es de 0.01 Kg?

Solución:

Datos del Problema:

PM $\text{SO}_2 = 64 \text{ ton/tonmol}$

PM $\text{O}_2 = 32 \text{ ton/onmol}$

PM $\text{SO}_3 = 80 \text{ ton/tonmol}$

PM $\text{H}_2\text{SO}_4 = 98 \text{ ton/tonmol}$

PM $\text{H}_2\text{O} = 18 \text{ ton/tonmol}$

PM $\text{S} = 32 \text{ ton/tonmol}$

Se tienen 2,000 ton con 93.2% de H_2SO_4 entonces:

$$2,000 * 0.932 = 1864 \text{ ton } \text{H}_2\text{SO}_4$$

$$2,000 * 0.068 = 136 \text{ ton } \text{H}_2\text{O}$$

a) ton S = ?

$$1,864 \text{ ton } \text{H}_2\text{SO}_4 * 1 \text{ tonmol } \text{H}_2\text{SO}_4 * 1 \text{ tonmol } \text{SO}_3 * 80 \text{ ton } \text{SO}_3 / \\ (98 \text{ ton } \text{H}_2\text{SO}_4 * 1 \text{ tonmol } \text{H}_2\text{SO}_4 * 1 \text{ tonmol } \text{SO}_3) = 1,521 \text{ ton } \text{SO}_3$$

$$1,521.63 \text{ ton } \text{SO}_3 * 1 \text{ tonmol } \text{SO}_3 * 2 \text{ tonmol } \text{SO}_2 * 64 \text{ Ton } \text{SO}_2 / \\ (80 \text{ ton } \text{SO}_3 * 2 \text{ tonmol } \text{SO}_3 * 1 \text{ tonmol } \text{SO}_2) = 1,217.3 \text{ Ton } \text{SO}_2$$

$$1,217.3 \text{ ton } \text{SO}_2 * 1 \text{ tonmol } \text{SO}_2 * 1 \text{ tonmol } \text{S} * 32 \text{ ton } \text{S} / \\ (64 \text{ ton } \text{SO}_2 * 1 \text{ tonmol } \text{SO}_2 * 1 \text{ tonmol } \text{S}) = 608.65 \text{ ton } \text{S}$$

Se requieren 608.65 ton de S por día

b) ton $\text{O}_2 = ?$

$$608.65 \text{ ton } \text{S} * 1 \text{ tonmol } \text{S} * 1 \text{ tonmol } \text{O}_2 * 32 \text{ ton } \text{O}_2 / \\ (32 \text{ ton } \text{S} * 1 \text{ tonmol } \text{S} * 1 \text{ tonmol } \text{O}_2) = 608.65 \text{ ton } \text{O}_2$$

Se requieren 608.65 ton de O_2 por día (608.65 ton O_2 /día)

c) ton de H_2O para reacción (3) = ?

$$1,864 \text{ ton } \text{H}_2\text{SO}_4 * 1 \text{ tonmol } \text{H}_2\text{SO}_4 * 1 \text{ tonmol } \text{H}_2\text{O} * 18 \text{ ton } \text{H}_2\text{O} / \\ (98 \text{ ton } \text{H}_2\text{SO}_4 * 1 \text{ tonmol } \text{H}_2\text{SO}_4 * 1 \text{ tonmol } \text{H}_2\text{O}) = 342 \text{ ton } \text{H}_2\text{O}$$

$$d) 136 \text{ ton } \text{H}_2\text{O} + 342.37 \text{ ton } \text{H}_2\text{O} = 478.37 \text{ ton } \text{H}_2\text{O}$$

e) El volumen del lugar será:

$$V = 16 \text{ m}^2 * 5 \text{ m} = 80 \text{ m}^3$$

La concentración en ppm es:

$$0.01 \text{ Kg SO}_2 * 1 \text{ m}^3 * 1,000 \text{ g} * 1 \text{ } \mu\text{g} * 1 \times 10^{-3} \text{ l} / (80 \text{ m}^3 * 1,000 \text{ l} * 1 \text{ Kg} * 1 \times 10^{-6} \text{ g} * 1 \text{ ml}) = 0.125 \text{ } \mu\text{g/ml} = 0.125 \text{ ppm}$$

Una persona expuesta a una concentración de 0.125 ppm de dióxido de azufre puede sufrir trastornos en las vías respiratorias (ver el cuadro 5.4.)

PROBLEMA 2

Uno puede considerar el alto horno desde un punto de vista sencillo como un proceso en que la reacción principal es:



No obstante ocurren otras reacciones laterales indeseables, principalmente:



Después de mezclar 600 lb de carbón (coque) con 1.0 Ton de óxido de hierro puro, $\text{Fe}_2 \text{O}_3$, el proceso produce 1,200 lb de hierro puro, 183 lb de FeO y 85 lb de $\text{Fe}_2 \text{O}_3$. Calcule lo siguiente:

- El porcentaje de carbón en exceso suministrado, basado en la reacción principal.
- Las libras de carbón agotadas y las libras de CO producidas por tonelada de $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ cargada.
- En un local cuyo volumen es de 120,000 litros, un obrero estuvo expuesto por 50 min, a una cantidad de CO igual a 0.4 Kg. Determinar la concentración de CO en ppm y el efecto sobre el obrero.

d) Si por accidente se caen 15 Kg de hierro metálico sobre una laguna de 5,000 m³, determinar si dicha concentración está fuera del límite permisible.

Solución:

Datos del problema:

1200 lb de Fe

183 lb de FeO

600 lb de C

Pesos Moleculares:

PM Fe₂O₃ = 160 lb/lbmol

PM C = 12 lb/lbmol

PM Fe = 56 lb/lbmol

PM CO = 28 lb/lbmol

PM FeO = 72 lb/lbmol

a) % C en exceso = ?

$$1,200 \text{ lb Fe} \cdot 1 \text{ lbmol Fe} / 56 \text{ lb Fe} \cdot 3 \text{ lbmol C} / 2 \text{ lbmol Fe} = 385.71 \text{ lb C}$$

$$\% \text{ en exceso} = \text{moles en exceso} / \text{moles reaccionadas} \cdot 100$$

moles en exceso = moles totales - moles requeridas para reaccionar

moles totales:

$$600 \text{ lb C} \cdot 1 \text{ lbmol C} / 12 \text{ lb C} = 50 \text{ lbmol C}$$

moles que reaccionaron:

$$385.71 \text{ lb C} \cdot 1 \text{ lbmol C} / 12 \text{ lb C} = 32.14 \text{ lbmol C}$$

$$\text{moles en exceso} = (50 - 32.14) \text{ lbmol C} = 17.86 \text{ lbmol C}$$

$$\% \text{ C exceso} = 17.86 \text{ lbmol C} / 32.14 \text{ lbmol C} \cdot 100 = 55.57\%$$

b) lb de C agotadas?

lb de CO producidas por tonelada de Fe_2O_3 ?

Para reacción principal:

$1,200 \text{ lb Fe} \cdot 1 \text{ lbmol Fe} \cdot 3 \text{ lbmol C} \cdot 12 \text{ lb C} / (56 \text{ lb Fe} \cdot 2 \text{ lbmol Fe} \cdot 1 \text{ lbmol C}) = 385.71 \text{ lb C}$

Para reacción lateral:

$183 \text{ lb FeO} \cdot 1 \text{ lbmol FeO} \cdot 1 \text{ lbmol C} \cdot 12 \text{ lb C} / (72 \text{ lb FeO} \cdot 2 \text{ lbmol FeO} \cdot 1 \text{ lbmol C}) = 15.25 \text{ lb C}$

Carbono agotado: $(385.71 + 15.25) \text{ lb C} = 400.96 \text{ lb C}$

Para el CO:

$1,200 \text{ lb Fe} \cdot 1 \text{ lbmol Fe} \cdot 3 \text{ lbmol CO} \cdot 28 \text{ lb CO} / (56 \text{ lb Fe} \cdot 2 \text{ lbmol Fe} \cdot 1 \text{ lbmol CO}) = 900 \text{ lb CO}$

$183 \text{ lb FeO} \cdot 1 \text{ lbmol FeO} \cdot 1 \text{ lbmol CO} \cdot 12 \text{ lb CO} / (72 \text{ lb FeO} \cdot 2 \text{ lbmol FeO} \cdot 1 \text{ lbmol CO}) = 15.25 \text{ lb CO}$

CO total producido: $(900 + 15.25) \text{ lb CO} = 915.25 \text{ lb CO}$

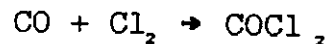
c) $0.4 \text{ Kg CO} \cdot 1000 \text{ g CO} \cdot 1 \text{ mg CO} / (120,000 \text{ l} \cdot 1 \text{ Kg CO} \cdot 1 \times 10^{-3} \text{ g CO}) = 3.33 \text{ mg/l} = 3.33 \text{ } \mu\text{g/ml} = 3.33 \text{ ppm/50 min}$
 Con esta concentración y el tiempo de exposición, no se dan consecuencias sobre la salud del obrero (ver cuadro 2.2).

d) $15 \text{ Kg Fe} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot 1,000 \text{ g} \cdot 1 \text{ mg} / (5,000 \text{ m}^3 \cdot 1,000 \text{ l} \cdot 1 \text{ Kg} \cdot 1 \times 10^{-3} \text{ g}) = 3 \text{ mg/l} = 3 \text{ ppm}$

Como el límite permisible para el Fe es menor a 2 ppm, entonces la laguna está contaminada y sobre la concentración permitida (Fundación Natura, 1991).

PROBLEMA 3

El gas fosgeno es con probabilidad muy famoso por ser el primer gas tóxico usado de manera ofensiva en la Primera Guerra Mundial, pero también es utilizado en forma extensa en el procesamiento químico de una amplia variedad de materiales. El fosgeno se puede producir mediante la reacción catalítica entre CO y gas cloro en la presencia de un catalizador de carbono. La reacción química es:



Suponga que ha determinado los productos de reacción de un reactor dado y encontró que están compuestos por 3 Kgmol de cloro, 10 Kgmol de fosgeno y 7 Kgmol de CO. Calcule lo siguiente:

- El porcentaje del reactivo en exceso.
- Los Kilogramos mol de fosgeno formado por Kilogramo mol de reactivos totales alimentados al reactor.
- Por emisiones que salen de la planta de fosgeno, unas vacas en un establo de 1,000 m³, ubicado cerca de la planta, fueron expuestas a un ambiente con 50,000 g de CO durante 6 semanas. Determinar si los animales fueron afectados.

Solución:

Datos del Problema:

3 Kgmol de CO

10 Kgmol de COCl₂

7 Kgmol de CO

Pesos Moleculares:

PM CO = 28 Kg/Kgmol

PM Cl₂ = 71 Kg/Kgmol

PM COCl₂ = 99 Kg/Kgmol

- a) $3 \text{ Kgmol Cl}_2 * 71 \text{ Kg Cl}_2 / 1 \text{ Kgmol Cl}_2 = 213 \text{ Kg Cl}_2$
 $10 \text{ Kgmol COCl}_2 * 99 \text{ Kg COCl}_2 / 1 \text{ Kgmol COCl}_2 = 990 \text{ Kg COCl}_2$
 $7 \text{ Kgmol CO} * 28 \text{ Kg CO} / 1 \text{ Kgmol CO} = 196 \text{ Kg CO}$

Ahora:

$\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{COCl}_2$, con 213 Kg de COCl_2

Cantidad de CO que reaccionó:

$$990 \text{ Kg COCl}_2 * 1 \text{ Kgmol COCl}_2 / 99 \text{ Kg COCl}_2 * 1 \text{ Kgmol CO} * 28 \text{ Kg CO} / (99 \text{ Kg COCl}_2 * 1 \text{ Kgmol COCl}_2 / 28 \text{ Kg CO}) = 280 \text{ Kg CO}$$

Cantidad de Cl_2 que reaccionó:

$$990 \text{ Kg COCl}_2 * 1 \text{ Kgmol COCl}_2 / 99 \text{ Kg COCl}_2 * 1 \text{ Kgmol Cl}_2 * 71 \text{ Kg Cl}_2 / (99 \text{ Kg COCl}_2 * 1 \text{ Kgmol COCl}_2 / 71 \text{ Kg Cl}_2) = 710 \text{ Kg Cl}_2$$

Total de Cl_2 : $(213 + 710) \text{ Kg} = 923 \text{ Kg}$

Total de CO: $(196 + 280) \text{ Kg} = 476 \text{ Kg}$

Considerando las 213 Kg de Cl_2 :

$$213 \text{ Kg Cl}_2 * 1 \text{ Kgmol Cl}_2 / 71 \text{ Kg Cl}_2 * 1 \text{ Kgmol CO} * 28 \text{ Kg CO} / (71 \text{ Kg Cl}_2 * 1 \text{ Kgmol Cl}_2 / 28 \text{ Kg CO}) = 84 \text{ Kg CO}$$

Como para que reaccionarán los 213 Kg de Cl_2 solamente se necesitan 84 Kg de CO y se tienen 196 Kg, entonces el Cl_2 es el reactivo limitante y el CO el reactivo en exceso.

moles totales de CO:

$$476 \text{ Kg CO} * 1 \text{ Kgmol CO} / 28 \text{ Kg CO} = 17 \text{ Kgmol CO}$$

moles de CO que reaccionaron:

$$280 \text{ Kg CO} * 1 \text{ Kgmol CO} / 28 \text{ Kg CO} = 10 \text{ Kgmol CO}$$

$$\% \text{ CO exceso} = (17 - 10) \text{ Kgmol CO} / 10 * 100 = 70\%$$

b) moles de fosgeno:

$$990 \text{ Kg COCl}_2 * 1 \text{ Kgmol COCl}_2 / 99 \text{ Kg COCl}_2 = 10 \text{ Kgmol COCl}_2$$

moles totales de Cl_2 :

$$923 \text{ Kg Cl}_2 * 1 \text{ Kgmol Cl}_2 / 71 \text{ Kg Cl}_2 = 13 \text{ Kgmol Cl}_2$$

moles totales de reactivos:

$$17 \text{ Kgmol CO} + 13 \text{ Kgmol Cl}_2 = 30 \text{ Kgmol totales de reactivos}$$

Kgmol de fosgeno/Kgmol de reactivos totales =

$$10 \text{ Kgmol de fosgeno} / 30 \text{ Kgmol totales de reactivos} =$$

$$0.33 \text{ Kgmol de fosgeno} / \text{Kgmol totales de reactivos}$$

$$\text{c) } 50,000 \text{ g CO} * 1 \text{ m}^3 * 1 \text{ m g} / (1,000 \text{ m}^3 * 1,000 \text{ l} * 1 \times 10^{-3} \text{ g}) =$$

$$50 \text{ m g/l} = 50 \text{ ppm/6 semanas.}$$

Por la concentración y tiempo de exposición puede ocurrir
 los cambios estructurales en el corazón y el cerebro (ver
 cuadro 5.2).

PROBLEMA 4

Se destilan 1,000 Kg/h de una mezcla que contiene partes
 iguales en masa de benceno y tolueno. La velocidad de flujo
 del producto en la cabeza de la columna es de 488 Kg/h, y el
 residuo de la destilación contiene 7.11% en peso de benceno.

- Calcula las corrientes en la cabeza y parte inferior de
 la columna, las cantidades en masa de cada componente y
 los porcentajes peso.
- Finalmente, determina las consecuencias de una persona
 que inhaló accidentalmente 0.011 g de benceno, consideran
 do que en el cuerpo circulan 5 l de sangre.

Solución:

Notas aclaratorias:

$M A_b$ = masa del componente A en el flujo B

$W A_b$ = porcentaje peso del componente A en el flujo B

Sea:

A = 1,000 Kg/h, el flujo de alimentación

B = 488 Kg/h, el flujo de la cabeza de la columna de destilación

C = ?, el flujo de residuo en la columna de destilación

WBC = 7.11% de benceno

WTC = 92.89% de tolueno

a) Balance total:

$$A = B + C$$

$$1,000 = 488 + C$$

$$C = 1,000 - 488$$

$$C = 512 \text{ Kg}$$

Balance de Benceno:

$$500 = 488(W B_b) + 512(0.0711)$$

$$500 = 488 W B_b + 36.4$$

$$500 - 36.4 / 488 = W B_b$$

$$W B_b = 0.95 \text{ ó } 95\% \text{ en peso}$$

Balance de Tolueno:

$$500 = 488(W T_b) + 512(0.9289)$$

$$500 - 475.6 / 488 = W T_b$$

$$W T_b = 0.05 \text{ ó } 5\% \text{ en peso}$$

Ahora:

$$M B_b = 488(0.95) = 463.6 \text{ Kg}$$

$$M T_b = 488(0.05) = 24.4 \text{ Kg}$$

- b) $0.011 \text{ g C}_6\text{H}_6 \cdot 1 \text{ mg} / (5 \text{ l} \cdot 1 \times 10^{-3} \text{ g}) = 2.20 \text{ mg/l} = 2.2 \text{ ppm}$
 En base a lo anterior la persona podría experimentar pérdida de la conciencia, hiperactividad motora, hipertonia muscular, hiperreflexia y acción narcótica (ver cuadro 5.9).

PROBLEMA 5

En una tenería se extrae la corteza de mangle, tratando con agua caliente la madera finamente molida. La corteza original contiene 4% de humedad, 37% de taninos y 23% de sustancias solubles que no son taninos. El residuo (la corteza utilizada) retirado del tanque de extracción contiene 62% de humedad, 2.8% de taninos y 0.9% de sustancias solubles que no son taninos.

- a) ¿Qué cantidad de taninos en la corteza original permanece sin extracción en el residuo?
 b) Si la mitad del resto de la madera está formado por sólidos en suspensión y se vierten sobre un estanque de peces de 70 m³ (por descuido de un trabajador), determinar si está dentro del límite establecido. Nota: un primer análisis del agua, antes del accidente dio un valor de 50 ppm de sólidos suspendidos.

Solución:

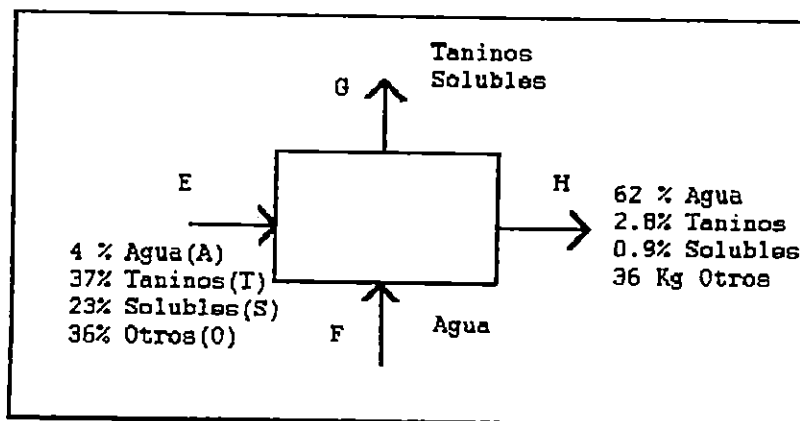


FIGURA 5.2. ESQUEMA PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA 5

Base: 100 Kg de madera

a) masa de inertes:

$$100*(0.36) = 36 \text{ Kg}$$

La misma masa de inertes salen, entonces:

masa de inertes que salen = 36 Kg

Estos 36 Kg representan el 34% de la corriente de salida

Para calcular H:

$$H = 36 \text{ Kg} * (100/34.3) = 104.96 \text{ Kg}$$

$$H = 104.96 \text{ Kg}$$

Luego:

Balance de Taninos:

$$M T_e = M T_o + M T_n$$

$$M T_e = 0.37*100 = 37 \text{ Kg}$$

$$M T_n = 0.028*104.96 = 2.94 \text{ Kg}$$

Sustituyendo:

$$37 = M T_o + 2.94$$

$$37 - 2.94 = M T_o$$

$$M T_o = 34.06 \text{ Kg}$$

La cantidad de taninos que permanecen en el residuo es de 2.94 Kg.

b) Quedan 18 Kg de madera que son capaces de formar sólidos en suspensión.

$$18 \text{ Kg} * 1000 \text{ g} * 1 \text{ m}^3 * 1 \text{ mg} / (70 \text{ m}^3 * 1 \text{ Kg} * 1000 \text{ l} * 1 \times 10^{-3} \text{ g}) = 257.14 \text{ mg/l} = 257.14 \text{ ppm}$$

El valor total de sólidos suspendidos sería: 257.14 + 50 ppm = 307.14 ppm. Como el límite máximo permisible para

tenerías es de 300, entonces el estanque está contaminado (ver cuadro 5.11).

PROBLEMA 6

En un tren de destilación se va a fraccionar un hidrocarburo líquido que contiene 20% mol de etano, 40% mol de propano y 40% mol de butano, en componentes en esencia puros como se muestra en la figura 5.3.

- Tomando como base de cálculo $F = 100$ moles, ¿Cuál es el valor de P (en moles) y la composición de la corriente A ?
- Si durante el proceso de destilación que produjo el líquido anterior, se derramaron 9 g de petróleo sobre un estanque de agua, cuyo volumen es de 100,000 l, donde existen organismos acuáticos. Calcular la concentración de petróleo en el agua y establecer las posibles consecuencias sobre las especies existentes.

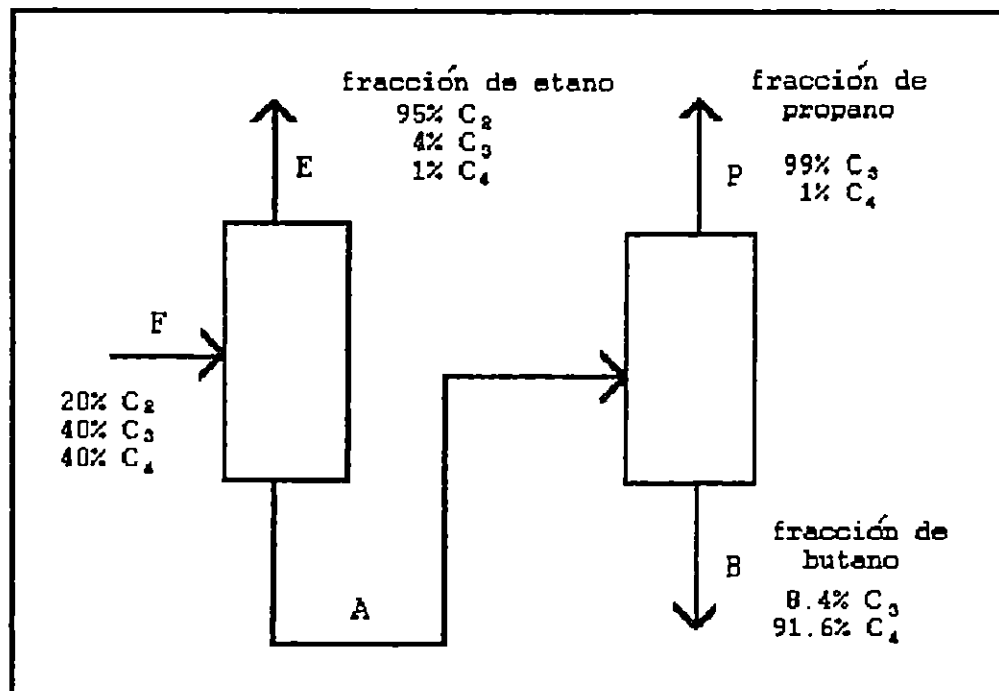


FIGURA 5.3. ESQUEMA PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA 6

Solución:

Nota aclaratoria:

X_{A_p} Porcentaje mol del componente A en el flujo B

a) Compuestos alimentados:

$$F = 100 \text{ moles}$$

$$\text{moles de } C_2 = 100(0.2) = 20 \text{ moles}$$

$$\text{moles de } C_3 = 100(0.4) = 40 \text{ moles}$$

$$\text{moles de } C_4 = 100(0.4) = 40 \text{ moles}$$

Balances en columna de alimentación:

Total:

$$F = E + A$$

$$100 = E + A \quad (1)$$

De etano:

$$20 = 0.95 E \quad (2)$$

De propano:

$$40 = 0.04 E + X_{P_{aa}} \quad (3)$$

De butano:

$$40 = 0.01 E + X_{B_{AA}} \quad (4)$$

Balances en otra columna:

Total:

$$A = P + B \quad (5)$$

De propano

$$X_{P_{AA}} A = 0.99 P + 0.084 B \quad (6)$$

De butano:

$$X B_A = 0.01 P + 0.916 B \quad (7)$$

Despejando ecuación (2):

$$20/0.95 = E$$

$$E = 21.05 \text{ moles}$$

Sustituyendo en ecuación (1):

$$100 = 21.05 + A$$

$$100 - 21.05 = A$$

$$A = 78.95 \text{ moles}$$

Cálculo de moles de C_3 y C_4 en flujo E:

$$\text{moles de } C_3 = (21.05)(0.04) = 0.842 \text{ moles}$$

$$\text{moles de } C_4 = (21.05)(0.01) = 0.212 \text{ moles}$$

Sustituyendo en ecuación (3):

$$40 - 0.04 E + X * P_{AA}$$

$$40 = 0.842 + 78.95 X * P_{AA}$$

$$40 - 0.842 / 78.95 = X * P_{AA}$$

$$X P_A = 0.496$$

Sustituyendo en ecuación (4):

$$40 = 0.01 E + X * B_A$$

$$40 = 0.212 + 78.95 X * B_A$$

$$40 - 0.212 / 78.95 = X * B_A$$

$$X B_A = 0.504$$

Sustituyendo y despejando P en ecuación (6):

$$0.496(78.95) = 0.99 P + 0.084 B$$

$$P = 39.1592 - 0.084 B / 0.99$$

Sustituyendo P en ecuación (7):

$$0.504(78.95) = 0.01 (39.1592 - 0.084 B / 0.99) + 0.916 B$$

$$39.79 = 0.01 (39.1592/0.99 - 0.084 B/0.99) + 0.916 B$$

$$39.79 = 0.396 - 8.48 \times 10^{-4} B + 0.916 B$$

$$39.79 - 0.396 = 0.92 B$$

$$39.421/0.92 = B$$

$$B = 42.85 \text{ moles}$$

Sustituyendo en ecuación (5):

$$A = P + B$$

$$P = A - B$$

$$P = 78.95 - 42.85$$

$$P = 36.1 \text{ moles}$$

b) Se asume densidad del agua = 1 gr/cc

La masa de agua será:

$$100,000 \text{ l} * 1,000 \text{ cc} * 1 \text{ g/} (1 \text{ l} * \text{cc}) = 100,000,000 \text{ g de H}_2\text{O}$$

La concentración de petróleo derramado será:

$$9 \text{ g} * 1 \mu \text{ g/} (100,000,000 \text{ g} * 1 \times 10^6 \text{ g}) = 0.09 \mu \text{ g/g} =$$

$$0.1 \mu \text{ g/g}$$

En este caso, se retardaría la división celular y el crecimiento del Plancton (ver cuadro 5.9).

PROBLEMA 7

El amoníaco se quema para formar óxido nítrico en la siguiente reacción:



Calcula las siguientes cantidades:

- Moles de NO producidas/moles de O_2 consumidas.
- La velocidad de flujo molar del oxígeno que corresponde a una velocidad de alimentación de 50 Kg NH_3 /h, si los reactivos se proveen en proporción estequiométrica.

- c) La masa de NO producida, si reaccionan 200 Kg de amoníaco con 200 Kg de oxígeno y la reacción se lleva a cabo por completo.
- d) Si la masa de NO producida en el literal anterior reacciona con O_2 para producir NO_2 y éste se escapa del tanque recolector, afectando directamente a un obrero en un cuarto cerrado de 1,000 m³, determinar el efecto del gas sobre e individuo.

Solución:

a) moles de NO producidas/ moles de O_2 consumidas = $4/5 = 0.8$

b) Base: 1 h

masa de $NH_3 = 50 \text{ Kg}$

PM $NH_3 = 17 \text{ Kg/Kgmol}$

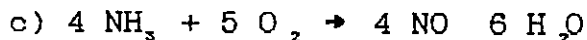
PM $O_2 = 32 \text{ Kg/Kgmol}$

PM NO = 30 Kg/Kgmol

PM $NO_2 = 46 \text{ Kg/Kgmol}$

$$\text{masa de } O_2 = 50 \text{ Kg } NH_3 * 1 \text{ Kgmol } NH_3 / 17 \text{ Kg } NH_3 * 5 \text{ Kgmol } O_2 / 32 \text{ Kg } O_2 / (17 \text{ Kg } NH_3 * 4 \text{ Kgmol } NH_3 * 1 \text{ Kgmol } O_2) = 117.65 \text{ Kg } O_2$$

$$\text{Velocidad de flujo del } O_2 = 117.65 \text{ Kg} * 1 \text{ Kgmol } O_2 / (h * 32 \text{ Kg } O_2) = 3.68 \text{ Kgmol } O_2 / h$$



Se tiene:

200 Kg de NH_3

200 Kg de O_2

Se debe encontrar el reactivo limitante:

$$200 \text{ Kg } NH_3 * \text{Kgmol } NH_3 / 17 \text{ Kg } NH_3 * 5 \text{ Kgmol } O_2 * 32 \text{ Kg } O_2 / (17 \text{ Kg } NH_3 * 4 \text{ Kgmol } NH_3 * \text{Kgmol } O_2) = 470.59 \text{ Kg } O_2$$

De lo anterior se deduce que el reactivo limitante es el O_2 . Así, con 200 Kg de O_2 se obtiene la siguiente cantidad de NH_3 quemado:

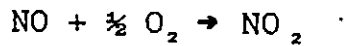
$$200 \text{ Kg } O_2 * \text{Kgmol } O_2 * 4 \text{ Kgmol } NH_3 * 17 \text{ Kg } NH_3 / (32 \text{ Kg } O_2 * 5 \text{ Kgmol } O_2 * \text{Kgmol } NH_3) = 85 \text{ Kg } NH_3$$

Se tendría un exceso de $NH_3 = (200 - 85) \text{ Kg } NH_3 = 115 \text{ Kg } NH_3$.

La masa de NO producida sería:

$$85 \text{ Kg } NH_3 * \text{Kgmol } NH_3 * 4 \text{ Kgmol } NO * 30 \text{ Kg } NO / (17 \text{ Kg } NH_3 * 4 \text{ Kgmol } NH_3 * \text{Kgmol } NO) = 150 \text{ Kg } NO$$

d) La reacción que ocurre es:



Se tienen 150 Kg de NO

La masa de NO_2 será:

$$150 \text{ Kg } NO * \text{Kgmol } NO * 1 \text{ Kgmol } NO_2 * 46 \text{ Kg } NO_2 / (30 \text{ Kg } NO * 1 \text{ Kgmol } NO * 1 \text{ Kgmol } NO_2) = 230 \text{ Kg } NO_2$$

La concentración será:

$$230 \text{ Kg } NO_2 * 1 \text{ m}^3 * 1,000 \text{ g} * 1 \text{ mg} / (1,000 \text{ m}^3 * 1,000 \text{ l} * 1 \text{ Kg} * 1 \times 10^{-3} \text{ g}) = 230 \text{ mg/l} = 230 \text{ ppm}$$

Bajo estas condiciones la persona podría morir, aún si su tiempo de exposición fuera breve (ver cuadro 5.5).

PROBLEMA 8

Los solventes arrojados en operaciones industriales pueden llegar a convertirse en contaminantes importantes si no se dispone de ellos en forma apropiada. Un estudio cromatográfico del desperdicio de los gases de combustión de una planta de fibras sintéticas tiene el siguiente análisis en por ciento mol: CS_2 , 40%; SO_2 , 10% y H_2O , 50%. Una concentración demasiado alta de SO_2 puede causar lesiones crónicas en las plantas y enfermedades pulmonares en el ser humano, llegando inclusive a causar la muerte (Freeman, 1987). Con el propósito de evitar lo anterior, existe una ley local que establece

como norma máxima una concentración del 2% de SO_2 en un período de 24 horas. Para lograr el límite anterior se sugiere quemar el gas con un exceso de aire. Calcule el porcentaje mínimo de aire en exceso que se debe utilizar para quedar dentro del límite establecido por el reglamento.

Solución:

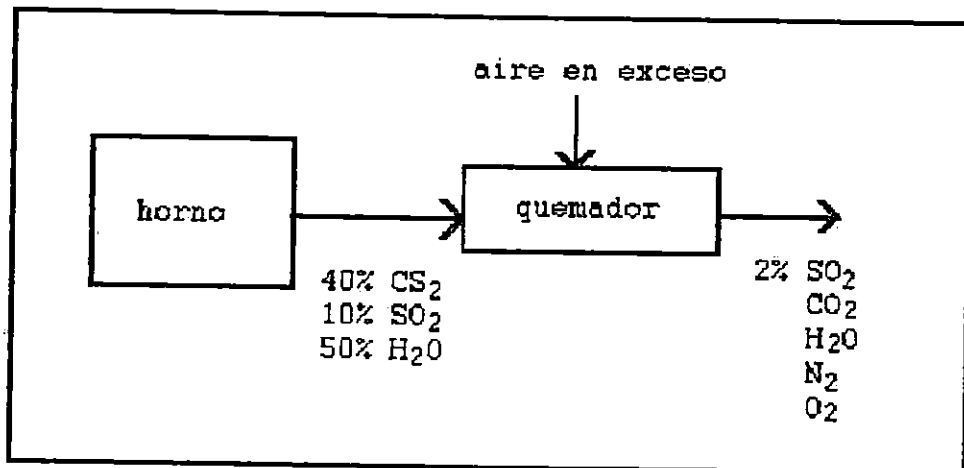


FIGURA 5.4. ESQUEMA PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA 8

La reacción efectuada es: $\text{CS}_2 + 3\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{SO}_2$

Base: 100 lbmol de gases a la salida del quemador, en base seca.

Cantidades que salen del quemador:

SO_2 : SO_2 que entra + SO_2 formado
 $10 + 40 * 2/1 = 90$ lbmol SO_2

CO_2 : $40 * 1/1 = 40$ lbmol C

O_2 : O_2 que entra - O_2 que reacciona

O_2 requerido: $40 * 3/1 = 120$ lbmol O_2

Para $x = 1.0$; O_2 requerido = O_2 que reacciona

Se define el término a:

$a = 1 + \text{exceso}/\text{requerido}$; $\text{exceso}/\text{requerido} = \% \text{exceso}$

De manera que: O_2 que entra = $120 * a$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ que sale} &= \text{O}_2 \text{ que entra} - \text{O}_2 \text{ que reacciona} \\ &= 120 * a - 120 \\ &= 120 * (a-1) \text{ lbmol O}_2 \end{aligned}$$

$$\text{N}_2 \text{ que sale: } 120 * a / 0.21 * 0.79 = 451.43 * a \text{ lbmol}$$

las corrientes que salen son:

$$\text{CO}_2 : 40$$

$$\text{SO}_2 : 90$$

$$\text{O}_2 : 120 * (a-1)$$

$$\text{N}_2 : \frac{451.43 * a}{10 + 571.43a}$$

La fracción mol de SO_2 es:

$$x_{\text{SO}_2} = \text{mol SO}_2 / \text{moles totales de la corriente}$$

$$x_{\text{SO}_2} = 90 / (10 + 571.43a)$$

La norma exige una concentración máxima de SO_2 del 2%,
por tanto:

$$90 / (10 + 571.43a) = 0.02$$

de ahí que:

$$a = 7.86$$

$$\% \text{exceso} = a - 1 = 6.86$$

$$\% \text{exceso de aire} = 686\%$$

Este 686% es el requerimiento mínimo de aire en exceso, para quemar el gas residual sin generar contaminantes excesivos en el aire, de acuerdo a la norma antes mencionada. De esta manera, se protege el medio ambiente y la salud humana.

CAPITULO VI
REVISION DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA TERMODINAMICA
QUIMICA I Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS
CON EL MEDIO AMBIENTE

6.0 PROGRAMA DE ASIGNATURA

I. GENERALIDADES

Asignatura: Termodinámica Química I Prerrequisito: Balance de Materia y Energía y Físico Química II Código: TQI-115
U.V.: 4 Plan de Estudios: 1978 Reformado Ciclo: II Año Académico: _____ Profesor: _____ Instructor: _____

II. SYLLABUS

Propiedades termodinámicas de sustancias puras. Aplicaciones de la 1a, 2a y 3a ley de la termodinámica. Expansión y compresión de gases. Ciclos de Potencia. Refrigeración y Licuefacción. Análisis termodinámico de procesos.

III. OBJETIVOS GENERALES

1. Introducir al estudiante en el estudio de la termodinámica clásica y el comportamiento de sistemas ideales y reales.
2. Que el estudiante comprenda las relaciones entre variables observables de los sistemas termodinámicos y las aplique a la solución de problemas.
3. Que el estudiante aplique las relaciones matemáticas de los enunciados de las leyes de la termodinámica para analizar el funcionamiento de plantas de potencia y refrigeración.
4. Introducir al estudiante en el uso de fuentes renovables de energía como alternativas para el uso eficiente de la energía y la prevención de la contaminación ambiental.

IV. CONTENIDO PROGRAMÁTICO

UNIDAD I: Introducción

Objetivos Específicos

- Que el estudiante conozca en una forma general las áreas de estudio que enfoca la termodinámica y su relación con el medio ambiente.
- Que el estudiante recuerde los conceptos básicos de la termodinámica clásica y se introduzca a nuevos conceptos.

Contenido

- 1.1 Concepto y enfoque de la termodinámica y su relación con el medio ambiente.
- 1.2 Definiciones básicas: Sistema termodinámico, sistema cerrado, sistema abierto, sistema térmicamente aislado, sustancia de trabajo, equilibrio termodinámico, proceso de cuasi-equilibrio, procesos reversibles e irreversibles, ciclos termodinámicos.

UNIDAD II: Propiedades Volumétricas de los Fluidos Puros

Objetivos Específicos

- Que el estudiante amplíe sus conocimientos en las relaciones PvT de fluidos puros y en el uso de las tablas de propiedades termodinámicas.
- Que sepa evaluar datos de P, V y T para sustancias puras de las cuales no se conocen datos experimentales y los asocie con su representación gráfica.
- Que el estudiante haga uso de programas de computación ya elaborados o elaborados por el mismo para construir un diagrama PvT de una sustancia pura.

Contenido

- 2.1 Comportamiento PvT de las sustancias puras. Superficies termodinámicas de una sustancia pura. Uso de tablas de propiedades termodinámicas.

- 2.2 Comportamiento de vapores y gases. Factor de compresibilidad generalizado. Uso del factor acéntrico. Ecuaciones viriales. Método iterativo de Redlich y Kwong. Ecuaciones para evaluar presiones de vapor.
- 2.3 Comportamiento de líquidos. Ecuación de Rackett, Ecuación de Lydersen-Green

UNIDAD III: Primera Ley de la Termodinámica

Objetivos Específicos

- Familiarizar al estudiante con el concepto de la conservación de la energía en forma de trabajo y calor.
- Que el estudiante sepa aplicar la primera ley de la termodinámica a la solución de problemas de procesos de flujo y no flujo.
- Que el estudiante se familiarice con los equipos utilizados en la instalación de plantas de potencia y refrigeración. Calderas, turbinas, bombas, condensadores, compresores, etc.

Contenido

- 3.1 Primera ley de la termodinámica.
- 3.1.1 Proceso de no flujo. Trabajo reversible e irreversible. Energía interna y calor.
- 3.1.2 Proceso de flujo. Trabajo técnico y potencia. Entalpía. Flujo en estado estable y flujo en estado inestable.

UNIDAD IV: Segunda Ley de la Termodinámica

Objetivos Específicos

- Que el estudiante conozca la forma en que la energía cambia en procesos reales a través de equipos.
- Que el estudiante aplique el concepto de entropía.
- Que el estudiante conozca la relación de la Segunda Ley de la Termodinámica con la sociedad y su medio ambiente.

- Que el estudiante visualice diferencias entre procesos ideales y reales en diagramas termodinámicos.

Contenido

- 4.1 Segunda ley de la termodinámica, la máquina térmica.
- 4.2 Entropía, Sociedad y Medio Ambiente.
- 4.3 Entropía y temperatura termodinámica.
- 4.4 Cambios de Entropía e irreversibilidad. Diagrama T-S, diagrama H-S (de Molliere). Eficiencia termodinámica de turbinas, compresores y bombas.
- 4.5 Limitaciones de la 2a ley.
- 4.6 Tercera ley de la termodinámica.

UNIDAD V: Análisis Termodinámico de Procesos

Objetivos Específicos

- Que el estudiante conozca los métodos para evaluar los procesos reales desde un punto de vista termodinámico.
- Que sepa realizar cálculos de trabajo ideal y trabajo perdido.

Contenido

- 5.1 Cálculos de Trabajo Ideal, Trabajo Real y Trabajo Perdido.
- 5.2 Análisis de procesos en estado estable.

UNIDAD VI: Expansión y Compresión de Gases

Objetivos Específicos

- Que el alumno pueda analizar los aspectos termodinámicos de los procesos de flujo de los gases a través de toberas y compresores.
- Que sepa resolver los problemas de procesos de estrangulamiento en toberas.

- Que sepa calcular los parámetros importantes para el funcionamiento de compresores de gases; así como las eficiencias de su funcionamiento.
- Que el estudiante conozca el efecto del ruido en la salud humana (charla expositiva ex-aula).

Contenido

- 6.1 Flujo en tuberías y velocidad máxima.
- 6.2 Proceso de estrangulamiento y toberas. Eficiencia termodinámica.
- 6.3 Compresión de gases y compresores. Compresión simple, compresión múltiple etapa. Eficiencia termodinámica, mecánica y total.
- 6.4 Ruido y contaminación ambiental (charla ex-aula).

UNIDAD VII: Generación de Potencia por Medio de Ciclo Termodinámicos

Objetivos Específicos

- Que el estudiante conozca los sistemas prácticos de generación de potencia a partir de calor con uso de fuentes convencionales y de fuentes renovables de energía en su relación con la conservación del ambiente.
- Que el estudiante se forme un panorama general sobre el consumo de petróleo en el país y sus repercusiones en el medio ambiente.
- Que el estudiante conozca los efectos de la generación hidroeléctrica y geotérmica.
- Que sepa evaluar la eficiencia de los ciclos termodinámicos y conozca las variaciones para aumentar la eficiencia de la planta.
- Que el estudiante conozca las industrias de El Salvador que utilizan plantas de vapor para la generación de sus requerimientos de vapor de proceso y de energía eléctrica.

- Que el estudiante conozca las generalidades de una evaluación de impacto ambiental aplicadas a un impacto termoeléctrico.

Contenido

- 7.1 Plantas de vapor. Ciclos de vapor y su análisis termodinámico. Ciclo ideal de Rankine, Ciclo de recalentamiento y Ciclo regenerativo.
- 7.2 Eficiencia de las plantas de potencia. Consumo de combustible. Uso de combustibles derivados del petróleo y su incidencia en el medio ambiente.
- 7.3 Efectos de la generación Hidroeléctrica y Térmica en el medio ambiente.
- 7.4 Motores de combustión interna, Ciclo de otto y máquina de diesel. Eficiencia termodinámica, Eficiencia mecánica, Consumo de Combustible indicado y al freno.
- 7.5 Sistemas de Co-generación de energía. Bagazo de caña como fuente renovable de energía.
- 7.6 Generalidades sobre estudios de impacto ambiental. El caso de la generación termoeléctrica (dos horas clase).

UNIDAD VIII: Refrigeración y Licuefacción

Objetivos Específicos

- Que el estudiante conozca los diferentes sistemas de refrigeración y aplique los principios termodinámicos a esos sistemas.
- Que sepa analizar termodinámicamente los procesos de licuefacción.
- Que el estudiante haga visitas a industrias salvadoreñas que tienen instalaciones de plantas de refrigeración y haga un análisis termodinámico de la planta.
- Que el estudiante conozca la relación entre la capa de ozono y la vida en el planeta.
- Que el estudiante conozca que algunos refrigerantes pueden

dañar la capa de ozono y que identifique algunas sustancias alternativas.

Contenido

- 8.1 Ciclo de refrigeración de Carnot, Ciclo de refrigeración de aire.
- 8.2 Ciclos de Refrigeración por compresión de vapor. Refrigerantes. Coeficiente de operación (eficiencia). Compresión en varias etapas.
- 8.3 Sistemas de refrigeración por absorción. El sistema amoníaco-agua.
- 8.4 Los refrigerantes y la capa de ozono (dos horas clase).
 - 8.4.1 Introducción.
 - 8.4.2 Refrigerantes que dañan la capa de ozono.
 - 8.4.3 Efectos del agotamiento de la capa de ozono.
 - 8.4.4 Cambio hacia tecnologías alternativas.

V. METODOLOGIA DE LA ENSEÑANZA

- a. Se asignarán lecturas de los libros incluidos en el programa de la asignatura, así como de reportes técnicos relacionados con el contenido programático y luego serán discutidos en clase.
- b. Se alternarán sesiones de discusión de problemas de guías elaboradas o de problemas propuestos por los estudiantes. Al mismo tiempo se asignarán tareas a resolver ex-aula.
- c. Se asignará una investigación a grupos de alumnos que incluirá trabajo de campo y bibliográfico, para que el alumno se familiarice con las aplicaciones prácticas existentes en nuestro medio de plantas generadoras de potencia y de refrigeración.

VI. EVALUACIONES

| | |
|---|------|
| Primer examen parcial, contenidos 1, 2 y 3..... | 20% |
| Segundo examen parcial, contenidos 4, 5 y 6..... | 25% |
| Tercer examen parcial, contenidos 7.1, 7.2 y 7.3..... | 20% |
| Cuarto examen parcial, contenidos 7.4 y 8.0..... | 15% |
| Trabajo ex-aula: Reporte con Defensa Oral..... | 15% |
| Tareas Ex-aula..... | 5% |
| TOTAL..... | 100% |

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Abbott, M.M. & Van Ness H.C. (1972). "Thermodynamics". Schaum's Series. 1a Ed. Mc Graw-Hill Book Co. New York, USA.
2. Balzhiser, R.E., M.R. Samuels y J.D. Eliassen (1972). "Termodinámica Química para Ingenieros". 1a Ed. Prentice-Hall Hisp., S.A. México.
3. Bathie, W.W. (1987). "Fundamentos de Turbinas de Gas". Iowa State University of Sc. & Tech. Ed. Limusa. 1a Ed. en Español. México.
4. Black, W.Z. y J.G! Hartley. (1989). "Termodinámica". 1a. Ed. CECSA. México.
5. Carballo, A.G.; Morán Arce, J.A. y Saravia Cortéz, A.M. (1993). "Estudio de Alternativas de Cogeneración y Generación Eléctrica de Autoprodutores en el Sector Industrial". Trabajo de Graduación previo la opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de El Salvador, El Salvador, C.A.
6. Faires, V.M. (1962). "Thermodynamics". 4a Ed. John Wiley and Sons. USA.

7. González Trabanino, A.M. (1990). "Aprovechamiento Energético de Agroindustria de Caña de Azúcar de Electricidad en Redes Públicas de El Salvador" Tesis previa opción al título de Maestría en Planeamiento Energético, Universidad Federal de Río de Janeiro. Brazil.
8. Granet, I. 1988. "Termodinámica" 3a Ed. Prentice-Hall Hisp. S.A. México.
9. Hougen, Watson y Ragatz. (1964). "Principios de los Procesos Químicos": Termodinámica. Tomo II. Editorial Reverte, S.A. España.
10. Kadambi, V. y M. Prasad. (1984). "Conversión de Energía" Tomo I, II y III. 1a Ed. Editorial Limusa S.A. México.
11. Morán, M.J. (1982). "Availability Analysis: A Guide to Efficient Energy Use". Prentice Hall, USA.
12. Perry, R.H. & Green, D. (1984). "Perry's Chemical Engineers' Handbook". 6a Ed. Mc Graw-Hill Book Co. USA.
13. Reid, R.C. and T.K. Sherwood. (1964). "The properties of Gases and Liquids". Mc Graw-Hill Book Co. USA.
14. Smith, J.M. and Van Ness H.C. (1989). "Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química". 4a Ed. Mc Graw-Hill, México.
15. Van Wylen, G.I. y R.E. Sonntag.(1983). "Fundamentos de Termodinámica". Editorial Limusa-Wiley. México.

16. Van Wylen, G.I. y R.E. Sonntag. (1983). "Introducción a la Termodinámica Clásica y Estadística". 1a Ed. Editorial Limusa, México.

Otros: Alche Journal, Chemical Engineering y Chemical Engineering Progress. Revistas técnico-científicas publicadas mensualmente. USA.

6.1 TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE SUGERIDOS PARA EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA TERMODINAMICA QUIMICA I

6.1.1 CONCEPTO Y ENFOQUE DE LA TERMODINAMICA Y SU RELACION CON EL MEDIO AMBIENTE

(Unidad I. Una hora clase)

(CEL, 1994)

Tradicionalmente se enfoca la termodinámica desde el punto de vista del análisis de plantas de potencia a partir de las primera y segunda ley. Sin embargo, este apartado pretende mostrar las diferentes fuentes de energía tradicionalmente utilizados, sus efectos en el medio ambiente y un panorama global del consumo de energía en El Salvador.

6.1.1.1 DIVERSAS FUENTES DE ENERGIA EMPLEADOS EN LA PRODUCCION DE ENERGIA Y SU INCIDENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE

Los distintos tipos de combustibles empleados tradicionalmente pueden agruparse a partir de los siguientes conceptos:

- a) **Energía primaria:** son las distintas formas de energía tal y como son obtenidas de la naturaleza, sin ningún proceso de transformación. Las formas de energía primaria son la energía hidráulica, energía geotérmica, petróleo, carbón mineral, leña y residuos vegetales.
- b) **Centros de transformación:** son las instalaciones en donde se transforma la energía primaria en secundaria. En El Salvador existen los siguientes: centrales eléctricas (hidroeléctricas, térmicas y geotérmicas), refinerías y carboneras.

Se define también el centro de transformación ficticio debido a que hay ciertas formas de energía primaria que pueden consumirse sin sufrir ninguna transformación, y para mantener la coherencia formal del modelo, se agrega este centro, por el cual pasan los flujos sin transformación alguna. Esto permite que el destino de cualquier fuente de energía primaria sea un centro de transformación.

- c) **Energía secundaria:** son los diferentes energéticos destinados a los sectores de consumo. El único origen posible de toda energía secundaria es un centro de transformación, y el único destino posible es un centro de consumo.

Las formas de energía secundaria son: energía eléctrica, gas de refinería, gas licuado, gasolina de motor, kerosene y jet fuel, diesel oil, fuel oil (bunker C), carbón mineral y coque, leña, carbón de leña, residuos vegetales y no energéticos.

La energía secundaria se destina a los siguientes centros de consumo o sectores económicos que la emplean en diferentes usos finales:

- a) Residencial y comercial, que incluye las actividades domésticas y comerciales del país.
- b) Transporte. Que puede ser público, privado, aéreo, ferroviario y marítimo.
- c) Industria. Comprende los consumos industriales básicos, manufactureros y artesanales.
- d) Agropecuario y pesca. Corresponde a las necesidades agrícolas, pecuarias y pesqueras.

- e) Público. Incluye el consumo de derivados del petróleo para la generación termoeléctrica, el consumo de electricidad de las dependencias gubernamentales y alumbrado público.
- f) Consumo propio. Son los consumos de la propia industria energética.
- g) No energéticos. Comprende los consumos de productos no energéticos derivados del petróleo.
- h) No identificados. Se incluyen los flujos que no pudieron ser ubicados en los sectores anteriores.

La producción de energía a partir de los medios tradicionales anteriores tiene sus ventajas, sin embargo, también acarrea graves consecuencias para el medio ambiente y la salud humana. Algunas consecuencias pueden observarse en los capítulos I, secciones 1.1, 1.3 y 1.8; III, sección 3.1.3; V, secciones 5.1.2 y cuadros 5.2, 5.3 y 5.9; y VI, secciones 6.1.3 y 6.1.4.

Las fuentes renovables de energía son una alternativa para producir energía sin conducir a un agotamiento de la fuente energética. Las fuentes renovables incluye la energía del viento, del sol, de la biomasa, etc (Duarte, 1993).

De todas las energías renovables quizá, la más importante es la biomásica. Se llama biomasa a todo material derivado foto sintéticamente, ya sea en forma directa como la materia vegetal e indirecta como la materia animal. Son fuentes de energía biomásica la leña, los desechos agrícolas, la vegetación acuática, los estiércoles, las raíces y los aceites vegetales. La energía biomásica puede aplicarse en la cocción de a

limentos, iluminación, agricultura, generación eléctrica, transporte, industria, etc (Duarte, 1993).

En el Salvador la biomasa tiene un gran potencial energético. A manera de ejemplo, la relación energética entre el bago de caña con 51% de humedad y el petróleo es de 5 a 1, respectivamente.

La energía eólica es una forma de energía solar puesto que el viento se produce por el calentamiento de la atmósfera debido al sol. Puede aplicarse en la generación de electricidad y la extracción de agua. El viento tiene menos potencial en El Salvador, aunque su aprovechamiento no debe descartarse en lugares como la costa del Pacífico, la cordillera de Apameca, la zona norte del país y algunos cerros (Duarte, 1993).

En cuanto a la energía solar, a partir de las 23 estaciones meteorológicas en El Salvador, se ha determinado que hay en promedio aproximadamente 7 horas de luz solar por día en el año en las tres cuartas partes del territorio nacional (Duarte, 1993).

Para una mayor ampliación sobre las aplicaciones de la energía solar y el uso de la misma para producir energía eléctrica se recomienda ver el capítulo IX, sección 9.1.2.

6.1.1.2 PANORAMA GLOBAL DEL CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA Y SECUNDARIA EN EL SALVADOR

a) ENERGIA PRIMARIA

La producción total de la energía primaria en El Salva -

dor, para 1993, fue de 20,184.5 Tcal, mayor a la de 1992 en 3,497.9 Tcal (1 Tcal = 1×10^7 calorías).

La importación de energía primaria es únicamente petróleo, que fue de 9,620.3 Tcal, sin ningún tipo de exportación de energía primaria para el año 1993.

El cuadro 6.1 muestra el destino de las diferentes formas de energía primaria en el país, es decir la cantidad de energía primaria que entró a los centros de transformación, se presenta su participación por fuente y una comparación entre los años 1992 y 1993.

CUADRO 6.1. VOLUMEN Y ESTRUCTURA DEL DESTINO DE LA ENERGIA PRIMARIA POR FORMA DE ENERGIA PRIMARIA PARA 1992 Y 1993

| Formas de la energía | Año 1992 | | Año 1993 | |
|----------------------|----------|-------|----------|-------|
| | Tcal | % | Tcal | % |
| Primaria | | | | |
| Energía Hidráulica | 1,542.9 | 6.1 | 1,737.2 | 5.7 |
| Energía Geotérmica | 2,623.4 | 10.4 | 2,323.8 | 7.7 |
| Petróleo | 8,276.4 | 32.9 | 9,275.9 | 30.6 |
| Leña | 10,666.4 | 42.3 | 15,006.3 | 49.5 |
| Carbón mineral | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 |
| Residuos vegetales | 2,081.9 | 8.3 | 1,961.1 | 6.5 |
| TOTAL | 25,191.0 | 100.0 | 30,304.6 | 100.0 |

FUENTE: CEL (1993).

Del cuadro 6.1 puede concluirse que las formas de energía primaria de más alta participación son la leña y el petróleo, constituyendo ambas el 80.1% del total de energía primaria. Esta cifra indica la importancia de analizar di

chas fuentes, pues la dependencia nacional de estos energéticos trae problemas considerables para el país.

El consumo desmedido de la leña produce efectos negativos en la ecología (ver sección 1.1 de capítulo I), por otro lado, el consumo de petróleo, además de ocasionar impacto en la balanza de pagos por ser una fuente importada, también aporta problemas de contaminación ambiental (ver sección 6.1.3 del capítulo VI).

b) ENERGIA SECUNDARIA

La producción nacional de los centros de transformación para 1993 fue de 28,389.8 Tcal, la cual incluye las salidas del centro de transformación ficticio con un flujo de 16,735.8 Tcal y la de los otros centros que produjeron 11,654.0 Tcal.

La importación de energía secundaria fue de 3,543.4 Tcal y la exportación de 260.5 Tcal.

El 89% del total de la energía secundaria es consumido en los diferentes sectores económicos, y el 11% restante es destinado a transformarse en otro tipo de energía.

El cuadro 6.2 presenta el consumo neto de energía secundaria para 1992 y 1993.

El consumo de energía secundaria por sector se observa en el cuadro 6.3 para los años de 1992 y 1993.

CUADRO 6.2. CONSUMO NETO DE ENERGIA SECUNDARIA POR PRODUCTO
PARA LOS AÑOS 1992 Y 1993

| Producto | Año 1992 | | Año 1993 | |
|------------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Tcal | % | Tcal | % |
| Leña | 10,450.5 | 46.3 | 14,774.4 | 53.1 |
| Residuos vegetales | 1,246.7 | 5.5 | 1,200.4 | 4.3 |
| Derivados de petróleo | 8,880.2 | 39.4 | 9,611.9 | 34.5 |
| Carbón mineral y coque | 2.8 | 0.0 | 4.0 | 0.0 |
| Electricidad | 1,857.2 | 8.2 | 2,130.5 | 7.7 |
| Carbón de leña | 110.1 | 0.5 | 113.6 | 0.4 |
| TOTAL | 22,547.4 | 100.0 | 27,834.8 | 100.0 |

FUENTE: CEL (1993).

CUADRO 6.3. CONSUMO NETO DE ENERGIA SECUNDARIA POR SECTOR

| Producto | Año 1992 | | Año 1993 | |
|-------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Tcal | % | Tcal | % |
| Residencial y comer - cial | 10,937.8 | 48.5 | 15,014.8 | 37.3 |
| Industrial | 5,332.8 | 23.7 | 5,989.1 | 12.3 |
| Transporte | 5,663.1 | 25.1 | 6,163.6 | 38.8 |
| Otros | 613.7 | 2.7 | 667.3 | 8.7 |
| TOTAL | 22,547.4 | 100.0 | 27,834.8 | 100.0 |

FUENTE: CEL (1993).

El ingeniero químico a través de los conocimientos de la termodinámica aplicada a diferentes procesos de producción de energía, puede investigar y proponer opciones para la generación de energía a partir de fuentes renovables que conlleven a minimizar los problemas de deforestación y dependencia de combustibles derivados del petróleo.

6.1.2 ENTROPIA, SOCIEDAD Y MEDIO AMBIENTE (Unidad IV. Una hora clase)

En el capítulo III, correspondiente a Fisicoquímica I se estudiaron las transformaciones de energía que tienen lugar en la naturaleza, siguiendo la Primera Ley de la Termodinámica y una vez conocidas dichas transformaciones puede entenderse mejor la Segunda Ley de la Termodinámica, que limita el paso de la energía para convertirse en trabajo útil.

Al retroceder hacia los orígenes de la humanidad, puede notarse que la energía jugaba un rol fundamental en el desarrollo de ésta. Un hecho tan simple como la utilización del fuego por el hombre primitivo reflejaba una necesidad de energía para la realización de sus actividades cotidianas.

Con el desarrollo de la máquina de vapor en el siglo XIX surgió un concepto nuevo: el de máquina térmica, cuyo valor radicó en el descubrimiento de que el calor podía generar trabajo (Johansson). Dicho de una manera más general, que una transformación o cambio en la materia podía aprovecharse para realizar un trabajo útil.

En una máquina térmica, a diferencia de un dispositivo mecánico, se quema combustible, la energía química de éste se transforma en calor y el calor se convierte en trabajo. Sin embargo, hay limitaciones porque no toda la energía se aprovecha en la máquina térmica, parte se pierde en forma de calor.

Si bien es cierto que la energía no se pierde en el sentido estricto de la palabra, ésta se disipa o degrada de forma que no pueda disponerse de ella en un uso posterior. Esa energía no aprovechada se convertirá en calor, que es también

una forma de energía, pero como es debida al libre movimiento de los átomos o moléculas de la materia, será de naturaleza caótica (Caldwell, 1993; Johansson, SFP*).

Consecuencia de lo anterior es el hecho que la energía varía en su calidad o aptitud para hacer trabajo útil. De esta forma, la calidad de la energía es una medida de la utilizabilidad de la misma. La energía de alta calidad está organizada o concentrada y tiene una gran aptitud para realizar trabajo útil. Ejemplos de estas formas útiles de energéticos son: carbón, gasolina, combustible nuclear y calor concentrado en una muestra aceptablemente pequeña de materia, de modo que su temperatura es alta (Boyle, 1979).

En contraste, la energía de baja calidad está desorganizada y dispersa, y posee poca aptitud para hacer trabajo útil. Es decir, tiene alta entropía. Un ejemplo es el calor que se encuentra disperso en las moléculas en movimiento de una muestra grande de materia, como la atmósfera o una gran masa de agua, de modo que su temperatura es relativamente baja (Boyle, 1979).

Un ejemplo que ilustra sobre la energía de baja calidad es el caso de los océanos, donde la cantidad de calor almacenada a temperatura relativamente baja es mayor que la cantidad de energía química almacenada en los depósitos de petróleo de Arabia Saudita. Sin embargo, este calor está tan ampliamente disperso en el océano que su explotación no es económicamente factible (Turk y Wittes, 1985).

En relación con la calidad de la energía, la figura 6.1, muestra una fuente cualquiera de energía de alta calidad (baja entropía) que se aprovecha para obtener un trabajo útil y

resultando además una forma de energía de baja calidad (alta entropía), de donde se desprende que cuando la energía de alta calidad se transforma en trabajo, parte se pierde en forma de calor, por lo tanto, todo trabajo se realiza a costa de degradar energía de baja entropía en calor a baja temperatura, como consecuencia de la segunda ley de la termodinámica (Boyle, 1979).

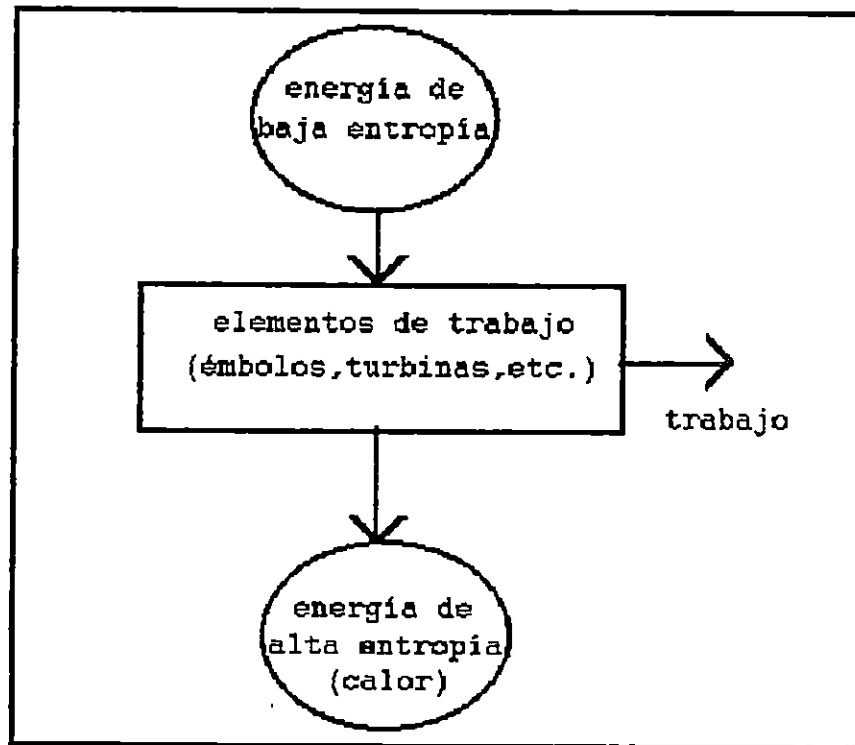


FIGURA 6.1. DEGRADACION DE ENERGIA EN CALOR
FUENTE: TURK Y WITTES (1985)

Este hecho de que parte de la energía se disipe tiene un gran significado en las relaciones entre el hombre y su medio ambiente, porque la energía perdida implica un desperdicio de los recursos naturales, lo cual es más grave en el caso de los recursos naturales no renovables. Es decir, a medida que la población crece ocurre también un aumento en la presión sobre los recursos energéticos.

En nuestro país, esta presión se manifiesta principalmente en la demanda de leña y combustibles derivados del petróleo, los cuales son recursos limitados, y que, por supuesto, tienen un precio.

Pero el precio de ese uso no solamente se traduce en términos monetarios, sino también en impactos ambientales como de forestación, emisiones nocivas a la atmósfera, enfermedades y otros efectos.

A pesar de todo, no puede prescindirse de la energía para obtener los bienes y servicios que la sociedad demanda, pero si puede hacerse un uso más racional de ésta, de lo contrario los recursos se irán agotando y la humanidad seguirá caminando hacia una mayor entropía, y quizás hacia su propia extinción (Holliman, 1993; Puri, 1995).

6.1.3 RUIDO Y CONTAMINACION AMBIENTAL

(Unidad VI. Charla ex-aula)

(Turk, 1985 y Desoille, 1990)

A menudo, en su trabajo, el ingeniero químico se ve expuesto a muchos factores que pueden afectar su salud de diversas formas, tales como: sustancias químicas peligrosas, vapores o gases tóxicos, etc. Sin embargo, hay una situación común que afecta el entorno no sólo del profesional sino que también de los trabajadores, esta es, el ruido.

El ruido sugiere una relación entre el movimiento de un cuerpo o de una máquina. A su vez, el movimiento se relaciona con la energía; y en efecto, todo cuerpo en movimiento posee una energía que depende de su velocidad: cuanto más rápido se mueve, más energía consume.

De manera análoga tenemos el caso de las centrales termoeléctricas y de los motores de combustión interna, entre otras máquinas, en las cuales se ven involucradas grandes cantidades de energía que a su vez generan una alta intensidad de sonido que se considera como ruido.

Es entonces cuando debe distinguirse entre un sonido como tal y un ruido. Al respecto se dice que si un sonido no es del gusto de la persona que lo escucha, se convierte en ruido. De hecho, el ruido puede definirse en dos palabras: sonido desagradable.

De todos los atributos que distinguen entre un sonido deseado y otro desagradable, el que por regla general se considera como el más significativo es la intensidad. Existen muchas pruebas de que la exposición a sonidos intensos es perjudicial de modos diversos; así, cuanto más intenso es un so

nido aumenta la probabilidad de que éste se convierta en ruido.

6.1.3.1 EFECTOS DEL RUIDO

Entre los principales efectos del ruido tenemos los siguientes:

- a) **Dificultades en la comunicación:** este hecho entraña un peligro que puede pasarse por alto, y es el de no entender una orden o un procedimiento cuando se opera con un equipo que produzca demasiado ruido en un proceso riesgoso, lo cual puede generar un accidente de trabajo.
- b) **Pérdida del oído:** el ruido ocasional se combina con sonidos indeseables, pero la persona se recupera al restablecerse la quietud. Por el contrario, si ocurre una exposición prolongada a un ruido fuerte, puede suceder una pérdida parcial del oído en forma permanente.

Por regla general, los niveles de ruidos de aproximadamente 80 decibelios, o más altos, pueden producir pérdida permanente del oído. El hecho de que en sociedades técnicamente desarrolladas las mujeres oigan mejor que los hombres se relaciona indudablemente con el hecho de que aquellas, están menos expuestas al ruido laboral.

- c) **Otros efectos sobre la salud y la conducta:** se sabe que el ser humano es un sistema muy complicado, y los efectos de tensión o trastorno siguen caminos muy intrincados que a veces resultan difíciles de descubrir.

Muchos investigadores creen que la pérdida del oído no es la consecuencia más grave del ruido excesivo. Los prime -

ros efectos son reacciones de ansiedad y tensión, incluso en casos extremos, de miedo.

Esos efectos no vienen solos, porque suelen acompañarse de un cambio hormonal en la sangre, lo que a su vez produce taquicardia, constricción de los vasos sanguíneos, espasmos digestivos y dilatación de las pupilas.

A pesar de lo anterior, resulta difícil apreciar los efectos a largo plazo de semejante sobre estimulación, pero es, sabido que, en los animales, hay daños cerebrales, hepáticos y en el corazón.

**6.1.4 USO DE COMBUSTIBLES DERIVADOS DEL PETROLEO Y SU
INCIDENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE**
(Unidad VII. Una hora clase)
(Amaya y Sandoval, 1992)

En El Salvador, el petróleo y sus derivados son indispensables para el desarrollo de la economía. Tal es así, que sus volúmenes de compra aumentan prácticamente cada año.

En el caso de los energéticos derivados del fraccionamiento del petróleo se tuvo que para 1992, la mayor parte de esos productos eran consumidos por el sector transporte (63%), mientras que la industria demandó un 24%.

Se espera para los próximos años un aumento en el consumo de combustibles como resultado de una tendencia creciente en la importación de automóviles. Además, habría un incremento en dicho consumo en el caso que la generación de energía eléctrica se oriente hacia las centrales termoeléctricas. Véase cuadro 6.4.

CUADRO 6.4. PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE PETROLEO EN EL SALVADOR.

| Año | Barriles/día |
|------|--------------|
| 1986 | 13,446 |
| 1987 | 14,114 |
| 1988 | 12,579 |
| 1989 | 12,778 |
| 1990 | 13,376 |
| 1991 | 15,511 |
| 1992 | 16,538 |

Fuente: BCR (1994).

Algunos efectos medioambientales del consumo de petróleo son los siguientes: producción de gases tóxicos, contaminación de alimentos, enfermedades crónicas del sistema respiratorio, calentamiento del planeta por emisiones de bióxido de carbono, etc. Véase cuadro 6.5.

CUADRO 6.5. EMISIONES DE BIOXIDO DE CARBONO NO BIOGENICO EN EL SALVADOR (MILES DE TONELADAS).

| Año | Bióxido de carbono |
|------|--------------------|
| 1988 | 1908.3 |
| 1989 | 1967.0 |
| 1990 | 2073.3 |
| 1991 | 2211.0 |
| 1992 | 2616.1 |

Fuente: CEL (1994).

A pesar de lo anterior aún no existe un control de emisiones gaseosas ni para la industria, ni para el sector transporte y, por el momento, se desconoce la legislación relativa a estas emisiones dado que la ley de Protección al Medio Ambiente todavía se encuentra bajo estudio.

Si embargo, no se puede prescindir del petróleo como energético, pero podría regularse su uso y plantearse otras alternativas para la generación de electricidad (geotermia y cogeneración, por ejemplo), que puedan balancearse con las ya existentes (biomasa, hidroeléctrica, térmica).

6.1.5 EFECTOS DE LA GENERACION HIDROELECTRICA Y GEOTERMICA EN EL MEDIO AMBIENTE

(Unidad VII. Media hora clase)

El tema anterior mencionó el efecto del uso de los combustibles fósiles en el medio ambiente, ya sean utilizados para la generación eléctrica, la industria o el transporte.

Respecto a la generación de electricidad en El Salvador, existen otras fuentes importantes, además de los derivados del petróleo, como son las fuentes hídricas y las termales, que se constituyen también en campos de acción de la Ingeniería Química.

Para 1993, la generación hidroeléctrica, cubrió el 54.1% de la demanda de electricidad, mientras que la generación geotérmica cubrió un 13.3%. El porcentaje restante (32.6%), fue suplido por la generación termoeléctrica (CEL, 1994).

La explotación de la energía hídrica y geotérmica ocasionan impactos negativos en el medio ambiente, aunque un buen uso de estos recursos puede conducir a ciertas ventajas.

Ventajas de la hidroelectricidad son que no produce emisiones de Dióxido de Carbono y de otros contaminantes atmosféricos durante su operación. Por otra parte, las centrales hidroeléctricas tienen una vida útil superior a las plantas termoeléctricas. Una ventaja más es que los embalses ayudan a controlar inundaciones y pueden proporcionar un flujo regulado de agua (Turk y Wittes, 1985).

Los impactos negativos de la hidroelectricidad pueden referirse a que los embalses de los sistemas a gran escala inun-

dan extensas regiones, destruyen hábitat de plantas y animales, reducen la biodiversidad aguas abajo. Otra consecuencia adversa es el incremento de la erosión en las riberas de los ríos y la contaminación de los embalses con sedimentos y sustancias arrastradas por los efluentes del embalse. Los dos últimos efectos han sido significativos en los embalses de las centrales hidroeléctricas en El Salvador, particularmente en el de la presa 5 de Noviembre (Barry, 1996).

Por otro lado, la energía geotérmica tiene ventaja en cuanto a que genera mucho menos dióxido de carbono que los combustibles fósiles y permite obtener electricidad a un costo menor que el de las plantas termoeléctricas (Duarte, 1996).

Sin un adecuado control de la contaminación, la producción de energía eléctrica a partir de fuentes geotérmicas causa contaminación por sulfuro de hidrógeno, amoníaco, boro, arsénico y otras sustancias (Luna y Monge, 1983). las aguas residuales de las plantas geotérmicas no solo contaminan el agua químicamente, sino que además la temperatura de estas aguas produce también contaminación térmica en el cuerpo de agua que recibe la descarga (véase Fuentes de Contaminación Térmica, capítulo VII, sección 7.2.1).

6.1.6 GENERALIDADES SOBRE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL
EL CASO DE LA GENERACION TERMoeLECTRICA.

(Unidad VII. Conferencia)

(Hernández y Yáñez, 1993)

Muchos problemas medioambientales que se viven hoy, son el resultado de una escasez de información o evaluación del impacto ambiental de los proyectos que se han ejecutado.

Actualmente esa tendencia se ha modificado y ahora es necesario presentar un estudio de impacto ambiental del proyecto que se piensa ejecutar. Una evaluación del impacto ambiental es un conjunto de análisis de diferentes tipos y niveles (examen, reconocimiento semi-detallado o detallado) de los impactos de las actividades de desarrollo en el ambiente, en los recursos naturales, en el hábitat y en los asentamientos humanos, y por ende, en la sociedad y en la economía.

En el caso de la Central Termoeléctrica de Acajutla, las políticas de procedimiento en cuanto a la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), se regirían en base a los lineamientos que dictase el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), debido a que no existen leyes normativas sobre EIA de proyectos de inversión pública y privada en el país.

En tal sentido, en dicha EIA se plantearían los objetivos siguientes:

- a) Identificar los efectos ambientales que el proyecto puede generar.
- b) Evaluar los impactos negativos al ambiente.
- c) Analizar las alternativas del proyecto.
- d) Proponer medidas de atenuación para los efectos potencialmente adversos.

- e) Establecer un programa de monitoreo de los desechos líquidos, sólidos y gaseosos de la central.

Una EIA no es algo sencillo porque implica no sólo las cuestiones técnicas del proyecto, sino componentes culturales, socio-económicas, consultas a la comunidad de Acajutla, consultas con organizaciones no gubernamentales (ONG), recopilación de información ambiental de la zona, etc.

Como el proyecto se haría en base a una licitación convocada por la CEL, sería la compañía a quien se adjudique el proyecto quien velaría por alcanzar los objetivos anteriormente mencionados, es decir, se encargaría de dirigir la EIA en coordinación con la CEL.

Por lo tanto, dicha compañía cubriría el siguiente campo de trabajo para la EIA:

a) Descripción del proyecto propuesto.

La cual incluye localización del sitio, diagrama de flujo, actividades de construcción, programación de actividades, personal de planta, facilidades y servicios, mapas del sitio y sus alrededores, estudios de suelos y otros aspectos.

b) Descripción del ambiente.

- b.1) Ambiente físico: geología, topografía, clima, calidad del aire, hidrología, etc.
- b.2) Ambiente biológico: flora, fauna, especies de importancia comercial, hábitat sensitivo, etc.
- b.3) Ambiente socio-cultural: población, uso de la tierra, empleo y oferta de trabajo, salud pública, educación, costumbres, etc.

- c) **Consideraciones legislativas y normativas.**
La descripción de regulaciones y/o estándares de calidad ambiental, salud, protección de la flora y fauna y áreas protegidas.
- d) **Impactos potenciales del proyecto propuesto.**
Comprende la identificación de los impactos potenciales del proyecto en el medio ambiente y, de ser posible, cuantificar dichos impactos y/o comparar con otros estudios anteriores, si los hubieren.
- e) **Descripción y análisis de alternativas para el proyecto propuesto.**
Este análisis podría sugerir diseños que pudieran ser más atractivos desde una panorámica ambiental, económica y cultural, respecto al proyecto original.
- f) **Desarrollo de un plan de mitigación.**
Abarcaría recomendaciones y medidas factibles (técnica y económicamente) para prevenir o disminuir los impactos negativos hasta niveles satisfactorios.
- g) **Desarrollo de un plan de monitoreo.**
Es decir, un plan detallado, para llevar a cabo las medidas de mitigación pertinentes durante la construcción y operación del proyecto.
- h) **Coordinación interinstitucional y participación pública y organizaciones no gubernamentales.**
Es decir, debe tomarse en cuenta la opinión de personas idóneas ajenas al proyecto, así como los comentarios de la comunidad en donde se ejecuta el proyecto.

i) **Presentación del reporte de EIA.**

Comprendería las conclusiones y acciones recomendadas a partir de toda la información recabada.

Una vez realizada la EIA, se procedería a la revisión de esta para determinar si la infraestructura propuesta responde a los estándares medio ambientales internacionales, sin embargo, sería inevitable un aumento en las concentraciones de bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas suspendidas en el ambiente, como producto de la combustión; razón por la cual la central sería equipada con un equipo moderno y con un sistema de control apropiado. El cuadro 6.6 muestra, en forma resumida, el campo de trabajo de una EIA.

CUADRO 6.6 CAMPO DE TRABAJO DE UNA EIA

- a) Descripción del proyecto
- b) Descripción del ambiente
 - b.1) Ambiente físico
 - b.2) Ambiente biológico
 - b.3) Ambiente sociocultural
- c) Consideraciones legislativas y normativas
- d) Impactos potenciales
- e) Descripción y análisis de alternativas
- 6) Desarrollo de un plan de mitigación
- f) Desarrollo de un plan de monitoreo
- g) Cooperación interinstitucional
- h) Presentación del reporte de EIA

FUENTE: HERNANDEZ Y YANEZ (1993).

6.1.7 LOS REFRIGERANTES Y LA CAPA DE OZONO (Unidad VIII. Dos horas clase)

El ozono es una molécula formada por 3 átomos de oxígeno en lugar de los dos del oxígeno que respira el ser humano. Ese átomo adicional hace que dicho gas se vuelva nocivo cuando es inhalado por el hombre y los animales, de manera que cerca de la superficie terrestre el ozono constituye un contaminante atmosférico (SEMA, 1995; UNEP, 1993c; UNEP, 1993d).

Sin embargo, en la estratósfera, el ozono forma una capa de aproximadamente 35 Km de espesor que bloquea las peligrosas radiaciones ultravioletas provenientes del sol, lo cual ha hecho posible la vida en la tierra durante miles de años (UNEP, 1993b; UNEP, 1993c; UNEP, 1993d).

Pero a principios de los años setenta el hombre comenzó el aumento de sustancias con muchas aplicaciones industriales y que aparentemente eran inocuas. Un grupo de esas sustancias eran los clorofluorocarbonos (CFC), utilizados en congeladores y equipos de aire acondicionado (UNEP, 1993c; UNEP, 1993d).

Estudios realizados en la Antártida en los años 70, revelaron una perturbación en la capa de ozono en dicha zona, y para la primavera de 1979, se había formado un agujero enorme en la capa de ozono. En 1985 y 1987 tal situación empeoró aún más. Para 1995 el daño en la capa de ozono alcanzó niveles sin precedentes (UNEP, 1993c; ANSA, 1995).

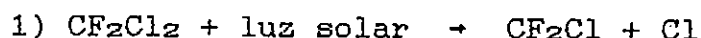
6.1.7.1 REFRIGERANTES QUE DAÑAN LA CAPA DE OZONO

Cerca de un 30% de la producción mundial de CFC es usada en aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado. Entre ellos tenemos los CFC 11, 12, 113, 114 y 115. Otros refrigerantes que dañan la capa de ozono son los halones, como el halón 1301 (UNEP, 1993b; UNEP, 1993c).

Los CFCs usados más ampliamente son el CFC-11 (Triclorofluorometano) y el CFC-12 (Diclorofluorometano), utilizados en equipos de refrigeración de aire acondicionado.

Los CFCs destruyen el ozono en la estratósfera al reaccionar con la luz solar y liberar cloro, que luego reaccionará con la molécula de ozono, transformándola en oxígeno molecular. Por último, el cloro se regenera y es capaz de seguir degradando más moléculas de ozono. Los tiempos de permanencia en la atmósfera del CFC-11 y del CFC-12 son 65 y 130 años, respectivamente.

A continuación se presenta una serie de reacciones que ilustran la forma en que el ozono es atacado por el CFC-12 (Solomon, 1988; UNEP, 1993b):



6.1.7.2 EFECTOS DE AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO

El agotamiento de la capa de ozono contribuye a que mayor cantidad de radiación ultravioleta del sol llegue hasta la superficie terrestre, provocando dicha radiación, diversos

efectos en el medio ambiente, entre ellos de acuerdo a UNEP, (1992a):

- a) Genera alteraciones en el ADN celular, lo cual aumenta la incidencia de cáncer en la piel.
- b) Altera el sistema inmunológico, lo cual hace propenso al ser humano para ser atacado por las enfermedades.
- c) Daños en los ojos de humanos y animales, especialmente cataratas.
- d) Daños en cultivos susceptibles a la radiación (frijoles, papas, remolacha, soya, etc).
- e) Formación de ozono troposférico.
- f) Destrucción de polímeros y recubrimientos.
- g) Alteración de las cadenas alimenticias oceánicas al causar daños en criaturas como plancton, larvas de peces, etc.

6.1.7.3 CAMBIO HACIA TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS

En los últimos años, y a raíz de múltiples conferencias, se han propuesto diversas sustancias para eliminar los CFCs y proteger la capa de ozono, por ejemplo (UNEP, 1993d):

- a) Para refrigeración doméstica se han propuesto Hidrocarburos, HFC 134A y HFC 152A.
- b) Para refrigeración comercial se tienen HFC 134A, HFC 22, amoníaco y HFC 123.

- c) En cuanto a equipos de aire acondicionado se tiene el HFC 134A.

Sin embargo, la sustitución de sustancias que agotan el ozono (SAO) no es sencilla, porque el cambio de refrigerante a menudo requiere de cambios en el diseño de los equipos que originalmente se construyeron para usar CFCs, halones, etc. Además, el cambio de tecnología también implica un aumento en los costos de operación y/o adquisición de equipos, que será una inversión cuando paulatinamente desaparezcan del mercado las sustancias que agotan el ozono (SAO).

Sólo en El Salvador se expulsan a la atmósfera cerca de 350 toneladas métricas de gases que dañan la capa de ozono provenientes de gases refrigerantes, productos de limpieza, espumas flexibles y aerosoles (SEMA, 1995). Sin embargo, y como consecuencia de las limitaciones contempladas en el protocolo de Montreal, algunas industrias y comercios a nivel mundial se están volviendo gradualmente hacia las sustancias que no dañen la capa de ozono.

**6.2 SOLUCION DE PROBLEMAS DE TERMODINAMICA QUIMICA I,
CON TEMATICA AMBIENTAL
(UES, 1995; Smith Van Ness, 1985)**

Los problemas presentados a continuación pueden emplearse en las siguientes unidades:

- Problemas 1 y 2, unidad II.
- Problema 3, unidad VIII.
- Problema 4, unidad VII.

PROBLEMA 1

Se desea usar metano en vez de gasolina, en el motor de un automóvil convencional. Se ha encontrado que 140 ft³ de metano a 60°F y 1 atm son equivalentes a 1 galón de gasolina. Si el CH₄ fuera comprimido a 300 psia y 60°F:

- a) Cuál será el volumen del tanque requerido para que tenga la cantidad de CH₄ equivalente a 10 galones de gasolina?
- b) Si se genera una combustión incompleta del metano produciéndose 0.7 Kg. de CO y el carro se encuentra en una cochera cerrada cuyo volumen es de 10 m³, ¿Qué podría sucederle a una persona que se encontrara dentro durante 10 horas y no fuera asidua al cigarro?

Solución:

Datos:

Condiciones 1:

$$V_{CH_4} = 140 \text{ Ft}^3$$

$$T_1 = 60^\circ\text{F}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm}$$

Condiciones 2:

$$P_2 = 300 \text{ psia}$$

$$T_2 = 60^\circ\text{F}$$

$$V_2 = ?$$

a) Con condiciones 1, se encuentra el número de moles de metano.

$$V = 140 \text{ ft}^3 * 1 \text{ cm}^3 / 35.32 * 10^{-6} \text{ ft}^3 = 3,963,759.9 \text{ cm}^3$$

$$T_1 = (60 - 32) / 1.8 = 15.56^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 15.56 + 273.15 = 288.71 \text{ K}$$

La presión y temperatura crítica del metano son:

$$P_c = 45.4 \text{ atm}$$

$$T_c = 190.6 \text{ K}$$

Las condiciones reducidas son:

$$Tr_1 = T_1 / T_c = 288.71 / 190.6 = 1.515$$

$$Pr_1 = P_1 / P_c = 1 / 45.4 = 2.203 * 10^{-2}$$

Con Redlich-Kwong:

$$P_1 V_1 = Z_1 R T_1 \quad (\text{Ec. 1})$$

Para Z_1 :

$$h = 0.087 Pr_1 / Z_1 Tr_1 = (0.087 (2.2 * 10^{-2}) / Z_1 (1.515)), (\text{Ec. 2})$$

$$Z_1 = 1 / (1-h) - 4.934 / Tr_1^{1.5} (h / (1+h))$$

$$Z_1 = 1 / (1-h) - 4.934 / (1.515)^{1.5} (h / (1+h)) \quad (\text{Ec. 3})$$

Iterando entre Ec. 2 y Ec. 3 se tiene:

$$Z_1 = 0.99793$$

Calculando el volumen específico (v_1):

$$v_1 = Z_1 R T_1 / P_1$$

$$v_1 = 0.99793 * 82.06 \text{ cm}^3 \text{ atm/gmol K} * 288.71 / 1 \text{ atm}$$

$$v_1 = 23,642.501 \text{ cm}^3 / \text{gmol}$$

Entonces:

$$n = V_1 / v_1 = 39643,547.87 / 23,642.501 = 1,676.792 \text{ gmol}$$

Con condiciones 2:

$$P = 300 \text{ psia} * 1 \text{ bar} / 14.5038 \text{ psia} * 0.986923 \text{ atm} / 1 \text{ bar} \\ = 20.414 \text{ atm}$$

$$T = 288.71 \text{ K}$$

$$Pr_2 = 20.414 \text{ atm} / 45.4 \text{ atm} = 0.4496$$

$$Tr_2 = Tr_1 = 1.515$$

Encontrando Z_2 :

$$Z_2 = 0.958438$$

Calculando v_2 :

$$v_2 = 0.958438 * 82.06 \text{ cm}^3 \text{ atm/gmol K} * 288.71 \text{ K} * 1/20.414 \text{ atm}$$

$$v_2 = 1,112.3187 \text{ cm}^3 / \text{gmol}$$

El volumen total será:

$$n = V_2 / v_2$$

$$V_2 = n * v_2$$

$$V_2 = 1676.792 \text{ gmol} * 1112.3187 \text{ cm}^3 / \text{gmol} * 1 \text{ m}^3 / 10^6 \text{ cm}^3 \\ * 35.3147 \text{ ft}^3 / \text{m}^3$$

$$V_2 = 6.5866 \text{ ft}^3$$

$$V_2 = 6.59 \text{ ft}^3$$

b) Se trata de obtener la concentración en ppm:

$$0.7 \text{ Kg} * 1,000 \text{ g/ 1 Kg} = 700 \text{ g}$$

$$10 \text{ m}^3 * 1,000 \text{ l/1 m}^3 = 10,000 \text{ l}$$

Luego:

$$700 \text{ g/10,000 l} * 1 \text{ mg/10}^{-3} \text{ g} = 70 \text{ mg/l} = 70 \text{ ppm}$$

A esta concentración y en un tiempo de 10 horas la persona podría tener impedimentos en sus facultades psicomotoras (ver cuadro 5.2).

PROBLEMA 2

Calcular el volumen específico de SO_2 (l) a 300°C conociendo que su presión de vapor a esa temperatura es de 357.168 atm. Evaluar la densidad del dióxido de azufre manteniendo la presión constante, cuando la temperatura se aumenta a 500°C . Si se transporta SO_2 en las condiciones de 500°C y 357.168 atm por una tubería que se encuentra perforada, ¿Qué consecuencias acarrearía sobre un grupo de 10 trabajadores expuestos a una concentración de 0.19 ppm durante 24 horas?

Solución:

a) Datos:

$$T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C} = 573 \text{ K}$$

$$P_1 = 357.168 \text{ atm}$$

A partir de un diagrama PVT para el dióxido de azufre se observa que a $T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ y $P = 357.168 \text{ atm}$ la sustancia no es un líquido sino un gas.

b) Datos:

$$T = 500 \text{ }^\circ\text{C} = 773.15 \text{ K}$$

$$P = 357.168 \text{ atm}$$

$$P_c = 77.8 \text{ atm}$$

$$T_c = 430.8 \text{ K}$$

$$Pr = 357.168 \text{ atm} / 77.8 \text{ atm} = 4.51$$

$$Tr = 773.15 \text{ K} / 430.8 \text{ K} = 1.795$$

Calculando Z a partir de Redlich-Kwong:

$$h = 0.0866 Pr/ZTr = 0.0866(4.591)/(Z * 1.795)$$

$$Z = 1/(1-h) - 4.934/Tr^{1.5} (h/(1+h))$$

$$Z = 1/(1-h) - 4.934/(1.795)^{1.5} ((h/(1+h)))$$

$$Z = 0.919134$$

Para el volumen específico:

$$Pv_1 = ZRT$$

$$v_1 = 0.91913 * 82.06 \text{ cm}^3 \text{ atm/gmol K} * 773.15 \text{ K} / 357.468 \text{ atm}$$

$$v_1 = 163.268 \text{ cm}^3/\text{gmol}$$

En función de la masa:

$$v_1 = 163.268 \text{ cm}^3/\text{gmol} * \text{gmol}/64\text{g} = 2.5510625 \text{ cm}^3/\text{g}$$

La densidad será:

$$\rho = 1 / v_1 = 1/2.5510625 = 0.39199 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho = 0.392 \text{ g/cm}^3$$

c) Si existe una baja concentración de partículas puede producir la muerte de los mismos (ver cuadro 5.4).

PROBLEMA 3

La empresa Multirefri, S.A., distribuye refrigeradores convencionales que utilizan Freón-12 como refrigerante. La temperatura en el cuarto refrigerado es de -10°F . Del evaporador sale el F-12 como vapor saturado entrando así al compresor. La presión de trabajo del condensador es de 200 psi, entrando luego a la válvula de expansión a 100°F . El flujo de refrigerante es de 200 lb/h. La compañía realiza un estudio preliminar para mejorar la eficiencia de sus equipos, sin necesidad de aumentar el flujo de refrigerante. Se propone modificar este ciclo tal como se muestra en la figura 6.2 incorporando un intercambiador de superficie entre el evaporador y el compresor para calentar la corriente que entra al compresor con la corriente que viene del condensador a la válvula de expansión. Determinar en ambos casos el COP (Coeficiente de Operación) y la TON de refrigeración (capacidad de refrigerar que posee el sistema) y comparar los resultados. ¿Cuáles son algunos problemas generados por los clorofluorocarbonos y qué alternativas de mejora existen?

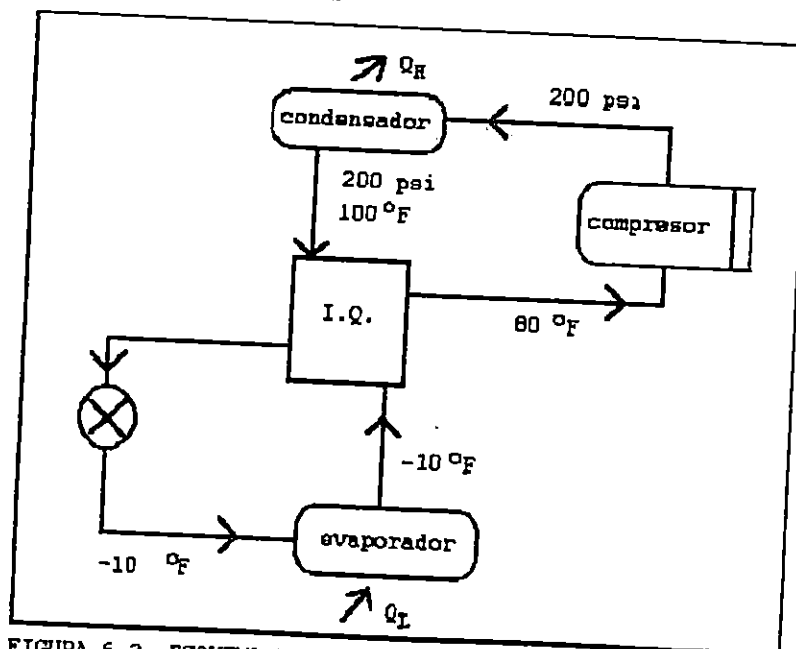


FIGURA 6.2. ESQUEMA DEL CICLO MEJORADO DE REFRIGERACION

Solución:

a) Analizando el ciclo inicial.

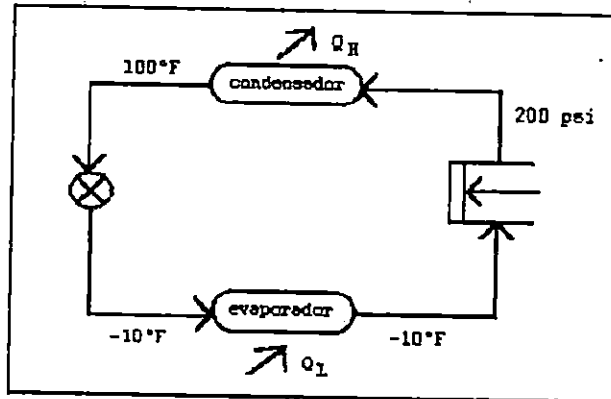


FIGURA 6.3. ESQUEMA DE UN CICLO DE REFRIGERACION SIN APLICAR TMLDP

$$m = 12,000 \text{ H/QL}$$

$$m = m \text{ QL}/12,000$$

$$\text{QL} = h_1 - h_4$$

h_1 = Como vapor saturado a $T_1 = 10^\circ\text{F}$ es igual a 76.20 BTU/lb

Como en la válvula hay expansión isoentálpica entonces:

$$h_4 = h_3$$

h_3 = entalpía de líquido saturado.

$$h_3 = 31.10 \text{ BTU/lb} = h_4$$

Luego:

$$\text{QL} = (76.2 - 31.1) \text{ BTU/lb}$$

$$\text{QL} = 45.1 \text{ BTU/lb}$$

$$N = 200 \text{ lb/h} * 45.1 \text{ BTU/lb} * 1/12,000 \text{ BTU/h}$$

$$N = 0.7517 \text{ TON}$$

Para el coeficiente de operación.

$$\text{COP} = \text{QL}/\text{Wc}$$

$$\text{QL} = 45.1 \text{ BTU/lb}$$

Para Wc sea $nC = 1.0$. Entonces:

$$\text{Wc} = h_2 - h_1$$

$$h_1 = 76.20 \text{ BTU/lb}$$

Se tiene $S_1 = 0.1699$ y $S_1 = S_2$. Entonces $S_2 = 0.1699$,

con $P_2 = 200 \text{ psi}$ el valor aproximado de h_2 es 94 BTU/lb

Luego:

$$W_c = (94 - 76.20) \text{ BTU/lb} = 17.8 \text{ BTU/lb}$$

$$\text{COP} = 45.1/17.8 = 2.53$$

b) Analizando el ciclo modificado.

Haciendo balance en I.Q.:

$$m_4 = m_5 = m_1 = m_2 = 200 \text{ lb}$$

Como hay intercambio de calor y el flujo másico es constante, entonces:

$$h_4 + h_1 = h_5 + h_2$$

Luego:

$$h_5 = h_4 + h_1 - h_2$$

$$h_5 = (31.1 + 76.2 - h_2) \text{ BTU/lb}$$

Para h_2 como vapor saturado a 80 °F, se tiene:

$$h_2 = 85.28 \text{ BTU/lb}$$

$$h_5 = (31.1 + 76.2 - 85.28) \text{ BTU/lb} = 22.02 \text{ BTU/lb}$$

$$h_5 = 22.02 \text{ BTU/lb} = h_6$$

$$Q_L = h_1 - h_6 = (76.2 - 22.02) \text{ BTU/lb} = 54.18 \text{ BTU/lb}$$

Luego:

$$N = 200 \text{ lb/h} * 54.18 \text{ BTU/lb} * 1/12,000 \text{ BTU/h}$$

$$N = 0.903 \text{ TON de refrigeración}$$

$$\text{COP} = Q_L/W_c = 54.18 \text{ BTU/lb} * 1/(h_5 - h_2)$$

$$\text{COP} = 54.18 \text{ BTU/lb} * 1/(h_5 - 85.28) \text{ BTU/lb}$$

Con $S_2 = S_3 = 0.1639$ y $P_3 = 200 \text{ psi}$ se tiene:

$$h_3 = 92 \text{ BTU/lb}$$

$$\text{COP} = 54.18 \text{ BTU/lb} * 1/(92 - 85.28) \text{ BTU/lb} = 8.06$$

c) El ciclo modificado es más eficiente que el convencional, por lo tanto es un cambio de tecnología factible que en cierta medida contribuye a disminuir la contaminación generada por los refrigerantes.

d) Los refrigerantes convencionales agotan la capa ozono que protege la tierra de los rayos ultravioleta produci-

dos por el sol. Dichas radiaciones pueden provocar daños tales como: la radiación ultravioleta genera alteraciones en el ADN celular, lo cual aumenta la incidencia de cáncer en la piel; altera el sistema inmunológico, lo cual hace propenso al ser humano para ser atacado por las enfermedades; daños en los ojos de humanos y animales, especialmente cataratas; daños en cultivos susceptibles a la radiación (frijoles, papas, remolacha, soya, etc).

Entre los posibles sustitutos de estas sustancias se tienen: para refrigeración comercial se tienen HFC 134A, HFC 22, amoníaco y HFC 123; para equipos de aire acondicionado se tiene el HFC 134A.

Para mayor información ver sección 6.1.7.

PROBLEMA 4

Una fuente no convencional alternativa para generar energía eléctrica es el sistema de cogeneración. En éste, a partir del bagazo de caña se produce la energía necesaria para mover los molinos y producir energía eléctrica en los ingenios azucareros. A continuación se presenta un esquema (figura 6.4) de cogeneración donde se asumen turbinas con funcionamiento adiabático y despreciables las pérdidas por caída de presión en tuberías. El valor promedio de la fibra de caña es 12.5% y para sólidos solubles el 3%, un poder calorífico de 1,850 Kcal/Kg para bagazo al 51% de humedad. Considere además los siguientes datos:

- Niveles de presión en Kg/cm², 21/1.5
- Entalpía del agua de alimentación, 90 Kcal/Kg
- Temperatura de vapor de caldera, 280 grados centígrados
- Producción de vapor en caldera, 500 Kgv/TMC
- Eficiencia de caldera, 0.72
- Cantidad de caña molida, 200 TMC/h

- Eficiencia de turbina/reductor accionamiento mecánico, 0.55/0.92
- Eficiencia de turbina/reductor/generador eléctrico, 0.6/0.92/0.94
- Producción de energía eléctrica (T_2), 11.2 KWH/TMC
- Asumir despreciables pérdidas de masa de vapor en tuberías.

Evaluar:

- a. Cantidad de bagazo consumido en la caldera
- b. Kgv/h requeridos para producción de energía eléctrica
- c. KW demandados para accionamiento mecánico
- d. Los galones de bunker C equivalentes al bagazo de caña utilizado como energético.

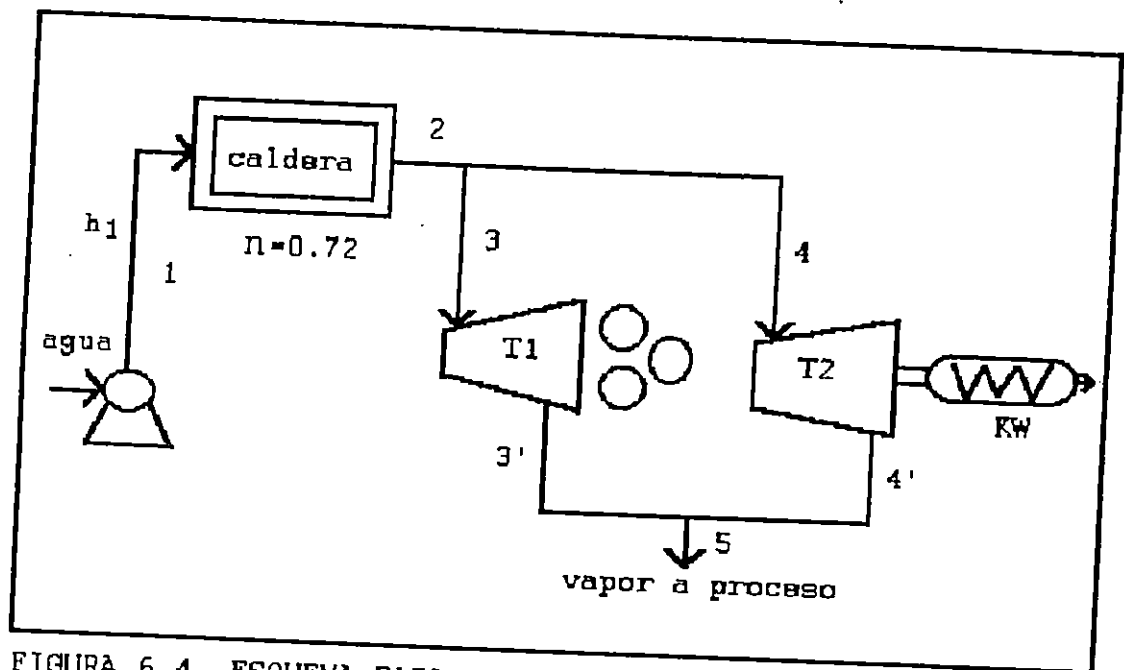


FIGURA 6.4. ESQUEMA PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA 4

Solución:

$$m = 500 \text{ Kg vapor/TMC} = 1,100 \text{ lb/TMC}$$

a) Cantidad de bagazo consumido en caldera

$$n_{\text{cal}} = Q_h / Q_{\text{comb}}$$

$$Q_{\text{comb}} = Q_h / n_{\text{cal}} = m * (h_{2r} - h_{1r}) / n_{\text{cal}}$$

$$h_{1r} = 162.33 \text{ BTU/lb}; h_{2r} = 1,279.21 \text{ BTU/lb}$$

$$Q_{\text{comb}} = 1,100 * (1,279.2 - 162.3) / 0.72$$

$$= 1,706,344.4 \text{ BTU/TMC}$$

$$\text{masa de comb} = Q_{\text{comb}} / P.C$$

$$= 1,706,344.44 \text{ BTU/TMC} / (1,850 \text{ Kcal/Kg} \\ * 3.968 \text{ BTU/ 1Kcal} * 1 \text{ Kg}/2.2\text{lb})$$

$$= 511.4 \text{ lb bagazo/TMC}$$

$$\text{masa total} = 511.4 \text{ lb bagazo/TMC} * 200 \text{ TMC/h}$$

$$= 102,280 \text{ lb bagazo/h}$$

b) Kgv/h requeridos para producción de energía eléctrica.

$$W_{\text{prod}} = W_{\text{trans}} / 0.94 * 0.92 = 11.2 \text{ KWh}/0.8648$$

$$= 12.951 \text{ KWh/TMC} * 3.4121 \times 10^3 \text{ BTU/h} * 1/1 \text{ KWh}$$

$$= 44,190.00925 \text{ BTU/TMC}$$

$$W_r / n_{12} = W_i = m_4 * (h_4 - h'_{41})$$

$$m_4 = 73,650 \text{ BTU/TMC} / (h_4 - h'_{41})$$

$$m_4 = 73.650 / (1,279.21 - 1,066) = 345.8 \text{ lb/TMC}$$

$$m_4 = 345.8 \text{ lb/TMC} * 200 \text{ TMC/h} = 69,154.9 \text{ lb vapor/h}$$

$$m_4 = 69,154.9 \text{ lb vapor/h} * 1 \text{ Kg}/2.2 \text{ lb}$$

$$m_4 = 31,434.04 \text{ Kg vapor/h}$$

c) KW demandados por accionamiento mecánico.

$$m_2 = m_3 + m_4$$

$$m_3 = 1,100 \text{ lb/TMC} * 200 \text{ TMC/h} - 69,154.9 \text{ lb/h}$$

$$m_3 = 150,845.1 \text{ lb/h}$$

$$n_{\text{TR}} = W_r / W_i$$

$$W_r = n_{\text{TRB}} * m_3 * (h_3 - h'_{31})$$

$$h_s = h_4 ; h'_{s1} = h'_{41}$$

$$W_R = 0.55 * 0.92 * 150,845.1 \text{ lb/h} * (1,279 - 1,066) \text{ BTU/lb}$$

$$W_R = 16,257,783.19 \text{ BTU/h} * 1\text{KW}/3.4121 \times 10^3 \text{ BTU/h}$$

$$W_R = 4,764.7 \text{ KW}$$

d) Base de cálculo: 1 hora

Datos:

Poder calorífico del bagazo de caña = PCc = 1,850 Kcal/Kg

Masa de bagazo de caña = Mc = 200 TM/h

Poder calorífico del Bunker C = PCB = 140,448.3 BTU/gal

Encontrando el calor generado por el bagazo de caña (Qb):

$$Qb = Mc * PCc$$

$$Qb = 200 \text{ TM} * 2,200 \text{ Kg/TM} * 1,850 \text{ Kcal/Kg} * 3.968 \text{ BTU/Kcal}$$

$$Qb = 3,229,952,000 \text{ BTU}$$

El calor generado por el Bunker C (QB), será:

$$QB = MB * PCB$$

donde:

MB = galones de bunker C equivalentes a las 200 TM de bagazo de caña utilizado como energético

Por lo tanto:

$$QB = Qb$$

Entonces, despejando MB se tiene:

$$MB = Qb / PCB$$

$$MB = 3,229,952,000 \text{ BTU} / 140,448.3 \text{ BTU/gal}$$

$$MB = 22,997.445 \text{ gal de Bunker C.}$$

CAPITULO VII
REVISION DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA TERMODINAMICA
QUIMICA II Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS
CON EL MEDIO AMBIENTE

7.0 PROGRAMA DE ASIGNATURA

I. GENERALIDADES

Asignatura: Termodinámica Química II Pre-requisito: Termodinámica Química I Código: TQI-215 U.V.: 4 Plan de Estudios: 1978 Ciclo: I Año Académico: _____ Profesor: _____
Instructor: _____

II. SYLLABUS

Formulaciones termodinámicas: Propiedades termodinámicas de los fluidos, propiedades termodinámicas de las mezclas homogéneas, equilibrio de fases, equilibrio de reacciones químicas.

III. OBJETIVOS GENERALES

Que el estudiante:

1. Relaciones matemáticamente las propiedades termodinámicas con variables fácilmente medibles,
2. Adquiera conocimientos sobre métodos generalizados para la evaluación de propiedades termodinámicas.
3. Adquiera conocimientos sobre la termodinámica de soluciones y el cálculo de las propiedades termodinámicas de estas.
4. Profundice sus conocimientos sobre el equilibrio de fases y sepa determinar estos a partir de ciertos parámetros.
5. Adquiera conocimientos elementales sobre equilibrio de reacciones químicas, mediante evaluaciones de constantes de equilibrio, composiciones de productos en el equilibrio y otros parámetros.

IV. PROGRAMA

1. Formulaciones Termodinámicas (7 horas).
2. Propiedades Termodinámicas de los Fluidos (7 horas).
3. Propiedades Termodinámicas de las mezclas homogéneas (14 horas).
4. Equilibrio de fases (14 horas).
5. Equilibrio de Reacciones Químicas (14 horas).

CONTENIDO PROGRAMÁTICO

UNIDAD I: Relaciones Termodinámicas

Objetivos Específicos

- Que el estudiante relacione matemáticamente las propiedades termodinámicas difícilmente medibles, tales como energía interna, y entropía, con variables fácilmente medibles tales como temperatura, presión y volumen.
- Que el estudiante identifique las relaciones Maxwell y sea capaz de verificar la exactitud de datos experimentales mediante la aplicación de dichas relaciones.
- Que el estudiante aplique las relaciones termodinámicas para el caso particular de los gases ideales.
- Que el estudiante calcule entalpía a partir de las propiedades residuales.

Contenido

- 1.1 Propiedades de energía: Energía libre y trabajo total.
- 1.2 Propiedades termodinámicas de un sistema de una sola fase. Relaciones Maxwell.
- 1.3 Derivaciones sistemáticas de las relaciones termodinámicas.
- 1.4 Relaciones de capacidad calorífica.
- 1.5 Otros procedimientos para derivar relaciones termodinámicas.
- 1.6 Propiedades termodinámicas para un gas ideal. Propiedades residuales.

UNIDAD II: Propiedades Termodinámicas de los Fluidos**Objetivos Específicos**

- Que el estudiante calcule valores de entalpía y entropía para una sustancia pura, de la cual no se poseen datos experimentales, por medio de correlaciones generalizadas (correlación de Pitzer).
- Que una vez calculadas las propiedades termodinámicas, sea capaz de representálas en diagramas termodinámicos.

Contenido

- 2.1 Sistemas de dos fases. Ecuaciones de Clapeyron.
- 2.2 Gráficos y tablas de propiedades, termodinámicas.
- 2.3 Correlaciones generalizadas de las propiedades termodinámicas. Correlación de Pitzer (factor acéntrico).

UNIDAD III: Propiedades Termodinámicas en las Mezclas Homogéneas**Objetivos Específicos**

- Que el estudiante sepa aplicar los principios termodinámicos a las soluciones.
- Que domine los conceptos de fugacidad, actividad, coeficiente de actividades y coeficientes de fugacidad, y sepa evaluarlos a partir de datos experimentales y correlaciones generalizadas.
- Que el estudiante calcule los cambios de entalpía, entropía y volumen de mezcla para soluciones reales e ideales.
- Que el estudiante conozca la contaminación térmica generada por diversos tipos de mezclas.
- Que calcule valores de factores de compresibilidad, volúmenes molares, propiedades residuales y coeficiente de fugacidad para mezclas gaseosas.

Contenido

- 3.1 Relaciones de propiedades de sistemas de composición variable.
- 3.2 Propiedades parciales molares.
- 3.3 Fugacidad y coeficiente de fugacidad.
- 3.4 Fugacidad de soluciones ideales. Estado Standard.
- 3.5 Cambios de propiedades de mezcla. Actividades.
- 3.6 Fuentes de contaminación térmica.
- 3.7 Propiedades exceso. Coeficiente de actividad.
- 3.8 Mezclas gaseosas.

UNIDAD IV: Equilibrio de FasesObjetivos Específicos

- Que el estudiante adquiriera conocimientos acerca del equilibrio líquido-vapor para sistemas binarios.
- Que sepa calcular composiciones de la fase líquida y vapor, para sistemas que obedecen la Ley de Raoult.
- Que determine equilibrios líquido-vapor a partir de datos de coeficiente de actividad.
- Que el estudiante aplique las ecuaciones de Margules, Van Laar y Wilson, para el cálculo de coeficiente de actividad, en soluciones binarias y que conozca otras ecuaciones más avanzadas (UNIFAC).

Contenido

- 4.1 Naturaleza y criterios de equilibrio.
- 4.2 Teorema de Duhem.
- 4.3 Equilibrio líquido-vapor.
- 4.4 Diagrama de fases para sistemas miscibles. Cálculos.
- 4.5 Coeficiente de actividades a partir de datos experimentales.
- 4.6 Ecuación de Gibbs-Duhem.
- 4.7 Sistemas de fase líquida de miscibilidad limitada.

UNIDAD V: Equilibrio de Reacciones Químicas**Objetivos Específicos**

- Que el estudiante comprenda el significado de las constantes de equilibrio y sepa calcularlas a partir de cambios de energía libre estándar.
- Que el estudiante evalúe el cambio de energía libre estándar y calcule los cambios de las propiedades termodinámicas de una sustancia, a partir de las contribuciones de los grupos atómicos que la integran.
- Que calcule el grado de conversión de una reacción química, en el equilibrio y que identifique los efectos de las condiciones a las que lleva a cabo la reacción sobre la conversión en el equilibrio.
- Que el estudiante calcule las presiones de descomposición de ciertas sustancias.
- Que calcule la temperatura de equilibrio en las reacciones adiabáticas.

Contenido

- 5.1 La constante de equilibrio.
- 5.2 Cambios de energía libre estándar.
- 5.3 Contribuciones de los grupos atómicos a las propiedades termodinámicas de una sustancia.
- 5.4 Composición en el equilibrio. Sistemas Gaseosos.
- 5.5 Temperatura de reacciones adiabáticas.

V. METODOLOGIA

- a. Transmisión de conocimientos: Clases expositivas 4 horas a la semana.
- b. Desarrollo de criterios: Discusión de problemas o investigación formativa (trabajo ex-aula) 2 horas a la semana.

VI. EVALUACION

| | |
|---|------------|
| - Examen de Discusión de problemas..... | 10% |
| - Trabajo ex-aula..... | 10% |
| - Primer examen parcial..... | 20% |
| - Segundo examen parcial..... | 20% |
| - Tercer examen parcial..... | 20% |
| - Cuarto examen parcial..... | <u>20%</u> |
| TOTAL..... | 100% |

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Smith, J.M. y Van Ness, H.C., "Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química", 4a Ed. (2a Ed. en España) Mc Graw-Hill Co., México (1987).
2. Hougen, O.A. y Watson, K.M. y Ragatz, R.A., "Chemical Process Principles. Parte II. Thermodynamics", 2a Ed. Willey & Sons. 1959.
3. Abbott, M.M. y Van Ness, H.C. "Theory and Problems of Thermodynamics", Schaum Cutline Series, Mc Graw-Hill, 1972.
4. Perry, R.H. y Chilton, C.H., "Chemical Engineers Hand Book", 5a Ed. Mc Graw-Hill, 1973.
5. Reid, R.C. y Sherwood, R.C., "The Proprieties of Gases and Liquids", 3a Ed. Mc Graw-Hill, New York, 1977.
6. Balzhiser, R.E. y Samuels, M.R. y Eliasseu, J.D. "Termodinámica Química para Ingenieros", Editorial Prentice-Hall International.
7. G.N. Lewis; M. Randall, "Thermodynamics", 2a Ed., Mc Graw Hill, New York. 1961.

7.1 TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE SUGERIDOS PARA EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA TERMODINAMICA QUIMICA II

7.1.1 FUENTES DE CONTAMINACION TERMICA

(Unidad III. Una hora clase)

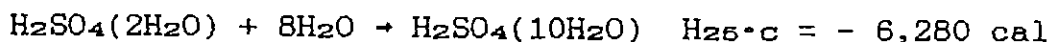
Una situación a la que a menudo no se presta la importancia debida es a la contaminación térmica en los cuerpos de agua. Este tipo de contaminación tiene su origen en la descarga de agua caliente proveniente de sistemas de enfriamiento de centrales térmicas, aguas de lavado de botellas en la industria de bebidas, aguas residuales ácidas y/o alcalinas generadas en diversos procesos industriales, etc (Czysz et al, 1991).

En el caso de las centrales térmicas el agua actúa como refrigerante de equipos para evitar el sobrecalentamiento de éstos. Esta agua puede aprovecharse en un ciclo cerrado, con lo cual se evita que la temperatura del agua contamine las fuentes de agua. En caso contrario, el agua caliente afectará de una u otra manera al cuerpo receptor (Turk y Wittes, 1985).

En otras situaciones, el agua caliente se utiliza combinada con detergentes para el lavado de utensilios de cocina en restaurantes y hoteles. También la industria de bebidas se vale del agua caliente para el lavado de los envases, generando efluentes alcalinos calientes (Czysz et al, 1991).

En cuanto a las aguas residuales ácidas y/o alcalinas provenientes de la industria se combina la contaminación térmica y la contaminación por sustancias químicas. Es decir, que al entrar en contacto un ácido o una base con el agua, se produce una liberación de calor que depende de la cantidad de disolvente en el que ocurre la solución a una presión y tempe-

ratura constantes (Smith y Van Ness, 1988). La siguiente reacción ilustra esa situación (Maron y Lando, 1974):



En la reacción anterior, puede observarse que hay un desprendimiento de energía que aumentaría la temperatura del cuerpo receptor que es el agua. De manera que, una situación similar ocurre en el agua que recibe una descarga ácida o alcalina, o sea, un aumento de temperatura que afecta al medio receptor.

Sin embargo, éste no es el único problema, porque a menudo las descargas industriales contienen diversos tipos de sustancias que ocasionan problemas por contaminación química en las aguas. Ejemplos de industrias en las que se combina la contaminación química con la térmica son las fábricas de ácido sulfúrico, industria textil, industria de pulpa y papel, fábricas de tintes, industria de sosa caústica, etc.

De tal manera, las aguas residuales de la industria textil y de la del papel contienen hidróxido de sodio el cual proviene de operaciones de limpieza del equipo y preparación de la materia prima en el caso de textiles y, de la etapa de blanqueado en la fabricación de papel. Efluentes que contienen ácido sulfúrico y ácido nítrico se encuentran en la fabricación de tintes y en procesos de electrogalvanizado (Czysz, 1991).

7.1.1.1 EFECTOS DE LA CONTAMINACION TERMICA

La alteración de los ecosistemas por causa de cambios térmicos es un hecho real. Sin embargo, la intensidad relativa de la contaminación térmica no puede apreciarse con un termómetro.

tro, porque lo que representa un agua tibia para una especie causará a caso la muerte de otra. Por ende, la contaminación térmica debe apreciarse observando el efecto de un aumento de temperatura en el medio ambiente.

Los procesos metabólicos de los seres vivos implican reacciones químicas, y las velocidades de estas reacciones son muy sensibles a los cambios de temperatura. En el caso de los animales de sangre caliente, tales como aves y mamíferos, ocurre un ajuste de las variaciones de temperatura a través de medios reguladores internos. En contraste, los organismos acuáticos no mamíferos, tales como los peces, son de sangre fría y por tanto, son incapaces de regular su temperatura como los mamíferos o aves.

Un pez acelera todos sus procesos metabólicos en respuesta a un cambio de temperatura en su entorno, es decir, aumenta su necesidad de oxígeno y su velocidad de respiración aumenta. Por consiguiente, más arriba de un grado máximo de temperatura tolerable, se produce la muerte por falla del sistema respiratorio, del sistema nervioso o de procesos celulares. Además, el desove y otros mecanismos reproductivos de los peces son desencadenados por cambios de temperatura (Turk y Wittes, 1985).

Como consecuencia de estas circunstancias, el aumento de temperatura de una extensión de agua puede ocasionar la sustitución de una población de peces por otra más resistente al cambio de temperatura. Hay que tener presente, sin embargo, que una temperatura excesivamente alta no es inmediatamente letal, y que sus efectos sólo se hacen sentir luego de transcurridas algunas horas o días (Turk y Wittes, 1985).

En términos generales, no sólo los peces, sino los ecosistemas acuáticos enteros se ven afectados en forma relativamente sensible por las variaciones de temperatura. Cualquier ruptura de la cadena de alimentos, por ejemplo, podrá trastornar las variaciones estacionales de los tipos y la abundancia de organismos inferiores, incluidos los organismos microscópicos.

Otra consecuencia de la contaminación térmica está dada por el crecimiento de las algas. En ese sentido, una variación de temperatura puede conducir a un crecimiento rápido y excesivo de las algas, con la aceleración consiguiente del efecto eutrófico. Esto puede generar problemas de sabor, color y olor en el agua, los cuales pueden no ser resueltos por las plantas de tratamiento de agua (Peavy et al, 1985).

Las temperaturas superiores se revelan a menudo como más hospitalarias para los organismos patógenos, y, por consiguiente con repercusiones para animales y humanos. Además, los venenos fabricados por el hombre se hacen más peligrosos para los peces a temperaturas elevadas.

7.2 SOLUCION DE PROBLEMAS DE TERMODINAMICA QUIMICA II,
CON TEMATICA AMBIENTAL
(Smith y Van Ness, 1985)

Los problemas presentados a continuación pueden desarrollarse en las siguientes unidades:

- Unidad III: problema 3.
- Unidad IV: problemas 1 y 2.

PROBLEMA 1

Para el sistema etanol (1)/ tolueno (2) se recomiendan los siguientes valores para los parámetros de Wilson:

$$\begin{aligned} a_{12} &= 1,556.45 & a_{21} &= 210.52 \text{ cal/gmol} \\ V_1 &= 58.68 & V_2 &= 106.85 \text{ cm}^3/\text{gmol} \end{aligned}$$

La presión de vapor de los componentes puros está dada por:

$$\begin{aligned} \ln P^{sat}_1 / \text{KPa} &= 16.67583 - 3,674.491/(t/^\circ\text{C} + 226.448) \\ \ln P^{sat}_2 / \text{KPa} &= 14.00976 - 3,103.010/(t/^\circ\text{C} + 219.787) \end{aligned}$$

Considerando válida la siguiente ecuación:

$$y_1 * P = x_1 * \gamma_1 * P^{sat}_1$$

Realice los cálculos siguientes:

- a) y_1 y P , dadas $x_1 = 0.31$ y $t = 105^\circ\text{C}$
- b) Si en el proceso se obtienen 500 Kg totales de gas, calcule la masa de etanol y tolueno.
- c) Se sabe que el tolueno es un hidrocarburo aromático que causa en el ser humano irritaciones en la piel y mucosas, depresión del sistema nervioso, dermatitis, lesiones en la córnea, etc. Considerando lo anterior, determine si un trabajador expuesto a una masa de tolueno equivalente al 0.0005% en peso de la masa total de gas de tolueno, en un tanque, que se encuentra en proceso de limpieza, cuyo volumen es de 500 m³ sería a

fectado por el mismo. El tiempo de exposición es de 4 horas.

Solución:

a) Considerando válida la ecuación $y_i * P = x_i * \gamma_i * P^{sat}_i$, entonces $\Phi_i = 1.0$ para todo el problema.

Calculando presiones de saturación:

$$P^{sat}_1 = 16.67583 - 3,674.491/(105 + 226.448)$$

$$P^{sat}_1 = 5.59 \text{ KPa}$$

$$P^{sat}_2 = 14.00976 - 3,103.010/(105 + 219.787)$$

$$P^{sat}_2 = 4.46 \text{ KPa}$$

Calculando coeficiente de actividad:

$$\Lambda_{12} = V_2 / V_1 * \text{EXP} (-a_{12}/(R * T))$$

$$\Lambda_{21} = V_1 / V_2 * \text{EXP} (-a_{21}/(R * T))$$

$$\text{Sea } R = 1.987 \text{ cal/gmol K}$$

$$T = 105 + 273.15 = 378.15 \text{ K}$$

$$= 106.85/58.68 * \text{EXP}(-1,556.45/(1.987 * 378.15))$$

$$= 0.2294$$

$$= 58.68/106.85 * \text{EXP}(-210.52/(1.987 * 378.15))$$

$$= 0.415$$

Luego:

$$\ln \gamma_1 = -\ln(x_1 + x_2 * \Lambda_{12}) + x_2 * (\Lambda_{12}/(x_1 + x_2 * \Lambda_{12}) - \Lambda_{21}/(x_2 + x_1 * \Lambda_{21}))$$

$$\ln \gamma_2 = -\ln(x_2 + x_1 * \Lambda_{21}) - x_1 * (\Lambda_{12}/(x_1 + x_2 * \Lambda_{12}) - \Lambda_{21}/(x_2 + x_1 * \Lambda_{21}))$$

Sustituyendo se obtiene:

$$\gamma_1 = 2.1104$$

$$\gamma_2 = 1.2280$$

Calculando P :

$$P = \sum x_k * \gamma_k * P^{sat}_k$$

$$P = 0.31 * 2.1104 * 5.59 + 0.69 * 1.2280 * 4.46$$

$$P = 7.44 \text{ KPa}$$

Calculando y_1 y y_2 :

$$y_k = x_k * \gamma_k * P^{sat}_k / P$$

$$y_1 = 0.31 * 2.1104 * 5.59 / 7.44 = 0.49$$

$$y_2 = 0.69 * 1.2280 * 4.46 / 7.44 = 0.51$$

b) La composición en peso del gas es:

$$\text{masa de etanol} = 0.49 * 500 \text{ Kg} = 245 \text{ Kg}$$

$$\text{masa de tolueno} = 0.51 * 500 \text{ Kg} = 255 \text{ Kg}$$

c) Como el tolueno es un hidrocarburo, se tiene en las normas de calidad del aire que el límite máximo de exposición es de 3 horas con una concentración de 0.24 ppm. Ver cuadro 5.7.

Calculando la masa de tolueno en el tanque:

$$255 \text{ Kg} * 0.0005 = 0.1275 \text{ Kg de tolueno como gas.}$$

Relacionando con el volumen del tanque para obtener la concentración:

$$\text{mg/l} = 0.1275 \text{ Kg} / 500 \text{ m}^3 * 1,000 \text{ g/l Kg} * 1 \text{ mg/l} * 10^{-3} \text{ g} \\ * 1 \text{ m}^3 / 1,000 \text{ l}$$

$$\text{mg/l} = 0.255$$

La concentración en el tanque es de 0.255 ppm. De acuerdo a éste parámetro y el tiempo de exposición la persona recibirá graves consecuencias.

PROBLEMA 2

Para el sistema metanol (1) /benceno (2), se recomiendan los siguientes valores para los parámetros de Wilson:

$$a_{12} = 1,713.20$$

$$a_{21} = 187.13$$

$$V_1 = 40.73 \text{ cm}^3/\text{gmol}$$

$$V_2 = 89.41 \text{ cm}^3/\text{gmol}$$

La presión de vapor de los componentes puros está dada por:

$$\ln P^{sat}_2 / \text{KPa} = 16.59381 - 3,644.297 / (t / ^\circ\text{C} + 239.765)$$

$$\ln P^{sat}_1 / \text{KPa} = 13.85937 - 2,773.779 / (t / ^\circ\text{C} + 220.069)$$

Considerando válida la ecuación $y_i * P = x_i * \gamma_i * P^{sat}_i$, calcular:

- T y y_k , dadas $x_1 = 0.21$ y $P = 101.33 \text{ KPa}$
- Un curioso abre una válvula de escape de gas benceno durante 15 min. e inhala una concentración equivalente a 0.003 Kg/m^3 . ¿Habrá efectos negativos para la persona?

Solución:

- Considerando la ecuación $y_i * P = x_i * \gamma_i * P^{sat}_i$, entonces $\Phi = 1.0$ para todo el problema.

Calculando temperaturas de saturación con

$$P = 101.33 \text{ KPa:}$$

$$T^{sat}_2 = 3,644.297 / (16.59381 - \ln P) - 239.765$$

$$T^{sat}_1 = 2,773.779 / (13.85937 - \ln P) - 220.069$$

Sustituyendo:

$$T^{sat}_2 = 3,644.297 / (16.59381 - \ln 101.33) - 239.765$$

$$T^{sat}_1 = 2,773.779 / (13.85937 - \ln 101.33) - 220.069$$

$$T^{sat}_2 = 64.55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T^{sat}_1 = 80.09 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Calculando T :

$$T = \sum x_k * T^{sat}_k$$

$$T = 80.09 * 0.21 + 64.55 * 0.79 = 67.81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Evaluando P^{sat}_k a $T = 67.81 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\ln P^{sat}_2 = 16.59381 - 3,644.297 / (67.81 + 239.765)$$

$$\ln P^{sat}_1 = 13.85937 - 2,773.779 / (67.81 + 220.069)$$

$$P^{sat}_2 = 115.05 \text{ KPa}$$

$$P^{sat}_1 = 68.32 \text{ KPa}$$

Evaluando coeficientes de actividad a $T = 67.81 \text{ }^\circ\text{C} = 340.96 \text{ K}$:

$$\Lambda_{12} = V_2 / V_1 * \text{EXP}(-a_{12} / (R * T))$$

$$\Lambda_{12} = 89.41/40.73 * \text{EXP}(-187.13 / (1.987 * 340.96))$$

$$\Lambda_{12} = 0.1751$$

$$\Lambda_{21} = V_1 / V_2 * \text{EXP}(-a_{21} / (R * T))$$

$$\Lambda_{21} = 40.73/89.41 * \text{EXP}(-187.13 / (1.987 * 340.96))$$

$$\Lambda_{21} = 0.3456$$

De igual manera que en el problema 1, se calculan los coeficientes de actividad:

$$\ln \gamma_1 = -\ln(0.21 + 0.79 * 0.1751) + 0.79 * (0.1751 / (0.21 + 0.79 * 0.1751) - 0.3456 / (0.79 + 0.21 * 0.3456))$$

$$\ln \gamma_2 = -\ln(0.79 + 0.21 * 0.3456) - 0.21 * (0.1751 / (0.21 + 0.79 * 0.1751) - 0.3456 / (0.79 + 0.21 * 0.3456))$$

$$\gamma_1 = 3.1118$$

$$\gamma_2 = 1.1347$$

Sea el benceno el componente i:

$$P^{sat}2 = P / \sum (x_k * \gamma_k) (P^{sat}k / P^{sat}i)$$

Sustituyendo:

$$P^{sat}2 = 101.33 / (0.79 * 1.1347 + 0.21 * 3.1118 * 68.32 / 115.05)$$

$$P^{sat}2 = 78.89 \text{ KPa}$$

El nuevo valor de T a partir del componente 2 será:

$$T = 3,644.297 / (16.59381 - \ln P^{sat}2) - 239.765$$

$$T = 3,644.297 / (16.59381 - \ln 78.89) - 239.765$$

$$T = 58.32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como la variación de T es mucha, se hace una nueva iteración con $T = 58.32 \text{ } ^\circ\text{C}$, obteniéndose:

$$P^{**2} = 78.89 \text{ KPa}$$

$$P^{**1} = 49.296 \text{ KPa}$$

$$\Lambda_{12} = 0.1629$$

$$\Lambda_{21} = 0.3429$$

$$\gamma_1 = 3.1531$$

$$\gamma_2 = 1.1392$$

La nueva P^{**2} es: 77.13 KPa

La nueva T es: 57.77 $^\circ\text{C}$

Iterando nuevamente:

$$P^{**2} = 77.13 \text{ KPa}$$

$$P^{**1} = 48.23 \text{ KPa}$$

$$\Lambda_{12} = 0.1622$$

$$\Lambda_{21} = 0.3427$$

$$\gamma_1 = 3.1556$$

$$\gamma_2 = 1.1403$$

La nueva P^{**2} es: 77.04 KPa

La nueva temperatura es: 57.74 $^\circ\text{C}$

Como el cambio en T es despreciable, se calcula y_1 :

$$y_1 = x_1 * \gamma_1 * P^{**1} / P$$

$$y_1 = 0.21 * 3.1556 * 48.23 / 101.33$$

$$y_1 = 0.32$$

$$y_2 = 1.0 - 0.32 = 0.68$$

Los resultados finales son:

$$T = 57.74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$y_1 = 0.32$$

$$y_2 = 0.68$$

b) Efectuando la conversión:

$$0.003 \text{ Kg/m}^3 \quad 1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l} * 1000 \text{ g/l Kg} * 1 \text{ mg/l} * 10^3 \text{ g} \\ = 3 \text{ mg/l}$$

A esta concentración la persona podría manifestar pérdida de la conciencia, hiperactividad motora e hipertensión muscular, hiperreflexia y acción narcótica. Ver cuadro 5.9.

PROBLEMA 3

Cerca de una planta de ácido sulfúrico existe un estanque para crianza de peces. Cierta día ocurre un accidente en la planta y se derrama ácido puro a 120°F en el estanque, cuya agua posee una temperatura promedio de 77°F. El derrame es tal que se forma una mezcla equivalente a una solución con 5% de ácido en peso. Considerando un proceso adiabático ¿Cuál sería la temperatura final en el estanque? ¿Serían afectados los peces?

Solución:

Para resolver el problema se emplea el diagrama de la figura 7.1.

- a) Se ubica el punto del agua (0% de ácido) y 77°F. Se ubica el punto del ácido puro (100% de ácido) y 120°F. Luego se unen ambos puntos y se corta la línea trazada partiendo de 5% en peso de ácido. Después del proceso anterior se determina que la temperatura aproximada es de 90°F = 32°C, como resultado de la mezcla.

- b) La temperatura inicial de la laguna es $77^{\circ}\text{F} = 25^{\circ}\text{C}$, la temperatura final es de 32°C . De acuerdo a esto, se ha efectuado una contaminación térmica en la laguna, y - considerando que los peces son organismos de sangre - fría y que no pueden regular su temperatura corporal, es posible que los peces mueran como consecuencia del cambio térmico y de la contaminación química.

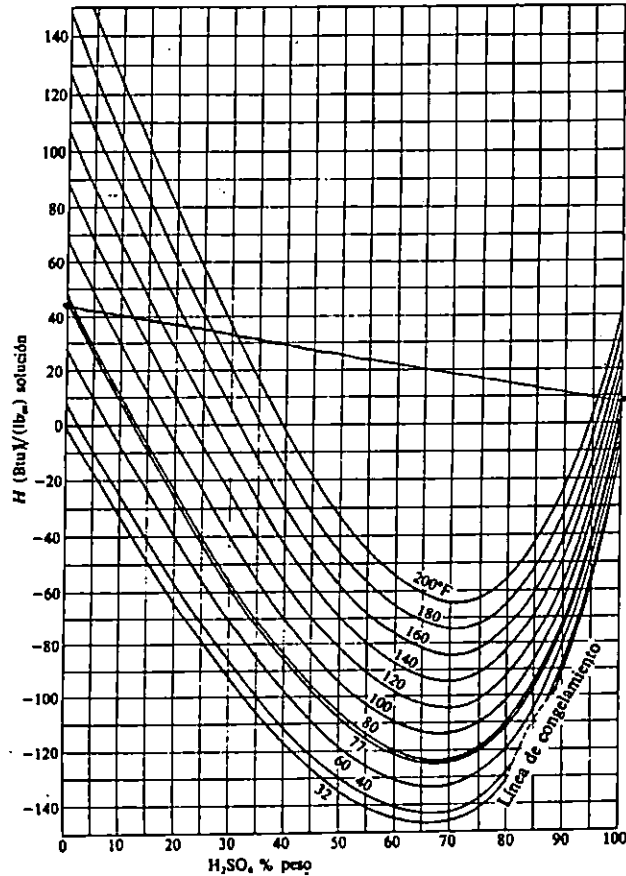


FIGURA 7.1. DIAGRAMA ENTALPIA/CONCENTRACION PARA $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}$

FUENTE: SMITH Y VAN NESS (1985)

CAPITULO VIII
REVISION DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA OPERACIONES
UNITARIAS I Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS
CON EL MEDIO AMBIENTE

8.0 PROGRAMA DE ASIGNATURA

I. GENERALIDADES

Asignatura: Operaciones Unitarias I. Prerrequisito: Balance de Materia y Energía Código: OPU-115 U.V.: 4 Plan de Estudios: 1978 Reformado. Ciclo: II Año Académico: _____ Profesor: _____ Instructora: _____

II. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Introducir al estudiante en el estudio de las Operaciones Unitarias de la Ingeniería Química y sus aplicaciones industriales.
2. Capacitar al estudiante para la aplicación de los conceptos fundamentales de transferencia de momento y mecánica de los fluidos.
3. Proporcionar al estudiante los conceptos necesarios para el cálculo y diseño de equipo y de sistemas de manejo y medición de fluidos.
4. Incentivar en el estudiante su creatividad y el desarrollo de criterios prácticos de aplicación en la Mecánica de Fluidos.

III. CONTENIDO PROGRAMÁTICO

UNIDAD I: Introducción a las Operaciones Unitarias. Estática de los Fluidos.

Objetivos Específicos

Se pretende lograr que el estudiante:

- Identifique y clasifique las diferentes Operaciones Unitarias de la Ingeniería Química.
- Diferencie entre Operaciones Unitarias y Procesos Unitarios.

- Defina lo que es un fluido y las propiedades más importantes que rigen su comportamiento.
- Identifique las condiciones bajo las cuales el fluido se encuentra en equilibrio en un sistema referencial.
- Calcule diferencias de presión con la aplicación de manómetros.
- Conozca la distribución del recurso agua en el planeta.
- Conozca de manera general el ciclo del agua y su importancia para el medio ambiente.
- Aplique los conceptos de Estática de Fluidos en el diseño de decantadores.

Contenido

- 1.1 Operaciones Unitarias, Procesos Unitarios y la Ingeniería Química.
- 1.2 Definición de fluido. Propiedades.
- 1.3 Ciclo hidrológico y calidad del agua.
- 1.4 Concepto de Presión. Unidades.
- 1.5 Equilibrio Hidrostático.
 - 1.5.1 Campo Gravitacional.
 - 1.5.2 Campo Centrífugo.
- 1.6 Aplicaciones.
 - 1.6.1 Manómetros. Presión manométrica y absoluta.
 - 1.6.2 Decantadores.

UNIDAD II: Fenómeno de Flujo de Fluidos.

Objetivos Específicos.

Que el estudiante:

- Se familiarize con los parámetros de calidad del agua, de manera que pueda emplear esos conocimientos en otras asignaturas.
- Aplique los conceptos básicos de la Dinámica de Fluidos.
- Defina los tipos de flujo, según sus características.

- Identifique las diferentes clases de fluido de acuerdo a su viscosidad.
- Analice el flujo turbulento estableciendo sus características y variables que lo determinan.
- Establezca el campo de tensiones de corte y de velocidad en flujo turbulento.
- Comprenda el concepto de capa límite.

Contenido

2.1 Parámetros de calidad del agua.

- 2.1.1 Parámetros físicos
- 2.1.2 Parámetros químicos
- 2.1.3 Parámetros orgánicos
- 2.1.4 Parámetros biológicos

2.2 Campo de flujo.

2.3 Reología.

2.4 Turbulencia.

2.5 Esfuerzo cortante

2.6 Flujo en capa límite.

UNIDAD III: Ecuaciones Básicas del Flujo de Fluidos

Objetivos Específicos:

Se pretende lograr que el estudiante:

- Conozca y aplique la ecuación básica del balance de materia en la Mecánica de Fluidos.
- Conozca y aplique el principio de conservación en la transferencia de momentum de la mecánica de Fluidos.
- Dadas las relaciones que gobiernan el flujo de fluidos, desarrolle cálculos preliminares para el diseño de bombas y sistemas de tuberías.

Contenido

3.1 Balance de materia, ecuación de continuidad.

3.2 Balance de energía mecánica, ecuación de Bernoulli.

3.3 Conservación de la cantidad de movimiento.

UNIDAD IV: Fluidos Incompresibles en Ductos y Capas Delgadas

Objetivos Específicos

Que el estudiante:

- Comprenda y aplique el concepto de formación de la capa límite en ductos y capas delgadas.
- Identifique las causas que originan las pérdidas por fricción en tuberías y calcule el factor de fricción.
- Conozca y aplique los gráficos que relacionan el factor de fricción con el número de Reynolds y calcule las pérdidas por fricción en tuberías.
- Conozca y aplique los parámetros del flujo de líquidos en capas delgadas.

Contenido

- 4.1 Formación de capa límite; factor de fricción, perfiles de velocidad, rugosidad y carta del factor de fricción.
- 4.2 Cálculo de sistemas simples y complejos de tuberías.
- 4.3 Cálculo de diámetros económicos.
- 4.4 Flujo de líquidos en capas delgadas.

UNIDAD V: Transporte de Fluidos y Medición del Flujo

Objetivos Específicos

Que el estudiante:

- Determine los aspectos que afectan el flujo de fluidos en tuberías válvulas y accesorios.
- Conozca los diferentes tipos de equipo usados para la medición y transporte de fluidos, establezca las relaciones que rigen su comportamiento y realice cálculos para el diseño de equipo.

Contenido

- 5.1 Ductos, válvulas y accesorios.

- 5.2 Bombas, compresores, sopladores, ventiladores y bombas de vacío.
- 5.3 Medición del flujo de fluidos. Métodos directos y otros. Métodos de cabeza variable (venturímetro, pitot, medidor de orificio). Métodos de área variable (rotámetros).
- 5.4 Sistemas complejos de flujo de fluidos.

UNIDAD VI: Fluidos a Través de Cuerpos Sumergidos

Objetivos Específicos

Se pretende lograr que el estudiante:

- Defina los factores que afectan el paso de un fluido a través de un cuerpo sumergido y otros tópicos relacionados con él.
- Dada la definición de arrastre, las relaciones con la fricción en el flujo a través de lechos sólidos, y describa el movimiento de partículas a través de fluidos.
- Aplique los principios fundamentales del flujo de cuerpos sumergidos a cálculos de sedimentación, fluidización y transporte neumático.

Contenido

- 6.1 Draga o Arrastre. Arrastre de forma y superficie. Coeficiente de arrastre.
- 6.2 Flujo a través de lechos sólidos. Sedimentación, fluidización. Transporte neumático.

UNIDAD VII: Manejo de Gases (Neumatica)

Objetivos Específicos

- Conozcan las principales características del flujo de gases y los equipos básicos usados en los sistemas neumáticos.
- Aplique las ecuaciones y métodos de diseño de equipos neumáticos.

Contenido

- 7.1 Evolución del Aire Comprimido.
- 7.2 Trasmisión de fuerza a través de un fluido.
- 7.3 Sistemas Neumáticos.
- 7.4 Controles Neumáticos.
- 7.5 Dispositivos auxiliares de sistemas neumáticos.

IV. METODOLOGIA

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos se pretende desarrollar durante el ciclo las siguientes actividades:

- Sesiones de exposición teórica.
- Discusión de problemas.
- Laboratorios.
- Charlas técnicas.

V. SISTEMA DE EVALUACION

Con el fin de determinar el cumplimiento de los objetivos propuestos y con fines de promoción, se implementarán las siguientes actividades evaluativas:

| | |
|---|-------|
| - Primer Examen Parcial | 20 % |
| - Segundo Examen Parcial | 25 % |
| - Tercer Examen Parcial | 20 % |
| - Trabajo ex-aula (investigar las operacio - nes unitarias de flujo de fluidos que son aplicadas en sistemas o plantas de trata - miento de desechos)..... | 10 % |
| - Exámenes de Discusión y Control de Lectura | 10 % |
| - Laboratorios | 15 % |
| TOTAL..... | 100 % |

El Primer examen parcial comprenderá las Unidades 1, 2 y 3 del contenido; El Segundo examen parcial comprenderá la Unidad 4 y 5 el Tercer examen parcial las Unidades 6 y 7.

Periódicamente se realizarán exámenes de Discusión y Controles de Lectura, se realizarán de 5 a 6 prácticas de laboratorio.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. McCabe, W. L. y Smith, J.C. "Operaciones Básicas de Ingeniería Química", Mc. Graw-Hill Book Co., 2a Edición. New York, 1976.
2. Campos Romero, A.O. "Elaboración de un Cuaderno de Cátedra para ser Utilizado en la Asignatura Operaciones Unitarias", Trabajo de Graduación. Universidad de El Salvador, FIA.ESC.ING.Q./82.
3. Streeter, V.L., "Mecánica de Fluidos", McGraw-Hill Book Co., 6a Edición, México 1981.
4. Foust, A.S.; Wensel, L.A. y Clump, C.V. y otros "Principles of Unit Operations" John Wiley & Sons, 2a Edición, New York, 1981.
5. Brown, G. G y Asociados "Operaciones Básicas de la Ingeniería Química", Editorial Marin, S.A., Barcelona, 1965.
6. J.K. Vennard y R.L. Street, "Elementos de Mecánica de Fluidos", Editorial CECSA, S.A., México, 1989.
7. Jonh J. Bertin. "Mecánica de Fluidos para Ingenieros", Editorial Rentice-Hall, México, 1986.
8. Christie J. Geankoplis, "Procesos de Transportes y Operaciones Unitarias", Editorial CECSA, S.A., México 1986.

9. Perry, R.H. & Green, D. "Perry's Chemical Engineers Handbook", Mc Graw-Hill, Book Co. 6a. Edición.
10. Neumática Industrial, Programa de Desarrollo Profesional en Automatización. SHRADER BELLIOWS/PARKER

8.1 TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE SUGERIDOS PARA EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA OPERACIONES UNITARIAS I

8.1.1 EL CICLO HIDROLOGICO Y CALIDAD DEL AGUA.

(Unidad I. Dos horas clase)

(Fair et al, 1974; Peavy et al, 1985)

El agua es uno de los más abundantes compuestos que se hallan en la naturaleza, cubriendo aproximadamente tres cuartas partes de la superficie terrestre. Sin embargo, a pesar de esta aparente abundancia, hay diversos factores que limitan la cantidad disponible de agua para uso humano. Como se muestra en el cuadro 8.1, más del 97% del agua total está contenida en los océanos y en otros cuerpos de agua salada, en los cuales el agua no está disponible de inmediato para una gran variedad de usos.

Del 3% restante, un poco más del 2% está contenido en los glaciares, en condiciones inaccesibles. Así, para los usos cotidianos, agrícolas e industriales, la humanidad depende del 0.62% restante contenido en lagos de agua dulce, ríos y abastecimientos de aguas subterráneas.

El agua es un compuesto en constante movimiento, tal como se muestra en la figura 8.1.

El vapor de agua se condensa y cae a la tierra en forma de lluvia, nieve u otro tipo de precipitación. Una vez en la superficie de la Tierra, el agua fluye hacia ríos, lagos y océanos, o se percola por el suelo para recargar las aguas subterráneas. Por medio de la evaporación de las aguas superficiales o por la evapotranspiración de las plantas, las moléculas de agua retornan a la atmósfera para repetir el ciclo.

CUADRO 8.1. DISTRIBUCION MUNDIAL DEL AGUA

| Localización | % del total |
|----------------------|-------------|
| Lagos de agua dulce | 0.009 |
| Lagos de agua salada | 0.008 |
| Ríos | 0.0001 |
| Humedad en el suelo | 0.005 |
| Aguas subterráneas | 0.61 |
| Glaciares | 2.14 |
| Vapor de agua | 0.001 |
| Océanos | 97.3 |
| Total | 100.00 |

FUENTE: PEAVY ET AL (1985)

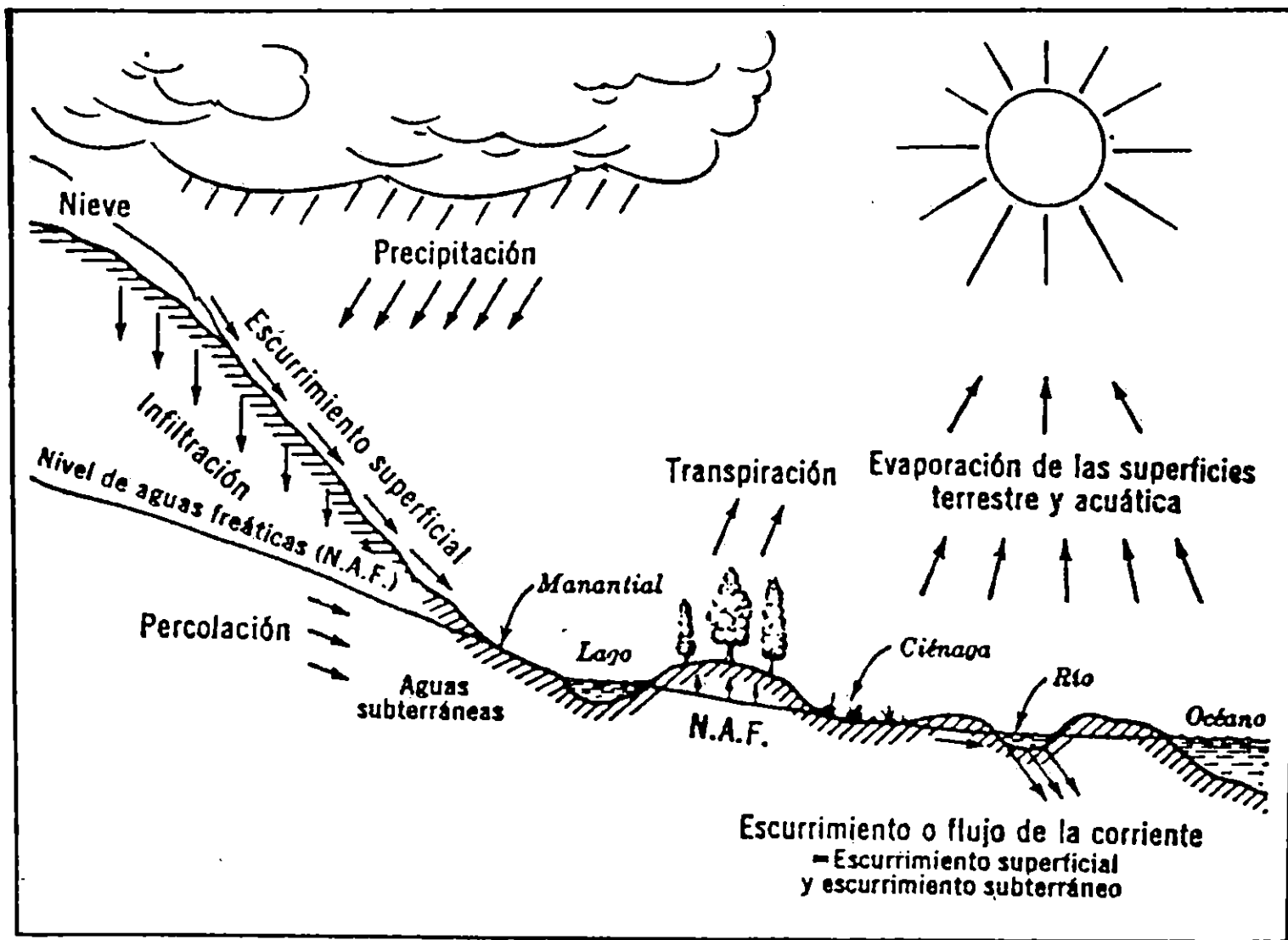


FIGURA 8.1. CICLO DEL AGUA
 FUENTE: FAIR, G. ET AL, 1974.

El vapor de agua se condensa y cae a la tierra en forma de lluvia, nieve u otro tipo de precipitación. Una vez en la superficie de la Tierra, el agua fluye hacia ríos, lagos y océanos, o se percola por el suelo para recargar las aguas subterráneas. Por medio de la evaporación de las aguas superficiales o por la evapotranspiración de las plantas, las moléculas de agua retornan a la atmósfera para repetir el ciclo. Aunque el movimiento a través de algunas partes del ciclo puede ser relativamente rápida, el reciclaje completo del agua a menudo se mide en tiempos geológicos.

El más cercano grado de pureza del agua se tiene en el estado de evaporación. Esto es, porque la condensación requiere usualmente de una superficie o núcleo, de manera que podrían adquirirse impurezas al momento en que el agua se condensa. Otras impurezas pueden añadirse cuando el agua líquida atraviesa las etapas del ciclo hidrológico, ya sea por contacto con gases o vapores nocivos o por contacto con el suelo. Además las actividades humanas contribuyen con impurezas en forma de residuos domésticos, pesticidas y otros contaminantes. Estas impurezas pueden completar el ciclo hidrológico y llegar a la atmósfera.

Las impurezas acumuladas en el agua en el transcurso del ciclo hidrológico, como resultado de actividades humanas, pueden estar en forma suspendida o disuelta. Las materias suspendidas consisten en partículas cuyo tamaño les permite estar en el líquido debido a su flotabilidad y a las fuerzas de viscosidad dentro del agua. Las materias disueltas consisten en moléculas o iones que se incorporan a la estructura molecular del agua. Los coloides son partículas muy pequeñas que prácticamente están suspendidas pero que exhiben muchas características de los sólidos disueltos.

La contaminación del agua puede ser definida como la presencia de impurezas cuya cantidad y naturaleza sean capaces de impedir el aprovechamiento del agua para un uso determinado. Como puede observarse, esta definición es muy amplia y engloba muchos parámetros dentro de los cuales un agua podría considerarse apropiada para un uso en particular.

8.1.2 PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
(Unidad II. Dos horas clase)
(Calderón y Monge, 1994; Peavy et al, 1985)

Varios parámetros reflejan el impacto que muchas impurezas tienen en la calidad del agua. De forma que el conocimiento de dichos parámetros, comunmente asociados al diagnóstico y al tratamiento de aguas, es importante para lograr un buen entendimiento de los efectos de la contaminación del agua. El cuadro 8.2 muestra los diferentes parámetros de la calidad del agua.

CUADRO 8.2. PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Parámetros físicos:

- a) Sólidos suspendidos
- b) Turbidez
- c) Color
- d) Sabor y olor
- e) Temperatura

Parámetros químicos:

- a) Sólidos disueltos
- b) Alcalinidad
- c) Dureza
- d) Metales tóxicos

Parámetros orgánicos:

- a) Compuestos orgánicos biodegradables
- b) Compuestos orgánicos no biodegradables

Parámetros biológicos:

- a) Indicadores biológicos

FUENTE: PEAVY ET AL (1985).

8.1.2.1 PARAMETROS FISICOS.

Se definen como aquellas características del agua que pueden ser percibidas por el gusto, olfato, o el tacto. Esos parámetros son:

a) Sólidos suspendidos.

Son aquellos que se encuentran en forma suspendida o disuelta en el agua, ya sean partículas orgánicas e inorgánicas. Ejemplos: barro, sólidos de origen biológico, etc.

b) Turbidez.

Es una medida directa de los sólidos suspendidos. Es decir, una medida de la absorción o dispersión de la luz por dichos sólidos. Puede deberse a materia coloidal, microorganismos, óxidos metálicos, etc.

c) Color.

Se debe a partículas suspendidas que dan al agua esa propiedad, aunque debe aclararse que el agua pura no posee color. Además de las partículas, también los taninos, madera, fibras vegetales, etc, pueden impartir color al agua.

d) Sabor y olor.

Estos términos identifican por sí mismos a esos parámetros. Muchas sustancias que producen sabor al agua también le imparten color. Minerales, sales provenientes del suelo, materia orgánica y sustancias de las actividades humanas proporcionan olor y/o sabor al agua.

e) Temperatura.

La temperatura del agua en los ecosistemas responde a muchos factores ya sea por la temperatura ambiente de la zona

na, reacciones químicas que suceden en el agua, por contaminación térmica, etc.

8.1.2.2 PARAMETROS QUIMICOS.

Son aquellos que se relacionan con la capacidad disolvente del agua. Estos son:

a) Sólidos disueltos.

Es la materia remanente que resulta después de la remoción, por filtrado, de los sólidos suspendidos. Entre los sólidos disueltos en el agua se tienen minerales, constituyentes inorgánicos e incluso gases, que pueden producir efectos antiestéticos o tóxicos en el agua.

b) Alcalinidad.

Se define como la cantidad de iones en el agua que reaccionarán para neutralizar los iones hidrógeno. En aguas naturales la alcalinidad puede deberse a carbonatos, bicarbonatos, iones hidroxilo, boratos, fosfatos y otros. Estos compuestos resultan de la disolución de sustancias minerales o por descargas residuales hacia cuerpos de agua. Por ejemplo: detergentes, fertilizantes, etc.

c) Dureza.

Puede definirse como la concentración de cationes metálicos multivalentes en solución. A condiciones de supersaturación, los cationes reaccionarían con los aniones del agua para formar un precipitado sólido. Los iones metálicos más abundantes en aguas naturales son el calcio y el magnesio.

d) Metales tóxicos.

Estos metales son dañinos para los humanos y otros orga -

nismos en pequeñas cantidades. Los metales tóxicos disueltos en el agua incluyen arsénico, bario, cadmio, plomo y mercurio, que son particularmente peligrosos. Estos metales usualmente provienen de actividades mineras, industriales o agrícolas.

8.1.2.3 PARAMETROS ORGANICOS.

Muchos materiales orgánicos son solubles en agua. La mayoría de compuestos orgánicos en el agua provienen de la descomposición de sólidos orgánicos. El material orgánico de origen humano proviene de actividades agrícolas, basura, industrias cárnicas, industrias de alimentos, etc.

a) Compuestos orgánicos biodegradables.

Consiste en materias que pueden servir como alimento a los microorganismos. En forma disuelta estos materiales usualmente consisten en almidones, grasas, proteínas, alcoholes, ácidos, aldehídos y esterés. El origen de estos puede ser la descomposición de tejidos de plantas y animales u otros resultantes de actividades domésticas o agroindustriales (beneficiado de café, ingenios azucareros, etc).

La cantidad de oxígeno consumido durante la degradación microbiana de la materia orgánica es llamada demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Es decir, la cantidad de oxígeno necesaria para la estabilización de la materia orgánica.

b) Compuestos orgánicos no biodegradables.

Algunos materiales orgánicos son resistentes a la degradación biológica. Ejemplos de estos compuestos son la celu-

losa, lignina, fenoles, alquil benzensulfonato (ABS), pesticidas, herbicidas, etc.

Para medir la degradabilidad de estos materiales se utiliza la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la cual es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, necesario para esta bilizar químicamente sustancias de origen orgánico e inorgánico.

8.1.2.4 PARAMETROS BIOLÓGICOS.

El agua constituye un medio en el cual cientos de especies desarrollan su ciclo de vida, de manera que cuando un cuerpo de agua puede albergar a numerosas especies, se considera un sistema saludable.

Por ello, basado en el conocimiento de la tolerancia de las especies a determinados contaminantes, ciertos organismos pueden ser utilizados como indicadores de la presencia de contaminantes.

Algunas especies presentes en cuerpos de agua contaminada son las bacterias, virus, protozoos y helmintos. Un indicador importante de la calidad sanitaria del agua lo constituye el grupo coliforme fecal, dado que el nicho de estos organismos está en el tracto digestivo de los humanos, por lo que la presencia de estos en el agua indica contaminación del agua con heces fecales.

8.2 SOLUCION DE PROBLEMAS DE OPERACIONES UNITARIAS I,
 CON CONTENIDO AMBIENTAL
 (Eddy y Metcalf, 1981)

Los problemas presentados a continuación pueden ser utilizados en las siguientes unidades:

- Problema 1, unidad I.
- Problema 2, unidad V.

PROBLEMA 1

El mercurio y sus derivados pueden provenir de fuentes naturales como erupciones volcánicas y desgaste de minerales. Algunas fuentes antropogénicas importantes son: la fabricación de fungicidas, plantas de cloro-sosa, actividades mineras, - etc. Además, se emplea mercurio en aparatos de medición tales como termómetros y barómetros. La intoxicación con mercurio y sus derivados puede producir temblores, dificultad auditiva, parálisis, ceguera y incluso la muerte (Albert, 1988). Considerando el sistema de la figura 8.2., determinar la presión manométrica en A, en Kg/cm^2 , debida a la columna de mercurio (densidad relativa 13.57) en el manómetro en U.

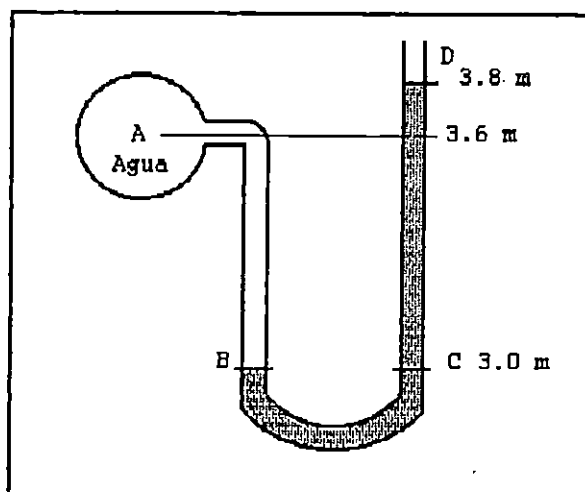


FIGURA 8.2. ESQUEMA PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA 1

Solución:

Dado que los puntos B y C se hallan en el mismo nivel y que el líquido es el mismo (mercurio), se pueden igualar las presiones en B y en C.

Donde:

W_a = peso específico del agua = 1000 Kg/m³

W_m = peso específico del mercurio = 13570 Kg/m³

h_a = altura del agua

h_m = altura del mercurio

P_A = presión en el punto A

P_D = presión en el punto D

$$P_A + W_a * h_a = P_B + W_m * h_m$$

Sustituyendo datos (las unidades son consistentes):

$$P_A + 1000 * (3.6-3.0) = 0 + 13570 * (3.8-3.0)$$

$$P_A + 600 = 0 + 10856$$

Despejando P_A :

$$P_A = 10856 - 600 = 10256 \text{ Kg/m}^2$$

Aplicando un factor de conversión:

$$P_A = 10256/10^4 = 1.0256 \text{ Kg/cm}^2, \text{ es la presión en A.}$$

PROBLEMA 2

Siempre que un líquido que contenga sólidos en suspensión se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tienen la tendencia a depositarse y los de menor peso específico a subir. Ese es el principio de un sedimentador, cuya finalidad es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante y, reducir el contenido de sólidos suspendidos.

En una destilería se quiere bombear fango desde un tanque de sedimentación hacia un tanque para la disposición final de éste. La diferencia de altura entre ambos es de 6 metros y se necesita una tubería de 60 m y 60 mm de diámetro para conectarlos. Determinar la potencia necesaria para bombear el fango a una velocidad de 0.75 m/s. Asumir un peso específico de 1.03 para el fango, un factor de rozamiento $f = 0.02$ y una concentración de sólidos del 92%. (Véase la figura 8.3)

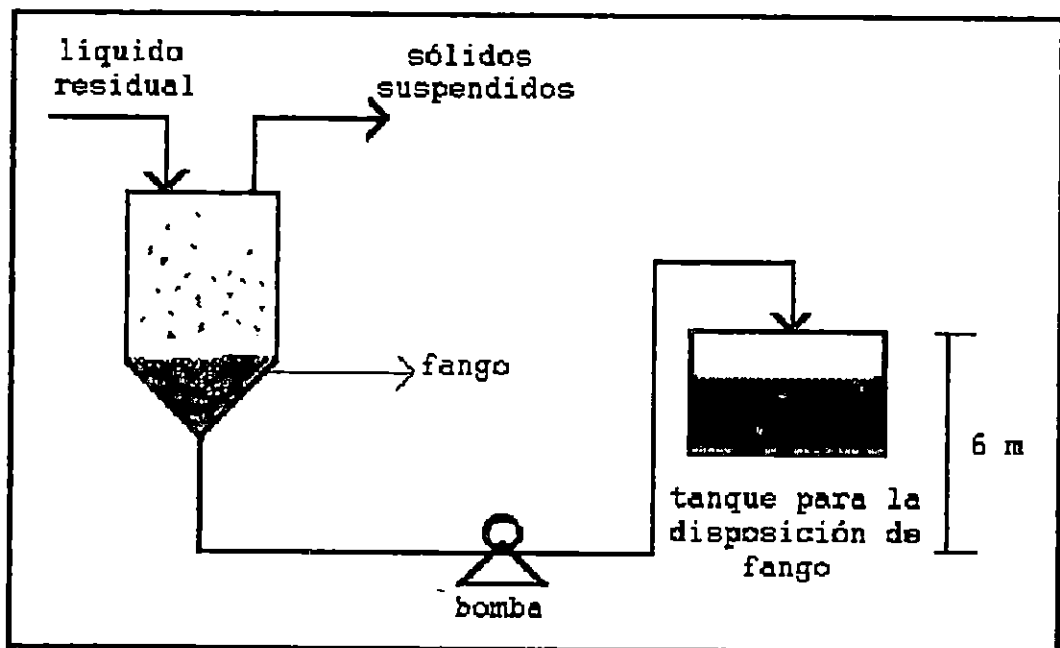


FIGURA 8.3. ESQUEMA PARA LA RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA 2

Es necesario calcular la pérdida de carga, mediante la fórmula de Darcy-Weisbach, a saber:

$$h_L = f * L * V^2 / (D * 2 * g)$$

Donde:

h_L = pérdida de carga (m)

f = factor de rozamiento

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro de la tubería (m)

V = velocidad media (m/s)

g = aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2)

Sustituyendo datos:

$$hL = 0.02 * 60 * 0.75^2 / (0.2 * 2 * 9.8) = 0.17 \text{ m}$$

De la figura 8.4 se obtiene el factor k:

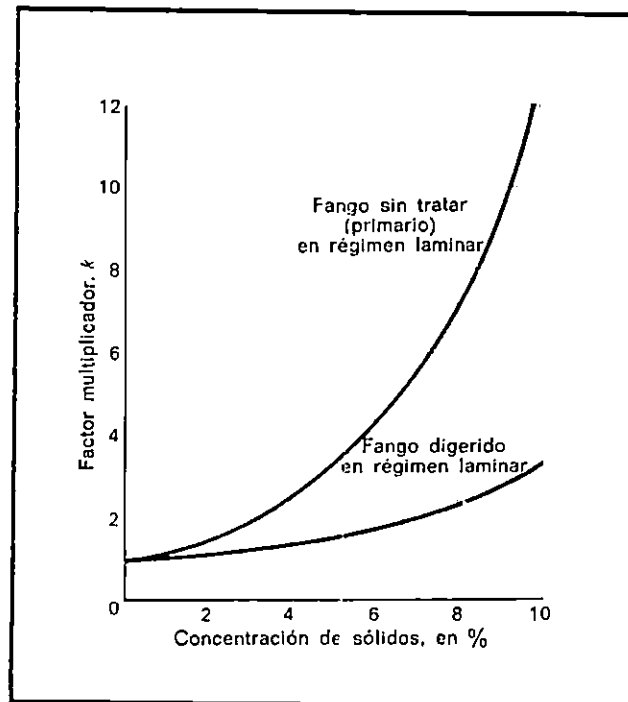


FIGURA 8.4. GRAFICA PARA EL CALCULO DEL FACTOR k

FUENTE: EDDY Y METCALF (1981)

Se obtiene un valor de $k = 7.3$

Así:

$$hL = 0.17 * 7.3 = 1.25 \text{ m}$$

Calculando la altura total de bombeo tenemos:

$$H = 6 + 1.25 = 7.25 \text{ m de fango}$$

Como no se conocen las pérdidas en los accesorios se asume que esta es de 0.6 m.

Por tanto, la altura total será:

$$H = 7.25 + 0.6 = 7.85 \text{ m}$$

Para calcular la potencia se necesita conocer el caudal que viene dado por:

$$Q = A * V$$

Donde:

$$Q = \text{caudal (m}^3/\text{s)}$$

$$A = \text{área transversal de tubería (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{velocidad (m/s)}$$

Pero:

$$A = (\pi * r^2)$$

$$A = (\pi * 0.1^2) = 0.031416 \text{ m}^2$$

Así:

$$Q = \pi * 0.1^2 * 0.75 = 0.0236 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como se desconoce el rendimiento de la bomba puede asumirse el 65%. De tal forma, la expresión para calcular la potencia viene dada por:

$$CV = Q * Wf * h / (\text{rendimiento} * (75 \text{ Kg/CV}))$$

Donde:

$$CV = \text{potencia de la bomba en Hp}$$

$$Wf = \text{peso específico del fango} = 1.03 \text{ Kg/dm}^3$$

$$h = \text{altura de bombeo} = 7.85 \text{ m}$$

Sustituyendo datos:

$$CV = 0.023 * 1.03 * 1000 * 7.85 / (0.65 * 75)$$

CV = 3.81 Hp, es la potencia requerida para el bombeo.

**8.3 REVISION DE LAS PRACTICAS DE LABORATORIO DE
OPERACIONES UNITARIAS I
(UES, 1993c)**

Por ser el Manejo de Fluidos un tipo de operación unitaria cuya característica fundamental es ser regida principalmente por procesos físicos, la mayoría de laboratorios efectuados no presentan un tipo de contaminación ambiental durante su desarrollo. Los laboratorios realizados en esta asignatura son los siguientes:

- a) Propiedades de los fluidos.
- b) Aplicación del Teorema de Impulso y cantidad de movimiento. Impacto de chorro.
- c) Número de Reynolds.
- d) Flujo a través de un orificio.
- e) Descarga a través de un orificio de aforo a régimen constante.
- f) Descripción del Banco Hidráulico.
- g) Determinación del punto de operación de una bomba centrífuga y la ubicación subsiguiente cuando se varía el número de RPM de la bomba.

En el caso de los laboratorios del dos al siete; podrían sugerirse el uso racional del agua y de la energía empleada en algunos equipos, además, en el laboratorio sobre el número de Reynolds (laboratorio No.3) es necesario tener precaución en el manejo del KMnO_4 (nocivo por ingestión) empleado como colorante.

El laboratorio sobre propiedades de los fluidos es el único donde puede realizarse un estudio más profundo. A continuación se expone dicha práctica.

El cuadro 8.3 muestra un resumen de las prácticas de laboratorio.

8.3.1 LABORATORIO No.1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

I. OBJETIVOS.

- a. Determinar experimentalmente algunas propiedades de los líquidos: densidad, gravedad específica, viscosidad y los efectos de la capilaridad a presión y temperatura atmosférica.

II. BASE TEORICA.

- Definición de fluido.
- Propiedades de los fluidos: viscosidad, densidad, gravedad específica, capilaridad.
- Métodos de evaluación de propiedades en líquidos.

III. DESARROLLO.

3.1 DETERMINACION DE LA DENSIDAD.

- Para determinar la densidad de un líquido, es necesario medir la masa de un volumen conocido de ese líquido.
- En base a lo anterior, plantear y desarrollar un método que permita evaluar la densidad de un líquido asignado de una manera precisa.

3.2 DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA.

- Un método conveniente para determinar la densidad, el peso específico y la gravedad específica de un líquido, es usando un instrumento especialmente calibrado, llamado HIDROMETRO, que consiste en un tubo de vidrio diseñado para flotar verticalmente en líquidos de diferentes

densidades, está compuesto por un bulbo y un vástago.

La profundidad a la cual el vástago se hunde en el líquido, es una medida de la densidad del líquido, a la vez dispone de una escala calibrada para leer gravedad específica.

- Plantear y desarrollar un método que permita evaluar la gravedad específica del líquido en estudio mediante el uso del hidrómetro.
- Comparar este resultado, con el dato obtenido en el numeral 3.1

3.3 DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD.

- Existen muchos métodos experimentales que se pueden utilizar para la determinación de la viscosidad de un líquido. Un método común, es considerar la velocidad a la cual una esfera pulida caerá a través de un líquido al cual es necesario determinarle la viscosidad. Bajo condiciones de equilibrio, las fuerzas de fricción en la esfera, serán iguales a su peso y la esfera caerá con una velocidad constante "U" llamada velocidad terminal y es llamada ley de Stokes. Esa ecuación puede escribirse:

$$U = \frac{gd^2}{18\nu} \left(\frac{e_s}{e_f} - 1 \right) \quad \text{ECUACION 1}$$

- U = Velocidad terminal de la esfera.
- g = Aceleración de la gravedad.
- ν = Viscosidad cinemática del fluido.
- e_s = Densidad de la esfera de prueba.
- e_f = Densidad del fluido.
- d = Diámetro de la esfera de prueba.

La ecuación 1 es aplicable únicamente a fluidos viscosos y además se ve limitada por el valor del número de Reynolds el cual debe tener un valor límite máximo de 0.2. Por encima de este valor, los errores al aplicar la ecuación llegan a ser significativos.

- Otra forma de evaluar la viscosidad de un líquido es utilizando instrumentos de medición especializados, uno de ellos es el VISCOSIMETRO DE THOMAS, el cual permite evaluar la viscosidad de un líquido en base a dos parámetros: masa de la pesa utilizada y tiempo medido por 100 revoluciones que marque el equipo. Ver tablas de evaluación que acompañan al viscosímetro.
- Plantear y desarrollar un proceso por el cual pueda evaluarse la viscocinemática a partir de la Ley de Stokes para el fluido en estudio.
- Investigar y familiarizarse con el viscosímetro de Thomas, y desarrollar un método que permita evaluar la viscosidad dinámica del líquido en estudio.
- Comparar los resultados con respecto a la Ley de Stokes

3.4 CAPILARIDAD.

- Cuando una interfase líquido y gas está en contacto con un límite sólido, la superficie libre del líquido describirá variaciones, dependiente de las fuerzas moleculares predominantes de adhesión y cohesión. Si predominan las fuerzas de adhesión, el líquido asciende mojan-do al sólido una altura "h" a partir de su superficie libre (elevación capilar) Figura 1a. Si las que predominan son las fuerzas de cohesión el líquido deja de mojar al sólido al nivel de la superficie libre y descien-de una altura "h".

Las fuerzas que permiten el ascenso o descenso en tubos de pequeño diámetro (no mayor de 5mm.) y entre placas

planas paralelas con pequeñas separaciones entre ellas en contacto con líquidos, reciben el nombre de fuerzas de TENSION SUPERFICIAL. Para tubos y placas las elevaciones capilares pueden calcularse como sigue:

$$h_t = \frac{4 \sigma}{\rho g d} \text{ Tubos ; } \quad h_p = \frac{2 \sigma}{\rho g b} \text{ Placas}$$

h_t = Elevación capilar en el tubo.

h_p = Elevación capilar en las placas.

σ = Tensión superficial del líquido.

ρ = Densidad del líquido.

d = Diámetro de tubo capilar.

b = Separación entre placas.

- Evalúe la tensión superficial del líquido de prueba usando tubos de 0.8 y 1.6 mm. de diámetro y placas separadas una distancia conocida.

IV. EVALUACION DE LA PRACTICA.

- La teoría aplicada y los procedimientos serán entregados al inicio de la práctica.
- Se hará examen corto de laboratorio, en el momento de la práctica.
- En la práctica se asignará un líquido por grupo al cual se le evaluarán sus propiedades.
- Al final de la práctica se presentará una tabla de resultados de las propiedades evaluadas del líquido de estudio, tal como la que se presenta a continuación.

LIQUIDO:

Densidad:

Gravedad específica:

Viscosidad cinemática:

Viscosidad dinámica:

Tensión superficial:

- Presentar la comparación de resultados propuesta en los numerales 3.2 y 3.3
- Es aplicable en su líquido de prueba la Ley de Stokes.
- Explique por qué razón no fue posible, o bien porque fue posible el uso del hidrómetro.

La revisión del laboratorio anterior puede hacerse en el área de asignación de sustancias (segundo ítem de la determinación de la densidad). Se emplearán las frases R y S para la caracterización de los residuos. Para su eliminación se considerarán la recogida de residuos de laboratorio y las indicaciones sobre la recogida y desactivación de residuos de laboratorio (Ver Apéndice D).

Algunas sustancias empleadas son:

1) Glicerina.

No existen mayores riesgos para la salud y su manipulación.

DISPOSICION FINAL: se recomienda el reciclaje y una vez de ser usado varias veces colocarlo en el frasco para disolventes orgánicos y soluciones de sustancias orgánicas que no contengan halógenos.

2) Tetracloruro de Carbono.

R 20/22: Nocivo por inhalación y por ingestión.

S2: Mantener fuera del alcance de los niños.

S25: Evitar contacto con los ojos.

DISPOSICION FINAL: puede hacerse en el frasco de disolventes orgánicos y disoluciones de sustancias orgánicas que contengan halógenos.

3) Metanos.

- R11: Muy inflamable.
- R23/25: Tóxico por inhalación y por ingestión.
- S2: Mantener fuera del alcance de los niños.
- S7: Tener el recipiente bien cerrado.
- S16: Mantener lejos de fuentes de ignición. No fumar.
- S24: Evitar contacto con la piel.

DISPOSICION FINAL: puede realizarse en el frasco de disolventes orgánicos y soluciones de sustancias orgánicas que no contengan halógenos.

CUADRO 8.3. RESUMEN DE LAS PRACTICAS DE LABORATORIO REALIZADAS EN OPERACIONES UNITARIAS I

| Título de práctica | Sustancias o reactivos utilizados | Riesgo ambiental o a la salud |
|---|-----------------------------------|---|
| Propiedades de los fluidos | Glicerina | No existen riesgos específicos |
| | CCl_4 | Nocivo por inhalación e ingestión |
| | CH_3OH | Muy inflamable Tóxico por inhalación o ingestión |
| Aplicación del teorema de impulso y cantidad de movimiento | H_2O | No existen riesgos específicos |
| Número de Reynolds | H_2O | No presenta riesgos específicos |
| Flujo a través de un orificio | KMnO_4 | Nocivo por ingestión |
| Descarga a través de un orificio de aforo a régimen constante | H_2O | No presenta riesgos específicos |

Pasa...

...Continuación cuadro 8.3

| Título de práctica | Sustancias o reactivos utilizados | Riesgo ambiental o a la salud |
|---|-----------------------------------|---------------------------------|
| Descripción del banco hidráulico | H ₂ O | No presenta riesgos específicos |
| Determinación del punto de operación de una bomba centrífuga y la ubicación subsiguiente cuando se varía el número de RPM de la bomba | H ₂ O | No presenta riesgos específicos |

CAPITULO IX
REVISION DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA OPERACIONES
UNITARIAS II Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS
CON EL MEDIO AMBIENTE

9.0 PROGRAMA DE ASIGNATURA

I. GENERALIDADES

Asignatura: Operaciones Unitarias II. Prerrequisito: Operaciones Unitarias I. Código: OPU-215 U.V. 5 Plan de Estudios: 1978 Reformado. Ciclo: I Año académico: _____
 Profesor: _____ Duración: 96 horas Nivel: VII Ciclo Instructor: _____

II. SYLLABUS

Fundamentos de la transferencia de calor, transferencia de calor por conducción en sólidos, fundamentos del flujo de calor en fluidos, transferencia de calor en fluidos sin y con cambio de fase, transferencia de calor por radiación, equipo de transferencia de calor, evaporación.

III. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Que el estudiante:

1. Adquiera un conocimiento adecuado de los fenómenos y procesos de transferencia de calor.
2. Adquiera los fundamentos necesarios para el diseño de equipo de transferencia de calor.
3. Conozca y aplique los principios básicos de aislamiento de equipo y pueda determinar el espesor óptimo del aislante.

IV. CONTENIDO PROGRAMATICO

UNIDAD I: FUNDAMENTOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.

Objetivos Específicos

Que el estudiante logre:

- a. Comprender la naturaleza del fenómeno de transferencia de calor.
- b. Identificar los mecanismos de transferencia de calor

Contenido

- 1.1 El fenómeno de transferencia de calor.
- 1.2 Los mecanismos de transferencia de calor.
- 1.3 Importancia y aplicaciones.

UNIDAD II: TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCION EN SOLIDOS.

Objetivos Específicos

Que el estudiante logre:

- a. Comprender y aplicar la ley general de la conducción de Calor (Ley de Fourier).
- b. Comprender los conceptos de resistencia térmica en serie, en paralelo y en serie-paralelo.
- e. Comprender y aplicar los conceptos de conducción en estado inestable.

Contenido

- 2.1 Ley General de la Conducción del Calor.
- 2.2 Conducción en estado estable.
 - 2.2.1 A través de una placa plana.
 - 2.2.2 A través de paredes compuestas
 - 2.2.3 A través de un cilindro.
 - 2.2.4 A través de esferas huecas.

2.2.5 Grosor crítico y óptimo de aislantes cilíndricos.

2.2.6 Transferencia de calor desde superficie extendidas.

2.3 Conducción en Estado no Estacionario

2.3.1 A través de placas planas

2.3.2 A través de cilindros

2.3.3 A través de esferas

2.3.4 A través de cuerpos semi-infinitos.

UNIDAD III: FUNDAMENTOS DE FLUJO DE CALOR EN FLUIDOS

Objetivos Específicos

Que el estudiante logre:

- a. Comprender adecuadamente el intercambio de calor entre fluidos.
- b. Calcular y utilizar coeficientes individuales y globales de transferencia de calor.
- c. Conocer y utilizar coeficientes debido a incrustaciones.

Contenido

3.1 Introducción.

3.2 Balance de energía en aparatos de transferencia de calor.

3.3 Coeficiente global de transferencia de calor.

3.4 Coeficiente individual de transferencia de calor.

3.5 Clasificación de los coeficientes individuales de transferencia de calor.

UNIDAD IV: TRANSFERENCIA DE CALOR EN FLUIDOS SIN CAMBIO DE FASE.

Objetivos Específicos

Que el estudiante logre:

- a. Resolver problemas de transferencia de calor por convección natural y forzada.
- b. Utilizar los números adimensionales mas importantes para las transferencia de calor.
- c. Realizar cálculos mediante ecuaciones y gráficos en convección en flujo laminar, turbulento y en transición.

Contenido

- 4.1 Transferencia de calor por convección forzada en flujo laminar, turbulento y de transición.
- 4.2 Transferencia de calor por convección natural.

UNIDAD V: TRANSFERENCIA DE CALOR EN FLUIDOS CON CAMBIO DE FASE.

Objetivos Específicos

Que el estudiante logre:

- a. Comprender el fenómeno de transferencia de calor cuando ocurre un cambio de fase
- b. Calcular el calor intercambiado en la condensación de vapores y ebullición de líquidos.

Contenidos:

- 5.1 Transferencia de calor desde vapores que se condensan.
- 5.2 Transferencia de calor a líquidos en ebullición.

UNIDAD VI: TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIONObjetivos Específicos:

Que el estudiante logre:

- a. Calcular la transferencia de calor por radiación entre superficies, así como de una superficie a un fluido.
- b. Integrar los mecanismos de transferencia de calor en sistemas donde se dan conjuntamente.
- c. Que el estudiante se forme una panorámica más amplia sobre la radiación, sus aplicaciones y los riesgos para el medio ambiente y la salud humana.
- d. Que el estudiante conozca sobre el fenómeno de la radiación solar, su influencia en el medio ambiente y la salud humana.

Contenidos:

- 6.1 Fundamentos de mecanismos de radiación.
- 6.2 Radiación entre dos superficies.
- 6.3 Radiación a materiales semitransparentes.
- 6.4 Transferencia de calor por combinación de los tres mecanismos (conducción, convección y radiación).
- 6.5 Radiación: efectos y aplicaciones.
- 6.6 Radiación solar y su incidencia en el medio ambiente

UNIDAD VII: EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALORObjetivos Específicos:

Que el estudiante logre:

- a. Comprender el funcionamiento básico del equipo de intercambio de calor.
- b. Calcular coeficientes de transferencia de calor en equipos industriales.

- c. Comprender y aplicar los fundamentos para el diseño de equipo de transferencia de calor.
- d. Diseñar equipo de transferencia de calor.

Contenido

- 7.1 Fundamentos
- 7.2 Intercambiadores de calor.
 - 7.2.1 Tipos de intercambiadores
 - 7.2.2 Elementos de los intercambiadores
- 7.3 Aspectos generales de diseño
- 7.4 Condensadores
- 7.5 Transferencia de calor en recipientes agitados.

UNIDAD VIII: EVAPORACION

Objetivos Específicos:

Que el estudiante logre:

- a. Comprender el fenómeno de la evaporación como una operación unitaria.
- b. Calcular los balances de materia y energía en evaporadores de simple y múltiple efecto.
- c. Diseñar equipo de evaporación.

Contenido:

- 8.1 Fundamentos de evaporación.
- 8.2 Tipos de evaporadores.
- 8.3 Funcionamiento de evaporadores tubulares.
 - 8.3.1 Capacidad.
 - 8.3.2 Economía.
 - 8.3.3 Consumo de vapor.
- 8.4 Cálculos de evaporadores de simple y múltiple efecto
- 8.5 Diseño de equipo.

V. METODOLOGIA

- Clases expositivas (4h/semana).
- Discusión de problemas con método participativo (2h/semana).
- Tareas e investigación ex-aula.
- Formulación de programas de computadora para diseño de equipo.
- Controles de lectura.
- Consultas.

VI. MEDIOS DE ENSEÑANZA

En el curso se usarán los siguientes medios de enseñanza: Pizarra, Proyector de transparencia, Transparencias, Computadora, Yeso, Borrador.

VII. SISTEMA DE EVALUACION

| | |
|---|-----|
| - Primer examen parcial (Unidad I y II) | 15% |
| - Segundo examen parcial (Unidad III y IV) | 20% |
| - Tercer examen parcial (Unidad V y VI) | 20% |
| - Cuarto examen parcial (Unidad VII y VIII) | 15% |
| - Promedio de exámenes de de discusión, tareas ex-aula y controles de lectura | 15% |
| - Diseño de un intercambiador de calor utilizando la computadora digital | 15% |

VIII. BIBLIOGRAFIA.

1. CALDERON H., L.A. "Elaboración de un Cuaderno de Cátedra para ser Utilizado en la Asignatura Operaciones Unitarias II", Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, (1982).

2. Mc. CABE, W.L., J.C. SMITH. "Operaciones Básicas de Ingeniería Química", Editorial Reverté, España, (1975).
3. Mc. ADAMS, W.H. "Transferencia de Calor". Tercera Edición. Mc. Graw-Hill, Book Inc. España, (1964).
4. PITTS, D.R., L.E. SISSOM. "Transferencia de Calor". Mc. Graw-Hill Latinoamericana, S.A. Colombia, (1980).
5. OZISIK, M.N. "Transferencia de Calor". Mc. Graw-Hill Latinoamericana S.A. México, (1980).
6. WELTY, J.R. "Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería". Primera Reimpresión. Editorial Limusa. México. (1981).
7. KERN, D.Q. "Procesos de Transferencia de Calor". Vigésima Segunda Impresión. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México (1987).
8. FOUST A.S. et al. "Principios de Operaciones Unitarias". Segunda Edición. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México (1987).
9. BROWN G.G. "Operaciones Básicas de la Ingeniería Química" Editorial Marín, S.A. Barcelona (1965).
10. BROWN A.I., S.M. MARCO. "Transmisión de Calor". Primera Edición en Español. Compañía Editorial Continental S.A. de México (1963).

9.1 TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE SUGERIDOS PARA EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA OPERACIONES UNITARIAS II

9.1.1 RADIACION: EFECTOS Y APLICACIONES.

(Unidad VI. Una hora clase)

La humanidad ha estado siempre expuesta a la radiación de los rayos cósmicos y de otras sustancias radiactivas que se dan en la naturaleza. Sin embargo, fue a partir de los estudios de Becquerel sobre el uranio (1896), cuando se comenzaron a observar los efectos de sobreexposición a fuentes radioactivas (Grimaldi y Simmonds, 1991).

En años recientes el hombre ha aumentado enormemente la cantidad de radiación sobre la tierra (Hernández, 1990); de manera que en algunos usos de la radiación, la producción de desechos no puede ser evitada, y éstos entran en el ecosistema global. En ese sentido, se vuelve importante decidir cómo y dónde éstos desechos serán introducidos, de modo que produzcan el menor trastorno posible en el medio ambiente (Turk y Wittes, 1985).

El problema con los elementos radioactivos es que son inestables, de manera que cuando se descomponen queda un nuevo elemento, con la consiguiente liberación de energía, lo cual se conoce como desintegración radiactiva (Strobbe, 1973). Existen entonces, diferentes tipos de radiación. El cuadro 9.1, muestra algunos tipos de radiación importantes y cuya exposición a algunas de ellas, puede ser perjudicial para todo organismo vivo.

A pesar de lo anterior, la radiación tiene múltiples aplica-

ciones científicas e industriales, entre ellas se tienen según Grimaldi y Simmonds(1991) y Portillo (1996):

- a) Tratamiento de distintos tipos de cáncer y diagnósticos médicos (Rayos X, Tomografía Axial Computarizada, etc).
- b) Investigación industrial para medir el desgaste de herramientas de corte, cilindros, etc.
- c) Desinfección de agua para uso potable (por irradiación con luz ultravioleta).
- d) Desinfección de alimentos tales como carnes, frutas y verduras.
- e) Calibración, medición y control del espesor del acero, papel, hule y otros productos.
- f) Control del curso de fluidos en líneas de procesado.
- g) Esterilización de suministros médicos como jeringas, empaques, etc.

CUADRO 9.1. ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

| Forma de energía | Longitud de onda (cm) |
|------------------|---|
| Ondas eléctricas | 10^{12} a 10^6 |
| Luz visible | 10^6 a 10^{-1} |
| Ondas de radio | 10^{-1} a 10^{-4} |
| Infrarrojo | 7×10^{-5} a 4×10^{-5} |
| Ultravioleta | 10^{-5} a 10^{-6} |
| Rayos X | 10^{-6} a 10^{-9} |
| Rayos Gamma | 10^{-10} |
| Rayos cósmicos | 10^{-11} en adelante |

FUENTE: GRIMALDI Y SIMMONDS (1992).

En los últimos años, el Ingeniero Químico se ha incorporado en algunos campos en los que se emplean fuentes radiactivas, por lo que es necesario que conozca los riesgos potenciales

de la exposición a radiaciones, pudiéndose mencionar según Turk y Wittes, (1985):

- Quemaduras.
- Dermatitis.
- Lesiones en la médula ósea y nódulos linfáticos.
- Tumores pulmonares.
- Cataratas.
- Cáncer de la piel.
- Esterilidad.

Lo anterior se debe a que la energía que acompaña a la radiación produce alteraciones celulares que pueden conducir a mutaciones en las células hijas. Es decir, que cuando una partícula rápida y energética golpea la materia orgánica, perturba de forma abrupta la organización y equilibrio celular, provocando hinchazón en la célula, rotura de los cromosomas y destrucción enzimática, entre otros efectos (Strobbe, 1973).

En vista de los daños que puede causar una exposición innecesaria a la radiación, deben tomarse ciertas precauciones para reducir los riesgos al mínimo posible. En ese sentido, pueden mencionarse algunas consideraciones importantes como son, de acuerdo a Grimaldi y Simmonds (1991):

- a) La tasa de exposición de la persona en términos de dosis de radiación por unidad de tiempo. Es decir, que una persona no debe exponerse más tiempo a la dosis de radiación establecida para su tipo de ocupación.
- b) La distancia entre la persona y la fuente de radiación debe ser la suficiente para evitar una exposición innecesaria a la radiación, sobre el entendido que la intensi -

dad de la radiación disminuye inversamente con el cuadrado de la distancia.

- c) Dependiendo del tipo de radiación así será el tipo de bloqueo de la radiación mediante un material de blindaje adecuado.
- d) La realización periódica de chequeos médicos es importante para determinar la susceptibilidad de la persona a la radiación.

Las consideraciones mencionadas, junto con un programa de capacitación especial, reducirán los riesgos de la exposición a la radiación del ingeniero químico que trabaje con sustancias radiactivas o fuentes cerradas de radiación, donde un caso específico es el del Centro de Investigaciones Atómicas y Nucleares (CIAN), en la Universidad de El Salvador.

Dicho Centro emplea técnicas como fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, centelleo líquido (que emplea el bombardeo con partículas alfa y beta para la determinación de carbono 12), etc., en la realización de investigaciones como el monitoreo de contaminantes atmosféricos, metales pesados en el agua y mediciones de niveles de radiación en alimentos (Portillo, 1996).

Actualmente el centro trabaja únicamente con fuentes cerradas de baja actividad, de forma que los riesgos son reducidos. Aunque a corto plazo se espera utilizar trazadores en las investigaciones del centro, se cree que no habrá un significativo aumento de los riesgos por la baja actividad de dichos trazadores (Portillo, 1996).

9.1.2 RADIACION SOLAR Y SU INCIDENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE

(Unidad VI. Dos horas clase)

(Montgomery, 1991 y Peavy et al, 1985).

El sol es básicamente una gigantesca esfera compuesta principalmente por hidrógeno (72%) y helio (28%). Las temperaturas y presiones en su núcleo son lo suficientemente altas para liberar constantemente, enormes cantidades de energía radiante.

De forma que, el sol alumbra y calienta la tierra y suministra la energía necesaria utilizada por las plantas verdes para la síntesis de los compuestos que las mantienen vivas, sirviendo éstas de alimento para otros organismos.

La radiación solar es una parte integrante del ambiente natural en el que el ser humano vive y desarrolla múltiples actividades, afectando los grandes fenómenos meteorológicos, físicos, biológicos, y por ende, también la ecología que el espectro solar controla.

Ejemplos importantes son las formas en la que el sol genera transferencia de calor en la naturaleza:

- a) La energía radiante del sol se absorbe por la superficie de la tierra, parte de la cual se refleja hacia el espacio en forma de radiación de longitud de onda más larga. En la figura 9.1, se muestra ese y otros flujos de energía.
- b) Parte del calor es transferido a la superficie de la Tierra por conducción, es decir, por el contacto físico del aire con la superficie terrestre.

- c) La diferencia de temperaturas entre las masas de aire supone una transferencia de calor por convección de la Tierra hacia la troposfera.
- d) Además, el calentamiento solar permite la evaporación del agua para que se lleve a cabo el ciclo hidrológico. Parte del calor solar también es retenido en la atmósfera por medio del vapor de agua.

Sin embargo, el papel de la radiación solar no se limita únicamente a lo mencionado anteriormente, ya que es posible aprovechar esa energía. Es más, se espera que el empleo de dicha energía aumentará dramáticamente en el curso de unos cuantos años, con aplicaciones esencialmente térmicas. Tal vez se obtenga electricidad adicional de ciertos experimentos que se están llevando a cabo; pero no es seguro.

Un factor importante a favor de la energía solar es que no provoca contaminación ambiental por emisiones de gases al aire o por descarga de efluentes contaminantes como las producidas por la generación de energía a partir de petróleo o fuentes geotermales, tal como se menciona en el capítulo IV.

Otras ventajas que justifican el uso de la energía solar son una menor contaminación debido a las emisiones nulas de gases y una reducción en la degradación ambiental, con lo cual se evita la tala indiscriminada de los recursos forestales para utilizarlos como leña.

Desde una visión tecnológica, la energía solar puede convertirse de su estado natural en otras formas útiles, mediante sistemas energéticos desarrollados durante un tiempo relativamente corto.

Según Duarte (1993), en El Salvador existe una elevada incidencia de radiación solar, dado que en un 75% del territorio nacional hay un promedio aproximado de 7 horas de luz por día.

En tal sentido, el potencial solar no sólo es elevado y uniformemente distribuido, sino que las condiciones climáticas prevalecientes son favorables para su aprovechamiento.

No obstante todas estas ventajas, el factor económico sigue siendo la principal limitante para el aprovechamiento de la radiación solar. Por esta razón se vuelve necesaria la aplicación de tecnologías apropiadas que propicien su utilización.

En El Salvador, aproximadamente el 43% de la energía primaria que es consumida, la proporciona la madera (Posada, 1994), lo cual indica que para satisfacer la demanda de energía, las personas deben recurrir a la tala de árboles para usar la madera como leña, lo cual provoca un alto deterioro ecológico, caracterizado por un aumento en la temperatura ambiental, erosión y otros problemas, tal como se expuso en el capítulo I.

Ante esa situación, el uso de dispositivos solares para la cocción de alimentos se constituye en una buena alternativa para sustituir parcialmente el uso de la leña. Tales dispositivos se conocen con el nombre de cocinas solares.

Las cocinas solares son equipos que captan la energía a través de la cubierta y la transfieren, por medio de la absorción, en calor, el cual es transmitido a los alimentos para ser cocinados. La figura 9.2, muestra un esquema de tal dispositivo (Morillo, 1993).

Estas cocinas funcionan cuando la placa ennegrecida absorbe la radiación solar que atraviesa las cubiertas de vidrio. Así, la temperatura en el interior comienza a elevarse porque la energía captada es grande en comparación con las pérdidas de calor. Sin embargo, después de un corto período, la temperatura se estabiliza dentro de la caja e inmediatamente se colocan los utensilios dentro para efectuar la cocción de los alimentos. Además, colocando un espejo en la cubierta es posible aumentar la cantidad de radiación incidente (Morillo, 1993).

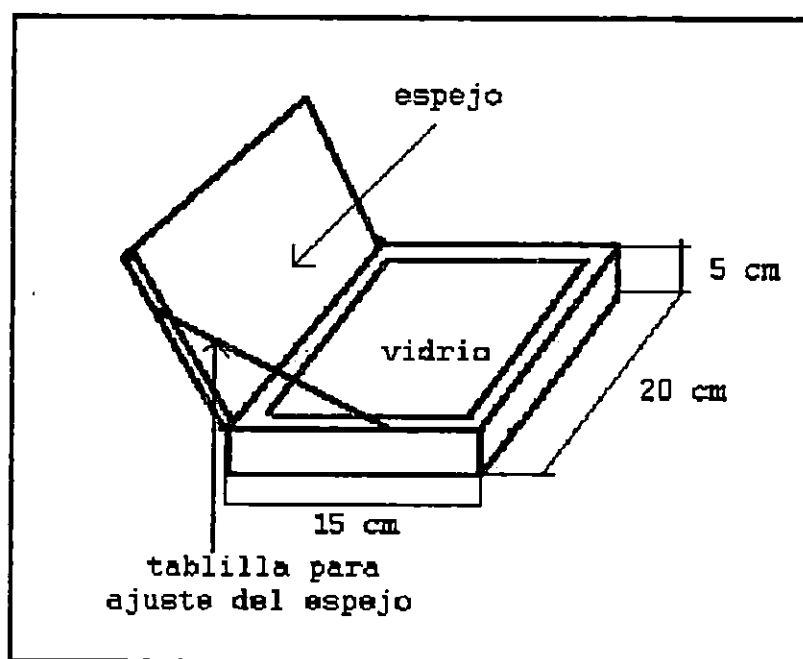


FIGURA 9.2. ESQUEMA DE UNA COCINA SOLAR
FUENTE: MORILLO (1993)

De acuerdo a Morillo (1993) tres parámetros son importantes en el diseño de una cocina solar: las pérdidas de calor por la base, las pérdidas de calor por la cubierta y la temperatura de equilibrio de radiación en la placa absorbadora.

En la base de la cocina solar se dan pérdidas de calor por radiación, convección y conducción, siendo las dos primeras insignificantes comparadas con las pérdidas de calor por conducción. Por lo tanto, las pérdidas de calor con la base se calculan de acuerdo a la siguiente expresión (Posada, 1994):

$$U_b = ((e_1/k_1) + (e_2/k_2))^{-1}$$

Donde:

U_b = pérdidas de calor en la base ($W/m^2\text{°C}$)

e_1 = espesor del aislante (m)

e_2 = espesor del cuerpo de la cocina (m)

k_1 = conductividad térmica del aislante ($W/m\text{°C}$)

k_2 = conductividad térmica del material de la cocina ($W/m\text{°C}$)

Las pérdidas de calor por el frente de la cocina son el resultado de la convección y radiación en la cubierta transparente (vidrio). Esas pérdidas se calculan en base a la correlación de Klein (Posada, 1994):

$$U_t = (N/(c/T_p) * ((T_p - T_a)/(N+F))^e) + 1/h_w + (T_p + T_a) * (T_p^2 + T_a^2) * ((E_p + 0.00591 N h_w)^{-1} + (2N + F - 1 + 0.133 E_p / E_v) - N)^{-1}$$

Donde:

U_t = pérdidas de calor por el frente.

h_w = coeficiente de convección por corrientes de vientos sobre placas planas ($W/m^2\text{°C}$)

B = ángulo de inclinación de la cocina

c = constante = $520(1 - 0.000051 B^2)$

e = constante = $0.43(1 - 100/T_p)$

N = número de cubiertas de vidrio

$$F = (1 + 0.089h_w - 0.1166E_{phw}) * (1 + 0.07866N)$$

E_v = emitancia del vidrio

E_p = emitancia de la placa de absorción

T_a = temperatura ambiente (K)

T_p = temperatura de la placa (K)

La temperatura de equilibrio de radiación de la placa absorbadora permite escoger el material adecuado para utilizarlo como absorbedor de la radiación solar. De tal manera, dicha temperatura se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación (Morillo, 1993):

$$(q/A)_s = \epsilon_s = \epsilon_b (T^4 - T_a^4)$$

Donde:

$(q/A)_s$ = flujo de calor solar (W/m^2)

ϵ_s = absorvencia solar

ϵ_b = absorvencia para baja temperatura

= Constante de Stefan-Boltzman (W/m^2K^4)

T = temperatura de equilibrio de la placa (K)

T_a = temperatura del aire (K)

Además de las cocinas solares, existen otros dispositivos para aprovechar la energía solar en aplicaciones importantes tales como: iluminación rural (Villalta, 1993), secado de arroz y frutas (Mejía, 1994), calentadores y destiladores de agua (Morillo, 1993), los cuales constituyen ejemplos de tecnologías que no produce contaminación ambiental.

Una aplicación de la energía solar es la generación de energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas. Los sistemas fotovoltaicos pueden usarse conectados a la red de energía eléctrica o en forma independiente en lugares remotos, es decir en lugares donde no existe servicio de electricidad. En este último caso los sistemas fotovoltaicos son económicos, incluso comparados con los precios actuales; en cam

bio, cuando los sistemas fotovoltaicos son conectados a la red comercial, son bastante caros en comparación con el costo de la energía eléctrica producida por medios convencionales (Villalta, 1993).

Según Villalta (1993), los sistemas fotovoltaicos pueden ser aplicados en las siguientes áreas:

- a) **Agricultura, ganadería y pesca:** bombeo de agua para abrevadero de ganado, bombeo de agua para regadillos, refrigeradoras para centros de inseminación, molinos de granos, congelamiento de pescado, empacado de frutas, etc.
- b) **Servicio social y comunitario:** bombeo de agua potable, fábrica de hielo, alumbrado público, televisión, desalinación de agua, etc.
- c) **Aplicaciones especiales:** luces de alerta, luces de emergencia en hospitales, estaciones sismológicas, señalizaciones marinas, repetidoras de señales, estaciones meteorológicas aisladas, etc.

La generación de energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos es una alternativa para resolver el problema energético nacional (Villalta, 1993).

El efecto fotovoltaico fundamentalmente consiste en la conversión de la energía que transportan los fotones de luz, incidentes sobre materiales semi-conductores convenientemente tratados, en energía eléctrica (Villalta, 1993).

Un especial tratamiento del material semi-conductor es necesario porque, en principio, la energía originalmente cedida por el fotón a los electrones del material semiconductor, es

tá destinada a convertirse en calor inútil, después de unos cuantos choques del electrón en su movimiento a través de la red atómica. La clave para producir una corriente eléctrica útil está en lograr extraer los electrones liberados fuera del material antes que éstos vuelvan a recombinarse con los "huecos" (lugares vacíos que dejan los electrones). Una forma de lograr ésto es mediante la introducción en el material semi-conductor de elementos químicos que contribuyan a producir un exceso de electrones y de huecos. Dichos elementos, que alteran significativamente las propiedades intrínsecas de los semi-conductores, se denominan "dopantes" y el proceso de incorporación al semi-conductor se llama "dopado". Un dopante adecuado para las celdas fotovoltaicas, que generalmente están constituidas por silicio, es el boro, el cual tiene un electrón de enlace menos que el silicio y, por lo tanto, puede unirse con sólo tres átomos de silicio, dejando un hueco en el lugar donde existiría el cuarto electrón de enlace en el caso de que el átomo fuese, al igual que los demás que lo rodean, también de silicio. La estructura así creada se denomina semi-conductor de tipo P (positivo) (Villalta, 1993).

Otro posible dopante para el silicio es el fósforo. En este caso, al tener un electrón de enlace más que el silicio y sustituir un átomo de fósforo por un átomo de silicio en la red cristalina, el electrón sobrante queda libre y el semi-conductor se llama tipo N (negativo) (Villalta, 1993).

Es importante mencionar que en ambos casos la carga eléctrica neta del cristal sigue siendo rigurosamente cero, ya que cada átomo de tiene igual número de protones que de electrones, manteniendo el equilibrio estático de la carga (Villalta, 1993).

De acuerdo a Villalta (1993), los componentes de un sistema fotovoltaico son:

- a) **Celdas fotovoltaicas:** es una unidad formada por un semiconductor P y un semiconductor N. Si en ambas regiones, la P y la N, se disponen adyacentes una a la otra, algunos de los electrones libres de la región N pueden difundirse hasta la zona P, atravesando la frontera entre ambas y ocupando los huecos libres de la misma. Así, la zona inmediata a la frontera de separación queda ahora cargada negativamente en el semiconductor P y positivamente en el N. Se crea así una típica unión P-N en la cual el campo eléctrico creado como consecuencia del paso de las cargas, antes mencionadas, establece una barrera de potencial que impide que el proceso de paso de electrones continúe indefinidamente. En estas condiciones, si incide la luz y los fotones comunican energía a los electrones, éstos pueden atravesar la barrera de potencial, y serán expulsados fuera del semiconductor a través de un circuito exterior, estableciéndose una corriente eléctrica. Los electrones, tras recorrer el circuito externo, vuelven a entrar en el semiconductor por la carga opuesta.
- b) **Panel solar:** Una celda individual solamente es capaz de proporcionar una tensión de algunas décimas de voltio (típicamente alrededor de medio voltio para células de silicio) y una potencia máxima de 1 ó 2 watts. Es preciso conectar en serie determinado número de células para producir las tensiones de 6, 12 ó 24 voltios, aceptadas en la mayor parte de las aplicaciones. Al conjunto así formado, convenientemente ensamblado y protegido contra los agentes externos se les denomina panel o módulo fotovoltaico.

La respuesta de un panel frente a la radiación solar la determina las células que lo forman, y se describe mediante los parámetros siguientes (Villalta, 1993):

- a) **Corriente de cortocircuito (i_{sc}).** Es la intensidad máxima de la corriente que se puede obtener de un panel bajo determinadas condiciones (generalmente normalizada). Correspondería a medir, mediante un amperímetro (de resistencia prácticamente nula) la corriente entre los bornes del panel sin ninguna otra resistencia adicional; esto es, provocando un cortocircuito.
- b) **Voltaje a circuito abierto (v_{oc}).** Es el voltaje máximo que se podría medir con un voltímetro, sin permitir que pase corriente alguna entre los bornes de un panel; es decir, en condiciones de circuito abierto (resistencia entre bornes infinita).
- c) **Corriente (i).** A un determinado voltaje (v), las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos. En la práctica, lo usual es que un panel produzca una determinada corriente eléctrica que fluye a través del circuito externo que une los bornes del mismo y que posee una determinada resistencia R . Si la diferencia de potencial entre los bornes es V , se dice que la corriente de intensidad i se produce a un voltaje V .
- d) **Potencia máxima (PM).** En unas condiciones determinadas la intensidad i tendrá un cierto valor comprendido entre 0 e i_{sc} , correspondiéndole un voltaje V que tomará un valor entre 0 y V_{oc} . Dado que la potencia es el producto del voltaje y la intensidad, ésta será máxima únicamente para un cierto par de valores i , V en principio desconocido. Se dice que un panel trabaja en condiciones de potencia

máxima cuando la resistencia del circuito externo es tal que determina unos valores de i_m y V_m tales que su producto sea máximo. Normalmente un panel no trabaja en condiciones de potencia máxima, ya que la resistencia exterior está fijada por las características propias del circuito.

e) **Eficiencia total del panel.** Es el cociente entre la potencia eléctrica producida por éste y la potencia de la radiación incidente sobre el mismo.

f) **Factor de forma (FF).** Es un concepto teórico útil para medir la forma de la curva definida por las variables i y V . Como se observa en la siguiente ecuación:

$$FF = P_M / (I_{sc} \cdot V_{oc}) = i_m \cdot V_M / (I_{sc} \cdot V_{oc})$$

9.2 SOLUCION DE PROBLEMAS. DE OPERACIONES UNITARIAS II,
 CON TEMATICA AMBIENTAL
 (Sans y de Pablo, 1989)

Los problemas desarrollados a continuación pueden ser utilizados en las siguientes unidades:

- Problema 1, unidad III.
- Problema 2, unidad VIII.

PROBLEMA 1

La industria licorera Lo Mejor S.A. necesita evacuar 3,785 l/h de agua a un río próximo a la planta. Para poder hacerlo debe disminuir la temperatura del efluente de 71°C a 35°C (evitando así la contaminación térmica que causa la muerte de diversas especies de peces por trastornos en su metabolismo), siendo el valor anterior el mínimo aceptado por la legislación vigente. Para lograr la variación de temperatura cuenta con un intercambiador de calor que evapora agua que entra a una presión de 1.0546 Kg/cm². ¿Qué cantidad de agua será necesario evaporar?

Solución:

Sea W la masa de agua a evaporar (Kg/h).

Calor entrando:

Entalpía del agua a 71°C = 291 BTU/Kg * 3785 l/h *
 1 Kg/H = 1,101,435 BTU/h

Entalpía de agua saturada a 1.0546 Kg/cm² = 399.16
 BTU/Kg * W

Total = (1,101,435 + 399.16 * W) BTU/h

Calor saliendo:

$$\begin{aligned} \text{Entalpía del agua a } 35^{\circ}\text{C} &= 138.805 \text{ BTU/Kg} * 3,785 \text{ H/h} * \\ 1 \text{ Kg/H} &= 525,376.925 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Entalpía del vapor a } 1.0546 \text{ Kg/cm}^2 &= 2,536.4 * W \text{ BTU/h} \\ \text{Total} &= (525,376.925 + 2,536.4 * W) \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

Igualando: Calor entrando = Calor saliendo

$$1,101,435 + 399.16W = 525,376.925 + 2,536.4 W$$

$$1,101,435 - 525,376.925 = (2,536.4 - 399.16) W$$

$$576,058.075 = 2,137.24 W$$

$$W = 576,058.075 / 2,137.24$$

$$W = 269.53 \text{ Kg/h}$$

PROBLEMA 2

Un ingeniero, en una planta productora de abonos, planea utilizar un evaporador con 50 cm^2 de superficie calentante para concentrar un desperdicio coloidal que contiene de 10 a 45% p/p de sulfatos. El propósito es tratar los lodos obtenidos de manera eficaz. Se puede obtener vapor seco a 0.8 Kg/cm^2 de presión manométrica, y establecerse un vacío de 66 cm de mercurio (manómetro) en el espacio de vapor. El desperdicio no concentrado tiene una temperatura de ebullición cercana a la del agua. La temperatura del desperdicio al ser suministrado al evaporador es de 54.4°C , mientras que la temperatura de salida del condensado es de 87.8°C . Las condiciones de operación son tales que se tiene un coeficiente completo de transferencia de calor de $11,610 \text{ BTU/h (m}^2)^{\circ}\text{C}$. a) ¿En qué cantidad puede ser concentrado el desperdicio en una operación de simple efecto? b) ¿En qué cantidad debe suministrarse el vapor?

Solución:

a) Cantidad de desperdicio que puede ser concentrado.

Efectuando Balance de masa:

Masa de sólidos que entra: 0.1 A

Masa de agua que entra: 0.9 A

1.0 A Kg/h

Masa de sólidos en el licor de salida: 0.1 A

Masa de agua en el licor:

0.1 A * 55/45: 0.122 A

Masa de agua como vapor:

(0.9 - 0.122) A: 0.778 A

1.0 A Kg/h

Por las condiciones del problema, la capacidad del evaporador es:

$$q_e = \Delta U \Delta T = 50 * 11,610 (115.16 - 54.4) \\ = 35.27 \times 10^6 \text{ BTU/h}$$

En el equilibrio, el calor transferido será igual al requerido por la vaporización de 0.778 A Kg/h de agua a una temperatura de 54.4°C. Entonces:

$$0.778 A * 2248.08 = 35.27 \times 10^6 \\ A = 20165.73 \text{ Kg/h}$$

La cantidad de desperdicio que puede ser concentrado es 20,165.73 Kg/h

b) Cantidad de vapor suministrado.

De tablas de vapor:

Entalpía del vapor seco a 0.8 kg/cm² de presión manométrica (1.83 Kg/cm² de presión absoluta) :

2,559.58 BTU/Kg

Entalpía del condensado a 87.8°C es: 348.12 BTU/Kg
 Sea W = vapor suministrado

Luego:

$$(2,559.58 - 348.12) W = 35.27 \times 10^6$$

$$W = 35.27 \times 10^6 / 2211.46$$

$$W = 15,948.74 \text{ Kg/h}$$

PROBLEMA 3

En El Salvador, la leña proporciona aproximadamente un 43% de la energía primaria que consume el país (Posada, 1994). Esta situación implica que la personas, particularmente en el área rural, deben recurrir a la tala de árboles para satisfacer sus necesidades de energía.

Sin embargo, el uso de dispositivos como las cocinas solares es una alternativa viable para sustituir, en parte, el uso de leña para la cocción de alimentos. Con ello se protegería el recurso flora y se reduciría la contaminación del aire - que genera el humo proveniente de la quema de la leña.

Para la construcción de una cocina solar se requiere conocer la temperatura de equilibrio para una placa expuesta a un flujo solar de 700 W/m^2 y a una temperatura de 25°C. Se asume que la placa está pintada con una laca negra.

Solución:

En equilibrio radiante, la energía absorbida del sol debe igualar el intercambio de radiación con el medio, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$(q/A)_S * \alpha_S = \alpha_m * \sigma * (T^4 - T_m^4)$$

Donde las absorbencias solares y del medio son:
 $\alpha_s = 0.96$ y $\alpha_m = 0.95$, respectivamente.

La constante de Stefan-Boltzmann es $5.669E-8$ ($W/m^2 K^4$).
 Con estos datos es posible encontrar la temperatura de equilibrio de la placa, de forma que:

$$(700)*(0.96) = (0.95) * (5.669E-8) * (T^4 - 298^4)$$

$$672 = 5.3855E-8 * (T^4 - 7471182096)$$

Igualando a cero y realizando iteraciones sucesivas, se tiene que:

$$0 = 5.3855E-8 * (T^4 - 7471182096) - 672$$

De donde el valor de la temperatura de equilibrio es:

$$T = 377.76 \text{ K} = 104.8^\circ\text{C}$$

CAPITULO X
REVISION DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA OPERACIONES
UNITARIAS III Y PROPUESTA DE INCLUSION DE TEMAS RELACIONADOS
CON EL MEDIO AMBIENTE

10.0 PROGRAMA DE ASIGNATURA

I. GENERALIDADES.

Asignatura: Operaciones Unitarias III Prerrequisito: Operaciones Unitarias II y Termodinámica Química II Código: OPU-315 U.V.: 5 Plan de Estudios: 1978 Reformado Ciclo: I Año Académico: _____ Profesor: _____ Instructor: _____

II. SYLLABUS.

Introducción a las operaciones con transferencia de masa. Fundamentos del equilibrio de fase. Difusión de coeficientes de transferencia de masa. Transferencia de masa en la interfase y operaciones por etapas de equilibrio. Operaciones de humidificación. Secado. Adsorción de Gases. Destilación. Extracción líquido-líquido y sólido-líquido. Procesos de separación misceláneos.

III. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Que el estudiante obtenga un conocimiento técnico de los fenómenos de transferencia masa así como las principales operaciones unitarias basados en tales fenómenos: Cálculos de los sistemas en donde dichas operaciones se desarrollen y el equipo vinculado con ellos.

IV. CONTENIDO PROGRAMATICO.

UNIDAD I: Fundamentos de la Transferencia de Masa.

Objetivos Específicos.

- a. Conozca el concepto de transferencia de masa y el de proceso de separación.
- b. Identifique las principales operaciones con transferen-

cia de masa y su importancia en la industria de procesos químicos.

Contenido.

- 1.1 Concepto de transferencia de masa y de procesos de separación.
- 1.2 Principales operaciones con transferencia de masa.
- 1.3 Importancia y aplicaciones de las operaciones con transferencia de masa.

UNIDAD II: Fundamentos del Equilibrio de Fases.

Objetivos Específicos.

- a. Que el estudiante refresque sus conocimientos sobre equilibrio de fases.

Contenido.

- 2.1 Fundamentos. Ley de las fases. Equilibrio vapor líquido.
- 2.2 Soluciones. Ley de Raoult Azeotropía-Volatilidad.
- 2.3 Diagrama H-x, diagramas ternarios.

UNIDAD III: Difusión y Coeficientes de Transferencia de Masa.

Objetivos Específicos.

- a. Comprenda los fenómenos de transferencia de masa por difusión molecular y otros mecanismos.
- b. Calcule la razón de transferencia de masa por difusión molecular para diferentes casos.

- c. Estime la difusividad para gases y líquidos.
- d. Calcule coeficientes de transferencia de masa para diferentes geometrías.
- e. Realice cálculos sobre torres de pared mojada.

Contenido.

- 3.1 Fundamentos. Difusividad y Ley de Fick.
- 3.2 Difusión en gases, líquidos y sólidos.
- 3.3 Estimación de la difusividad para gases y líquidos.
- 3.4 Coeficientes de transferencias de masa. Teorías.
- 3.5 Analogías y correlaciones para la estimación de coeficientes de transferencias de masa.
- 3.6 Torres de pared mojada.

UNIDAD IV: Transferencia de Masa en la Interfase y Operaciones por Etapas de Equilibrio.

Objetivos Específicos.

- a. Establezca la diferencia entre coeficientes de transferencia de masa individuales y totales y realice cálculos utilizando diferentes fuerzas guiadoras.
- b. Conozca y comprenda los métodos de cálculo que emplean los conceptos de etapas de equilibrio y similares. Pueda aplicarlos para la solución de problemas en transferencia de masa.

Contenido.

- 4.1 Coeficiente de transferencia de masa individuales y totales.
- 4.2 Principios de las etapas de equilibrio.
- 4.3 Balanceo y método gráfico.

UNIDAD V: Operaciones de Humidificación.Objetivos Específicos.

- a. Conozca y comprenda la teoría y fundamentos de las operaciones de humidificación.
- b. Adquieran las bases para calcular operaciones de enfriamiento de agua, secado, deshumidificación, aire acondicionado, etc.

Contenido.

- 5.1 Definiciones. Uso de la carta psicrométrica.
- 5.2 Temperatura de Bulbo húmedo y de saturación adiabática.
- 5.3 Ecuaciones de diseño para torres de enfriamiento de agua y de humidificación de aire o gases.

UNIDAD VI: Secado.Objetivos Específicos.

- a. Comprenda la teoría y fundamentos de las operaciones de secado de sólidos.
- b. Sepa realizar cálculos básicos para operaciones de secado continuos o por lote.

Contenido.

- 6.1 Fundamentos y definiciones. Mecanismos.
- 6.2 Equipos de secado. Cálculos.

UNIDAD VII: Absorción de Gases.Objetivos Específicos.

- a. Comprenda la teoría y cálculo de operaciones de absorción y desorción de gases.
- b. Sepa calcular columnas de platos y empacados.
- c. Conocer la importancia de la absorción de gases en el control de la contaminación.

Contenido.

- 7.1 Fundamentos. Balances.
- 7.2 (L/G) mínimo, factor de absorción.
- 7.3 Cálculos para columnas de platos y columnas empacadas, método de las unidades de transferencia y métodos gráficos.
- 7.4 Equipo para absorción de gases. Empaques, inundación. Cálculo de diámetro de la torre.
- 7.5 Absorción de gases en el control de la contaminación.

UNIDAD VIII: Destilación.Objetivos Específicos.

- a. Conozca y comprenda los fundamentos teóricos y métodos de cálculo de la destilación binaria, ya sea esta por lotes o continua.

- b. Conozca los elementos de la destilación multicomponente.

Contenido.

- 8.1 Fundamentos.
- 8.2 Destilación instantánea (flash).
- 8.3 Destilación continua (sistemas binarios).
- 8.4 Cálculos, métodos de McCabe & Thiele, método de Poncchon y Savarit.
- 8.5 Eficiencia en destilación. Elementos de destilación multicomponente.
- 8.6 Equipo para destilación.

UNIDAD IX: Extracción Líquido-líquido y Sólido-líquido.

Objetivos Específicos.

- a. Comprenda las operaciones unitarias de extracción líquido-líquido y sólido-líquido, incluyendo aspectos de teorías, cálculos y equipo.

Contenido.

- 8.1 Fundamentos y balances.
- 8.2 Métodos de Cálculo.
- 8.3 Equipo.

UNIDAD X: Procesos de Separación Misceláneos, lixiviación, adsorción y cristalización.

Objetivos Específicos.

- a. Obtenga un conocimiento básico de diversos procesos de separación no cubiertos en el curso.
- b. Investigue sobre otras operaciones de transferencia de masa y pueda comunicar el resultado de su investigación a sus compañeros.
- c. Valorar la importancia del fenómeno de adsorción en el control de emisiones y efluentes contaminantes.

Contenido.

10.1 Adsorción en el control de la contaminación.

V. METODOLOGIA.

1. Transmisión de conocimientos: Clase expositiva (4 hrs/semana).
2. Desarrollo de criterios:
 - a. Discusión de problemas (2 hr/semana).
 - b. Investigación formativa (desarrollo de trabajo ex-aula práctico y/o bibliográfico).

VI. SISTEMA DE EVALUACION.

La evaluación se realizará mediante la administración de exámenes parciales, exámenes corots de discusión y presentación de trabajos de investigación, cuya distribución porcentual será como sigue:

| | |
|----------------------------------|-----------|
| - Cuatro exámenes parciales..... | 75% |
| - Exámenes de Discusión..... | 10% |
| - Trabajos de investigación..... | 10% |
| - Laboratorios..... | <u>5%</u> |
| TOTAL..... | 100% |

VII. BIBLIOGRAFIA.

1. Treybal, R.E. "Mass Transfer Operations", 2a. Edición McGraw-Hill Book Co. 1968 (existe traducción de la 3a. edición).
2. McCabe, W.L. & J.C. Smith. "Unit Operations of Chemical Engineering", Edición McGraw-Hill Book Co. 1967 (2a Edición) 1976 (3a. Edición).
3. Foust A.S., L.A. Wenzel y otros autores, "Principles de Unit Operations", John Willey & Sons, 1960 (hay además una 2a edición) 1980.
4. King C.J. "Separation Processes", McGraw-Hill Co. New Delhy, 1971.
5. Anthony L. Hines & Robert N. Maddox. "Transferencia de Masa (Fundamentos y Aplicaciones)", Prentice Hall, México 1987.
6. Sherwood T.R. y R.L. Pigford. "Absorption and Extrac - tion". McGraw-Hill, Book Co. 1952.
7. Sherwood T.K.R.K., Pigford, C.R. Wilke. "Mass Transfer" McGraw-Hill Book Co, 1975.
8. Coulson, J.J. Ricardson J.F. "Ingeniería Química", 3a. Edición, Reverte, S.A. Barcelona. 1979.
9. Bird R.B., Steward W.E., E. M. Light Foot, "Transport Phenomena", John Wiley & Sons. 1960.
10. Treybal, R.L. "Extracción de Fase Líquida", 2a. Edición Editorial Uteha, México, 1968.

11. Charles D. Holland "Fundamentos de Destilación de Mezclas Multicomponentes", Limusa, México, 1988.
12. Perry, T.H. & Green D. "Perry's Chemical Engineers Handbook", McGraw-Hill, Book Co. 6a. Edición.

10.1 TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE SUGERIDOS PARA EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA OPERACIONES UNITARIAS III

10.1.1 ABSORCION EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACION.

(Unidad VII. Dos horas clase)

El control de algunos tipos de fuentes contaminantes requiere el contacto de éstos con un líquido limpiador. En general, las sustancias indeseables son solubles en una fase líquida determinada (Sans y de Pablo, 1989).

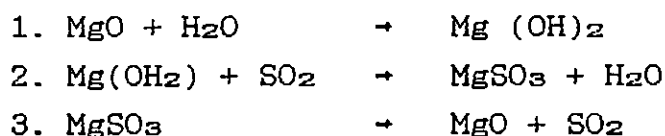
En el fenómeno de absorción los gradientes de concentración entre el líquido y el gas, sirven como fuerzas impulsoras. Ocurre entonces que la especie contaminante se transfiere desde la corriente de gas hacia la interfase entre el líquido y el gas por movimientos turbulentos (Treybal, 1988).

Muy cerca de la interfase, el movimiento del fluido es prácticamente laminar y el contaminante hará su recorrido por difusión. Luego, la especie se difunde en dirección al volumen principal del líquido (Warner y Wark, 1990).

Una vez explicado, a grandes rasgos, el fenómeno de absorción puede decirse que tiene diversas aplicaciones, principalmente en el control de gases contaminantes. Entre algunas de las aplicaciones se tienen el control contaminantes del aire, tales como la absorción del CO_2 a partir de una solución acuosa de etanolaminas; del SO_2 , para el cual usualmente se emplean soluciones de sales de amonio o de sodio. La ventaja de las soluciones de sodio es relativa a la volatilidad respecto a las de amonio. Sin embargo, la ventaja de las últimas es que se forma sulfato de amonio, el cual es utilizado ampliamente en la industria de fertilizantes (Peavy et

al, 1985). También se emplean lechadas de piedra caliza en agua con el propósito de controlar las emisiones de SO₂.

Un proceso especial para la recuperación de bióxido de azufre consiste en la absorción utilizando óxido de magnesio, de acuerdo a las siguientes reacciones:



En la primera reacción, se pone al óxido en contacto con el agua para formar hidróxido de magnesio. Luego se pone en contacto el hidróxido formado con la corriente de dióxido de azufre, como se ve en la reacción dos. Por último, se somete el sulfato de magnesio a calcinación para regenerar al óxido de magnesio. La finalidad de este proceso es concentrar el flujo de SO₂ que puede utilizarse para reincorporarlo a un proceso de fabricación de fertilizantes o de ácido sulfúrico.

Una cuestión de importancia al momento de escoger un sistema de absorción, consiste en la selección del solvente adecuado, cuyas características se mencionan a continuación (Barra, 1987):

- Baja toxicidad.
- Relativamente no volátil.
- Costo razonable.
- Químicamente estable.
- No corrosivo.
- Fácil manipulación.
- Alta solubilidad del gas.
- Baja viscosidad.

Sin embargo, también es importante hacer otras consideracio-

nes respectivas al sistema de absorción, tales como las propiedades del gas que se quiere controlar, la temperatura del sistema, la velocidad de flujo, el tipo de equipo, etc.

Respecto al tipo de equipo, puede mencionarse que existe una gran variedad de éstos según la aplicación a que se destinan. Entre las unidades de absorción más utilizadas se tienen (McCabe et al, 1991; Peavy et al, 1985):

- a) **Torres de aspersion.** Son equipos diseñados para manejar grandes volúmenes de gas y tienen una eficiencia relativamente alta, especialmente cuando se trabaja con bajas concentraciones del contaminante. Su costo de instalación y manejo es muy razonable. Tienen la desventaja de poseer un área interfacial menor comparada con otros absorbedores. Véase la figura 10.1. Un ejemplo de aplicación de este tipo de torre es la eliminación del SO_2 producido en las plantas de ácido sulfúrico (De Lora y Miro, 1979).
- b) **Torres de platos.** Son equipos que poseen platos o charolas en su interior, los cuales aumentan el área interfacial entre el gas y el líquido, mejorando la eficiencia de absorción. La figura 10.2, muestra un esquema típico de torre de platos, donde el disolvente entra en la parte superior y fluye en forma descendente por gravedad. En el trayecto, fluye hacia los platos inferiores por medio de un conducto. El gas contaminante fluye a través de orificios en el plato. De manera que el resultado es un contacto íntimo entre las fases que permite no sólo la separación del contaminante gaseoso, sino que también la de partículas que lo acompañen.
- c) **Torres de relleno.** Son dispositivos cilíndricos en cuyo interior se encuentra una masa de cuerpos sólidos iner -

tes, cuyo objetivo es mejorar el contacto entre fases para lograr una mayor eficiencia de remoción. En la figura 10.3, puede observarse la representación de una torre de relleno. En estos equipos, el disolvente, al igual que en las torres de platos, entra en la parte superior de la torre mediante un distribuidor.

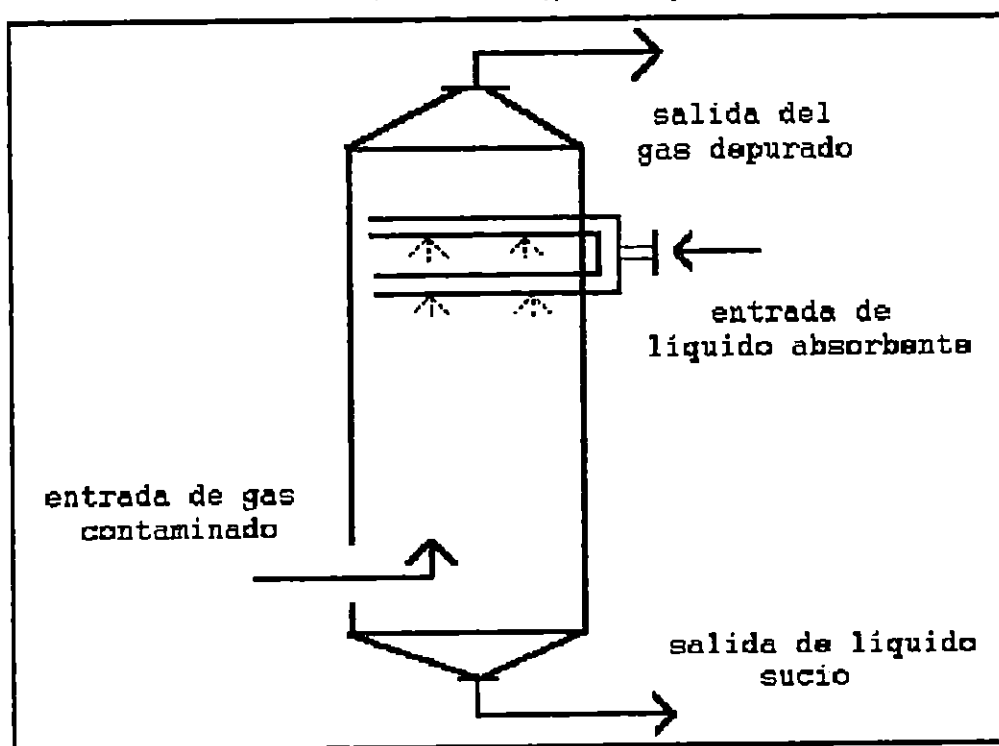


FIGURA 10.1. TORRE DE ASPERSION PARA ABSORCION DE GASES
FUENTE: BARRERA (1987)

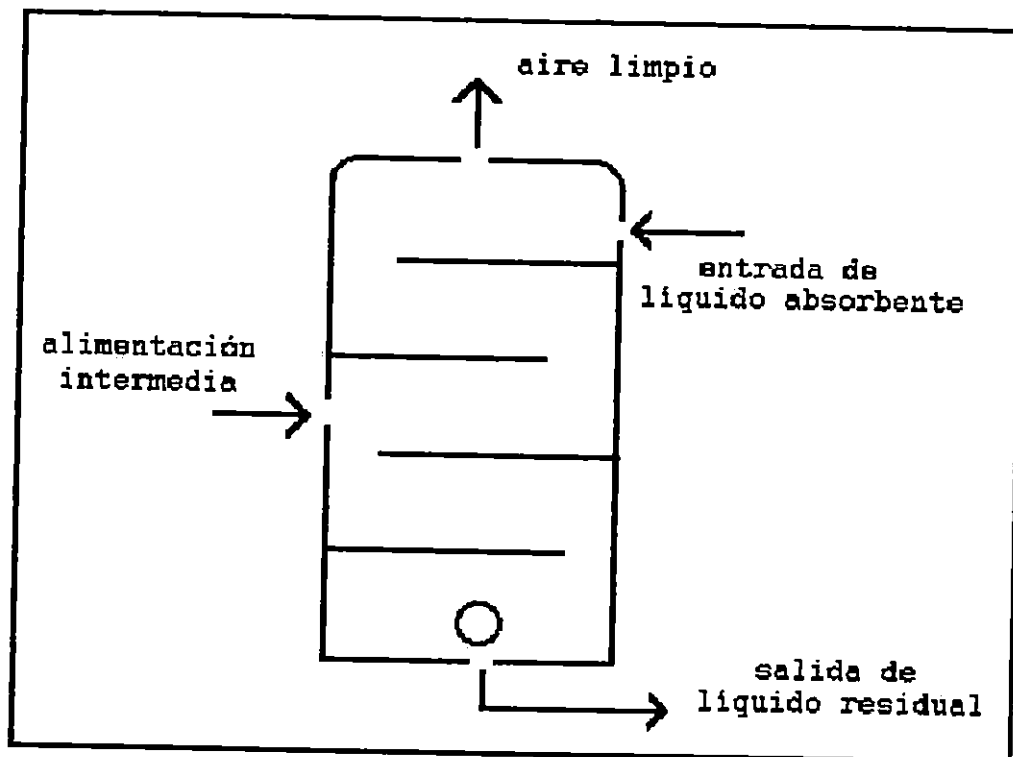


FIGURA 10.2. TORRE DE PLATOS PARA ABSORCIÓN DE GASES
FUENTE: TREYBAL (1968)

El aire y el gas contaminante ascienden a través de los intersticios del relleno en contracorriente con el líquido. De forma que el líquido arrastra al gas contaminante hacia la parte inferior de la torre y el aire limpio sale por la parte superior de la torre. En estos equipos es posible alcanzar altas eficiencias de remoción. Este tipo de torre es empleado en la eliminación de NO_2 en el proceso de elaboración de ácido nítrico y de amoníaco.

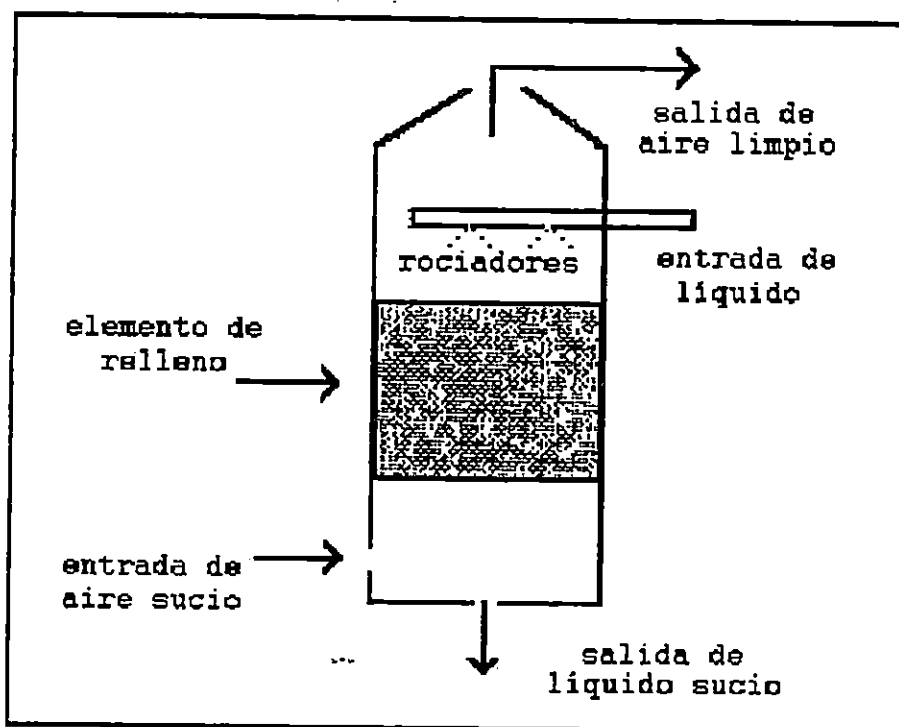


FIGURA 10.3 TORRE EMPACADA PARA ABSORCIÓN DE GASES
FUENTE: BARRERA (1987)

10.1.2 ADSORCION EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACION.

(Unidad X. Una hora clase)

La adsorción es un fenómeno por medio del cual los gases, vapores o líquidos, se concentran en un sólido como resultado de interacciones físicas o químicas (Sans y de Pablo, 1989).

En el caso de las interacciones físicas, actúan fuerzas intermoleculares que retienen al contaminante en el sólido, con la ventaja de poder revertir la operación. Por el contrario, las interacciones químicas retienen al gas o al líquido unido fuertemente al sólido, haciendo la operación irreversible. En la práctica, se prefiere que la operación sea de carácter reversible (Sans y de Pablo, 1989).

En el caso de las operaciones de adsorción, se explota la capacidad especial que poseen ciertos materiales para lograr que determinadas sustancias se concentren en la superficie de éstos, haciendo posible la separación de contaminantes.

Actualmente la adsorción tiene diversas aplicaciones industriales y usos destinados al control de la contaminación producida por gases o líquidos. En el control de la contaminación se destina según Peavy et al (1985):

- a) Purificación de gases, como la del SO_2 a partir de carbón activado.
- b) Control de olores desagradables.
- c) Eliminación de impurezas en productos alimenticios.
- d) Eliminación de humedad en la gasolina.
- e) Separación de componentes orgánicos en aguas residuales.
- f) Recuperación de solventes, difícilmente separables por destilación.

- g) Control de gases de combustión.
- h) Recuperación de material valioso.

Sin embargo, a pesar de las diversas aplicaciones mencionadas, debe aclararse que cada aplicación puede requerir el uso de un material adsorbente en particular, que tenga afinidad preferencial por sustancias específicas, por ejemplo el carbón activado, tiene propiedades superiores para la adsorción de vapores orgánicos no polares, mientras que la bauxita tiene una adsorción preferencial por contaminantes polares. En ese sentido, el cuadro 10.1, menciona algunos adsorbentes de importancia y sus respectivas aplicaciones.

Además de la adsorción específica por ciertos compuestos, un adsorbente debe poseer una gran área superficial por unidad de peso del adsorbente, la cual puede mejorarse a través de tratamientos térmicos y/o químicos, para ser utilizado en diferentes tipos de equipo para adsorción.

Entre los diferentes tipos de equipos adsorbedores se tienen según McCabe et al (1991):

- a) **Adsorbedores de lecho fijo.** Son equipos donde las partículas se colocan en lechos de espesor variable, soportado sobre una placa perforada. Este equipo se utiliza para la adsorción de vapores de disolventes. La figura 10.4, muestra un equipo para adsorción de disolventes.
- b) **Adsorbedores de tanque agitado.** Son equipos alternativos para el tratamiento de aguas residuales. Estos consisten en un tanque con agitadores mecánicos o inyectores de aire, a los que se añade carbón en polvo para realizar la

adsorción de trazas de contaminantes. En la figura 10.5, se puede observar un dispositivo de tanque agitado.

CUADRO 10.1 ADSORBENTES DE USO COMUN Y SUS APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

| Adsorbente | Aplicación |
|------------------------------|---|
| Tierra de Fuller | Neutralización de productos del petróleo. |
| Bauxita | Deshidratación de gases. Decoloración de fluidos. |
| Carbón de hueso | Decoloración de Soluciones de Azúcar. |
| Silica Gel | Purificación de gases. |
| Sulfato de Estroncio | Remoción de impurezas en soluciones. |
| Alumina | Purificación de gases y líquidos. |
| Tamiz Molecular | Recuperación y control de SO ₂ , NO _x , Hg. Deshidratación de alcohol etílico. |
| Carbón Decolorante | Purificación de Agua. Control de Cianuros. |
| Carbón Adsorbente de vapores | Protección contra vapores de solventes. |

FUENTE: PEAVY ET AL (1985).

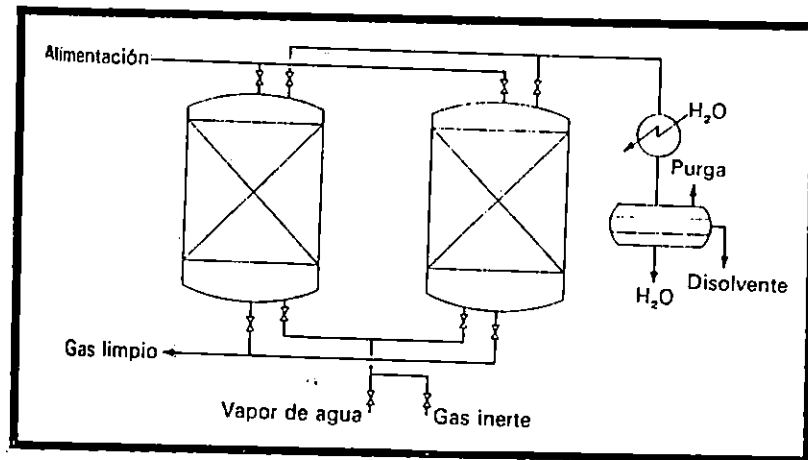


FIGURA 10.4. ADSORBEDOR DE LECHO FIJO
FUENTE: McCABE ET AL (1991)

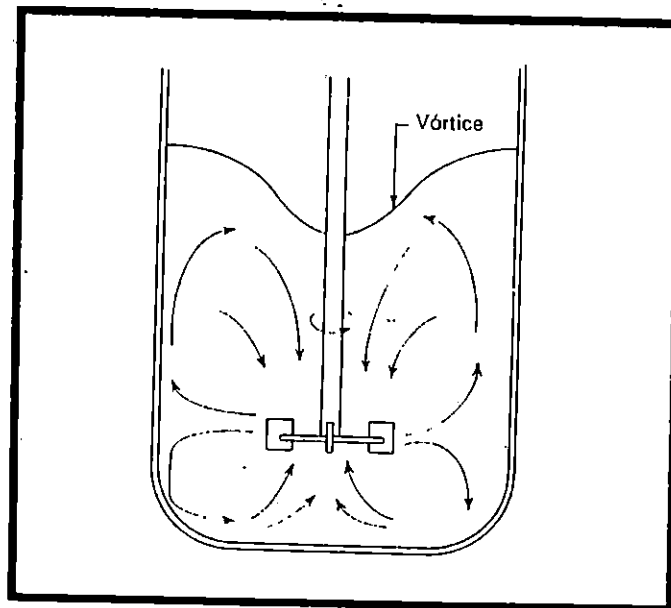


FIGURA 10.5. ADSORBEDOR DE TANQUE AGITADO
FUENTE: McCABE ET AL (1991)

c) **Adsorbedores continuos.** La adsorción a partir de una corriente líquida o gaseosa puede realizarse haciendo circular al sólido, en contracorriente con el flujo del fluido, como resultado da una eficiente utilización del adsorbedor, éstos equipos podrían alcanzar un uso mayor en instalaciones de gran tamaño.

Existen diversas operaciones unitarias de transferencia de masa que pueden emplearse en el control de la contaminación, el cuadro 10.2 muestra algunas de ellas con sus aplicaciones.

CUADRO 10.2. OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA EMPLEADAS EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACION

| OPERACION | APLICACION |
|----------------|--|
| Absorción | Control del CO ₂ por solución acuosa de etanolamina |
| Adsorción | Purificación del SO ₂ a partir de carbon activado |
| Destilación | Recuperación de solventes |
| Cristalización | Recuperación de sales de CuSO ₄ |
| Disolución | Lodos de desecho que contienen arsénico |
| Secado | Recuperación de sulfato de amonio de lodos de desecho |

10.2 SOLUCION DE PROBLEMAS DE OPERACIONES UNITARIAS III,
CON TEMATICA AMBIENTAL

(Sans y de Pablo, 1989; Treybal, 1988).

Los problemas presentados a continuación pueden emplearse en las siguientes unidades:

- Problema 1, unidad IX.
- Problema 2, unidad VI.
- Problema 3, unidad VII.

PROBLEMA 1

Se piensa a emplear un extractor a contracorriente para disolver un lodo de desecho que contiene 2% de arsénico como sustancia contaminante, 13% de sólidos inertes y 85% agua. Se va a utilizar agua como solvente, inicialmente libre de arsénico, en cantidades iguales al doble del peso del lodo.

Estudios preliminares indican que el flujo inferior del equipo contendrá cerca de 6 Kg de solución/Kg de sólidos inertes/h. Se desea remover un 99% del arsénico, calcule las cantidades de masa entrando y saliendo para lograrlo (véase la figura 10.6).

Se desea evacuar el lodo tratado en una laguna de 25,000 m³ cuya agua sirve para la agricultura y la industria (ver cuadro 5.12), determine si la concentración del arsénico está de acuerdo con la norma de 5 ppm (ver cuadro 5.12) ¿Cree que es posible optimizar el proceso?

Solución:

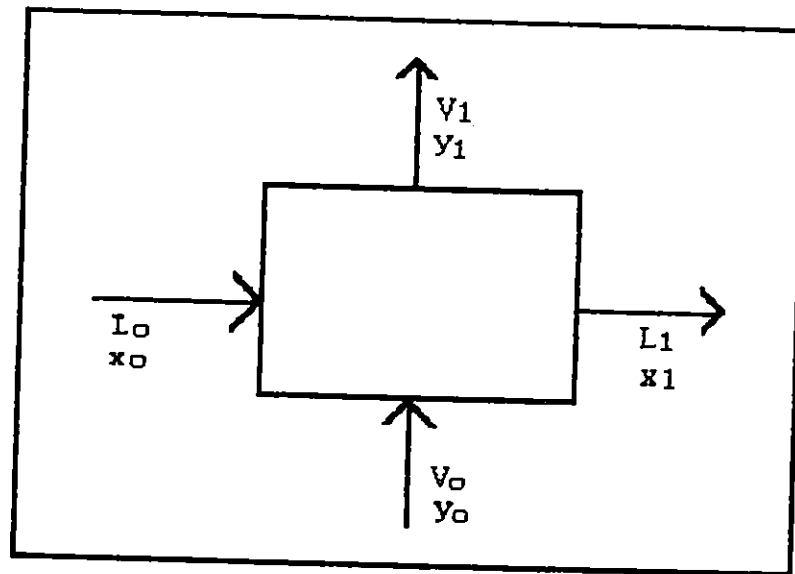


FIGURA 10.6. ESQUEMA PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA 1

Donde:

L_o = flujo de la fase con inertes a la entrada.

L_1 = flujo inferior de fase con inertes.

V_o = Flujo de la fase sin inertes a la entrada.

V_1 = flujo superior de la fase sin inertes.

Base: 6 Kg solución (arsénico+agua)/Kg sólidos inertes/h

- a) Materiales de entrada en flujo con inertes (L_o).
- Masa de Inertes = 1.0 Kg
- Masa de agua = $85/13 = 6.5385$ Kg
- Masa de arsénico = $2/13 = 0.1538$ Kg
- Masa total en $L_o = (1.0 + 6.5385 + 0.1538)$ Kg = 7.6923 Kg
- b) Masa de agua en V_o .
- Masa de agua = $2 * 7.6923$ Kg = 15.3846 Kg.
- c) Masa total entrando = $(7.6923 + 15.3846)$ Kg = 23.0769 Kg
- d) Materiales de salida en corriente inferior (L_1).
- Masa de arsénico = $0.1538 - (99/100 * 0.1538) = 0.0015$ Kg
- Masa de agua = $(6 - 0.0015)$ Kg = 5.9985 Kg
- Masa de inertes = 1.0 Kg
- Masa total en $L_1 = (1.0 + 5.9985 + 0.0015)$ Kg = 7.0 Kg
- e) Materiales de salida en corriente superior V_1
- Masa de arsénico = $(0.1538 - 0.0015)$ Kg = 0.1523 Kg
- Masa de agua = $(6.5385 + 15.3846) - 5.9985 = 15.9246$ Kg
- Masa total en $V_1 = (0.1523 + 15.9246)$ Kg = 16.0769 Kg
- f) Masa total saliendo = $(7.0 + 16.0769)$ Kg = 23.0769 Kg
- g) En la corriente inferior L_1 (literal d) se tienen:
0.0015 Kg de arsénico.

Al calcular la concentración en la laguna obtenemos un valor de 6×10^{-3} ppm. La concentración es mucho más baja de lo requerido, por lo tanto, es posible considerar parámetros de procedimientos que conlleven a emplear menor cantidad de agua como disolvente, aumentando la eficiencia del proceso.

PROBLEMA 2

Se quiere recuperar el sulfato de amonio de un lodo que contiene dicha sal, con el propósito de reciclarlo. Para ello es necesario disminuir primero su humedad. Un secador rotatorio a contracorriente con aire caliente, se va a utilizar para reducir dicha humedad del 50 a 10%. El secador tiene 2.70 m de diámetro y 22.4 m de longitud. Se calentará aire atmosférico de 25°C (con 50% de humedad), hasta 70°C antes de que entre al secador, y piensa descargarse a 35°C . El sólido va a entrar a 25°C y se espera descargar a 50°C . Se introducirán 906 Kg de producto por hora. El coeficiente combinado de transferencia de calor es $14 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Determine la carga calorífica del secador para la reducción del contenido de humedad del sólido.

Solución:

Cálculo de humedad en el sólido.

$$X_1 = 50/(100 - 50) = 1.02 \text{ Kg agua/Kg sólido seco}$$

$$X_2 = 10/(100 - 10) = 0.11 \text{ Kg agua/Kg sólido seco}$$

$$\text{La masa de sólido seco será: } S_s = 906(1 - 0.11) = 806.34 \text{ Kg sólido seco/h}$$

$$\text{Rapidez de secado: } 806.34(1.02 - 0.11) = 733.77 \text{ Kg agua e vaporada/h}$$

A 25°C y 50% de humedad, la humedad absoluta del aire es $Y_2 = 0.010$ Kg agua/Kg aire seco. La temperatura de entrada del gas es $t_{g2} = 70^\circ\text{C}$.

Si $t_o = 0^\circ\text{C}$, la entalpía del aire que entra al secador es:

$$H'_{g2} = (1,005 + 1,884 Y_2) * t_{g2} + 2,502,300 (Y_2)$$

$$H'_{g2} = (1,005 + 1,884 (0.01)) * 70 + 2,502,300 * 0.01$$

$$H'_{g2} = 96,691.8 \text{ J/Kg aire seco}$$

Para el aire saliente:

$$H'_{g1} = (1,005 + 1,884 (0.01)) * 35 + 2,502,300 (Y_1)$$

$$H'_{g1} = 35,834.4 + 2,504,300 Y_1$$

La capacidad calorífica del sulfato de amonio seco es: $C_s = 1,507$ J/Kg K y la del agua es $4,187$ J/Kg K. Se toma $t_o = 0^\circ\text{C}$. Como $t_{s1} = 25^\circ\text{C}$ y $t_{s2} = 50^\circ\text{C}$, las entalpías del sólido seco son:

$$H_s = C_s (t_s - t_o) + XC \text{ agua } (t - t_o)$$

La entalpía del sólido a la entrada es:

$$H'_{s1} = 1,507(25 - 0) + 1.02 (25 - 0)$$

$$H'_{s1} = 37,700 \text{ J/Kg sólido seco}$$

La entalpía del sólido a la salida es:

$$H'_{s2} = 1,507 (50 - 0) + 0.11 (50 - 0)$$

$$H'_{s2} = 75,355.5 \text{ J/Kg sólido seco}$$

Calculando la Δt promedio.

$$\Delta t = [(70 - 25) + (35 + 25)]/2 = 27.5^\circ\text{C}$$

La transferencia de calor a los alrededores (pérdida) será:

$$q_h = UK A \Delta t$$

$$q_h = 14 * 3600 * 22.4 * 2.7 * 27.5$$

$$q_h = 263,344.883 \text{ K J/h}$$

Efectuando un balance de humedad:

$$S_s (X_1 - X_2) = G_s (Y_1 - Y_2)$$

$$806.34 (1.02 - 0.11) = G_s (Y_1 - 0.010)$$

$$733.77/G_s + 0.010 = Y_1$$

Haciendo balance de entalpías:

$$S_s H'_{s1} + G_s H'_{s2} = S_s H'_{s2} + G_s H'_{s1} + Q$$

$$806.34(37,700.5) + G_s (96,691.8) = 806.34(75,355.5) +$$

$$G_s (35,834.4 + 2,504,300 Y_1) + 263,344,883$$

Efectuando llegamos a:

$$60857.4 G_s - 2504300 Y_1 * G_s = 293707615.7$$

Sustituyendo Y_1 :

$$G_s = 59509.24 \text{ Kg aire seco/h}$$

La entalpía del aire fresco es 56kJ/Kg aire seco. La carga calorífica del secador será:

$$q = 59509.24 (96691.8 - 56000)$$

$$q = 2421538.092 \text{ kJ/h}$$

PROBLEMA 3

Se quiere diseñar una torre empacada para eliminar el 95% del amoníaco de una mezcla de 8% de amoníaco y 92% de aire - en volumen. El gasto de la mezcla de gas que entra a la torre a 68°F y 1 atm es de 80 moles/h. El solvente ha de ser - agua que no contenga amoníaco; se utilizarán anillos raschig de cerámica de 1 pulgada, como empaque. La torre deberá operar a 60% del punto de inundación, y el gasto de agua será - 30% mayor que el gasto mínimo. La viscosidad del agua a 68°F es 1 centipoise, la condición de inundación es 0.20, con $F = 155$ para todo el problema. Determínese:

- a) Los gastos de la fase gaseosa, en lbmol por hora, para el soluto y el gas transportador.
- b) Los cocientes molares de las fases gaseosa y líquida a la entrada y salida, y el gasto requerido de agua, en lbmol por hora.
- c) Los gastos de líquido y gas, en libras por hora, para el gas transportador, gas soluto, líquido solvente, soluto en el líquido y el líquido total.
- d) El área y diámetro de la torre.

Solución:

- a) Si se usa el símbolo A para representar el amoníaco, se tiene que:

$$G_{a,c} = 0.92 * 80 = 73.60 \text{ lbmol/h}$$

$$G_{a,1} = 0.08 * 80 = 6.40 \text{ lbmol/h}$$

$$\Delta G_A = 0.95 * 6.40 = 6.08 \text{ lbmol/h}$$

$$G_{a,2} = 0.05 * 6.4 = 0.32 \text{ lbmol/h}$$

- b) La composición de la fase gaseosa a la entrada y salida es:

$$Y_1 = 8/92 = 0.0870 \text{ lbmol de A/lbmol de aire}$$

$$Y_2 = 0.32/73.60 = 0.00435 \text{ lbmol de A/lbmol de aire}$$

Para determinar la composición restante del líquido a la salida ($x_1 = X_2 = 0$), es necesario evaluar el gasto mínimo del solvente. Esto requiere el uso de datos de equilibrio para las mezclas de amoníaco-aire-agua, calculadas a partir de $T = 68^\circ\text{F}$ y $P = 14.7 \text{ lb/pulg}^2$. En el cuadro 10.1 se muestran datos de equilibrio para dicho sistema, los cuales están graficados en la figura 10.7.

CUADRO 10.3. DATOS DE EQUILIBRIO PARA EL SISTEMA AGUA-AMONIACO

| X_1 (fracción mol de amoníaco en la fase líquida) | Y_1 (fracción mol de amoníaco en la fase gaseosa) |
|---|---|
| 0.0206 | 0.0158 |
| 0.0310 | 0.0240 |
| 0.0407 | 0.0329 |
| 0.0502 | 0.0418 |
| 0.0735 | 0.0660 |
| 0.0962 | 0.0920 |

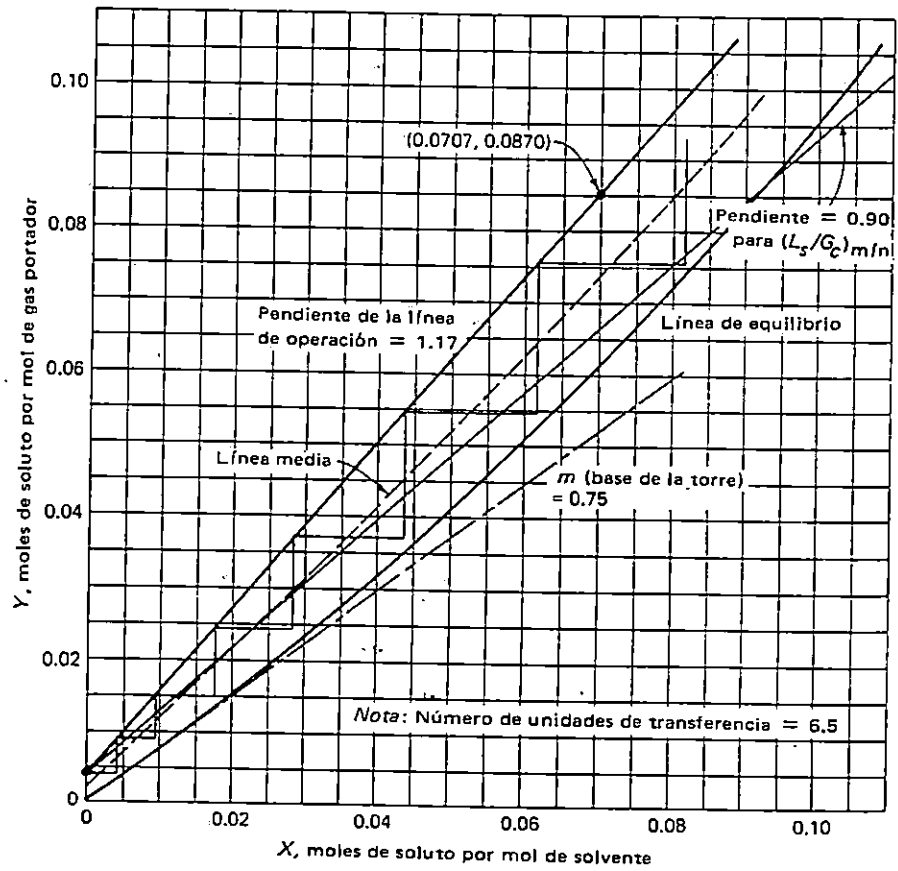


FIGURA 10.7. GRAFICA PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA 3

Con base en el diagrama:

$$(L_{n,n}/G_{n,c})_{\text{mínimo}} = (0.0870 - 0.00435)/(0.092 - 0) = 0.90$$

Como el gasto del líquido ha de ser 30% mayor que el gasto mínimo:

$$(L_{n,n}/G_{n,c})_{\text{diseño}} = 1.30 * 0.90 = 1/1.17$$

Por tanto:

$$L_{n,n} = 1.17G_{n,c} = 1.17 * 73.6 = 86.1 \text{ lbmol/h}$$

La composición de X_1 se puede determinar ahora de dos maneras. Primero, se puede trazar la línea de operación con una pendiente de 1.7 desde $(0.0043, 0)$. El punto de donde corta a $Y_1 = 0.0870$ es el extremo inferior de la línea de operación de diseño, y se puede leer a X_1 , directamente de la figura. Para mayor exactitud, también se puede encontrar X_1 de un balance de materia en la torre.

$$L_{n,n}/G_{n,c} = (Y_2 - Y_1)/(X_2 - X_1) = (0.00435 - 0.0870)/(0 - X_1) = 1.17$$

$$X_1 = 0.0707 \text{ lbmol de A/lbmol de agua}$$

$$x_1 = 0.0660 \text{ lbmol A/lbmol de solución}$$

c) Los gastos del gas y líquido son:

$$G_c = 73.6 * 29 = 2,134 \text{ lb/h}$$

$$G_{a,1} = 6.4 * 17 = 109 \text{ lb/h}$$

$$G_{a,2} = 0.32 * 17 = 5.4 \text{ lb/h}$$

$$L_n = 86.1 * 18 = 1,550 \text{ lb/h}$$

$$L_{a,1} = \Delta G_a = 104 \text{ lb/h}$$

Por tanto:

$$G_1 = 2,134 + 109 = 2,243 \text{ lb/h (abajo)}$$

$$L_1 = 1,150 + 104 = 1,654 \text{ lb/h (abajo)}$$

$$G_2 = 2,134 + 5 = 2,139 \text{ lb/h (arriba)}$$

$$L_2 = 1,550 + 0 = 1,550 \text{ lb/h (arriba)}$$

d) Para el área de la torre se empleará la densidad del agua pura, 62.3 lb/pie³, como la densidad de la solución en toda la torre. Además se supone que la mezcla gaseosa actúa como gas ideal y que se puede despreciar la presión parcial del agua, se tiene que:

$$\rho = P/RT = M_g P/R_u T$$

Donde M_g es la masa molar promedio del gas y R_u es la constante universal de los gases. En la parte superior:

$$M_g = \sum y_i M_i = 0.0043*17 + 0.9957*29 = 28.95$$

$$\rho = 28.95*14.7/(10.73*528) = 0.0751 \text{ lb/pie}^3$$

En la parte inferior:

$$M_g = 0.08*17 + 0.92*29 = 28.04$$

$$\rho = 28.04*14.7/(10.73*528) = 0.0728 \text{ lb/pie}^3$$

El valor de G' en la parte superior e inferior de la torre se pueden determinar basándose en la correlación de inundación. En la parte superior:

$$L/G(\rho_g/\rho_L)^{0.5} = 1,550/2,139(0.0751/62.3)^{0.5} = 0.0251$$

La condición de inundación es 0.20 y $F = 155$, la viscosidad del agua a 68°F es 1 centipoise. Por tanto:

$$\begin{aligned} G'_{\text{inundación}} &= (0.20*32.2*0.0751*62.3/(155*1)^{0.5})^{0.5} \\ &= 0.4391 \text{ lb/s*pie}^2 \end{aligned}$$

Para 60% del punto de inundación:

$$G'_{\text{diseño}} = 0.439 * 0.6 = 0.263 = 949 \text{ lb/h*pie}^2$$

$$A = G/G' = 2,139/948 = 2.26 \text{ pie}^2 \text{ (arriba)}$$

En la parte inferior de la torre:

$$L/G(\rho_g/\rho_L)^{0.5} = 1,654/2,243(0.0728/62.3)^{0.5} = 0.0252$$

La condición de inundación es 0.20, la viscosidad es un centipoise y $F = 155$

$$G'_{\text{inundación}} = (0.20 \cdot 32.2 \cdot 0.0728 \cdot 62.3 / 155 \cdot 1^{0.2})^{0.5}$$

$$= 0.434 \text{ lb/s} \cdot \text{pie}^2$$

A 60% de la condición de inundación:

$$G'_{\text{diseño}} = 0.434 \cdot 0.6 = 0.260 \text{ lb/s} \cdot \text{pie}^2 = 934 \text{ lb/h} \cdot \text{pie}^2$$

Luego, el área requerida en la parte inferior de la torre será:

$$A = G/G' = 2,243/934 = 2.40 \text{ pie}^2 \text{ (abajo)}$$

Se selecciona el área mayor para la sección transversal de la torre:

$$D = (4A/\pi)^{0.5} = (4 \cdot 2.40/\pi)^{0.5} = 1.75 \text{ pie} = 21.0 \text{ pulg.}$$

**10.3 REVISION DE LAS PRACTICAS DE LABORATORIOS DE
OPERACIONES UNITARIAS III
(UES, 1995a)**

Debido a la naturaleza de las sustancias empleadas en las prácticas realizadas en Operaciones Unitarias III, se presenta únicamente el cuadro 10.4 como resumen de las mismas.

**CUADRO 10.4. RESUMEN DE PRACTICAS DE LABORATORIO DE
OPERACIONES UNITARIAS III**

| Título de la práctica | Reactivos o sustancias utilizadas | Cantidad por 25 alumnos | Riesgos al ambiente o la salud |
|--|---|--|--|
| Cálculo de coeficientes de difusión para vapores | Vapor de agua Solventes orgánicos | No especificada No especificada | No presenta riesgos específicos Ver frases R y frases S en el frasco del solvente utilizado |
| Secado | Vapor de agua, arena, sílica gel, sal, etc. | No especificada | No presenta riesgos específicos |

Las prácticas de laboratorio anteriores no presentan riesgos de contaminación para el medio ambiente. Sin embargo, se recomienda el uso racional del agua por ser un recurso fundamental y cada vez más contaminado y difícil de conseguir en el país. Además, se sugiere hacer uso racional del agua.

CAPITULO XI
REVISION DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA PROCESOS DE
SEPARACION Y DE MANEJO DE SOLIDOS Y PROPUESTA DE INCLUSION
DE TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE

11.0 PROGRAMA DE ASIGNATURA

I. GENERALIDADES

Asignatura: Procesos de Separación y de Manejo de Sólidos. Prerrequisito: Operaciones Unitarias II y Química Industrial. Código: PSM-115 U.V. 5 Plan de estudios: 78R Ciclo: II Año Académico: _____ Profesor: _____
 _____ Nivel: VIII Ciclo Instructor: _____

II. SYLABUS

Propiedades de los sólidos en partículas. Reducción de tamaño. Separación de partículas. Operaciones de Filtración, Sedimentación y Cristalización. Agitación y Mezcla de Líquidos y Pastas, Sólidos Granulares y Suspensiones. Manejo, Manipulación y Transporte de Sólidos. Empaque y Embalaje. Almacenamiento y Pesado de sólidos.

III. OBJETIVOS GENERALES

1. Que el estudiante adquiriera conocimientos sobre las diferentes operaciones de separación, reducción y aumento de tamaño de partículas a partir de mezclas sólidas, mezclas sólido-líquido y de soluciones líquidas.
2. Que el estudiante adquiriera un conocimiento adecuado de las propiedades, manejo, transporte, y almacenamiento de sólidos a granel y de fluidos newtonianos y pseudoplásticos.
3. Introducir al estudiante en la aplicación de las diferentes operaciones unitarias para el manejo de sólidos en procesos industriales y de tratamiento de residuos industriales y municipales.

IV. CONTENIDO PROGRAMATICO

UNIDAD I: PROPIEDADES DE SOLIDOS EN PARTICULAS

1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- a. Conocer los diferentes métodos que existen para medir el tamaño de partículas.
- b. Aplicar el método de tamizado para calcular propiedades de partículas como tamaño, área superficial, número de partículas, factores de forma y otros.
- c. Conocer las propiedades de masa de partículas y su aplicación en el diseño y selección de equipo de almacenamiento.

1.2 CONTENIDO:

- 1.2.1 Caracterización de partículas. Medición del tamaño de la partícula. Análisis de tamizado: Diferencial y Acumulativo. Tamices Patrón.
- 1.2.2 Propiedades de masa de partículas. Densidad bulk, empaçada y de trabajo. Fluidibilidad, Inundabilidad, Cohesión, ángulo de reposo, ángulo de espátula.
- 1.2.3 Tamizado y Cribado. Operaciones industriales de separaciones mecánicas.

UNIDAD II: OPERACIONES DE REDUCCION DE TAMANO

2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- a. Conocer e interpretar las leyes básicas que se aplican en reducción de tamaño de partículas.
- b. Conocer los diferentes equipos de reducción de tamaño y su funcionamiento.
- c. Aplicar las leyes básicas que se utilizan en reducción de tamaño, para determinar consumo de potencia en los equipos.

- d. Conocer algunos equipos importantes para el control de las partículas sólidas.
- e. Que el estudiante conozca algunos criterios importantes para la selección de equipo para el control de partículas sólidas.

2.2 CONTENIDOS:

- 2.2.1 Desintegración mecánica de los sólidos: Características de los productos desintegrados. Distribución del tamaño de las partículas. Energía y requerimientos de Potencia. Eficiencia: Ley de Rittinger, Ley de Bond y otras relaciones teóricas.
- 2.2.2 Equipo para reducción de tamaño: Trituradoras de gruesos y finos. Molinos de intermedios y finos. Molinos de ultrafinos y cortadoras. Criterios para la selección de equipos.
- 2.2.3 Otros métodos de reducción.
- 2.2.4 La reducción de tamaño de sólidos y sus efectos en el medio ambiente.
 - 2.2.4.1 Equipo para el control de la contaminación del aire por partículas sólidas.
 - 2.2.4.2 Selección de equipo para el control de la contaminación del aire por partículas sólidas.

UNIDAD III: OPERACIONES DE SEPARACION DE PARTICULAS

3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- a. Identificar las operaciones de separación por medios mecánicos, hidráulicos, gobernados o no por el equilibrio entre fases.
- b. Estudiar las operaciones de separación de fases con transferencia simultánea de calor y masa.

- c. Realizar cálculos de eficiencia y de variables de diseño en los diferentes equipos de separación y a la vez evaluar dichos resultados para determinar el equipo adecuado.
- d. Realizar cálculos que involucren el control de la contaminación en diferentes procesos de separación y manejo de sólidos.

3.2 CONTENIDOS:

- 3.2.1 Separaciones mecánicas: Tamizado y Cribado (sección 1.2.4). Centrifugación. Filtración.
- 3.2.2 Separaciones basadas en el movimiento de partículas a través de fluidos: Sedimentación. Decantación. Elutriación.
- 3.2.3 Separación por aumento de tamaño: Compactación y aglomeración.
- 3.2.4 Operaciones con transferencia simultánea de calor y masa. Cristalización por enfriamiento y por evaporación.
- 3.2.5 Aplicaciones de operaciones de separaciones mecánicas en el tratamiento de aguas de desecho.

UNIDAD IV: AGITACION Y MEZCLA

4.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- a. Conocer la clasificación y funcionamiento de equipo de agitación y mezcla para líquidos newtonianos y pseudoplásticos y para masas de partículas sólidas.
- b. Realizar cálculos sobre las variables de diseños de los equipos y accesorios de agitación y mezcla y de acuerdo a los resultados hacer la selección adecuada del equipo.

4.2 CONTENIDO:

- 4.2.1 Comportamiento de fluidos en recipientes agitados y mezcladores.

- 4.2.2 Equipos de Agitación y mezclado.
- 4.2.3 Suspensión de sólidos.
- 4.2.4 Mezcla de pastas, polvos y materiales viscosos.
- 4.2.5 Mezcla con reacción química o bioquímica.

UNIDAD V: EMPAQUE Y EMBALAJE

5.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- a. Conocer los distintos tipos de empaque y sus características.
- b. De acuerdo al material a empacar, saber seleccionar el tipo de empaque en función de sus propiedades y características principales.
- c. Evaluar las propiedades mecánicas y de permeabilidad de los empaques.
- d. Conocer operaciones de empaque y embalaje.
- e. Conocer el reciclaje de plástico como una alternativa para disminuir los residuos sólidos en el AMSS (Area Metropolitana de San Salvador).
- f. Conocer la importancia de emplear empaques biodegradables para disminuir la contaminación ambiental.

5.2 CONTENIDOS:

- 5.2.1 Clasificación, tipos y características de los empaques. Selección de materiales de empaque.
- 5.2.2 Reciclaje de Plástico, una alternativa para mitigar el impacto de los desechos sólidos urbanos en el AMSS.
- 5.2.3 Empaques Biodegradables.
- 5.2.4 Operaciones de empaque y embalaje.
- 5.2.5 Permeabilidad de empaques flexibles. Permeabilidad a gases y a vapor de agua. Efecto de Temperatura y Humedad Relativa.

UNIDAD VI: MANEJO MANIPULACION Y TRANSPORTE DE SOLIDOS**6.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- a. Conocer los diferentes equipos para transporte de sólidos y su funcionamiento.
- b. Calcular y especificar las variables de diseño de equipos para transporte de sólidos y de acuerdo al material a transportar, seleccionar el más adecuado.

6.2 CONTENIDOS:

- 6.2.1 Clasificación de los transportadores de sólidos.
- 6.2.2 Criterios para la selección de transportadores. Diseño y selección.
- 6.2.3 Transporte de sólidos a granel y de artículos embalados.

UNIDAD VII: ALMACENAMIENTO Y PESADO DE SOLIDOS**7.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- a. Seleccionar el tipo de equipo de almacenamiento, de acuerdo a las propiedades y características del sólido a almacenar.
- b. Calcular y especificar las variables de diseño del equipo de almacenamiento y sus accesorios.
- c. Conocer la problemática de la generación de desechos sólidos municipales. El caso específico del AMSS.
- d. Identificar la problemática de la incineración de los desechos sólidos urbanos.
- e. Mostrar la alternativa de reciclaje para diversos residuos sólidos.

7.2 CONTENIDOS:

- 7.2.1 Sólidos a granel: Almacenamiento en Pilas, depósitos, tolvas y silos (diseño, materiales, control de nivel).

Alimentadores. Pesado por lotes o continuo. Controles para mantenimiento del material.

7.2.2 Paquetes: Sistemas de manejo, Almacenamiento.

7.2.3 Desechos Sólidos en el AMSS

7.2.4 La Inceneración de los desechos sólidos urbanos en el AMSS

7.2.5 Reciclaje de diversos residuos sólidos

V. METODOLOGIA DE LA ENSEÑANZA

1. DE LA CLASE: Se aplicará el sistema de clases expositivas, pero el estudiante deberá leer antes los temas a desarrollarse, para lo cual se indicará la literatura correspondiente. Se harán visitas industriales para reforzar los conocimientos teóricos.
2. DE LOS LABORATORIOS: Los siguientes laboratorios se realizarán de acuerdo a la disponibilidad de equipo y materiales. Se trabajará en grupos de 4 estudiantes y presentarán trabajos escritos de cada laboratorio.
 - a. Determinación del área específica, diámetro volumen-superficie y número de partículas de una muestra de sólidos granulares, aplicando análisis diferencial y acumulativo, mediante el uso de tamices normalizados.
 - b. Cálculo de factores de forma, esfericidad, porosidad, relación V_p/S_p , etc, en sólidos granulares.
 - c. Determinación de propiedades de masa de partículas: Coeficiente de Uniformidad, Cohesión, Fluidibilidad, Angulo de reposo, Inundabilidad, Angulo de Espátula.
 - d. Cálculo de superficies nuevas creadas, número de partículas, diámetro volumen-superficie, consumo de potencia, etc. Utilizando equipo de reducción de tamaño.

- e. Separación de sólidos en suspensión aplicando las operaciones de sedimentación, filtración y centrifugación.
 - f. Cristalización por evaporación y por nucleación.
 - g. Cálculo del índice de mezclado y tiempo de mezcla en pastas y otros materiales viscosos.
 - h. Determinación de propiedades de permeabilidad de materiales de empaque flexibles.
3. DE LOS TRABAJOS EX-AULAS: A realizarse en grupos de dos estudiantes. Se presentarán reportes escritos y se hará una exposición oral del mismo.
- a. Elaboración de reportes de las visitas industriales.
 - b. Realización de análisis de lectura o de un resumen de dos artículos científicos o técnicos relacionados con la temática del curso. Publicados en las revistas técnicas mencionadas en las referencias bibliográficas (se asignará un tema a cada grupo).
 - c. Elaboración o aplicación de software para operaciones de sedimentación, filtración y otras operaciones unitarias a estudiarse en este curso.

VI. SISTEMA DE EVALUACION

| | |
|--|-----|
| Primer examen parcial. Unidades I y II | 15% |
| Segundo examen parcial. Unidad III. 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3 | 20% |
| Tercer examen parcial. Unidad III. 3.2.4 y Unidad IV | 20% |
| Cuarto examen parcial. Unidades V, VI y VII | 15% |
| Laboratorios | 15% |
| Trabajos ex-aula | 15% |

| | |
|-------|------|
| Total | 100% |
|-------|------|

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Badger W. y Banchemo, J.T. 1984. "Introducción a la Ingeniería Química". 1a. Edición en español. McGraw-Hill Co. USA.
2. Brown, G. 1985. "Operaciones Básicas de la Ingeniería Química". Editorial Marín, España.
3. Bungay. 1990. "Basic Environmental Engineering Rensse - laer Politecnic Institute. Troy, New York. USA.
4. Foust, A.S., et al. 1987. "Principios de Operaciones Unitarias". 2a. Edición en español. Limusa, México.
5. Geankoplis, C.J. 1978. "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias". CECSA, México.
6. McCabe W.L. y Smith, J.C. 1975. "Operaciones Básicas de Ingeniería Química". Tomo I y II. 1a. Edición en español. Editorial Reverte, España.
7. Perry, R.H., Green, J. & Maloney J.O. 1984. "Perry's Chemical Engineers' Hand Book". 6a. Edición. McGraw-Hill Co. USA.
8. Revistas Técnicas: Chemical Engineering, Chemical Engineering Progress, Plant Engineering, Packaging, Modern Plastics, Water Research, Water Pollution Control, Water and Sewage Work, etc.

**11.1 TEMAS RELACIONADOS CON EL MEDIO AMBIENTE SUGERIDOS PARA
EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA PROCESOS DE SEPARACION
Y DE MANEJO DE SOLIDOS**

**11.1.1 LA REDUCCION DE TAMAÑO DE SOLIDOS Y SUS EFECTOS
EN EL MEDIO AMBIENTE**

(Unidad II. Dos horas clase)

**11.1.1.1 EQUIPO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION POR
PARTICULAS SOLIDAS**

En muchas actividades industriales es inevitable la generación de partículas sólidas (polvos) hacia el medio ambiente. Aunque también en la naturaleza puede ocurrir la generación de partículas, por ejemplo, en el caso de erupciones volcánicas o por fenómenos climáticas.

Entre las actividades industriales que emiten partículas se tienen la elaboración de alimentos, producción metalúrgica, fabricación de cemento, elaboración de papel, textiles, etc (Albert, 1988). Sin embargo, es posible reducir este tipo de contaminación mediante dispositivos especiales que capturan las partículas. Entre estos dispositivos se tienen:

a) CAMARA DE SEDIMENTACION POR GRAVEDAD.

En estas cámaras es posible remover partículas, haciendo uso de la fuerza gravitacional, de un tamaño mayor a 50 μm , a una velocidad de sedimentación cercana a los 25p/min y si las partículas tienen una baja densidad.

La figura 11.1 muestra una cámara de sedimentación por gravedad, donde L, V y H son la longitud de la cámara, ve-

locidad del gas y altura de la cámara, respectivamente (Wark y Warner, 1990).

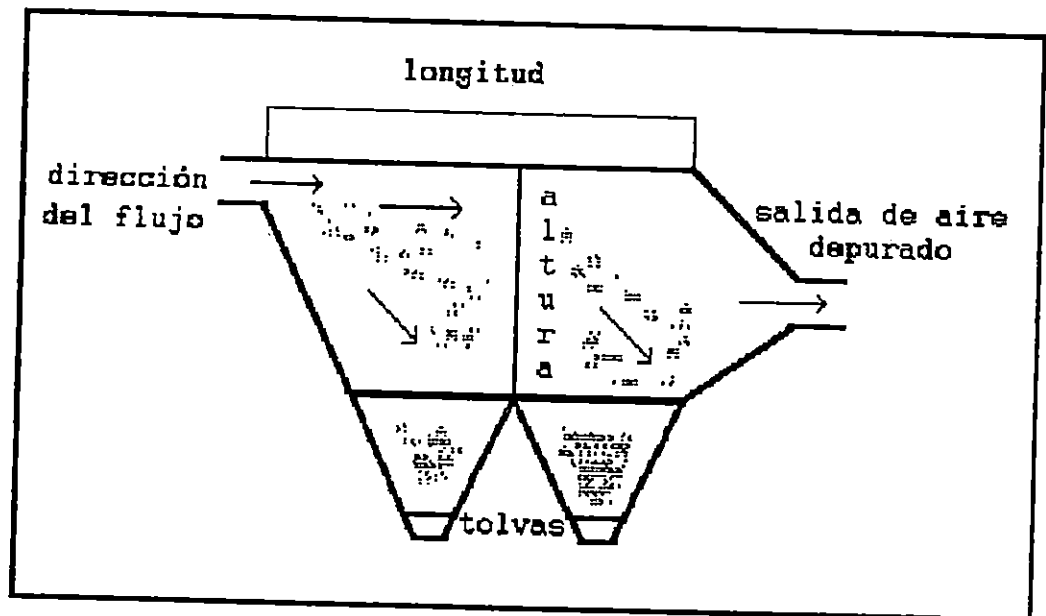


FIGURA 11.1. SEDIMENTADOR DE PARTICULAS POR GRAVEDAD
FUENTE: WARK Y WARNER (1990)

b) SEPARADORES CICLONICOS.

Son dispositivos que emplean la fuerza centrífuga para purificar una corriente de gas. Usualmente estos dispositivos no poseen partes móviles y constan de un cilindro vertical con un fondo cónico, una entrada para gas en la parte superior, una salida para las partículas en la parte inferior y una salida para el gas purificado.

La figura 11.2 muestra un separador ciclónico con aire cargado de partículas que sigue una trayectoria espiral alrededor y hacia abajo del cilindro. De esta manera, la fuerza centrífuga en los vértices, tiende a desplazar radialmente las partículas hacia la pared, y a lanzarlas hacia dentro del cono donde se recogen (McCabe et al, 1993). Este equipo es utilizado para la eliminación de polvos de fosfato en la producción de ácido fosfórico.

Por lo general, un separador ciclónico se emplea para retirar partículas con tamaño de $10 \mu\text{m}$ o mayores, aunque su eficiencia no alcanza más del 90%, a menos que las partículas tengan un diámetro mayor o igual a $25 \mu\text{m}$ (Wark y Warner, 1990).

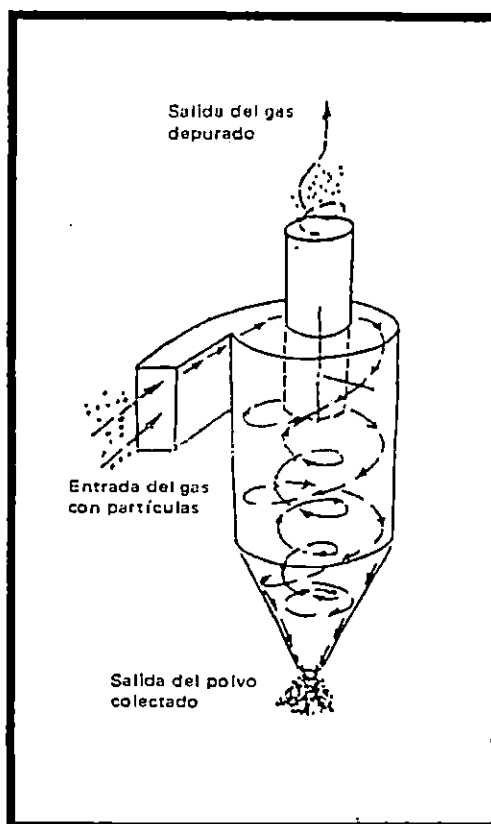


FIGURA 11.2. SEPARADOR CICLONICO PARA PARTICULAS
FUENTE: BARRERA (1987)

c) FILTROS DE BOLSA.

Son dispositivos que contienen una o varias bolsas de fieltro u otra tela fina instaladas dentro de una carcasa metálica. Generalmente, el gas cargado de polvo entra por el fondo de la bolsa y asciende dejando atrás el polvo, aunque en ocasiones el flujo puede tener sentido contrario al señalado (McCabe et al , 1993). En la figura 11.3 se muestra un diseño típico del filtro de bolsas.

En estos aparatos se alcanzan eficiencias del 99% aún con partículas muy pequeñas, mucho más finas que las aberturas del material de las bolsas. Periódicamente debe interrumpirse el flujo para cargarse gas limpio, o sacudir las bolsas para retirar el polvo adherido a ellas (McCabe et al, 1993). A pesar de las altas eficiencias de estos aparatos, se tiene la desventaja de tener que limpiar frecuentemente los filtros para evitar las caídas de presión (Peavy et al, 1985).

Pueden adaptarse para la captura de polvos generados en trituración y molienda de minerales con uso de trituradoras de mandíbula, molinos de martillo, de rodillo, etc. Ejemplos específicos son la molienda de calcita para la producción de cemento y cal, la molienda de cereales para producción de harina, para alimentos y la "mota" generada en la elaboración de textiles.

d) PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.

Estos aparatos colectan las partículas por la atracción entre las mismas con una carga eléctrica y con un electrodo colector de polaridad opuesta.

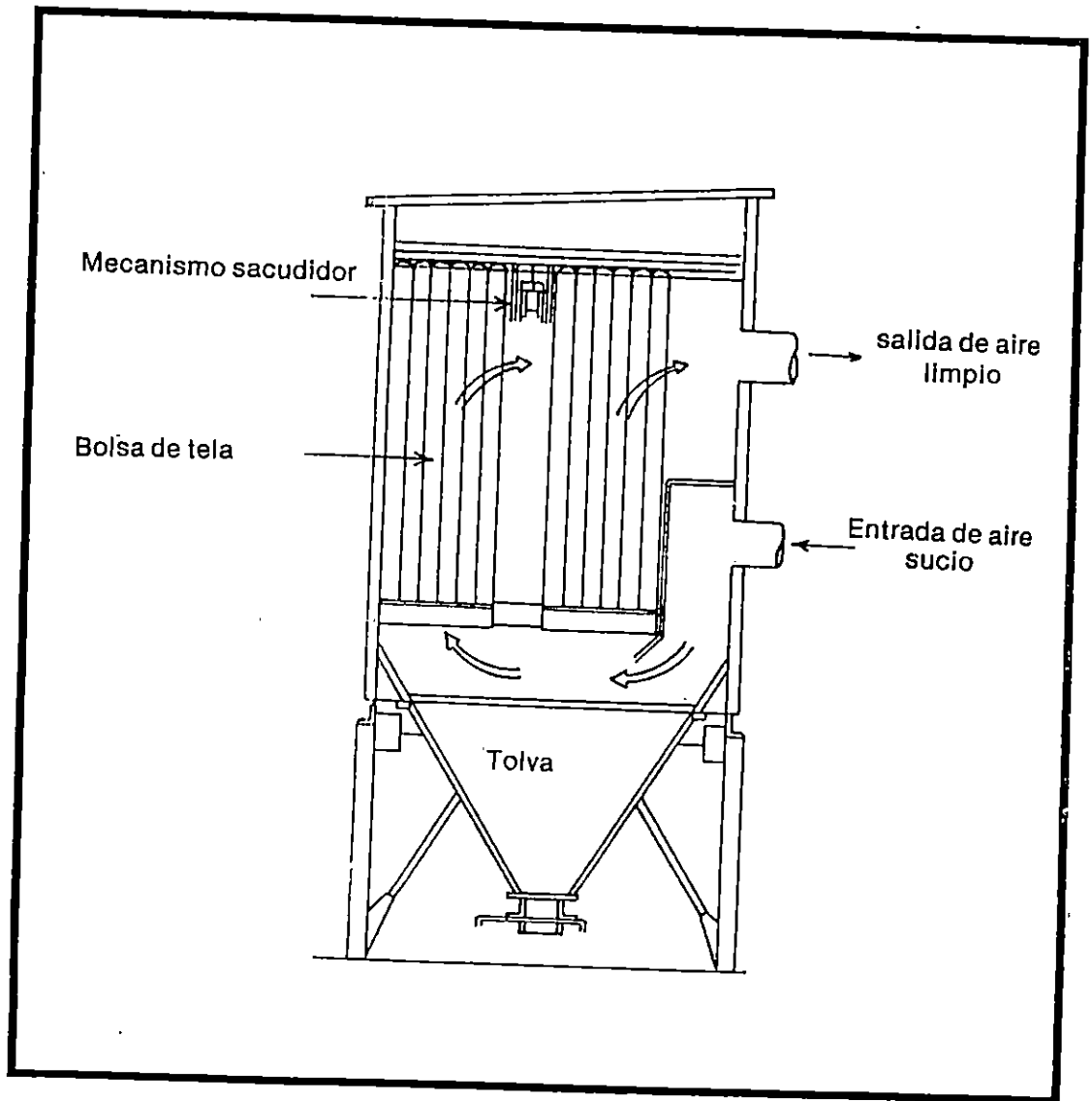


FIGURA 11.3. FILTRO DE BOLSA PARA PARTICULAS
FUENTE: BARRERA (1987)

Estos dispositivos pueden manejar gastos volumétricos tan altos como 4 millones de p^3/min , removiendo partículas entre 0.05 y 200 μm .

Para la mayoría de las aplicaciones, la eficiencia oscila entre 80 y 99% (Wark y Warner, 1990). En la figura 11.4 se ilustran los elementos básicos de un precipitador electrostático. Uno de sus usos es la eliminación de partículas en la industria del cemento.

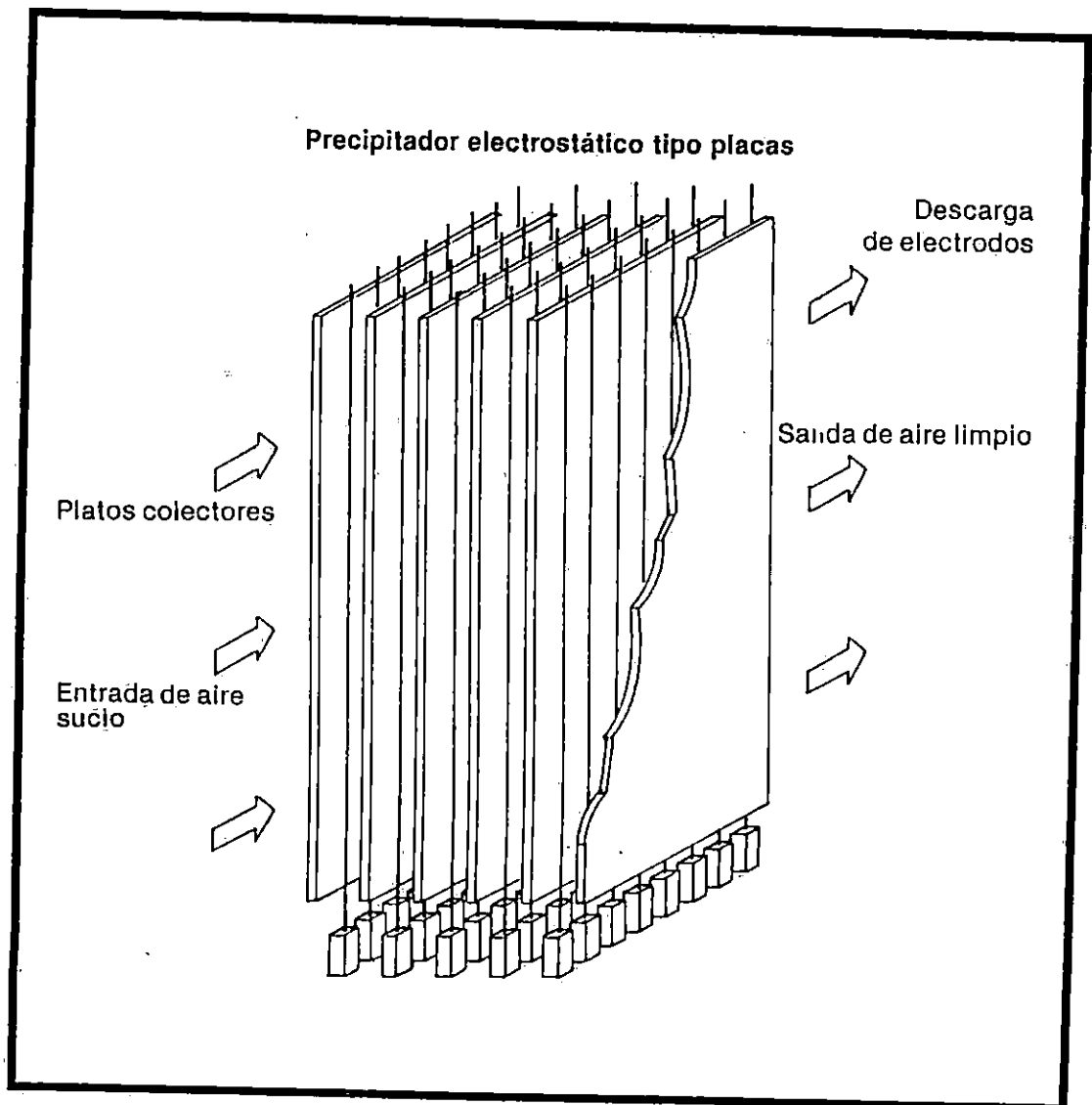


FIGURA 11.4. PRECIPITADOR ELECTROSTATICO PARA PARTICULAS
FUENTE: BARRERA (1987)

**11.1.1.2 SELECCION DE EQUIPOS PARA EL CONTROL DE
PARTICULAS SOLIDAS EN EL AIRE
(Wark y Warner, 1990)**

La adquisición de un equipo para el control de partículas de penderá de varios criterios importantes, que podrán guiar al comprador al momento de elegir un equipo determinado. Entre estos criterios se tienen:

- a) Normas vigentes para la emisión de partículas.
- b) Gasto volumétrico total.
- c) Eficiencia colectoras máxima.
- d) Características físicas y químicas de las partículas.
- e) Carga de polvo de la corriente de gas.
- f) Posibles fluctuaciones de la temperatura de operación.
- g) Consideraciones de limpieza y mantenimiento del equipo.

En ese sentido, el cuadro 11.1 presenta algunas situaciones generales para el empleo de un equipo determinado.

CUADRO 11.1. SITUACIONES EN LA SELECCION DEL EQUIPO PARA
CONTROLAR PARTICULAS

I) Ciclones

- a) Cuando el polvo sea grueso
- b) Se requiere clasificar las partículas
- c) No se requiere alta eficiencia
- d) Concentraciones mayores de 1 g/p³

II) Filtros de bolsa

- a) Volúmenes razonablemente bajos
- b) Temperaturas relativamente bajas
- c) Recuperación de materiales de valor
- d) Eficiencias muy altas
- e) Mantenimiento de un ambiente limpio para prevenir problemas de salud en operación

III) Precipitadores electrostáticos

- a) Se necesita recuperar materiales valiosos sin alteraciones físicas
- b) Eficiencias muy altas para la eliminación de polvos finos

FUENTE: WARK Y WARNER (1990).

11.1.2 APLICACIONES DE OPERACIONES DE SEPARACIONES MECANICAS
EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE DESECHO
(Unidad III. Una hora clase)
(Eddy y Metcalf, 1981)

El tratamiento de aguas contaminadas pueden realizarse por medios físicos, químicos o biológicos. Los métodos de purificación que involucran la adición de productos químicos o un tipo de actividades biológicas se conocen con el nombre de procesos orgánicos. En cambio, aquellos en donde predominan las fuerzas físicas se denominan operaciones unitarias.

En el presente tema se desarrollarán, en forma general, algunas operaciones de separaciones mecánicas empleadas en el tratamiento de aguas, siendo ellas:

- a) Desbaste.
- b) Floculación.
- c) Sedimentación.
- d) Flotación.
- e) Elutriación.
- f) Filtración al vacío.

a) **DESBASTE.**

Esta es la primera operación unitaria empleada en las plantas de tratamiento. Sirve para eliminar partículas mayores de 0.5 cm. en forma más económica que cualquier otra operación.

Los dispositivos de desbaste grueso utilizadas en el tratamiento de aguas consisten principalmente en rejillas de ba

rras que se usan para proteger bombas, válvulas, conducciones y otros elementos contra posibles daños y para evitar su taponamiento por objetos de gran tamaño. Es precisamente a la función realizada por la reja a la que se le da el nombre de desbaste y, al material separado de ellas, se le conoce como basuras.

b) FLOCULACION.

La agitación efectuada con el propósito de aumentar la posibilidad del "contacto entre partículas" (floculación), tras la adición de las sustancias químicas en una parte esencial para cualquier sistema de precipitación química, o químicamente asistida.

Un mayor contacto entre partículas favorecerá la formación de flóculos; sin embargo, si la agitación es demasiado fuerte, se producirán efectos cortantes que romperán el flóculo en partículas más pequeñas. Por ello, debe emplearse una agitación que permita obtener flóculos de tamaño adecuado y que se depositen rápidamente.

c) SEDIMENTACION.

Es la separación de partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad. Es una de las operaciones unitarias más empleadas en el tratamiento de aguas residuales. En ésta se eliminan arena, partículas de tanques de decantación y flóculos químicos cuando se ha empleado la coagulación química; además, se concentran sólidos en los fangos producidos.

Casi siempre al emplearse la sedimentación se busca obtener un influente clarificado, pero también es necesario producir un fango con una concentración de sólidos que pueden ser manejados y tratados con facilidad.

d) FLOTACION.

Se emplea para separar partículas líquidas o sólidas de una fase líquida. En el tratamiento de aguas contaminadas se emplea para eliminar la materia suspendida y concentrar los fangos biológicos.

La ventaja de la flotación sobre la sedimentación radica en el hecho de que las partículas muy pequeñas o ligeras que se depositan lentamente puedan eliminarse mejor y en menor tiempo. Una vez las partículas flotan en la superficie pueden recogerse mediante rascado superficial.

En la flotación la separación se realiza introduciendo burbujas finas de un gas (generalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente de la combinación burbuja partícula, hace que la partícula suba a la superficie.

e) ELUTRIACION.

Consiste en separar el fango digerido, diversos componentes químicos. Se mezcla íntimamente un sólido, o una mezcla de un sólido o un líquido, con otro líquido a fin de transferir ciertos componentes de aquel al líquido último.

f) FILTRACION AL VACIO.

La función de esta operación es reducir el contenido del fango, ya sea crudo, digerido o elutriado, de modo que la concentración de sólidos aumente desde el 5-10% hasta un 30% aproximadamente. A este porcentaje más elevado, el fango de agua residual es una torda húmeda, fácil de manipular.

El cuadro 11.2 presenta un resumen de las operaciones anteriores con sus respectivas aplicaciones.

CUADRO 11.2. APLICACIONES DE OPERACIONES DE SEPARACIONES MECANICAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

| Operación | Aplicación |
|---------------|--|
| Desbaste | Eliminación de basuras y objetos de gran tamaño. |
| Sedimentación | Eliminación de arena, de materia particulada en el tanque de decantación primaria y de flóculos químicos para partículas coloidales principalmente. Concentración de sólidos en los espesadores de fango. |
| Flotación | Eliminación de materia suspendida |
| Elutriación | Lavado de fango digerido, antes del acondicionamiento químico, para eliminar componentes solubles orgánicos e inorgánicos. |
| Filtración | Concentración de lodos de desecho |

FUENTE: EDDY Y METCALF (1991).

**11.1.3 RECICLAJE DEL PLASTICO, UNA ALTERNATIVA PARA MITIGAR
EL IMPACTO DE LOS DESECHOS SOLIDOS EN EL AREA METROPOLITANA
DE SAN SALVADOR**

(Unidad V. Una hora clase)

(GOMEZ Y HERNANDEZ, 1990).

Actualmente se producen unas 170 toneladas métricas de desechos plásticos en el AMSS (Area Metropolitana de San Salvador) (Alcaldía Municipal de San Salvador, 1995). Parte de estos desechos lo constituyen envases, empaques, bolsas, componentes plásticos deteriorados, etc.

La forma en que los desechos plasticos son manejados, es a través del reuso, pirólisis o de un relleno sanitario. Sin embargo, la pirólisis de éstos libera gases tóxicas y genera cenizas que requieren un sitio para su disposición. En los rellenos sanitarios los plásticos dificultan la compactación del material. El reuso puede también acarrear problemas cuando, por ejemplo un envase ha contenido material contaminado (desechos de hospitales), o ha servido para almacenar sustancias tóxicas como plaguicidas, sin embargo, esto puede evitarse si los envases aptos para el reuso son etiquetados con el respectivo símbolo de reciclaje.

En vista del manejo al que están sujetos los desechos plásticos, es necesario emplear alternativas que conlleven a un uso práctico de esos desechos. En países como Alemania, Japón y Estados Unidos, se llevan a cabo programas para reciclar los plásticos.

11.1.3.1 RECICLAJE DE PLASTICOS PARA EL AMSS

En El Salvador se realizó un estudio que demostró la factibilidad técnica económica para el reciclaje de plásticos en el AMSS, aunque debe señalarse que no todos los desechos de plástico podrían ser reciclados.

De tal manera, son los termoplasticos lo materiales más aptos para el reciclaje, debido a sus características de poder reprocesarse para obtener otras formas de estos materiales, siendo ese el caso del polietileno, polipropileno y el PVC.

De forma general, pueden destacarse las siguientes etapas del proceso de reciclaje:

- a) **Preparación de la materia plástica:** esta etapa es de gran importancia, puesto que los desechos se hallan al aire libre y pueden estar contaminados con grasa, tierra, etc. Para ello se utiliza agua jabonosa y/o con lejía comercial.
- b) **Cortado:** Se realiza por medio de un dispositivo de cuchillas, para reducir el tamaño de los trazos que pasarán al molido.
- c) **Molido:** Permite obtener un tamaño de material que pueda favorecer la plastificación en el equipo.
- d) **Inyección:** Se lleva a cabo cuando una máquina de inyección, en donde la temperatura transforma el material plástico en un fluido viscoso que se inyecta en los moldes para adquirir la forma deseada. Previamente, el material se mezcla con el pigmento para darle color al producto.

- e) **Enfriado:** Una vez inyectado el material se expulsa a un recipiente para su enframamiento a temperatura ambiente.
- f) **Control de calidad:** en esta etapa se evalúan las propiedades del producto elaborado por ejemplo, intensidad del color, dureza y otros.

En el estudio se consideró únicamente la producción de tapitas y tacones para calzado, pero el procedimiento es flexible para la obtención de otros productos tales como utensilios descartables, juguetes, huacales, etc.

Por tanto, el reciclaje de plásticos es una opción viable para el aprovechamiento de una parte de los residuos sólidos urbanos.

11.1.4 EMPAQUES BIODEGRADABLES
(Unidad V. media hora clase)
(Johansson, SFP; Peavy et al, 1985)

En el capítulo V, se mencionó que una de las técnicas para la minimización de residuos es la reducción en la fuente. De manera que una de las formas de lograr esa reducción es por cambios en el producto, con el objetivo de disminuir los desechos resultantes del uso mismo del producto.

Un área en la que se aplica el cambio en el producto, es la de los materiales biodegradables, cuyo uso evita en parte, la contaminación generada por los desechos sólidos.

En los últimos años, el interés por los materiales biodegradables ha crecido notablemente debido a que ofrecen una reducción potencial en el costo de manejo de residuos. Además, su utilización reduce el posible daño en peces, aves y mamíferos, causado por otros materiales.

Los materiales biodegradables consisten en sustancias orgánicas que pueden ser utilizadas como fuente de alimento por microorganismos en un período de tiempo razonable, que dependerá del tipo de material y de las condiciones ambientales a las que se vea expuesto.

Sin embargo, la tendencia al uso de materiales biodegradables ha de enmarcarse dentro del concepto de que un cambio en el producto debe conllevar a un producto que mantenga o mejore las propiedades del producto original, pero que sea compatible con el medio ambiente. Por ello, el desarrollo de materiales biodegradables se ha orientado a lograr materiales que se caractericen por ser razonablemente fuertes, dura

bles, ligeros y, por supuesto, que se descompongan fácilmente cuando el producto haya cumplido con su función. De tal manera que, una vez desechados, se descomponen en almidones, proteínas, alcoholes y ácidos, los cuales pueden ser degradados por los microorganismos de forma similar a la que se descomponen los tejidos vegetales y animales.

A pesar de las ventajas que presentan, los materiales biodegradables no se recomiendan en aplicaciones que requieran alta durabilidad y algunos no pueden ser incorporados en operaciones de reciclaje. Pese a ello, éstos son adecuados para emplearlos en productos de higiene personal, envolturas para alimentos y bebidas, empaques de detergentes, bolsas para usos agrícolas, etc.

El cuadro 11.3, muestra algunas compañías que producen materiales biodegradables, la descripción de éstos y su aplicación.

CUADRO 11.3 COMPANIAS QUE PRODUCEN MATERIALES BIODEGRADABLES

| Compañía | Base del producto | Aplicación |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Cynamid | Alcohol polivinílico | Hilo de sutura |
| Battelle | Material que contiene 90% de almidón | Sustituto del PVC |
| ICI | Polihidroxi butirato | Envases de champú |
| Amylum | Material a base de almidón | Fabricación de películas |
| Dow Chemical | Etileno-monóxido de carbono | Sustituto de plásticos flexibles |

FUENTE: JOHANSSON (SFP).

11.1.5 LOS DESECHOS SOLIDOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR

(Unidad VII. Una hora clase)

La situación de los residuos sólidos en el área metropolitana de San Salvador, no es un problema nuevo. Actualmente se generan unas 1,500 toneladas métricas de basura sólo en el AMSS; de las cuales se recolecta aproximadamente un 65%, el resto se convierte en focos de contaminación. (Alcaldía Municipal de San Salvador, 1995).

Dichos residuos están constituidos principalmente por desechos orgánicos, tales como restos de comida, desperdicios de frutas y verduras de los mercados, etc. En segundo lugar se encuentran los desechos de papel de casas, oficinas, etc. Luego figuran los desechos de plástico, vidrio y otros, tal como se muestra en el cuadro 11.4.

CUADRO 11.4. COMPOSICION DE LOS DESECHOS SOLIDOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR

| Desecho | Porcentaje |
|----------|------------|
| Orgánico | 57.9 |
| Papel | 18.9 |
| Plástico | 11.3 |
| Otros | 7.8 |
| Vidrio | 2.2 |
| Metales | 1.9 |
| Total | 100.0 |

FUENTE : ALCALDIA MUNICIPAL DE SAN SALVADOR (1995).

a) A menudo, las temperaturas de combustión del incinerador no son alcanzadas, por lo que se liberan trazas de metales pesados, las cuales pueden transportarse a otras zonas por efectos del viento.

b) La incineración ha sido identificada como la mayor fuente de generación de dioxinas, las cuales pueden transportarse a otras zonas por efectos del viento.

Entre los principales impactos de la incineración de residuos se tienen los siguientes (Greenpeace, 1994) :

11.1.6.1 IMPACTO DE LA INCINERACION DE LOS DESCHOS SOLIDOS

A pesar de lo anterior, existe una fuerte oposición al proyecto debido al impacto ambiental que éste tendría, puesto que si bien es cierto que la incineración destruye y disminuye el volumen de los residuos; también transforma estos residuos en otros productos más tóxicos que contaminan el aire, el agua y el suelo. Tales productos tóxicos se conocen como dioxinas y son de las sustancias químicas más potentes creadas por el hombre (Greenpeace, 1995, Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1995).

A raíz del problema de generación de basura, la Alcaldía Municipal de San Salvador, ha propuesto la incineración de los desechos como el método más apropiado para evitar que la basura quedase tirada en las calles. Además por medio de la incineración de la basura sería posible la generación de energía eléctrica (Díaz, 1996).

(Unidad VIII. Una hora clase)
 (GOMEZ Y HERNANDEZ, 1990).

11.1.6 LA INCINERACION DE LOS DESCHOS SOLIDOS URBANOS

- c) Las dioxinas son sustancias cancerígenas y son capaces de producir otros trastornos en el ser humano, tales como disminución del sistema inmunológico, cambios hormonales, leucemia, alteraciones neurológicas y otros.
- d) Generación de cenizas tóxicas que obliga a su almacenamiento en un depósito de seguridad.
- e) Fuga de emisiones nocivas al medio ambiente.

A pesar de lo anterior, existen opiniones favorables para emplear la incineración como método para destruir los residuos. Sin embargo, no pueden negarse los efectos que esta tecnología tiene sobre el ser humano y sobre su medio ambiente.

11.1.7 RECICLAJE DE DIVERSOS RESIDUOS SOLIDOS EN EL AREA
METROPOLITANA DE SAN SALVADOR
(Unidad VII. Una hora clase)
(Arteaga et al, 1994)

El reciclaje de plásticos constituye una alternativa para mitigar el impacto de los desechos sólidos en el medio ambiente. Pero, además del reciclaje de plásticos, existe un mercado formal e informal de desechos reciclables consistentes en papel, vidrio y latas de aluminio.

El sector informal de basura está constituido por los recolectores ambulantes y compradores domiciliarios, que recogen insumos reciclables de los hogares y colonias. Se incluyen en este sector a los pepenadores en los basureros municipales y a una amplia gama de intermediarios ubicados dentro o fuera de los basureros.

Las empresas compradoras de reciclables, que conforman el sector formal, son aquellas empresas e industrias que compran insumos reciclables para exportarlos o incorporarlos como materia prima a su proceso de producción industrial.

En el mercado de papel las principales empresas que compran el papel para reciclarlo son Kimberly-Clark y CARTOTECTNICA, cuyo abastecedor es SEPACESA. Los productos que se obtienen a partir del papel reciclado son: papel higiénico, servilletas, pañuelos desechables, diversos tipos de papel para escritura o impresión, etc.

En el caso de algunos productos, como en el papel tipo Bond, es necesario combinar el material reciclable con pulpa virgen (materia prima para producir papel que proviene de la mé

dula de los árboles). En otros casos, como el de la fabricación de papel Kraft, es posible utilizar el 100% de la fibra reciclada, obteniéndose productos de buena calidad.

Por su parte, el mercado del vidrio tiene como principales empresas compradoras a las destilerías LIZA, La Central e Ilopania, las cuales reutilizan las botellas de vidrio en su proceso productivo, como envases para el contenido de sus productos.

El sector formal en el reciclaje de aluminio corresponde a la empresa La Constancia, que a través de sus centros de acopio recibe latas de aluminio para su posterior reciclaje en compañías fabricantes de productos de aluminio en el extranjero..

A partir de lo anterior puede observarse que el reciclaje de residuos sólidos es una técnica adecuada para la minimización de los desechos. Por otro lado, el reciclaje de materiales tiene múltiples ventajas porque: es una fuente de ingresos para una población con alta tasa de desempleo; se reduce el volumen de basura que se recoge y transporta hacia los botaderos; se extiende la vida útil de dichos botaderos; y se reducen los focos para la propagación de los vectores de enfermedades transmisibles. En consecuencia, el reciclaje tiene un efecto socio-económico positivo y además es una técnica consecuente con la protección del medio ambiente.

11.2 SOLUCION DE PROBLEMAS DE PROCESOS DE SEPARACION Y DE MANEJO DE SOLIDOS, CON TEMATICA AMBIENTAL

Los problemas presentados a continuación pueden desarrollarse en las siguientes unidades:

- Problema 1, unidad II
- Problema 2, unidad II
- Problema 3, unidad III

PROBLEMA 1

Las partículas se consideran contaminantes del aire debido a sus efectos sobre la salud humana y el medio ambiente. Entre estos se pueden mencionar: enfermedades de las vías respiratorias, reducción de la visibilidad, reducción de la radiación solar, etc. (Albert, 1988).

En una planta productora de fosfatos se requiere determinar la eficiencia de un ciclón para la remoción de partículas que se generan en el proceso. La velocidad de flujo de la corriente de partículas es de $7 \text{ m}^3/\text{s}$. El diámetro del ciclón es de 2.0 m para una temperatura de 77°C y $\mu_{\text{aire}} = 2.1 \times 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$. Además, se tiene una densidad de partícula de 1.5 g/cm^3 , diámetro de partícula 10 micras (Peavy, 1985). Véase la figura 11.5.

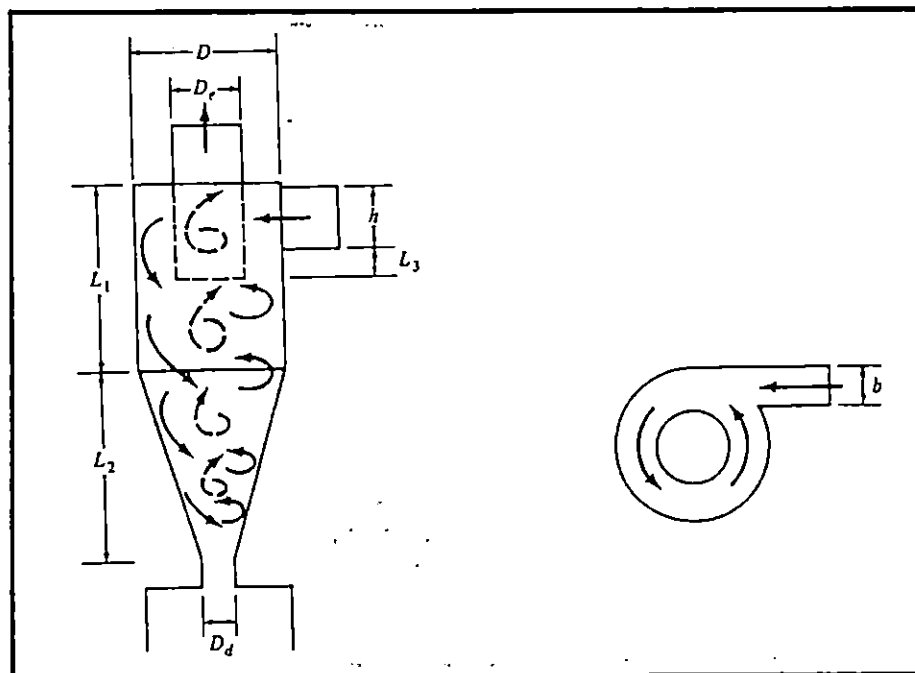


FIGURA 11.5. PARTES DE UN SEPARADOR CICLONICO
FUENTE: PEAVY ET AL (1985)

Donde:

- L_1 = Longitud del cilindro = $2D$
- L_2 = Longitud del cono = $2D$
- D = Diámetro del tubo de salida del aire = $1/2D$
- h = Altura del tubo de entrada = $1/2D$
- D_d = Diámetro del tubo de salida de partículas = $1/4D$
- L_3 = Longitud del ducto de salida = $1/8D$
- b = Diámetro del tubo de entrada

Solución:

Datos del Problema:

Q = Velocidad de flujo = $7 \text{ m}^3/\text{s}$

D = Diámetro del ciclón = 2.0 m

μ = Viscosidad del aire (77°C) = $2.1 \times 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$

ρ = Densidad de partícula = 1.5 g/cm^3

d = diámetro de partícula = $10 \text{ }\mu\text{m}$

Para calcular la eficiencia es necesario determinar d_{50} a partir de la ecuación de Lapple:

$$d_{50} = (9 \mu b / 20 N_e V_i \rho)^{1/2}$$

Donde:

d_{50} = Diámetro de partícula que es capaz de recogerse con un 50% de eficiencia

N_e = Número efectivo de vueltas en el ciclón

V_i = Velocidad de entrada, Kg/m^3

A partir de lo anterior:

$$b = D/4 = 0.5 \text{ m}$$

$$h = D/2 = 1.0 \text{ m}$$

De forma que el área de entrada será:

$$A_i = b * h = 1 * 0.5 = 0.5 \text{ m}^2$$

Calculando V_i se tiene que:

$$V_i = Q / A = 7 \text{ m}^3/\text{s} / 0.5 \text{ m}^2 = 14 \text{ m/s}$$

Sustituyendo términos en la ecuación de Lapple:

$$d_{50} = [9 * 2.1 \times 10^{-5} * 0.5 / (2 * 0.85 * 14 * 1,500)]^{1/2}$$

$$d_{50} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ m} = 12 \text{ }\mu\text{m}$$

Ahora se calcula d/d_{50}

$$d/d_{50} = 10 / 12 = 0.83$$

Con d/d_{50} , es posible calcular la eficiencia del ciclón a partir del siguiente gráfico:

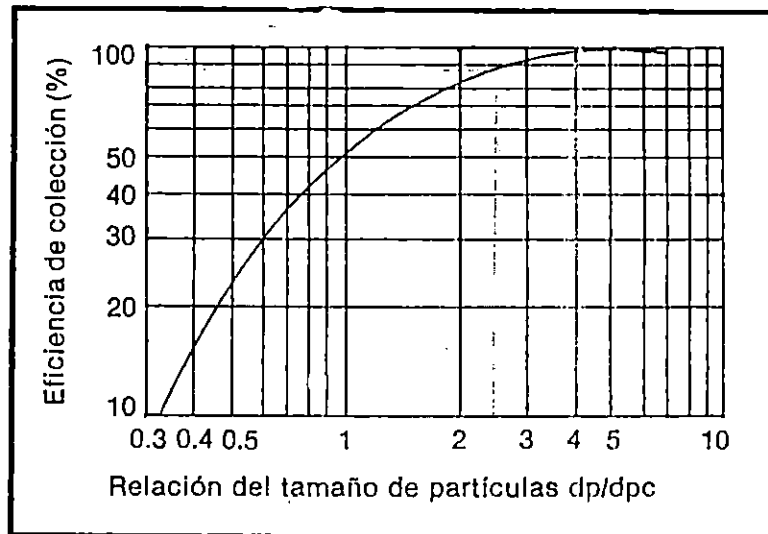


FIGURA 11.6. GRÁFICA DE EFICIENCIA DE UN SEPARADOR CICLONICO
FUENTE: BARRERA (1987)

Por tanto, la eficiencia del ciclón es aproximadamente del 42%.

PROBLEMA 2

Compárese la eficiencia del ciclón del problema anterior, si dicho ciclón se sustituyera por un conjunto de 64 ciclones con diámetros de 24 cm cada uno, y los demás datos se mantuvieran sin variación.

Solución:

Se tiene que:

$$b = D/4 = 0.24/4 = 0.06 \text{ m}$$

$$h = d/2 = 0.24/2 = 0.12 \text{ m}$$

Area de entrada, A_1

$$A_1 = b * h + 0.06 * 0.12 = 7.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Así, el área total para todos los ciclones será:

$$A_{\text{t}} = 64 * 7.2 * 10^{-3} \text{ m}^2 = 0.46 \text{ m}^2$$

Calculando la velocidad de entrada:

$$V_{\text{e}} = Q / A = 7.0 \text{ m}^3/\text{s} / 0.46 \text{ m}^2 = 15.21 \text{ m/s}$$

Sustituyendo datos en la ecuación de Lapple:

$$d_{50} = [9 * 2.1 * 10^{-5} * 0.06 / (2 * \pi * 5 * 15.21 * 1,500)]^{1/2}$$

$$d_{50} = 4 * 10^{-6} \text{ m} = 4.0 \text{ } \mu\text{m}$$

Calculando la relación d/d_{50} , se tiene que

$$d/d_{50} = 10/4 = 2.5$$

Ahora, con d/d_{50} es posible determinar la eficiencia del conjunto de ciclones a partir de la figura 11.7. De tal forma, la eficiencia es del 88%, aproximadamente. Por lo tanto, puede decirse que al emplear un conjunto de ciclones en lugar de un ciclón de gran tamaño, es posible mejorar notablemente la eficiencia de recolección de partículas, con la consiguiente mitigación del impacto al medio ambiente.

PROBLEMA 3

Un lodo de sulfato de calcio conteniendo 7% de partículas sólidas filtrables va a ser deshidratado (como fase previa a su tratamiento), en una cantidad de $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ por medio de un filtro de tambor bajo un vacío, la resistencia específica de la costra del filtro es $14.5 * 10^2 \text{ s}^2/\text{Kg}$ masa y que con 5 minutos de deshidratación se puede obtener una costra con 40% de partículas sólidas. La gravedad específica es, aproximadamente, uno y la temperatura de filtrado del lodo es alrededor de 25°C . Considerando un tiempo de ciclo de filtrado de 7 minutos, estime el área de filtro necesaria. La viscosidad del líquido filtrado es de $0.886 * 10^{-3} \text{ Kg}$ masa/ m^2 .

Solución:

a) Cálculo del peso de partículas sólidas por segundo.

$$Vw/t_c = m * \lambda * g * X/g_c$$

Donde:

Vw/t_c = peso de partículas filtradas por segundo.

m = flujo másico filtrado.

λ = densidad específica.

X = % peso de partículas en el lodo sin filtrar.

g = aceleración de la gravedad (9.806 m/s²).

g_c = 9.806 m Kg masa/ Kg fuerza s².

Operando:

$$\begin{aligned} Vw/t_c &= 0.467 \text{ m}^3/\text{h} * 1,000 \text{ Kg masa/m}^3 * 0.07 * 1 \text{ h}/3,600 \text{ s} \\ &\quad * 9.08 \text{ m/s}^2 / 9.08 \text{ m Kg masa/ Kg fuerza s}^2 \\ &= 9.08 * 10^{-3} \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

b) Cálculo del peso de partículas sólidas por unidad de volumen (w).

$$w = (\lambda g/g_c) / [(1 - X) / X - (1 - X_c) / X_c]$$

Donde X_c es el porcentaje peso de partículas en la costra del filtro.

$$w = 1,000 \text{ Kg/m}^3 / [(1 - 0.07)/0.07 - (1 - 0.4)/0.4]$$

$$w = 84.85 \text{ Kg/m}^3$$

c) Calculando el rendimiento del filtro (B).

$$B = (2\Delta P w \gamma / \mu R t_c)^{1/2}$$

Donde:

ΔP = diferencia de presión.

γ = fracción del tiempo del ciclo ocupado por la formación de costra.

μ = viscosidad del líquido filtrado.

R' = resistencia específica.

t_c = tiempo requerido para un ciclo de filtrado.

$$B = [2(63.5 * 136) * 84.8 * 0.29 / (0.89 * 10^{-3} * 14.5 * 10^{12} * 420)] \frac{1}{2}$$

$$B = 280.65 * 10^{-6} \text{ Kg fuerza/m}^2 \text{ s}$$

d) Cálculo del área de filtrado (s)

$$s = (Vw/t_c) / B = 9.08 * 10^3 / 280.65 * 10^6 = 32.35 \text{ m}^2$$

**11.3 REVISION DE LAS PRACTICAS DE LABORATORIOS DE
PROCESOS DE SEPARACION Y DE MANEJO DE SOLIDOS
(UES, 1993d)**

En la materia de Separación y Manejo de Sólidos se realizan los siguientes laboratorios:

- a) Cálculo de factores de forma.
- b) Determinación de propiedades de masa de partículas.
- c) Análisis de tamizado.
- d) Reducción de tamaño por trituración y molienda.
- e) Cristalización por evaporación y nucleación.

Debido al tipo de laboratorios realizados para la mayoría de ellos se sugiere en general, un uso racional de la energía y de los equipos empleado, además evitar al mínimo la contaminación del aire por partículas suspendidas. Lo anterior es efectivo para las prácticas del literal a al d.

En el caso del laboratorio sobre Cristalización por evaporación y nucleación se emplearán las frases R y S y se mostrará la manera de eliminar y disponer los residuos de sustancias químicas.

11.3.1 LABORATORIO No.5. CRISTALIZACION POR EVAPORACION Y NUCLEACION

INTRODUCCION.

La cristalización consiste en la formación de partículas sólidas en el seno de una fase gaseosa o líquida homogénea. Las partículas se pueden formar en una fase gaseosa como en el caso de la nieve, mediante solidificación a partir de un líquido como en la congelación de agua para formar hielo o en la manufactura de monocristales, o bien por cristalización de soluciones líquidas.

La cristalización a partir de soluciones es una importante operación industrial, debido a que un gran número de productos se presentan en el mercado en forma cristalina. Su amplia aplicación se basa en el hecho de que a partir de soluciones con impurezas se forman cristales puros, lo cual constituye un método práctico de obtener sustancias químicas puras en una forma adecuada para su envasado y almacenamiento.

MATERIAL Y EQUIPO.

- Balanza granataria.
- 2 termómetros.
- 1 Hot plate.
- 1 probeta de 15 ml.
- 2 espátulas.
- 1 pizeta.
- 1 beaker de 1000 ml.
- 1 beaker de 200 ml.
- 1 Kitazato con manguera.
- Papel filtro.
- Embudo
- Sulfato de amonio $\text{SO}_4 (\text{NH}_4)_2$

DISPOSICION FINAL DEL SULFATO DE AMONIO: después de usarse su eliminación puede efectuarse en el recipiente para sólidos inorgánicos.

- Hielo con agua líquida.

PROCEDIMIENTO.

- a) Pesar 11.5 g de sulfato de amonio.
- b) Calentar 14 ml de agua hasta 60°C en un beaker de 20 ml.
- c) Colocar el sulfato de amonio en el agua a 60°C hasta que se disuelva en su totalidad.
- d) Introducir la solución anterior en un beaker de 1000 ml y mantener la temperatura constante a 10°C en todo el proceso.
- e) Efectuar la siembra de cristales en el instante que la solución de agua con sulfato se introduzca en el beaker de 1000 ml conteniendo agua a 10°C
- f) Filtrar la solución en el kitazato y depositar los cristales en el papel filtro.
- g) Secar el remanente en la estufa por un período de tiempo determinado.
- h) Pesar los cristales que quedan en el papel con el fin de determinar el rendimiento de dichos cristales.

El cuadro 11.4 presenta el resumen de las prácticas de laboratorio.

CUADRO 11.5. CUADRO RESUMEN DE LOS LABORATORIOS DE PROCESOS DE SEPARACION Y MANEJO DE SOLIDOS

| Título de práctica | Sustancias utilizadas | Cantidad por 25 alumnos | Riesgo en la salud o ambiente |
|--|---|-------------------------|---|
| Cristalización por evaporación y nucleación | $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ | 57.5 g | No presenta riesgos específicos |
| Cálculo de factores de forma | Grava Parafina | 100 partículas | Contaminación del aire por partículas. No presenta riesgos específicos |
| Análisis de tamizado | Material a tamizar (arena, piedra caliza) | | Contaminación del aire por partículas |
| Determinación de propiedades de masa de partículas | Harinas, cemento, cereales, etc. | | Contaminación del aire por partículas |
| Reducción de tamaño por trituración y molienda | Piedra caliza | 21,378 g | Contaminación del aire por partículas |

CAPITULO XII
APLICACION DE LAS "TECNOLOGIAS MAS/LIMPIAS DE PRODUCCION"
A UNA INDUSTRIA LACTEA

12.0 EJEMPLO DE APLICACION DE LAS "TECNOLOGIAS MAS/LIMPIAS DE PRODUCCION" EN UNA INDUSTRIA LACTEA

Como se mencionó en el capítulo II, las TMLDP están encaminadas a la reducción o eliminación de la contaminación donde sea posible, utilizando como herramientas las técnicas de minimización de residuos. Una vez conocido el marco teórico de las TMLDP, es posible proponer alternativas encaminadas hacia un aprovechamiento adecuado de las materias primas y los recursos de una industria.

Con el propósito anterior, fue seleccionada la industria láctea para la aplicación de las TMLDP dado que, según Castillo y Mena, en 1990, sus aguas residuales producían una carga, en términos de población equivalente, de 24,200 habitantes, lo cual la ubicaba como la sexta industria que más contamina con sus aguas de desecho.

De tal manera, se visitó una industria láctea, cuyo nombre se omite a petición del propietario, la cual se dedica al procesamiento de leche cruda y de queso duro y tipo americano. Esta industria procesa 3500 botellas de leche cruda por día, de las cuales un 85% se vende como leche fluida y el resto se utiliza para fabricar queso.

12.1 PROBLEMATICA DEL SECTOR LECHERO EN EL SALVADOR

Con el objeto de plantear alternativas para la industria seleccionada es necesario conocer la situación en que se halla inmerso el sector lechero.

En la década de los años ochenta ocurrió una contracción en el desarrollo del sector lechero, debida a factores como: la reforma agraria, inseguridad jurídica, falta de apoyo del Gobierno y a la contracción y desnaturalización del mercado. El sector ganadero comenzó a manifestar una serie de proble-

mas, los cuales causaron estragos en la rentabilidad de las empresas ganaderas desde principios de 1986. Los efectos de la devaluación de la moneda, el deterioro relativo de los precios de los productos, el encarecimiento de los insumos y la adulteración de los productos, han puesto a las explotaciones ganaderas en una situación de virtual quiebra. Como resultado, en los años ochenta, ocurrió una contracción del 5.2% en el hato nacional y una caída en la oferta de 35.6 millones de litros de leche fluida (Salguero, 1995).

El factor importaciones de leche en polvo ha sido un elemento de gran importancia y causante de graves perturbaciones en la estructura de precios de la leche producida en el país, al disminuir la posibilidad de crecimiento del hato y reducir la capacidad de producir con mayor eficiencia, debido al menor margen de ganancia para el productor. Solamente en 1988, se importaron 87.5 millones de litros de leche en polvo en términos de leche fluida, equivalentes al 32.4% de la producción de leche fluida (PROLECHE, 1990).

Sin embargo, el crecimiento poblacional en El Salvador y sus escasos niveles de recursos productivos y económicos, lo sitúan como un país con gran demanda de productos alimenticios para satisfacer las necesidades de la población, lo que obliga a cubrir la demanda potencial de leche con importaciones de leche en polvo y donaciones provenientes del exterior (Salguero, 1995).

A lo anterior debe agregarse que, a pesar de que se cuenta con la Ley de Fomento de la Producción Higiénica de la Leche y Productos Lácteos, que manda la pasteurización de la leche para consumo humano, en la práctica no existe la obligatoriedad en pasteurizar la leche, de forma que se crea una competencia desleal entre la leche cruda de baja calidad y la leche pasteurizada que se vende en las plantas procesado-

ras, situación que limitó el crecimiento del sector lechero en apenas 1.5% entre los años 1980 y 1990 (PROLECHE,1990).

Esta última situación pretende ser corregida mediante la obligatoriedad de vender al consumidor final únicamente leche pasteurizada, que entrará en vigor en término de 2 años. De manera que si los pequeños productores no modernizan su proceso productivo se verán obligados a retirarse del negocio, a menos que se agrupen en cooperativas para hacerle frente a la inversión que implica vender leche fluida que cumpla con las normas higiénico-sanitarias establecidas en por la Ley (Salguero, 1995).

12.2 PROBLEMAS DE CONTAMINACION QUE GENERA LA INDUSTRIA LACTEA

La industria láctea genera altas cargas de contaminación orgánica, produciendo efluentes líquidos que se originan en:

- a) El proceso de lavado y limpieza de tuberías y recipientes en que se transporta la leche, así como en la limpieza de equipos y el aseo general de la planta.
- b) Derrames de leche por fugas, sobreflujo y mal funcionamiento de equipos.
- c) El proceso de desechar subproductos de la elaboración de quesos y otros derivados lácteos, por ejemplo los efluentes del suero. Es necesario mencionar la elevada demanda biológica de oxígeno (DBO), que para la leche es de aproximadamente 100,000 a 120,000 mg de O_2 /l, mientras que en el suero la DBO está entre 30,000 y 36,000 mg de O_2 /l. (Czysz,1991).

En el cuadro 12.1 se muestra la composición proximal del suero, mientras que el cuadro 12.2 presenta parámetros del grado de contaminación de las aguas residuales de la industria láctea (nótese que la DBO es inferior a la del suero y leche puros por el efecto de dilución con el agua de limpieza).

Si los desechos líquidos se descargan sin ningún tratamiento a un cuerpo de agua, éstos sufrirán degradación biológica, consumiendo el oxígeno del agua. Esto puede causar la muerte de peces y plantas.

Los sólidos en suspensión contenidos en el agua residual producen un efecto característico al bloquear el paso de la luz a través del agua. Esto retarda el crecimiento de la flora acuática de la que pueden depender especies animales para su alimentación (Fundación Natura, 1991).

Otras fuentes de contaminación en la industria láctea se deben a:

- a) Emanaciones gaseosas de los generadores de vapor, que emiten al aire dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, etc. como resultado de la quema de combustibles fósiles.
- b) Residuos sólidos provenientes de las operaciones de empaquetado y envasado de productos lácteos, así como los residuos de la limpieza de la planta.

12.3 EJEMPLO DEL PROCESO DE PRODUCCION EN LA INDUSTRIA LACTEA VISITADA

Como resultado de la visita a una industria láctea, se presentan a continuación las etapas que se llevan a cabo en dicha industria para la producción de leche fluida, mencionándose también las fuentes de contaminación. La figura 12.1 -

CUADRO 12.1. ANALISIS PROXIMAL DE LA COMPOSICION QUIMICA DEL SUERO DE QUESO

| Residuo | Materia seca | Proteína | Carbohidratos | Ceniza | Ca | P |
|-----------------|--------------|----------|---------------|--------|------|------|
| SUERO LIQUIDO % | 6.6 | 0.9 | 5.0 | 0.7 | 0.05 | 0.04 |

FUENTE: BARRERA (1994)

CUADRO 12.2. PARAMETROS DE CONTAMINACION DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LACTEA

| Parámetro | Valor reportado | Límite máximo permisible |
|----------------------------|-----------------|--------------------------|
| pH | 4.5 | 6 - 9 |
| DBO(mg/l) | 4,000 - 8,000 | menor de 1,000 |
| Sólidos suspendidos (mg/l) | 600 - 1,100 | menor de 500 |
| Grasas y aceites (mg/l) | 240 - 350 | 20 mg/l |
| Sólidos totales (mg/l) | 3,000 - 10,000 | menor de 1,000 |

FUENTE: Barrera (1994)

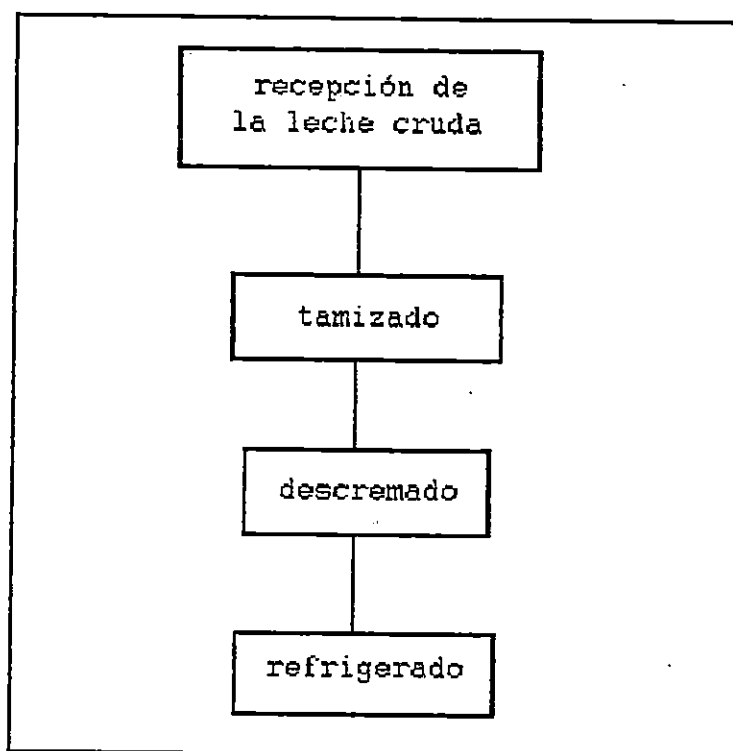


FIGURA 12.1. ESQUEMA DE PRODUCCION DE LECHE FLUIDA
FUENTE: VISITA INDUSTRIAL (1996)

muestra el esquema de producción de la leche fluida, el cual se describe a continuación.

- a) RECEPCION DE LA LECHE CRUDA. La leche obtenida del ordeño se enfría hasta 4°C y se transporta hacia la planta procesadora en depósitos plásticos y metálicos. Al momento de la recepción en la planta ocurren derrames de leche por el manejo inadecuado de los recipientes. El tiempo de llegada desde el lugar de ordeño hasta la planta varía entre 45 y 60 minutos.
- b) TAMIZADO. La leche cruda se pasa a través de un cedazo metálico (malla 200), para eliminarle las impurezas sólidas constituidas principalmente por pasto, pelos, insectos y otras impurezas que constituyen un residuo sólido en esta operación.
- c) DESCREMADO. Consiste en la separación de la grasa que contiene la leche. Para realizar esta operación se utiliza una máquina centrífuga que opera a 1750 rpm y que tiene capacidad para descremar 4000 botellas de leche por hora. En esta operación ocurren derrames de leche como producto de fugas en la descremadora. Además se produce un nivel de ruido desagradable al operar esta máquina.
- d) REFRIGERADO. La leche descremada se almacena en tanques de acero inoxidable a 6°C y la crema en cuartos fríos a 5°C. Los cuartos fríos usan freón 12 como refrigerante.

12.4 RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL PROCESAMIENTO DE LA LECHE FLUIDA

Dadas las condiciones en que opera la industria visitada, deben realizarse mejoras no sólo en lo que corresponde a las TMLDP, sino que es necesario mejorar las condiciones de hi-

giene del proceso, que conlleve a obtener un producto que - tenga los requisitos para el consumo humano.

En tal sentido, se plantean dos tipos de acciones para dicha industria, como son: medidas para mejorar la higiene y las técnicas de minimización de residuos.

12.4.1 MEDIDAS PARA MEJORAR LA HIGIENE. Como se mencionó, en un período de dos años se comenzará a exigir que toda leche sea procesada en condiciones apropiadas de higiene, por lo que deben realizarse acciones tendientes a lograr ese objetivo, pudiéndose mencionar:

- a) Aislar el área del procesamiento de la leche, para evitar cualquier tipo de contaminación externa.
- b) Deben existir buenas condiciones de iluminación que favorezcan la limpieza de la planta y que eviten la fatiga visual de los operarios.
- c) En cuanto al equipo del proceso, idealmente debe ser de - acero inoxidable para facilitar la limpieza y evitar contaminación del producto. Una mejora en ese sentido sería la sustitución del equipo utilizado en el tamizado de la leche cruda, cuyo marco es de madera, lo cual puede acarrear problemas de contaminación ya que la madera es porosa y se agrieta, favoreciendo la proliferación de microorganismos.
- d) Los empleados deben disponer de instalaciones adecuadas y convenientes para su aseo personal, las cuales deben tener siempre jabón y toallas desechables. Un aspecto obvio que puede pasarse por alto, es la obligación del personal para que se lave las manos después de utilizar los servi-

cios, que dicho sea de paso, deberán estar en perfectas - condiciones higiénicas.

- e) El personal que labore en el proceso deberá portar mascarillas, guantes, gorro y delantal. En la zona del proceso no se deberá mascar chicle, escupir, comer o fumar.
- f) Aunque se relizan exámenes al personal (cada año), esta - práctica debería hacerse cada seis meses, para garantizar un estado de salud aceptable de los operarios.
- g) Pasteurización. La medida de mayor importancia es la pasteurización de la leche que asegure la eliminación de microorganismos patógenos. Debe mencionarse que la empresa ya cuenta con un tanque de pasteurización baja, es decir, calentando la leche a 65°C durante 25 minutos. Este tanque tiene capacidad para 1,500 botellas de leche.
- h) Envasado. La leche fluida se vende a granel. Sin embargo como parte de las exigencias de higiene, debería envasarse en bolsas o empaques de cartón, en los que se imprima la información nutricional del producto. En el caso de los quesos, el empaqueo se realiza mediante una máquina de operación manual que cierra los empaques por medio del calor. Idealmente, la leche podría envasarse en empaques de cartón parafinado(pure pak) o en envases de cartón - plastificado(tetra pak), que tienen las ventajas de poco peso y opacidad. En el caso de los quesos, lo más conveniente sería el empaqueo al vacío.

12.4.2 MINIMIZACION DE RESIDUOS. De la visita realizada, se determinaron los puntos de generación de contaminantes en el proceso de la leche fluida y del queso. La figura 12.2 muestra un diagrama simplificado del proceso que sigue la leche y el queso con los contaminantes que se generan. En la recep

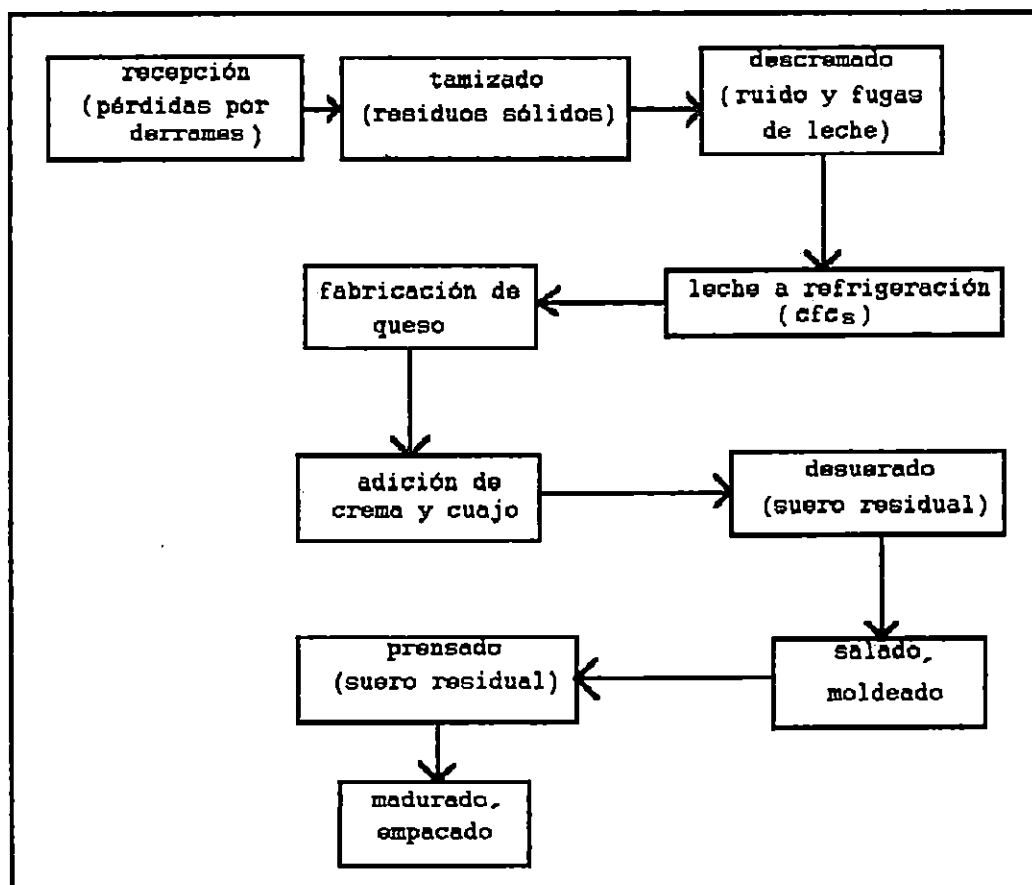


FIGURA 12.2 ESQUEMA DEL PROCESAMIENTO DE LECHE FLUIDA
Y QUESO

FUENTE: VISITA A UNA INDUSTRIA LACTEA (1996)

ción de la leche cruda ocurren derrames de leche que junto con el suero residual de las etapas de desuerado y prensado del queso, representan importantes fuentes de contaminación del agua.

En el caso del descremado, se da contaminación por ruido, cuyo nivel es lo suficientemente alto como para causar molestias auditivas.

La refrigeración de los productos lácteos se realiza en cámaras que utilizan freón 12 como refrigerante. En este punto - la contaminación ocurre cuando hay fugas del freón 12 en el sistema.

La minimización de residuos puede aplicarse, de forma cualitativa, en dichos puntos de la manera que sigue:

- a) **Recepción de la leche cruda.** Pueden implementarse prácticas de operación adecuadas, concientizando al trabajador sobre la importancia de la manipulación adecuada de los depósitos de leche. Otra alternativa sería el uso de recipientes de boca angosta para evitar derrames de leche.
- b) **Tamizado.** Pueden disminuirse los residuos sólidos exigiendo al proveedor una leche cruda libre de residuos. Esta situación puede solucionarse con la limpieza del lugar de ordeño y de la ubre de las vacas. El ordeño también puede realizarse con una máquina ordeñadora que elimina la posibilidad que la leche sea contaminada por el ordeñador. Esta alternativa es la más conveniente, pero también está sujeta a las posibilidades económicas del proveedor.
- c) **Descremado.** El mantenimiento preventivo de la descremadora puede evitar que ocurran fugas de leche, por el mal estado de los empaques.

- d) **Refrigeración de la leche.** Es recomendable la sustitución del freón 12 por gas refrigerante 134A, aunque esto puede significar un cambio en el compresor o en la válvula de expansión del equipo.
- e) **Desuerado y prensado.** Son los puntos que generan la mayor contaminación en la fabricación del queso. Sin embargo, el suero residual puede aprovecharse para elaborar requesón o venderse como suplemento para alimentación animal, evitando así la carga contaminante que representa verter dicho líquido a un cuerpo de agua.

12.5 OBSERVACIONES

- a) Las alternativas mencionadas pueden resultar de gran ayuda para minimizar la contaminación en una industria pequeña, pero en el caso de industrias más grandes puede requerirse tratamiento biológico para los efluentes, previa auditoría de los residuos en la planta.
- b) Para que la pequeña industria lechera realice cambios en su proceso, específicamente en la adquisición de equipos, es necesario que se cuente con una política clara para el desarrollo del sector lechero.
- c) Algunos cambios propuestos requieren una inversión alta, por ejemplo, pasterurizador, máquina para empaque, etc. cuya adquisición se reflejaría en un alza en el precio de la leche, pero a cambio se contaría con un producto más higiénico.
- d) El suero resultante de la fabricación del queso, es posible aprovecharlo para obtener un suplemento alimenticio que sirva como alimento para ganado, lo que es más rentable por el bajo nivel de producción. El suero también

puede utilizarse para su conversión a productos biotecnológicos (goma xantantana, proteína unicelular, etc.). Sin embargo, el llevar a cabo la conversión biotecnológica o la instalación de una planta para el tratamiento del suero, requiere de un mayor volumen de producción para que la inversión sea rentable. Por el momento, los residuos de la industria láctea visitada se vierten, sin tratamiento previo, al sistema de alcantarillado municipal.

OBSERVACIONES

- 1) Actualmente El Salvador atraviesa una grave crisis ambiental caracterizada por la pérdida de la biodiversidad, contaminación indiscriminada de los recursos hídricos, contaminación del aire por el uso de combustibles fósiles, etc., de lo cual se derivan problemas de salud en la población, pérdida del potencial hidroeléctrico, limitación en el uso de los recursos, etc.
- 2) Actualmente se encuentra en discusión la Ley del Medio Ambiente, esperándose que con su aprobación se de una mejoría gradual de la crisis ambiental del país.
- 3) Las TMLDP constituyen un aporte tecnológico para mitigar el impacto de las actividades industriales, agrícolas y otras actividades productivas principalmente; sin embargo, por sí mismas no son capaces de resolver la problemática del medio ambiente, lo cual significa que las TMLDP deben vincularse con factores económicos, sociales, legales, educativos, etc., para solucionar efectivamente tal problemática.
- 4) Los procesos industriales de una forma u otra siempre tendrán un impacto sobre el medio ambiente, pero por medio de las TMLDP, el impacto negativo puede reducirse haciendo énfasis en la prevención de la contaminación antes que en su control, aplicando las técnicas de minimización de residuos.

CONCLUSIONES

- 1) Es necesario pasar de una visión antropocéntrica a una visión ecocéntrica, y en ese sentido la aplicación de las TMLDP, puede ayudar al logro de un medio ambiente menos contaminado, de manera que puedan establecerse nexos de armonía entre las actividades industriales y el medio ambiente.
- 2) La educación ambiental debe abarcar a todos los niveles educativos, de manera que el estudiante tenga un panorama amplio y claro sobre temáticas relacionadas con el medio ambiente al finalizar su formación académica.
- 3) Parte de la formación profesional del estudiante de Ingeniería Química debe orientarse hacia el conocimiento del medio ambiente y de las causas y efectos de los problemas ambientales, de manera que los futuros Ingenieros Químicos, que participen en los procesos productivos, no sean únicamente testigos de la contaminación sino que puedan ser capaces de plantear y llevar a cabo alternativas viables para mitigar el impacto negativo de las actividades industriales en el medio ambiente.
- 4) El conocimiento de las TMLDP no implica necesariamente un cambio inmediato que conlleve a la sustitución de las tecnologías tradicionales. Es decir, que de acuerdo a factores técnicos, económicos, legales, etc., puede realizarse un cambio gradual de las tecnologías tradicionales hacia las TMLDP.

- 5) debido a la crisis mencionada es necesario que se tomen medidas concretas para impedir que se siga deteriorando el medio ambiente. Entre esas medidas pueden mencionarse la educación ambiental a la población sobre cuestiones ambientales, la creación y aprobación de una legislación ambiental, reformas en las instituciones encargadas de velar por el medio ambiente para hacer más efectivo su funcionamiento, así como un ordenamiento en el uso de los recursos, de tal manera que se empleen de forma racional.
- 6) No se puede continuar destruyendo el entorno natural sin poner en serio peligro la supervivencia humana, por lo que deben promoverse a nivel universitario e industrial el uso de tecnologías y sistemas de consumo apropiado que permitan mejorar en la calidad de vida de la población, y que no modifiquen irreversiblemente los ciclos naturales para darle sustentabilidad a la vida presente y futura, porque no puede existir justicia mientras persistan actitudes de agresión y abuso contra la naturaleza.

RECOMENDACIONES.

- 1) Delegar la responsabilidad a una(s) persona(s) dentro de la Escuela de Ingeniería Química para que formen un banco de información sobre temáticas relacionadas con el medio ambiente, el cual consistiría en libros, revistas, videos y material relacionado.
- 2) Organizar con mayor frecuencia dentro de la Escuela de Ingeniería Química, eventos tales como charlas, conferencias, proyección de videos, etc., en las cuales se inviten personas relacionadas con la industria y organizaciones ambientalistas, para que el estudiante conozca como se llevan a cabo los procesos industriales y las medidas que se toman para proteger el medio ambiente.
- 3) Establecer una Comisión a nivel de la Facultad de Ingeniería para que los estudiantes puedan realizar pasantías en las industrias y colaboren con ellas en aspectos relacionados con el medio ambiente, lo cual puede reconocércele al estudiante como horas sociales o, de ser más profundo, como trabajo de graduación.
- 4) Deben darse a conocer al estudiante, en las asignaturas que correspondan, los trabajos de graduación que de una u otra forma le encaminen a la implementación de mecanismos de protección al medio ambiente.
- 5) Los cuadros docentes deben prepararse técnica y pedagógicamente por ser los responsables de transmitir los conocimientos sobre aspectos ambientales a los estudiantes y, de ser posible, buscar la contratación de profesionales con experiencia en la industria para im-

partir asignaturas obligatorias o técnicas electivas que lleven, a la vez, aspectos ambientales.

- 6) La Escuela de Ingeniería Química debería revisar periódicamente los programas de las asignaturas de la carrera, de forma que estos programas puedan ser constantemente actualizados dentro de la línea de las TMLDP.
- 7) Para implementar completamente la introducción de las TMLDP en la enseñanza de la Ingeniería Química, debe darse continuidad a este Trabajo de Graduación, aplicando los conceptos más relevantes a la revisión de otras asignaturas.
- 8) Un cambio en todas las carreras de la Universidad de El Salvador, en la dirección de las TMLDP, debe realizarse en forma sistemática. Para ello, las Autoridades Superiores Universitarias, deben apoyar económica y técnicamente los proyectos relacionados con la protección del medio ambiente.

De tal manera, serían las Autoridades Superiores Universitarias quienes fomentarían la creación de una Comisión Universitaria para la Aplicación de las TMLDP, la cual tendría a su cargo la elaboración, adopción y ejecución de proyectos ambientales.

Dicha Comisión idealmente debe estar integrada por el Rector de la Universidad, los Decanos de las diferentes Facultades y representantes de las carreras que imparte la Universidad. La Comisión daría el aval para la ejecución de los proyectos presentados por las Escuelas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acuña, Jubis et al. 1994. "Factores que Contribuyen a la Contaminación Ambiental en el Mundo y en El Salvador". Instituto Tecnológico Centroamericano (ITCA). El Salvador.
- Albert, Lilia. 1988. "Curso Básico de Toxicología Ambiental". Segunda edición. Editorial Limusa S.A. México.
- Alberty, R. et al. 1972. "Curso de Fisicoquímica Experimental". Séptima edición. Mc Graw-Hill Book Co. Colombia.
- Amaya, G. y B. Sandoval. 1992. "Aspectos Económicos e Impacto Ambiental de la Petróleo Dependencia en El Salvador". First Inter-American Conference. Universidad de El Salvador and Western Ontario University (Canada). San Salvador, El Salvador.
- A. Municipal SS. 1995. "Proyecto de Mejoramiento del Manejo de desechos sólidos en la Región Metropolitana". Alcaldía Municipal de San Salvador. Mes de mayo. El Salvador.
- ANDA/OPS, 1989. "Banco de Datos Hídricos de Vertidos Industriales". Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillados/Organización Panamericana de la Salud. San Salvador. El Salvador.
- ANSA. 1995. "El Más Grande Agujero de Ozono". Noticia publicada por La Prensa Gráfica. 18 de septiembre. El Salvador.

- Argüello, R. 1995. "Desarrollo Sostenible". Conferencia realizada en la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA). 15 de julio. El Salvador.
- Arteaga, E. et al. 1994. "El Mercado del Reciclaje en San Salvador". Estudio Técnico Preparado por la Fundación Ecológica Salvanatura. Mes de octubre. San Salvador. - El Salvador.
- AIISA. 1995. "Ingeniería Sanitaria y Ambiental". Publicación de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Mes de noviembre. Buenos Aires. Argentina.
- Barrera, C. 1987. "Guía de Saneamiento Básico Industrial". Primera Edición. Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). México D.F.
- Barrera, S. 1994. "Evaluación de las Posibles Aplicaciones de la Biotecnología en la Recuperación de Residuos de la Industria de Alimentos". Trabajo de Graduación para Optar al Título de Ingeniero Químico. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Barrientos, C. 1994. "Generación de Compuestos Tóxicos y su Disposición, Incluyendo el Comercio Internacional de los Mismos". International Course: Bioengineering with Applications to Environmental Biotechnology and Cleaner Production. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Enero-febrero. Guatemala.

- Barry, D. 1996. "El Agua: El Conflicto del Siglo XXI". Ponencia impartida en la "Conferencia de la Tierra". 23 de abril. Hotel Presidente. San Salvador. El Salvador.
- Boyle, W. 1979. "Termodinámica, Ecología y Proceso Económico". Ponencia impartida en el 5º Congreso Nacional de Ingeniería. Federación Salvadoreña de Ingenieros. El Salvador.
- Calderón, G. y R. Monge. 1994. "Propuesta de Normas de Calidad de Agua y Control de Vertidos". Organización Panamericana Para la Salud (OPS). San Salvador. El Salvador.
- Caldwell, L. 1993. "Ecología. Ciencia y Política Mediambiental". Primera Edición en Español. Mc Graw-Hill/Interamericana de España. Madrid, España.
- Canga, M. y R. Morales. 1994. "Bioprosesamiento Ecológico: Un Balance entre los Aspectos Económicos, Sociales y Jurídicos". International Course: Bioengineering with Applications to Environmental Biotechnology and Cleaner Production. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Enero-febrero. Guatemala.
- Castellán, G. 1976. "Fisicoquímica". Segunda Edición. Fondo Educativo Interamericano. México.
- Castillo, N. y V. Mena. 1993. "Uso de Enzimas Proteolíticas y su Uso en el Depilado de Piel y su Incidencia en la Reducción de la Contaminación. Trabajo de Graduación para optar al Título de Ingeniero Químico. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.

- CESTA. 1990. "Reconversión Equivalente a Reducir Contaminación". Centro Salvadoreño de Tecnología Apropriada. El Salvador.
- Cifuentes, L. 1994. "El Mensaje de Ascend 21". International Course: Bioengineering with Applications to Environmental Biotechnology and Cleaner Production. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Enero-febrero. Guatemala.
- CEL. 1994. "Balance Energético Nacional". Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL). Mes de octubre. El Salvador.
- CEL. 1984. "Curso Seminario Sobre Energía Solar". Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL). Publicación del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). El Salvador
- Córdova, R. 1995. "Empresas Ecoeficientes". Noticia publicada por La Prensa Gráfica. 15 de julio. El Salvador.
- Czysz, W. et al, 1991. "Manual de Disposición de Aguas Residuales". Primera Edición. Cooperación Técnica de la República Federal de Alemania. Lima, Perú.
- Desoille, H. 1990. "Medicina del Trabajo". Primera Edición. Editorial Masson. Barcelona, España.
- Díaz, O. 1996. "Resurge Proyecto de Planta Incineradora de basura". Noticia publicada por La Prensa Gráfica. 20 de febrero. El Salvador.

- Duarte, C. 1996. "Desarrollarán Generación Geotérmica". Noticia publicada por La Prensa Gráfica. 12 de mayo. El Salvador
- Duarte, J. 1993. "Introducción a las Energías Renovables". Curso sobre Aplicaciones de las Fuentes Renovables de Energía. Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas". Mes de febrero. El Salvador.
- Eddy, H. y L. Metcalf. 1981. "Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales". Segunda Edición. Editorial Labor. Barcelona, España.
- EPA. 1987. "Environmental Technology Sources: Matching Solutions to Problems". U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C.
- EPA. 1992. "Facility Pollution Prevention Guide". Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C.
- Fair, G. et al. 1974. "Abastecimiento de Aguas y Remoción de Aguas Residuales". Primera Reimpresión. Editorial Limusa. México.
- Felder, R. y R. Rousseau. 1987. "Principios Elementales de los Procesos Químicos". Primera edición. Addison Wesley Iberoamérica. Argentina.
- Freeman, Myrick. 1987. "Control de la Contaminación del Agua y del Aire". Primera edición. Editorial Limusa S.A. México.

- Fundación Natura. 1991. "Potencial Impacto Ambiental de las Industrias en el Ecuador". Agencia Internacional para el Desarrollo (AID). Ecuador.
- Garland, C. y D. Shoemaker. 1968. "Experimentos de Fisicoquímica". Segunda edición. Editorial Hispanoamericana. México.
- Gómez, P. y M. Hernández. 1990. "Estudio de Factibilidad Técnica y Económica Para el Reciclo de Plástico en el Area Metropolitana de San Salvador". Trabajo de Graduación Para Optar al Título de Ingeniero Químico. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Gómez, W. et al. 1993. "Aspectos Higiénicos y Sanitarios de la Leche y Productos Lácteos". Cooperación Técnica Italiana. Roma, Italia.
- Greenpeace Centroamericana. 1995. "Incineradores...No". Publicación de Greenpeace Centroamericana. Mes de junio. Guatemala.
- Greenpeace. 1994. "Inventory of Toxic Technologies". Greenpeace International Toxic Trade Campaign. May. New York. USA.
- Grimaldi, J. y R. Simmonds. 1991. "La Seguridad Industrial". Quinta Edición. Ediciones Alfa - Omega. México.
- Haynard, D. 1993. "Industrial Wastewater Minimization and Treatment: Recent Trends". Global Partnership Conference. Halcrow Ed. United Kingdom.

- Hernández, S. 1990. "¿Cómo Deshacernos de la Basura Radioactiva". Artículo de la Revista Muy Interesante. Número 10. México.
- Hernández P. y J. Yanes. 1993. "Seminario Taller Sobre Evaluación del Impacto Ambiental de Proyectos de Desarrollo Industrial". Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente, Universidad de El Salvador. Agosto. El Salvador.
- Himmelblau, D. 1988. "Balances de Materia y Energía". Cuarta edición. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. México.
- Holliman, J. 1992. "Consumers Need to Reduce, Reuse, Recover and Recycle". Speaking Out. Volume four: Realistic Approaches to Environmental Issues. Published by Toyota Motor Corporation. Tokyo, Japan.
- Johansson, A. SFP (Sin Fecha de Publicación). "Clean Technology". Lewis Publishers.
- Maron, S. y J. Lando. 1978. "Fisicoquímica Fundamental". Primera edición. Editorial Limusa. México.
- Mata, J. 1994a. "Evaluación de Riesgos, Monitoreo y Guía Para una Auditoría Ambiental". International Course : "Applications to Environmental Biotechnology and Cleaner Production". Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Enero-febrero. Guatemala

- Mata, J. 1994b. "Estrategias Compatibles con el Medio Ambiente Para la Digestión de Residuos Sólidos Urbanos". In -
ternational Course: "Applications to Environmental Bio -
technology and Cleaner Production". Instituto Centroa -
mericano de Investigación y Tecnología Industrial
(ICAITI). Enero-febrero. Guatemala.
- McCabe, W. et al. 1993. "Operaciones Básicas de Ingeniería
Química". Cuarta Edición. Editorial McGraw - Hill. Méxi
co.
- Mejía, W. 1994. "Caracterización de un Secador Solar Directo
Pasivo". Trabajo de Graduación Para Optar al Título de
Licenciado en Física. Facultad de Ciencias Naturales y
Matemática. Escuela de Física. Universidad de El Salva
dor. El Salvador.
- Merck, 1989. "Reactivos - Diagnóstica - Productos Químicos".
República Federal de Alemania.
- Molina C. 1995. "Piden Estudiar Impacto del Procesamiento de
Basura". Noticia publicada por La Prensa Gráfica. 18 de
octubre. El Salvador.
- Montgomery, R. 1991. "Energía Solar". Primera Edición. Edito
rial Limusa. México.
- Moore, W. 1986. "Fisicoquímica Básica". Primera Edición.
Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México.
- Morillo, E. 1993. "Aplicaciones Fototérmicas a Bajas Tempera
turas de la Energía Solar". Facultad de Ciencias Natura
les y Matemáticas. Escuela de Física. Universidad de
El Salvador. El Salvador.

- Moser, A. 1994a. "Process Engineering for the Environment: Concept of Cleaner Bioprocessing". International Course: "Bioengineering with Applications to Environmental Biotechnology and Cleaner Production". Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Enero-febrero. Guatemala.
- Moser, A. 1994b. "El Desarrollo de una Tecnología Sustentable". International Course: "Bioengineering with Applications to Environmental Biotechnology and Cleaner Production". Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Enero-febrero. Guatemala.
- Moser, A. 1994c. "Eco - Tec: Un Paradigma Tecnológico Nuevo". International Course: "Biotechnology with Applications to Environmental Biotechnology and Cleaner Production". Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Enero-febrero. Guatemala.
- Moser, A. 1994d. "Process Engineering for the Environment: Concept of Cleaner Bioprocessing". International Course: "Biotechnology with Applications to Environmental Biotechnology and Cleaner Production". Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Enero-febrero. Guatemala.
- MSPAS. 1994. "Manual de Disposición de Residuos Hospitalarios". Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. El Salvador.

- OPS/OMS. 1993a. "Segunda Conferencia Centroamericana Sobre Ecología y Salud". Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. Mes de septiembre. El Salvador.
- OPS/OMS. 1993b. "Evaluación del Sector Agua Potable y Saneamiento". Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. El Salvador.
- OPS/OMS. Junio de 1993c. "Guía Para el Manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios". Departamento de Saneamiento Ambiental, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. El Salvador.
- Orellana, W. 1995. "El Desarrollo Sostenible en El Salvador". Conferencia. Feria Internacional de El Salvador. 21 de junio. El Salvador.
- Pauri, F. 1995. "Modernas Tecnologías Medioambientales". Deutschland. Número Especial. Frankfurter Societats-Druckerei. Frankfurt/Main, Alemania.
- Peavy, H. et al. 1985. "Environmental Engineering". First Edition. McGraw - Hill Book Co. United States of America.
- Portillo, L. 1996. Miembro del Centro de Investigaciones Atómicas y Nucleares (CIAN). Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. Entrevista personal. El Salvador.

- Posada, V. 1994. "Estudio Térmico Experimental Comparativo de Cuatro Diseños de Cocinas Solares Tipo Caja. Caracterización del Mejor Diseño". Trabajo de Graduación Para Optar al Título de Licenciada en Física. Escuela de Física. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- PROLECHE. 1990. "Diagnóstico y Planteamiento de Políticas para el Rescate de la Ganadería de Leche en El Salvador". Asociación Salvadoreña de Productores de Leche de El Salvador. El Salvador.
- Procuraduría para la Defensa de los Derechos del Medio Ambiente. 1992. "Medio Ambiente y Derechos Humanos". Seminario Taller, Procuraduría Adjunta Para la Defensa de los Derechos Humanos del Medio Ambiente. El Salvador.
- Reynado, J. y D. Pérez. 1991. "Estudio de la Lluvia Acida en la Zona Metropolitana de San Salvador". Trabajo de Graduación para optar al Título de Ingeniero Químico. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Rolz, C. 1994. "Conceptos Básicos en la Aplicación de la Biotecnología Para Lograr Una Producción Más Limpia". International Course: "Bioengineering with Applications to Environmental Biotechnology and Cleaner Production. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Enero-febrero. Guatemala.

- Salguero, R. 1995. "Situación de la Comercialización de la Leche Fluida en El Salvador". Trabajo de Graduación para Optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Sans, R. y J. de Pablo. 1989. "Ingeniería Ambiental". Primera Edición. Boixareu Editores. Barcelona, España.
- SEMA. 1994a. "Estrategia Nacional del Medio Ambiente". Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente. Ministerio de Planificación y Coordinación del Desarrollo Económicos y Social. El Salvador.
- SEMA. 1994b. "Visión Actual de la Disposición de Desechos Sólidos en el AMSS". Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente. El Salvador.
- SEMA, 1995. "Documento de la Primera Jornada Técnica Sobre la Comisión Nacional de Ozono de El Salvador". Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente. San Salvador.
- Smith, J. y H. Van Ness. 1989. "Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química". Segunda Edición en Español. McGraw-Hill/Interamericana. México D.F.
- Soria, F y J. Miro. 1979. "Técnicas de Defensa del Medio Ambiente". Volumen II. Editorial Labor, S.A. México.
- Strobbe, M. 1973. "Orígenes y Control de la Contaminación Ambiental". Primera Edición. Editorial Continental. México.

- Sung, M. y L. Wang. 1992. "Handbook of Industrial Waste Treatment". Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Treybal, R. 1988. "Operaciones de Transferencia de Masa". Segunda Edición. Editorial Mc.Graw - Hill. México.
- Turk, J. y J. Wittes. 1985. "Ecología. Contaminación. Medio Ambiente". Primera Edición. Nueva Editorial Interamericana. México.
- UES. 1993a. "Guías de Laboratorio de la Asignatura Fisicoquímica I". Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- UES. 1993b. "Guías de Laboratorio de la Asignatura Fisicoquímica II". Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- UES. 1993c. "Guías de Laboratorio de la Asignatura Operaciones Unitarias I". Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- UES. 1993d. "Guías de Laboratorio de la Asignatura Procesos de Separación y de Manejo de Sólidos". Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- UES. 1993e. "Guión de Clases de la Asignatura Química Industrial, Ciclo I/93". Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.

- UES. 1995a. "Guías de Laboratorio de la Asignatura Operaciones Unitarias III". Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- UES. 1995b. "Guía de Discusión de Problemas de la Asignatura Fisicoquímica II". Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. El Salvador.
- UNEP/UNIDO. 1991. "Audit and Reduction Manual for Industrial Emissions and Wastes". United Nations Environment Programme/United Nations Industrial Development Organization. First Edition. Paris, France.
- UNEP. 1992. "The Impact of Ozone-Layer Depletion". United Nations Environment Programme. Paris, France.
- UNEP. 1993a. "Ozone on Action". No. 7. United Nations Environment Programme. Paris, France.
- UNEP. 1993b. "Ozone on Action". No. 8. United Nations Environment Programme. Paris, France.
- UNEP. 1993c. "The Impact of Climate Change". No. 10. United Nations Environment Programme. Paris, France.
- Villalta, C. 1993. "Diseño e Instalación de un Sistema Fotovoltaico Para Iluminación Residencial Rural". Curso seminario sobre: "Aplicaciones de las Fuentes Renovables de Energía". Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA). El Salvador.

Wark, K y F. Warner. 1990. "Contaminación del Aire". Primera edición. Editorial Limusa S.A. México.

WMO, 1991. "Scientific Assesment Ozone Depletion". World Meteorological Organization. France.

APPENDICES

APENDICE A
 UBICACION GEOGRAFICA DE LOS PRINCIPALES RIOS DE EL SALVADOR

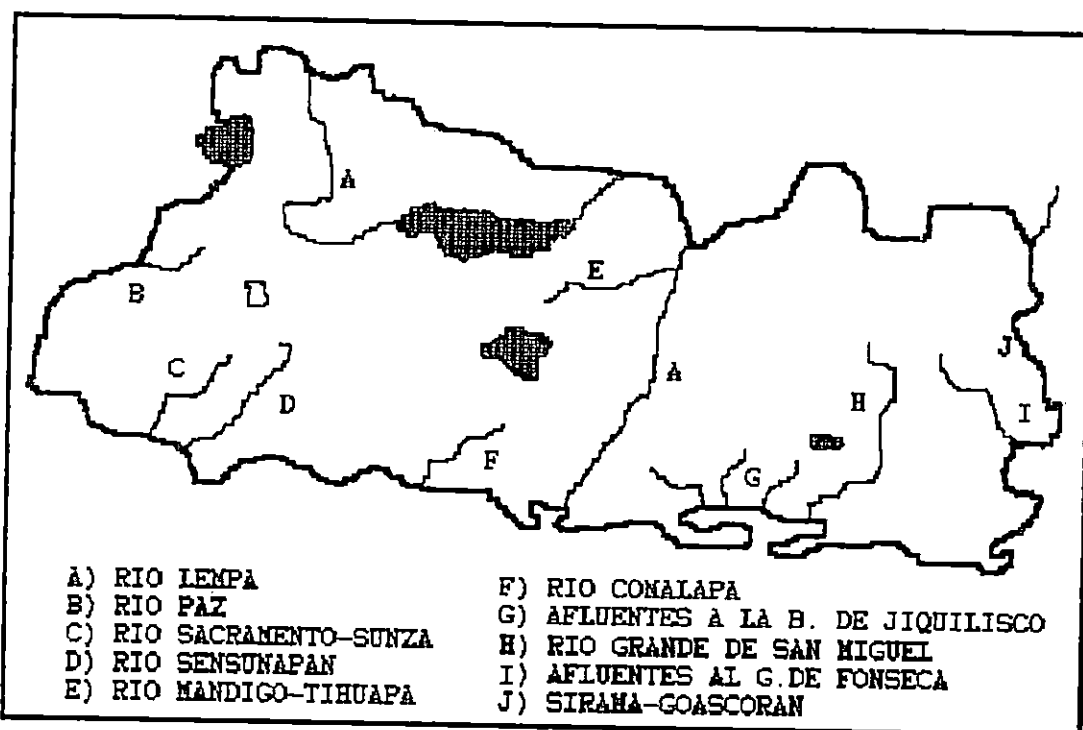


FIGURA A.1. UBICACION GEOGRAFICA DE LOS PRINCIPALES RIOS DE EL SALVADOR

FUENTE: ACUÑA (1994)

APENDICE B
GUIA PARA LA REALIZACION DE UNA AUDITORIA DE RESIDUOS
(UNEP/UNIDO, 1991)

Una auditoría de residuos es el primer paso para la puesta en marcha de un programa diseñado para maximizar el uso de recursos y para mejorar la eficiencia de un proceso.

En términos más técnicos, una auditoría de residuos consiste en la medición de residuos provenientes de una industria, una planta, un proceso o una operación unitaria. Dicha auditoría ha de permitir no sólo la identificación de residuos, sino conocer el origen de los mismos, su cantidad, composición y las posibles formas en que pueden disminuirse.

La realización de auditorías de residuos brinda información sobre las materias primas, los productos, las impurezas y los desechos que genera un proceso. Estas identifican las prácticas industriales y establecen las posibles medidas para producir mejor y contaminar menos el ambiente (Mata, 1994).

Este tipo de auditoría puede realizarse en tres fases: evaluación previa, balance de materia y síntesis de la información (obtenida en las fases previas). Cada fase está dividida en pasos, los cuales tendrán mayor o menor relevancia, e incluso pasos adicionales podrían ser requeridos según sea el caso de aplicación. El cuadro B.1 presenta las fases y pasos generales de una auditoría de residuos.

CUADRO B.1. GUIA PARA LA REALIZACION DE UNA AUDITORIA
DE RESIDUOS

Primera fase: Evaluación preliminar

Paso 1: Preparación de la auditoría

Paso 2: Identificación de las operaciones unitarias del proceso

Paso 3: Construcción de diagramas de flujo

Segunda fase: balance de materiales

Paso 4: Determinación de las corrientes de entrada

Paso 5: Cantidad de agua utilizada

Paso 6: Reuso o reciclaje de residuos

Paso 7: Determinación de las corrientes de salida

Paso 8: Cuantificación del agua residual

Paso 9: Cuantificación de emisiones gaseosas

Paso 10: Cuantificación de residuos generados

Paso 11: Preparación de un balance de materia para las operaciones unitarias

Paso 12: Balance de materia preliminar

Paso 13: Evaluación del balance de materiales

Paso 14: Recálculo del balance de materia

Tercera fase: Síntesis

Paso 15: Evaluación de medidas para la reducción de residuos

Paso 16: Enfoque y caracterización de los problemas de residuos

Paso 17: Segregación

Paso 18: Desarrollo de opciones para la reducción de residuos

Paso 19: Evaluación ambiental y económica de las opciones para la reducción de residuos

Paso 20: Desarrollo e implementación de un plan de acción: Reducción de residuos e incremento en la eficiencia de producción

FUENTE: UNEP/UNIDO (1991)

1) PRIMERA FASE: EVALUACION PRELIMINAR

1.1) PASO 1: PREPARACION DE LA AUDITORIA.

Este paso es importante porque permitirá una efectiva evaluación de los costos de la auditoría, involucrando a los niveles de mando de la industria en la implementación de las medidas que fuesen necesarias.

Es importante determinar si se cuenta con los equipos o recursos para realizar análisis químicos, mediciones de flujo, etc. Por lo tanto, deben tenerse claros los objetivos de la auditoría, para enfocar esfuerzos hacia ellos, como por ejemplo determinar pérdidas de materia prima y generación de residuos peligrosos.

Además, debe recolectarse toda la información sobre el proceso y datos generales del mismo, tales como: residuos obvios generados, sustancias químicas utilizadas, puntos de vertido de los residuos, costos del tratamiento de residuos (si los hay). Como ejemplo, el cuadro B.2 presenta algunos parámetros promedio que miden la contaminación en la industria de cueros.

CUADRO B.1. PARAMETROS PROMEDIO DE CONTAMINACION EN LA INDUSTRIA DE CUEROS (POR TONELADA DE PIEL CESADA).

| Parámetro | Etapas de pelambre, teñido y acabado |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| - Volumen de agua (m ³) | 53 |
| - Demanda bioquímica de Oxígeno (Kg) | 95 |
| - Demanda química de oxígeno (Kg) | 260 |
| - Sólidos suspendidos (Kg) | 140 |
| - Sólidos totales (Kg) | 525 |
| - Cromo total (Kg) | 4.3 |
| - Sulfitos (Kg) | 8.5 |
| - Aceite y grasa (Kg) | 19 |
| - Nitrógeno total (Kg) | 17 |
| - pH | 1-13 |

FUENTE: UNEP/UNIDO (1991)

1.2) PASO 2: IDENTIFICACION DE LAS OPERACIONES UNITARIAS DEL PROCESO.

En este caso, ha de entenderse por operación unitaria, un área de proceso o una parte de un equipo donde los materiales están entrando, ocurre un cambio y salen transformados.

Durante este paso exploratorio es importante la realización de recorridos por la planta y hacer observaciones sobre sistemas de drenaje, ventilación, y áreas de transferencia de masa, señalando además puntos de fuga de materia o energía no planificados o, prácticas de manejo de materiales. El cuadro B.3 muestra la forma habitual de tabular esta información.

CUADRO B.3. EJEMPLO DE IDENTIFICACION DE OPERACIONES UNITARIAS EN LA INDUSTRIA DE ELECTRORECUBRIMIENTOS

| Operación unitaria | Función | Archivo No |
|---------------------------|--|------------|
| Superficie de tratamiento | Tratamiento de superficie de productos metálicos | 1 |
| Enjuague | Lavado de los productos de metal antes del pintado | 2 |

FUENTE: UNEP/UNIDO (1991)

1.3) PASO 3: CONSTRUCCION DE DIAGRAMAS DE FLUJO.

En estos diagramas se muestra la relación entre las distintas operaciones unitarias, permitiendo la observación de áreas en las cuales podrían efectuarse cambios para reducir desechos. La figura 1.B, ejemplifica este paso.

2) SEGUNDA FASE: BALANCE DE MATERIALES

Esta fase comprende la evaluación de las corrientes de entrada y salida de las distintas operaciones. De esta forma es posible tener un control más exacto de los residuos que se generan, así como de las corrientes que se hayan pasado por alto y que sean importantes en el balance. La figura B.2 es un ejemplo general de los componentes que necesitan cuantificarse para realizar un balance de materia.

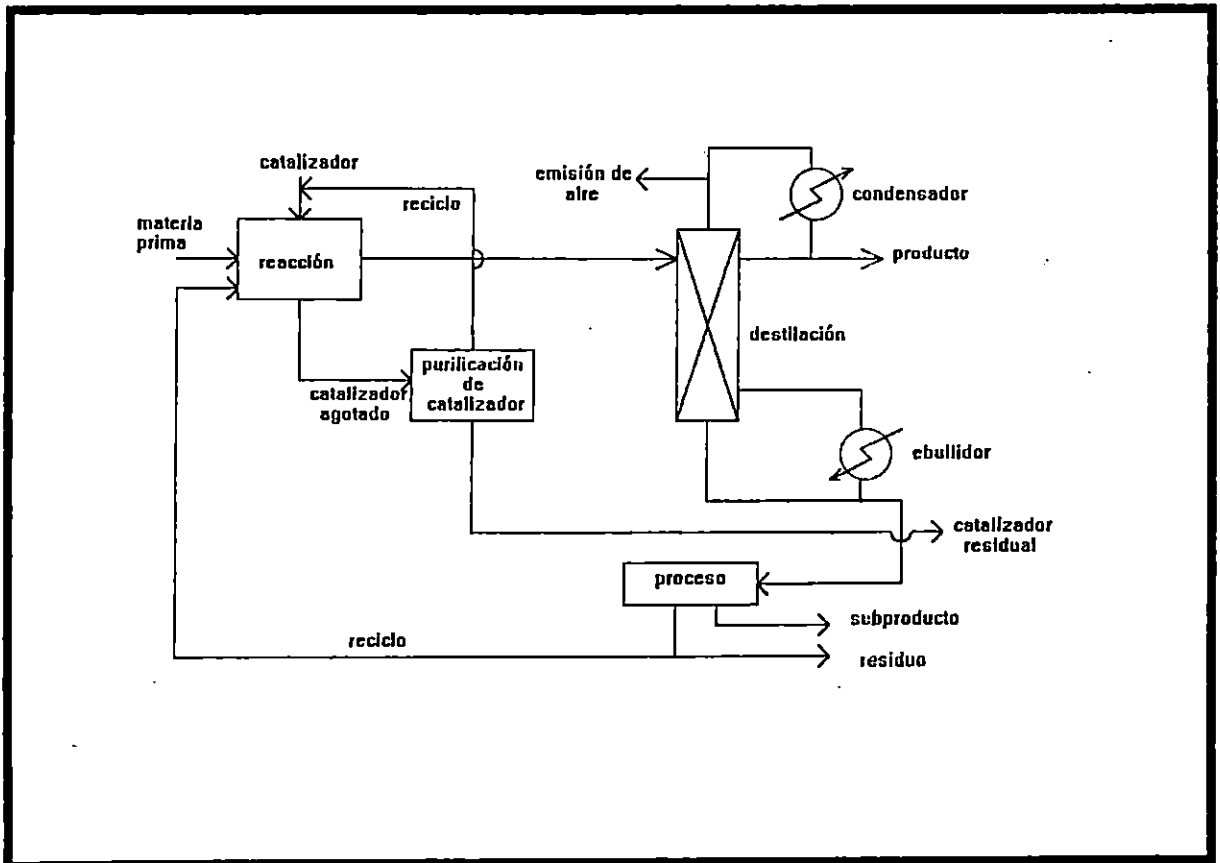


FIGURA 1B. CONSTRUCCION DE DIAGRAMAS DE FLUJO
FUENTE: UNEP (1991)

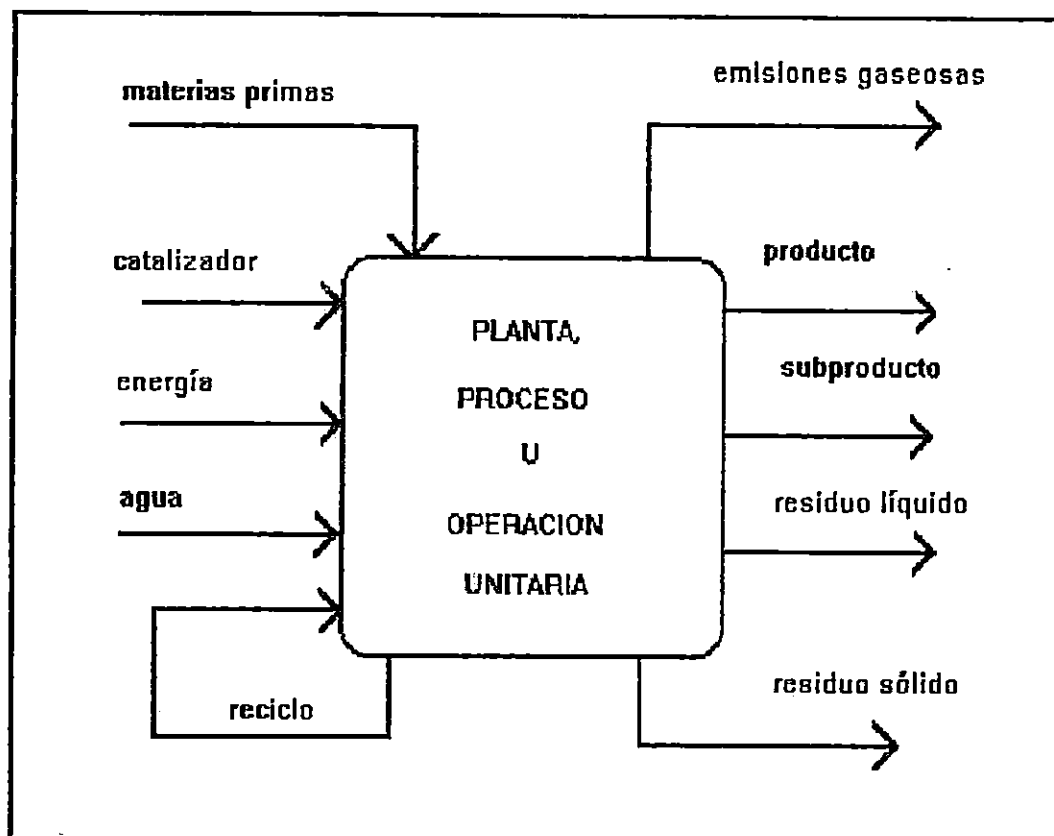


FIGURA No.2B ESQUEMA GENERAL DE UN BALANCE DE MATERIA
FUENTE: UNEP (1991)

2.1) PASO 4: DETERMINACION DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA.

Las corrientes de entrada a un proceso u operación unitaria pueden incluir materias primas, productos químicos, aire, agua y energía. En una primera aproximación, pueden examinarse los registros de compras de materias primas, lo cual dará una idea de las cantidades que en el proceso se manejan.

En orden a lograr una buena auditoría, han de cuantificarse las pérdidas por evaporación, derrames o fugas en los contenedores de materias primas.

Para obtener información exacta sobre el consumo de materia prima en las operaciones unitarias, es importante tomar una base de tiempo adecuada. El cuadro B.4 muestra la forma en que debe ser registrada esta información.

CUADRO B.4. EJEMPLO DE CORRIENTES DE ENTRADA EN LAS OPERACIONES UNITARIAS EN LA INDUSTRIA DE RECUBRIMIENTOS

| Operación unitaria | Materia prima 1 (m ³ /año) | Materia prima 2 (m ³ /año) | Agua (m ³ /año) | Fuente de energía |
|----------------------------------|--|--|-------------------------------|-------------------|
| Superficie de tratamiento | | | | |
| Enjuague | | | | |
| Pintado | | | | |
| Total de materia prima utilizado | | | | |

FUENTE: UNEP/UNIDO (1991)

2.2) PASO 5: CANTIDAD DE AGUA UTILIZADA.

El uso del agua es un factor a tomar en cuenta en una auditoría de residuos debido a su utilización directa en los procesos y en operaciones como enjuague o lavado de maquinaria o equipo.

Algunas consideraciones deben tenerse presentes al momento de cuantificar el agua utilizada en un proceso, a saber:

- Identificación de fuentes de agua.
- Verificación de la capacidad de tanques.
- Formas de transportar el agua.
- Uso del agua en cada operación (enfriamiento, lavado, etc).

El cuadro B.5 describe la forma en que debe almacenarse la información referente a este paso.

CUADRO B.5. EJEMPLO DE REGISTRO PARA LA CUANTIFICACION DEL AGUA EN UNA AUDITORIA DE RESIDUOS

| | Lavado | Vapor | Enfriado | Otros |
|----------------------|--------|-------|----------|-------|
| Operación unitaria 1 | | | | |
| Operación unitaria 2 | | | | |
| Operación unitaria 3 | | | | |

FUENTE: UNEP/UNIDO (1991)

2.3) PASO 6: REUSO O RECICLO DE RESIDUOS.

Cierto tipo de desechos pueden reutilizarse directamente o modificarse para introducirlos al proceso, de tal

manera que se han de cuantificar estas corrientes, dado que el reciclaje o reuso permiten una reducción en el uso de agua de alimentación o materias primas.

2.4) PASO 7: DETERMINACION DE LAS CORRIENTES DE SALIDA.

La determinación de la cantidad de producto primario o producto útil es un factor clave para definir la eficiencia de un proceso u operación unitaria.

Las corrientes de salida incluyen los productos primarios, agua residual, emisiones gaseosas, residuos líquidos y sólidos y residuos potencialmente reusables y/o reciclables. La medición de éstas corrientes se describe en los siguientes pasos. El cuadro B.6 muestra una forma en que puede organizarse la información de las corrientes de salida en un proceso industrial.

CUADRO B.6. DETERMINACION DE CORRIENTES DE SALIDA EN UNA AUDITORIA DE RESIDUOS

| Operación unitaria | Producto | Sub - producto | Desecho a reuso | Agua residual | Emisión de gases | Disp. de residuo | Desecho fuera |
|--------------------|----------|----------------|-----------------|---------------|------------------|------------------|---------------|
| A | | | | | | | |
| B | | | | | | | |
| C | | | | | | | |
| Tot. | | | | | | | |

FUENTE: UNEP/UNIDO (1991)

2.5) PASO 8: CUANTIFICACION DEL AGUA RESIDUAL.

La reutilización del agua residual puede ser importante en otras áreas del proceso, de manera que los flujos de

agua residual deben ser cuantificados, muestreados y analizados. Para ello pueden hacerse algunas sugerencias:

- Identificar los puntos de descarga de efluentes.
- Identificar los puntos donde se unen los flujos de las diferentes operaciones unitarias.
- Elaborar un plan de monitoreo consistente.

El agua residual debe ser analizada para establecer la concentración de sustancias contaminantes. Los análisis deben medir pH, demanda química y bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, grasas y aceite. Sin embargo, el tipo de análisis dependerá de las características del proceso. La fig. B.7 muestra como deben tabularse las concentraciones y los flujos del agua residual.

CUADRO B.7. CUANTIFICACION DEL AGUA RESIDUAL EN UNA AUDITORIA DE RESIDUOS

| Fuente de agua residual | Sitio para descarga | | | |
|-------------------------|---------------------|--------------------------|-------|----------------|
| | Servicio público | Drenaje de aguas lluvias | Reuso | Descarga total |
| Operación A | | | | |
| Operación B | | | | |
| Operación C | | | | |

FUENTE: UNEP/UNIDO (1991)

2.6) PASO 9: CUANTIFICACION DE EMISIONES GASEOSAS.

Para lograr la mayor exactitud posible en el balance de materia deben considerarse las potenciales emisiones gaseosas; desde la materia prima hasta el almacenaje del producto terminado.

Debe quedar claro que las emisiones gaseosas no siempre son obvias y a veces puede resultar difícil recibirlas, detectarlas y/o medirlas. Para ello pueden utilizarse técnicas especiales o lograrse estimaciones a través de la información estequiométrica en el caso de reacciones químicas.

Si bien es cierto que la cuantificación de gases es importante, también lo es el caracterizar cualitativamente dichas emisiones, dado que pueden poner en peligro la salud de los trabajadores.

2.7) PASO 10: CUANTIFICACION GENERAL DE RESIDUOS.

Algunos procesos podrían generar residuos que no puedan ser tratados in situ, por lo que deben ser trasladados a otros sitios para su tratamiento y/o disposición final. Estos residuos son generalmente líquidos no acuoso, lodos o sólidos. A menudo, este tipo de residuos son de manejo cuidadoso y de elevado tratamiento, de forma que deben manejarse alternativas para evitar su generación. El cuadro B.8. muestra como puede almacenarse la información proveniente de estos residuos.

CUADRO B.8. CUANTIFICACION GENERAL DE DESECHOS EN UNA AUDITORIA DE RESIDUOS

| Operación unitaria | Cantidad | Composición líquida | Cantidad | Composición gaseosa | Cantidad | Composición sólida |
|--------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|--------------------|
| A | | | | | | |
| B | | | | | | |
| C | | | | | | |

FUENTE: UNEP/UNIDO (1991)

2.8) PASO 11: PREPARACION DE UN BALANCE DE MATERIA PARA LAS OPERACIONES UNITARIAS.

La preparación de este balance deberá ser a una escala adecuada para el nivel de precisión requerido por la auditoría.

Probablemente un balance inicial no sea perfecto, por lo que deberá ponerse atención a los puntos donde el balance no sea exacto, ya sea por falta de información o por corrientes que no se han tomado en cuenta al analizarse las respectivas corrientes de entrada y salida de las operaciones involucradas.

2.9) PASO 12: BALANCE DE MATERIA PRELIMINAR.

Para ello se recurrirá a la información recolectada en los pasos anteriores, de forma que se pueda realizar el balance en cada operación unitaria y, en su conjunto, un balance global del proceso.

2.10) PASO 13: EVALUACION DEL BALANCE DE MATERIALES.

Esta evaluación implica una revisión tanto de los balances individuales como del balance global para deter

minar si existen vacíos o inexactitudes. De tal forma que, si una inexactitud importante es determinada, deberá recurrirse a una revisión para encontrar las posibles causas de error. En ese sentido, podría ser necesario revisar datos en cada operación.

2.11) PASO 14: RECALCULO DEL BALANCE DE MATERIA.

En este paso se toman en cuenta los factores adicionales determinados en el paso anterior, estimando las pérdidas que no habían sido cuantificadas con anterioridad. Debe recordarse que idealmente la materia en las corrientes de entrada debe ser igual a la materia en las corrientes de salida, aunque en la práctica rara vez puede lograrse lo anterior.

Por otra parte, debe tenerse especial cuidado en la medición de sustancias muy tóxicas, puesto que ello determinará las medidas para el diseño de opciones para minimizar los residuos.

3) TERCERA FASE: SINTESIS

Esta fase comprende la interpretación de los balances de materia, los cuales proporcionan una idea de lo que sucede con las corrientes de materiales a lo largo de todo el proceso; lo que a su vez permite dirigir la atención hacia los puntos en donde se generan los residuos.

Una vez se han localizado las fuentes generadoras de residuos, pueden establecerse las causas que los originan. De esa manera es posible lograr una estrategia para mejorar la eficiencia del proceso a través de la minimización de residuos.

3.1) PASO 15: EVALUACION DE MEDIDAS PARA LA REDUCCION DE RESIDUOS

Significativas reducciones de residuos pueden alcanzarse mejorando las operaciones, con un manejo adecuado de materiales, poniendo mayor atención en los diferentes puntos del proceso y desarrollando mejores prácticas de operación en todas las unidades. Algunas medidas de bajo costo pueden aplicarse en las siguientes partes del proceso:

- Especificación y órdenes de material: especialmente en cuanto a materias primas de difícil manejo.
- Recibo de materiales: en lo referente a la calidad de la materia prima.
- Almacenaje de materiales: en lo que respecta al chequeo de empaques, revisión de contenedores y condiciones adecuadas de almacenaje.
- Manejo de materiales y de agua: incluye la revisión de líneas, transporte de materiales y uso adecuado del agua.
- Control del proceso: debe contener un programa constante de monitoreo de emisiones en cada operación, mantenimiento de los equipos y, por supuesto, capacitación para los empleados.
- Procedimientos de limpieza: minimizando las cantidades de agua y reusando solventes.

3.2) PASO 16: ENFOQUE Y CARACTERIZACION DE LOS PROBLEMAS DE RESIDUOS

Este paso implica establecer prioridades para llevar a cabo reducciones de residuos a largo plazo, es decir, establecer las causas precisas que conllevan a producir residuos en el proceso.

Una consideración a tomar en cuenta, a la hora de dar

prioridades a ciertas áreas del proceso, la constituye la presencia de sustancias tóxicas en las emisiones y/o efluentes de un proceso, dado que este podría estar relacionado con regulaciones estatales para el control de tóxicos.

3.3) PASO 17: SEGREGACION

La segregación en sí misma no es propiamente parte de los pasos de una auditoría ambiental; sin embargo, es una de numerosas medidas que pueden llevar hacia una reducción de actividades contaminantes, dado que puede ampliar las oportunidades para el recicló y reuso de materiales con el consiguiente ahorro en costo de materias primas.

Además se sabe que los residuos mezclados acentúan los problemas de contaminación, por lo que es preferible separar efluentes diluidos de los efluentes concentrados, lo cual hace menos complicados los tratamientos. En ese sentido deberán examinarse las facilidades, en los sistemas de recolección de residuos, para verificar una posible segregación de residuos.

3.4) PASO 18: DESARROLLO DE OPCIONES PARA LA REDUCCION DE RESIDUOS

Debe señalarse que los problemas de residuos no pueden solucionarse por simples cambios o ajustes en las prácticas de rutina de un proceso, sino que se requieren cambios sustanciales a largo plazo con el objeto de aumentar la eficiencia en la producción. Dichos cambios pueden ir orientados hacia:

- Modificaciones en el régimen del proceso;
- Equipos e instalaciones;
- Control del proceso;

- Condiciones del proceso;
- Materias primas;
- Substitución del proceso hacia una tecnología limpia;
- Desarrollo de nuevos productos.

3.5) PASO 19: EVALUACION AMBIENTAL Y ECONOMICA DE LAS OPCIONES PARA LA REDUCCION DE RESIDUOS.

a) Evaluación Ambiental.

En general, la reducción de residuos puede traer beneficios al medio ambiente; sin embargo, pueden haber excepciones a esta regla, por lo que se deben considerar los siguientes aspectos:

- Efecto de cada opción de minimización de residuos en el volumen de residuos y en el grado de contaminación que éstos generarían;
- Toxicidad, degradabilidad o capacidad de tratamiento de los residuos;
- Uso de recursos no renovables;
- Consumo de energía.

b) Evaluación Económica.

Puede abordarse desde varios puntos de vista, tales como:

- Reducción de responsabilidades civiles;
- Disminución en gastos de seguridad;
- Ahorro de materias primas.

Además, puede resultar útil la comparación entre costos actuales de tratamiento respecto a las opciones de reducción de residuos; así como la determinación de los costos de operación para introducir las opciones de reducción, es decir, un balance entre los beneficios y ahorro, resultantes de la minimización de residuos, en

relación con el período de retorno de la inversión.

3.6) PASO 20: DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE ACCION: REDUCCION DE RESIDUOS E INCREMENTO EN LA EFICIENCIA DE PRODUCCION

Este paso va orientado hacia la preparación de un plan de reducción de residuos apoyado en la ejecución de la auditoría correspondiente. Dicho plan debe enmarcarse a nivel de los mandos superiores de la organización para que pueda ser efectivo.

Es decir, que se requiere un compromiso de la organización hacia una reducción de los residuos el cual debe ser paralelo con un programa de monitoreo constante de los efluentes; y con una capacitación adecuada del personal involucrado directamente con la implementación de los cambios en beneficio de la salud humana y del medio ambiente.

APENDICE C
CARACTERISTICAS DE SUSTANCIAS DE LABORATORIO
(MERK, 1989)

CUADRO C.1. FRASES DE RIESGOS ESPECIFICOS PARA SUSTANCIAS QUIMICAS

| Frase R | Significado |
|---------|--|
| R1 | Riesgo de explosión en estado seco. |
| R2 | Riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición. |
| R3 | Grave riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición. |
| R4 | Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles. |
| R5 | Peligro de explosión por la acción de calor. |
| R6 | Peligro de explosión en y sin contacto con el aire. |
| R7 | Puede provocar incendios. |
| R8 | Peligro de fuego en contacto con sustancias combustibles. |
| R9 | Peligro de explosión al mezclar con sustancias combustibles. |
| R10 | Inflamable |
| R11 | Muy inflamable |

...continuación cuadro C.1

| Frase R | Significado |
|---------|---|
| R12 | Extremadamente inflamable |
| R13 | Gas licuado extremadamente inflamable. |
| R14 | Reacciona violentamente con el agua. |
| R15 | Reacciona con el agua produciendo gases muy inflamables. |
| R16 | Riesgo de explosión en mezcla con sustancias comburentes (oxidantes). |
| R17 | Se inflama espontáneamente al aire. |
| R18 | Al usarlo puede formar mezclas vapor-aire explosivas/inflamables. |
| R19 | Puede formar peróxidos explosivos. |
| R20 | Nocivo por inhalación. |
| R21 | Nocivo en contacto con la piel. |
| R22 | Nocivo por ingestión. |
| R23 | Tóxico por inhalación. |
| R24 | Tóxico en contacto con la piel. |
| R25 | Tóxico por ingestión. |

pasa...

...continuación cuadro C.1

| Frase R | Significado |
|---------|---|
| R26 | Muy tóxico por inhalación. |
| R27 | Muy tóxico en contacto con la piel. |
| R28 | Muy tóxico por ingestión. |
| R29 | Emite gases tóxicos en contacto con agua. |
| R30 | Puede inflamarse fácilmente durante el uso. |
| R31 | Emite gases tóxicos en contacto con ácidos. |
| R32 | Emite gases muy tóxicos en contacto con ácidos. |
| R33 | Peligro de efectos acumulativos. |
| R34 | Provoca quemaduras. |
| R35 | Provoca graves quemaduras. |
| R36 | Irrita los ojos. |
| R37 | Irrita las vías respiratorias. |
| R38 | Irrita la piel. |
| R39 | Riesgo de efectos irreversibles muy graves. |
| R40 | Posibilidad de efectos irreversibles. |

pasa...

...continuación cuadro C.1

| Frase R | Significado |
|---------|---|
| R41 | Riesgo de lesiones oculares graves. |
| R42 | Posibilidad de sensibilización por inhalación. |
| R43 | Posibilidad de sensibilización por contacto con la piel. |
| R44 | Peligro de explosión al calentar cerrado. |
| R45 | Puede ser cancerígeno. |
| R46 | Puede provocar daños hereditarios. |
| R47 | Puede provocar malformaciones. |
| R48 | Peligro de daños graves para la salud en caso de exposición prolongada. |
| R14/15 | Reacciona violentamente con el agua produciendo gases muy inflamables. |
| R15/29 | Reacciona con el agua produciendo gases venenosos y fácilmente inflamables. |
| R20/21 | Nocivo por inhalación y contacto con la piel. |
| R21/22 | Nocivo por contacto con la piel y por ingestión. |

pasa...

...continuación cuadro C.1

| Frase R | Significado |
|-----------|--|
| R20/22 | Nocivo por inhalación y por ingestión. |
| R20/21/22 | Nocivo por inhalación, ingestión y contacto con la piel. |
| R23/24 | Tóxico por inhalación y contacto con la piel. |
| R24/24 | Tóxico por contacto con la piel y por ingestión. |
| R23/25 | Tóxico por inhalación y por ingestión. |
| R23/24/25 | Tóxico por inhalación, ingestión y contacto con la piel. |
| R26/27 | Muy tóxico por inhalación y contacto con la piel. |
| R27/28 | Muy tóxico por contacto con la piel y por ingestión. |
| R26/28 | Muy tóxico por inhalación y por ingestión. |
| R26/27/28 | Muy tóxico por inhalación, por ingestión y contacto con la piel. |
| R36/37 | Irrita los ojos y las vías respiratorias. |
| R37/38 | Irrita las vías respiratorias y la piel. |

pasa...

...continuación cuadro C.1

| Frase R | Significado |
|-----------|---|
| R36/38 | Irrita los ojos y la piel. |
| R36/37/38 | Irrita los ojos, las vías respiratorias y la piel. |
| R42/43 | Posibilidad de sensibilización por inhalación y contacto con la piel. |

CUADRO C.2. FRASES DE SEGURIDAD PARA SUSTANCIAS QUIMICAS

| Frase S | Significado |
|---------|---|
| S1 | Guardar bajo llave. |
| S2 | Mantener fuera del alcance de los niños. |
| S3 | Conservar en sitio fresco. |
| S4 | Guardar fuera de espacios habitados. |
| S5 | Conservar bajo...(líquido apropiado a especificar por el fabricante). |
| S6 | Conservar bajo...(gas inerte a especificar por el fabricante). |
| S7 | Tener el recipiente bien cerrado. |
| S8 | Tener el recipiente en sitio seco. |
| S9 | Tener el recipiente en sitio ventilado. |
| S10 | Mantener el producto en estado húmedo. |
| S11 | Evitar contacto con el aire. |
| S12 | No cerrar herméticamente el recipiente. |
| S13 | Mantener lejos de alimentos, bebidas y piensos. |

...continuación cuadro C.2

| Frase S | Significado |
|---------|---|
| S14 | Conservar lejos de...(sustancias incompatibles a especificar por el fabricante). |
| S15 | Mantener lejos del calor. |
| S16 | Mantener lejos de fuentes de ignición - No fumar. |
| S17 | Mantener lejos de materiales combustibles. |
| S18 | Manipular y abrir el recipiente con cuidado. |
| S20 | No comer ni beber durante la manipulación. |
| S21 | No fumar durante la manipulación. |
| S22 | Evitar respirar el polvo. |
| S23 | Evitar respirar los gases/humos/vapores/aerosoles (especificados por el fabricante). |
| S24 | Evitar contacto con la piel. |
| S25 | Evitar contacto con los ojos. |
| S26 | En caso de contacto con los ojos, lavar inmediata y abundantemente con agua y acudir al médico. |

pasa...

...continuación cuadro C.2

| Frase S | Significado |
|---------|--|
| S27 | Quitarse inmediatamente la ropa contaminada o empapada. |
| S28 | En caso de contacto con la piel, lavarse inmediatamente y abundantemente con... (productos adecuados indicados por el fabricante). |
| S29 | No tirar residuos por los desagües. |
| S30 | Nunca verter agua sobre este producto. |
| S31 | Mantener lejos de materiales explosivos. |
| S33 | Evitar la acumulación de cargas electrostáticas. |
| S34 | Evitar choque o frote. |
| S35 | Eliminar los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles. |
| S36 | Llevar ropa de protección durante la manipulación. |
| S37 | Llevar guantes de protección apropiados |

pasa...

...continuación cuadro C.2

| Frase S | Significado |
|---------|---|
| S38 | En caso de ventilación insuficiente, llevar máscara adecuada. |
| S39 | Protegerse los ojos/la cara. |
| S40 | Para limpiar el piso y los objetos contaminados por este producto, utilizar...(véase datos en la etiqueta). |
| S41 | En caso de incendio y/o de explosión, no respirar los humos. |
| S42 | Durante las fumigaciones/pulverizaciones, utilizar máscara adecuada (denominación[nes] adecuada[s] a especificar por el fabricante) |
| S43 | En caso de incendio utilizar...(los medios de extinción debe indicarlos el fabricante). |
| S44 | En caso de malestar acudir al médico (si es posible, mostrarle la etiqueta). |
| S45 | En caso de accidente o malestar acudir inmediatamente al médico (si es posible, mostrarle la etiqueta). |
| S46 | En caso de ingestión visitar inmediatamente al médico y mostrar el envase o la etiqueta. |

pasa...

...continuación cuadro C.2

| Frase S | Significado |
|---------|--|
| S47 | No conservar a temperaturas superiores a... °C (a especificar por el fabricante). |
| S48 | Conservar húmedo con...(medios adecuados a especificar por el fabricante). |
| S49 | Conservar sólo en el recipiente original. |
| S50 | Mezclar con...(a especificar por el fabricante). |
| S51 | Utilizar sólo en zonas bien ventiladas. |
| S52 | No utilizar en grandes superficies por cuartos y salas de descanso. |
| S1/2 | Guardar bajo llave y fuera del alcance de los niños. |
| S3/7/9 | Tener el recipiente bien cerrado en lugar fresco y bien ventilado. |
| S3/9 | Tener el recipiente en lugar fresco y ventilado. |
| S3/9/14 | Conservar en sitio fresco, bien ventilado, lejos de...(el fabricante especificará las sustancias con las que debe evitarse el contacto). |

...continuación cuadro C.2

| Frase S | Significado |
|------------|--|
| S3/9/14/49 | Conservar sólo en el recipiente original en sitio fresco, bien ventilado, lejos de...(el fabricante especificará las substancias con las que debe evitarse el contacto). |
| S3/9/49 | Conservar sólo en el recipiente original en sitio fresco, bien ventilado. |
| S3/14 | Conservar en sitio fresco, lejos de...(el fabricante especificará las substancias con las que debe evitarse el contacto). |
| S7/8 | Tener el recipiente bien cerrado y en sitio seco. |
| S7/9 | Tener el reicipiente bien cerrado en lugar bien ventilado. |
| S20/21 | No comer, beber ni fumar durante la manipulación. |
| S24/25 | Evitar contacto con los ojos y la piel. |
| S36/37 | Llevar guantes y ropa de protección adecuados durante la manipulación. |
| S36/37/39 | Llevar ropa, guantes y gafas o máscara de protección adecuadas durante la manipulación. |

pasa...

...continuación cuadro C.2

| Frase S | Significado |
|---------|--|
| S36/39 | Llevar ropa y gafas o máscara de protección adecuadas durante la manipulación. |
| S37/39 | Llevar guantes y gafas o máscara de protección adecuadas durante la manipulación. |
| S47/49 | Conservar sólo en el recipiente original a una temperatura no superior a...°C (a especificar por el fabricante). |

APENDICE D
DISPOSICION DE RESIDUOS DE LABORATORIO
(MERK, 1989)

1.0 ELIMINACION DE RESIDUOS DE LABORATORIO

Los productos químicos de laboratorio que quedan como subproductos son generalmente residuos de carácter especial. La eliminación de residuos de carácter especial debe tener lugar observando las leyes válidas en el correspondiente Estado.

2.0 RECOLECCION DE RESIDUOS DE LABORATORIO

Para que los residuos de laboratorio se puedan eliminar de una forma adecuada es necesario tener a disposición recipientes de tipo y tamaño adecuado para recogerlas. Los recipientes colectores deben ser cerrables de forma estanca, deben ser de material estable y, según en que casos, deben ser combustibles. Deben colocarse en un lugar que esté bien ventilado y deberían estar siempre bien cerrados para descartar al máximo un daño a la salud, especialmente debido a los disolventes en proceso de evaporación.

Los recipientes colectores deben caracterizarse claramente de acuerdo con su contenido, lo cual implica también el colocar símbolos de peligrosidad.

Para eliminarlos, los residuos de laboratorio deberían recogerse según su naturaleza química en recipientes separados. Hay que tener en cuenta que frecuentemente es necesario desactivar los productos químicos reactivos, según un método explicando en el apartado que sigue.

Se recomienda la clasificación de los recipientes, de la manera siguiente:

- a) Disolventes orgánicos y soluciones de sustancias orgánicas que no contengan halógenos.
- b) Disolventes orgánicos y disoluciones de sustancias orgánicas que contengan halógenos.
- c) Residuos sólidos de productos químicos de laboratorio orgánico empaquetados de forma segura en bolsas o frascos de plástico o en barriles originales del fabricante.
- d) Soluciones salinas; en este recipiente hay que ajustar un valor del pH de 6 a 8.
- e) Residuos inorgánicos tóxicos, así como de sales de metales pesados y sus soluciones en empaquetado resistente a la rotura cerrado firmemente, con caracterización visible de forma clara y duradera.
- f) Compuestos combustibles tóxicos en barriles resistentes a la rotura cerrados en forma estanca con indicación claramente visible de las sustancias contenidas.
- g) Mercurio y residuos de sales de mercurio inorgánicas.
- h) Residuos de sales metálicas regenerables; cada metal debe recogerse por separado.
- i) Sólidos inorgánicos.

En el apartado que sigue, se encuentran indicaciones sobre la clasificación de cada uno de los grupos de sustancia respecto a los recipientes colectores A-1.

3.0 INDICACIONES SOBRE LA RECOGIDA Y DESACTIVACION DE RESIDUOS DE LABORATORIO.

La finalidad de estas indicaciones es transformar productos químicos reactivos en productos derivados inocuos para permitir una recogida y eliminación seguras. Al manejar productos químicos de laboratorio y especialmente también al desactivar productos químicos reactivos hay que ir con especial pre

caución ya que se trata muchas veces de reacciones químicas peligrosas. Todos los trabajos deben ser por lo tanto realizados por un círculo de personas que haya tenido una formación adecuada y que sea consciente de los problemas de seguridad.

Se recomienda con insistencia probar el método de desactivación primeramente a escala reducida para adaptarse a problemas que no estén previstos. Escojan ustedes siempre los recipientes de reacción adecuados tanto en su tipo como en sus tamaño.

- a) Disolventes orgánicos exentos de halógeno: Recipiente colector A.
- b) Disolventes orgánicos que contienen halógeno: Recipiente colector B.
- c) Los reactivos orgánicos relativamente inertes desde el punto de vista químico se recogen en el recipiente colector A. Si contienen halógeno se pasan al recipiente colector B. Residuos sólidos: Recipiente colector C.
- d) Las soluciones acuosas de ácidos orgánicos se neutralizan cuidadosamente con hidrogenocarbonato sódico o hidróxido de sodio (recipiente colector D). Los ácidos carboxílicos aromáticos se precipitan con ácido clorhídrico diluido y son succionados. Precipitado: Recipiente colector C; solución acuosa: Recipiente colector D.
- e) Bases orgánicas y aminas en forma disuelta: Recipiente colector A o B. Frecuentemente es recomendable, para evitar malos olores, la neutralización cuidadosa hecha antes con ácido clorhídrico o ácido sulfúrico diluidos.

- f) Los nitrilos y mercaptanos se oxidan por agitación durante varias horas (preferible durante la noche), con solución de hipoclorito sódico. Un posible exceso de oxidantes se destruye con tiosulfato sódico. Fase orgánica: recipiente colector A o B, respectivamente; fase acuosa: recipiente colector D.
- g) Los aldehídos hidrosolubles se transforman con una solución concentrada de hidrogenosulfito sódico en los aductos de bisulfito (recipiente colector A o B, respectivamente).
- h) Los compuestos organometálicos disueltos generalmente en disolventes orgánicos, sensibles a la hidrólisis, son goteados cuidadosamente bajo agitación en n-butanol en una campana de tiro detrás de una campana protectora agitándose y añadiendo un exceso de agua.
- i) Productos cancerígenos y compuestos combustibles calificados como "muy tóxicos" o "tóxicos": Recipiente colector F.
- j) Los peróxidos orgánicos que se pueden identificar en soluciones acuosas y disolventes con varillas indicadoras de peróxidos.
Residuos orgánicos: Recipiente colector A o respectivamente B; soluciones acuosas: Recipiente colector D.
- k) Los halogenuros de ácido, para transformarlos en ésteres metílicos, en un exceso de metanol. Para acelerar la reacción se pueden añadir unas gotas de ácido clorhídrico. Se neutraliza con solución de hidróxido potásico; recipiente colector B.

- l) Los ácidos inorgánicos, según el caso, primeramente se diluyen, introduciéndolos y agitándolos cuidadosamente (guantes, campana de tiro) en agua. Seguidamente se neutraliza con solución de hidróxido sódico; Recipiente colector D.
- m) Las bases inorgánicas igualmente son diluidas en caso necesario introduciéndolas y agitándolas en agua cuidadosamente (guantes, campana de tiro). Se neutraliza con ácido sulfúrico; recipiente colector D.
- n) Sales inorgánicas: Recipiente colector 1. Soluciones de estas sales: Recipiente colector D.
- ñ) Soluciones y sólidos que contengan metales pesados: Recipiente colector E.
- o) En el caso de sales de talio altamente tóxicas y sus soluciones acuosas es necesaria una especial precaución (recipiente colector E). A partir de soluciones salinas de talio se pueden precipitar óxido de talio (III) con hidróxido sódico a efectos de reutilización.
- p) Compuestos inorgánicos de selenio: Recipiente colector E. El selenio elemental se puede recuperar oxidando sus sales en solución acuosa primeramente con ácido nítrico concentrado (campana de tiro). Tras añadir hidrogeno sulfito sódico precipita selenio elemental.
Fase acuosa: Recipiente colector E.
- q) En el caso del cancerígeno berilio y sus sales se recomienda especial precaución (recipiente colector E).
- r) Los compuestos de uranio y de torio deben eliminarse observando las prescripciones legales.

- s) Residuos inorgánicos de mercurio: recipiente colector G.
- t) Los cianuros se oxidan a productos derivados exentos de peligro con solución de hipoclorito sódico, óptimamente durante la noche. El exceso de oxidantes se destruye con tiosulfato sódico (Recipiente colector D).
- u) Los peróxidos inorgánicos y los oxidantes como bromo y yodo se reducen a sus derivados exentos de peligro con solución de tiosulfato sódico (recipiente colector D).
- v) El fluoruro de hidrógeno y las soluciones de fluoruros inorgánicos se tratan con calcio carbonato para que precipiten. El precipitado se separa por filtración (recipiente colector I). Solución acuosa: recipiente colector D.
- w) Los residuos de halogenuros inorgánicos líquidos y reactivos sensibles a la hidrólisis se agitan bajo campana de tiro cuidadosamente en agua con hielo, se deja en reposo durante la noche y se neutraliza con solución de hidróxido sódico. Las soluciones se pasan al recipiente colector E.
- x) El fósforo y sus compuestos son en parte muy fácilmente inflamables. La inactivación debería por lo tanto tener lugar en atmósfera de gas protector en una campana que tire bien. Se colocan 100 ml. de solución de hipoclorito sódico al 5%, que contiene 5 ml. de una solución de hidróxido sódico al 50%, y se añade cuidadosamente gota a gota bajo refrigeración con hielo la solución de la

sustancia a inactivar. Los productos de oxidación precipitados se separan por succión (recipiente colector I).
Soluciones acuosas: recipiente colector D

- y) Los metales alcalinos y las amidas de metales alcalinos, así como los hidruros metálicos, se descomponen en parte explosivamente con el agua. Por ello se introducen estos compuestos con la máxima precaución en 2-propanol (campana de tiro, pantalla protectora, gafas protectoras). Si la reacción tiene lugar muy lentamente se puede acelerar mediante adición cuidadosa de metanol. Hay que poner cuidado que la solución alcohólica no se caliente demasiado. La adición de la sustancia a destruir debe entonces interrumpirse inmediatamente.
NUNCA ENFRIAR CON HIELO, AGUA O NIEVE CARBONICA.
Se deja estar en reposo durante la noche, se diluye al día siguiente cuidadosamente con un poquito de agua y se neutraliza con ácido sulfúrico. La solución se pasa al recipiente colector A.
- z) Los residuos que contengan metales valiosos deben reciclarse (recipiente colector H).
- aa) Soluciones acuosas: recipiente colector D.
- bb) Los alquillos de aluminio son extremadamente sensibles a la hidrólisis. Para el manejo seguro de estos compuestos se recomienda utilizar la jeringa para alquillos de aluminio.
Deben colocarse a ser posible en su envase original en el recipiente colector F.

- cc) Los productos para limpieza de laboratorio si se tratan adecuadamente, no contaminan el medio ambiente y no interfieren en el tratamiento biológico de las aguas residuales. Si en el proceso de limpieza se enriquecen sustancias contaminantes del medio ambiente, se añade la solución al recipiente colector D.