

# Índice

<b>Prólogo</b>	19
<b>Presentación</b>	21
<b>Capítulo 1. Procesos industriales, medio ambiente y tecnologías limpias</b>	27
1. Procesos industriales y medio ambiente	27
2. Tecnologías limpias	29
2.1 Categorización de las tecnologías limpias	32
2.2 Beneficios de las tecnologías limpias	36
3. Balance de recursos materiales y de energía	36
3.1 Balance de materia	37
3.2 Balance de energía	41
4. Tratamiento del agua y efluentes	44
4.1 Tratamiento del agua	44
4.2 Tratamiento de efluentes	49
4.2.1 Tratamiento primario	52
4.2.2 Tratamiento secundario	52
4.2.3 Tratamiento terciario	66
5. Tratamiento de emisiones de gases	73
5.1 Evolución histórica de las emisiones	73
5.2 Separación de polvos	74
5.2.1 Ciclones	76
5.2.2 Filtros	77
5.2.3 Torres de lavado	79
5.2.4 Precipitadores electrostáticos	80
5.3 Separación de líquidos	82
5.4 Separación de gases	83
5.4.1 Absorción	83

5.4.2	Absorción con reacción en fase sólida	86
5.4.3	Adsorción	87
5.4.4	Depuración catalítica	89
5.4.5	Depuración térmica	90
5.4.6	Depuración biológica	91
6.	Gestión de residuos sólidos	92
6.1	Reducción de residuos	93
6.2	Reutilización	94
6.3	Reciclaje	94
6.4	Recuperación	95
<b>Capítulo 2. Tecnologías limpias y medio ambiente en la industria de la malta</b>		97
1.	Industria de la malta	97
1.1	Malta	99
1.2	Tipos de malta	100
1.3	Grano de cebada	103
1.2	Grano de maíz	106
Caso de aplicación: Maltería Lima		108
2.	Descripción del proceso de malteado y aplicación de tecnologías	108
2.1	Recepción y limpieza preliminar del grano de cebada	112
2.2	Almacenamiento de la cebada	116
2.3	Limpieza y clasificación	117
2.4	Proceso de remojo de la cebada	119
2.5	Proceso de germinación	123
2.6	Secado y tostado	128
2.7	Proceso de desgerminación o desraizado	133
2.8	Almacenamiento de la cebada malteada	134
2.9	Limpieza de la malta	135
2.10	Despacho y distribución de la malta	136
3.	Proceso de germinación del maíz como adjunto de la malta	137
4.	Balance de recursos materiales y energéticos en la elaboración de la malta	140
4.1	Balance de materia	140
4.2	Balance de energía	144
5.	Recuperación de subproductos en el proceso de malteado	146
6.	Tecnologías limpias en el tratamiento de efluentes en la industria de la malta	148
6.1	Separación de sólidos	153
6.2	Operación en el tanque de sedimentación	153

6.3 Operación en el tanque de equalización	154
6.4 Operación de acondicionamiento	156
6.5 Operación del reactor anaeróbico	156
6.6 Operación de la laguna de aireación	158
6.7 Operación de la laguna de sedimentación	160
6.8 Tanque de contacto o desinfección	160
6.9 Canal de Parshall	160
7. Quema de gases y uso de biogás	161
8. Generación de lodos y elaboración de abono orgánico	164
9. Industria de la malta y medio ambiente	166
9.1 Identificación y caracterización de impactos en el proceso de malteado	167
9.2 Evaluación de los impactos ambientales en el proceso de malteado	178
9.3 Medidas de control de impactos ambientales en el proceso de malteado	188
<b>Capítulo 3. Tecnologías limpias y medio ambiente en la industria del yogur y del queso</b>	193
1. Industria del yogur y del queso	193
1.1 Leche	194
1.2 Yogur	202
Caso de aplicación: Tigo	205
2. Descripción del proceso de producción de yogur y aplicación de tecnologías	205
2.1 Ordeño, almacenamiento y refrigeración de la leche	208
2.2 Transporte de la leche	209
2.3 Recepción y almacenamiento de la leche en planta	210
2.4 Formulación, descremado y estandarización	211
2.5 Pasteurización y homogeneización	213
2.6 Fermentación láctea y almacenamiento de yogur	217
2.7 Mezcla y envasado	218
2.8 Empacado y almacenamiento	220
3. Descripción del proceso de producción de queso fresco	221
4. Balance de recursos materiales y energéticos en la producción de yogur y queso	222
4.1 Balance de materia	222
4.2 Balance de energía	224
5. Aplicación de tecnologías limpias en la fabricación de yogur y queso fresco	226

5.1	Tecnologías de tratamiento de agua para uso industrial	226
5.2	Tecnología de tratamiento de efluentes	231
6.	Industria del yogur y del queso, y medio ambiente	236
6.1	Identificación y caracterización de impactos en la industria del yogur y del queso	236
6.2	Evaluación de impactos ambientales en la elaboración de yogur y queso fresco	249
6.3	Medidas de control de impactos ambientales en la industria láctea	260
<b>Capítulo 4. Tecnologías limpias y medio ambiente en la industria del cemento</b>		267
1.	Industria del cemento	267
1.1	Cemento	268
1.1.1	Cemento Portland	269
1.1.2	Cemento adicionado	271
1.1.3	Hidratación del cemento	272
1.1.4	Cementos de bajo carbono	273
1.2	Clínker	274
1.3	Adiciones	276
1.4	Materias primas	278
1.5	Fabricación de cemento Portland	280
1.6	Marco ambiental en la industria del cemento	283
Caso de aplicación: Cementos Inka y Unión de Cementos Andinos (UNACEM)		287
2.	Descripción del proceso de cemento y aplicación de tecnologías	287
2.1	Recepción de materia prima y almacenamiento	291
2.2	Trituración	292
2.3	Almacenamiento de material crudo	294
2.4	Mezcla y dosificación de materia prima	295
2.5	Molienda de crudo	296
2.6	Homogeneización	298
2.7	Pre calentamiento	300
2.8	Pre calcinación	301
2.9	Calcinación y sinterización	303
2.10	Enfriamiento	306
2.11	Almacenamiento de clínker	307
2.12	Molienda de cemento	308
2.13	Almacenamiento de cemento	310
2.14	Embolsado de cemento	312
2.15	Despacho y distribución de cemento	313

3. Balance de recursos materiales y energéticos en la producción de cemento	314
4. Aplicación de tecnologías limpias en la fabricación de cemento	322
4.1 Fabricación de cemento verde	323
4.2 Uso de energía en la producción de cemento	325
4.3 Recuperación y tratamiento de gases en la fabricación de cemento	328
4.4 Transporte de cemento, clínker y otros productos mediante faja tubular en UNACEM	334
4.5 Depuración de polvo y partículas en operaciones de transporte y almacenamiento	340
5. Industria del cemento y medio ambiente	343
5.1 Identificación y caracterización de impactos en la industria del cemento	344
5.2 Evaluación de impactos ambientales en el proceso de fabricación de cemento	362
5.3 Medidas de control de impactos ambientales en la fabricación de cemento	379
5.3.1 Fabricación de cemento y clínker	379
5.3.2 Operaciones de exportación e importación de productos entre la planta de Atocongo y el muelle de Conchán	386
<b>Capítulo 5. Tecnologías limpias y medio ambiente en la industria de tubos de PVC</b>	391
1. Industria del plástico	391
1.1 Composición de los polímeros	393
1.2 Estructura y propiedades	394
1.3 Procesamiento de los termoplásticos	397
1.4 Marco legal en la industria del plástico	403
Caso de aplicación: PVC Gerfor Perú S. A. C.	404
2. Descripción de la fabricación de tubos de PVC y aplicación de tecnologías	404
2.1 Pesaje de materias primas y preparación de la mezcla	406
2.2 Extrusión de tubos	409
2.3 Calibración y enfriamiento	411
2.4 Rotulado y corte	412
2.5 Acampanado	413
2.6 Almacenamiento y distribución	414

3. Balance de recursos materiales y de energía en la producción de tubos de PVC	415
3.1 Balance de materia	415
3.2 Balance de energía	417
4. Aplicación de tecnologías limpias en la fabricación de tubos de PVC	420
4.1 Recuperación y reciclado de tubos de PVC	420
4.2 Tratamiento de agua industrial y de efluentes en la planta de tubos de PVC	424
5. Industria de tubos de PVC y medio ambiente	427
5.1 Identificación y caracterización de impactos en la industria de tubos de PVC	428
5.2 Evaluación de impactos ambientales en el proceso de fabricación de tubos de PVC	436
5.3 Medidas de control de impactos ambientales en la fabricación de tubos de PVC	442
<b>Capítulo 6. Tecnologías limpias y medio ambiente en la generación de energía en una central termoeléctrica</b>	447
1. La energía térmica	447
1.1 Ciclo Carnot	449
1.2 Turbina a gas (ciclo Brayton)	450
1.3 Turbina a vapor (ciclo Rankine)	453
1.4 Ciclos combinados de turbinas a gas y vapor	458
2. Marco ambiental en la generación de energía	461
Caso de aplicación: Fenix Power Perú	463
3. Descripción del proceso de generación de energía térmica y aplicación de tecnologías	463
3.1 Sistema de abastecimiento de gas natural a la central termoeléctrica	466
3.2 Sistema de abastecimiento de petróleo a la central termoeléctrica	467
3.3 Grupo de turbina a gas	469
3.4 Grupo de turbina a vapor	471
3.5 Caldera de recuperación de calor	473
3.6 Generador eléctrico	474
3.7 Sistemas del ciclo combinado	476
3.7.1 Captación y distribución de agua de mar	476
3.7.2 Descarga de agua de mar	479

3.7.3	Sistema de agua de circulación para enfriamiento principal	480
3.7.4	Sistema de agua de enfriamiento en circuito cerrado	481
3.7.5	Sistema de electrocloración	482
3.7.6	Sistema de aire y gas comprimido, y enfriamiento de aire	483
3.7.7	Subestación eléctrica	485
3.7.8	Sistema de distribución de energía	486
4.	Balance de recursos materiales y energéticos en la generación de energía	488
4.1	Enfriamiento del aire a la entrada del <i>chiller</i>	488
4.2	Compresor	490
4.3	Cámara de combustión	491
4.4	Turbina a gas	496
4.5	HRSG y turbina a vapor	498
4.6	Aplicación de diagramas de Sankey	505
5.	Aplicación de tecnologías limpias en la generación de energía en una central termoeléctrica	506
5.1	Proceso de filtración de agua de mar	509
5.2	Proceso de desinfección de agua de mar	511
5.3	Proceso de ósmosis inversa (desalinización de agua de mar)	512
5.4	Proceso de desmineralización del agua desalinizada por ósmosis inversa	515
5.5	Proceso de remineralización del agua desalinizada por ósmosis inversa	517
5.6	Tratamiento de aguas residuales	519
5.6.1	Cribado de agua residual	521
5.6.2	Tanque de equalización	522
5.6.3	Tanque de sedimentación primaria	522
5.6.4	Reactor biológico	523
5.6.5	Tanque de sedimentación secundaria	524
5.6.6	Filtros de arena	524
5.6.7	Desinfección de agua tratada	525
5.6.8	Tanque de almacenamiento y uso de agua tratada	525
5.6.9	Equipos auxiliares en el sistema de tratamiento de efluentes	526
6.	Generación de energía térmica y medio ambiente	527
6.1	Identificación y caracterización de impactos en la industria de energía térmica	528

6.2 Evaluación de impactos ambientales en la generación de energía térmica	542
5.7 Medidas de control de impactos ambientales en la generación de energía térmica	552
<b>Capítulo 7. Tecnologías limpias y medio ambiente en la industria pesquera</b>	559
1. Industria pesquera	559
1.1 Harina de pescado	563
1.2 Proceso de producción y uso de tecnologías	569
1.2.1 Cocción	570
1.2.2 Predrenado y prensado	571
1.2.3 Recuperación del licor de prensa	574
1.2.4 Secado	579
1.2.5 Molienda y ensacado	582
1.2.6 Almacenamiento	585
1.3 Marco ambiental en la industria pesquera	585
Caso de aplicación: APRO Pisco y Austral Group	587
2. Descripción del proceso de elaboración de harina de pescado y aplicación de tecnologías en la empresa Austral Group	587
2.1 Pesca, descarga y transporte en puerto	591
2.2 Recepción, desaguado y pesaje de la materia prima	593
2.3 Almacenamiento de pescado en planta	596
2.4 Cocción de pescado	598
2.5 Predrenado y prensado	600
2.6 Secado	601
2.7 Molienda	604
2.8 Ensacado y despacho	606
3. Descripción del proceso de producción de aceite de pescado y aplicación de tecnologías en la empresa Austral Group	608
3.1 Separación	611
3.2 Centrífuga	611
3.3 Pulidora	611
3.4 Planta de evaporación	612
3.5 Tricanter	614
4. Balance de recursos materiales y energéticos en la industria pesquera	614
4.1 Balance de materiales	614
4.2 Balance de energía	618



5. Aplicación de tecnologías limpias en la producción de harina y aceite de pescado	621
5.1 Tratamiento de efluentes generados en el proceso de elaboración de harina y aceite de pescado en Austral Group	621
5.1.1 Tratamiento primario	624
5.1.2 Tratamiento secundario	624
5.1.3 Tratamiento terciario	627
5.1.4 Efluentes de limpieza de equipos y efluentes industriales	628
5.2 Tratamiento de emisiones de partículas y gases	631
6. Planta de emisor submarino de efluentes tratados de la empresa APRO Pisco	634
6.1 Tecnología de transporte de efluentes tratados mediante el emisor submarino	635
6.2 Factores dinámicos y meteorológicos en el funcionamiento del emisor submarino	641
6.3 Aspectos técnicos del funcionamiento del emisor submarino: evacuación, descarga y dilución del efluente	644
6.4 Método de dilución del efluente	645
7. Elaboración de abono orgánico (compost) en la empresa APRO Pisco	650
7.1 Generación, recojo y transporte de la materia prima	652
7.2 Recepción de la materia prima en la planta de compostaje	652
7.3 Trituración, humectación y mezclado de la materia prima	653
7.4 Formación de pilas en hileras de la materia prima	655
7.5 Transformación de residuos en abono orgánico	656
7.6 Secado y tamizado	660
7.7 Pesaje y embolsado	661
7.8 Almacenamiento, distribución y uso	662
8. Industria pesquera y medio ambiente	663
8.1 Identificación y caracterización de impactos en APRO Pisco y Austral Group	664
8.2 Evaluación de impactos ambientales en la producción de harina y aceite de pescado y elaboración de abono orgánico	679
8.3 Medidas de control de impactos ambientales en la fabricación de harina y aceite de pescado y transporte de efluentes por el emisor submarino	690

<b>Capítulo 8. Tecnologías limpias y medio ambiente en la industria del reciclado de plástico PET</b>	<b>699</b>
1. Industria del reciclado de plástico	699
1.1 Reciclado mecánico	704
1.2 Reciclado químico	706
1.3 Equipos de reciclado de plásticos	708
1.4 Marco ambiental en la industria de reciclado de plástico	710
Caso de aplicación: San Miguel Industrias PET	711
2. Descripción de la fabricación de plástico reciclado PET y aplicación de tecnologías	711
2.1 Descripción de la planta de lavado de PET	712
2.1.1 Recepción, almacenamiento y desempacado de botellas usadas	714
2.1.2 Prelavado de botellas de PET usadas	716
2.1.3 Clasificación electrónica y manual	717
2.1.4 Molienda	718
2.1.5 Sedimentación y lavado	719
2.1.6 Centrífuga y secado	720
2.1.7 Almacenamiento	721
2.2 Descripción de la planta de regeneración de PET	722
2.2.1 Recepción, almacenamiento y alimentación de <i>flakes</i> de PET	723
2.2.2 Presecado y secado	725
2.2.3 Extrusión	726
2.2.4 Solidificación y peletizado	727
2.2.5 Presecado y recristalización	727
2.2.6 Descontaminación (reactor)	728
2.2.7 Almacenamiento	729
2.3 Descripción de la planta de inyección de preformas y soplado de envases plásticos	730
2.3.1 Inyección	731
2.3.2 Soplado de botellas	734
3. Balance de recursos materiales y energéticos en la fabricación de botellas de PET	736
3.1 Balance de materiales	736
3.2 Balance de energía	738
4. Aplicación de tecnologías limpias en la planta de reciclado de plásticos PET	739
4.1 Tratamiento de agua y efluentes	740
4.1.1 Tratamiento de agua industrial	740

4.1.2 Tratamiento de agua del proceso	741
4.1.3 Tratamiento de efluente industrial	743
4.2 Gestión de residuos sólidos e industriales	745
5. Industria de reciclado de plásticos y medio ambiente	751
5.1 Identificación y caracterización de impactos en la industria de plástico PET	752
5.2 Evaluación de impactos ambientales en el proceso de fabricación de botellas de PET	763
5.3 Medidas de control de impactos ambientales en la fabricación de botellas de PET	773
Conclusiones	779
Referencias	787
Bibliografía	797