

Contenido

Sobre el autor	5	2	EVALUACIÓN Y PAGO DE CAÑA	51
Prefacio	7	2.1	Evaluación de calidad de caña	51
Cooperadores	9	2.1.1	Parámetros de calidad	51
Lista de símbolos	25	2.1.2	Efecto en azúcar recuperable	51
Lista de subíndices	29	2.1.3	Efecto en la capacidad de molienda	53
Abreviaturas	31	2.1.4	Suelo del campo y suciedad	54
Terminología	32	2.1.5	Dextranas	54
		2.1.6	Efecto en costos de fabricación	55
		2.2	Sistemas de pago de caña	55
		2.2.1	Opciones de pago	55
		2.2.2	Fórmula de azúcar recuperable para pago de caña	56
		2.2.3	Reparto de ganancias entre cultivadores y procesadores	57
		2.3	Muestreo de caña	58
		2.3.1	Sonda mecánica o tubo muestreador de caña	58
1 CAÑA DE AZÚCAR	37	2.3.2	Compuerta de muestreo	59
1.1 Estructura de la caña	38	2.3.3	Muestreo con cuchara mecánica – ‘uña’ de caña	60
1.1.1 Anatomía del tallo de caña	38	2.3.4	Jugo de primera extracción	61
1.1.2 Ubicación de sacarosa e impurezas	40	2.3.5	Seguimiento de la caña	61
1.1.3 Definiciones de los componentes	40	2.4	Métodos de análisis	61
1.2 Composición de la caña	41	2.4.1	Método de prensado	61
1.2.1 Tallos limpios	41	2.4.2	Método de desintegración por vía húmeda	62
1.2.2 Hojas y cogollos	41	2.4.3	Jugo de primera extracción	63
1.2.3 Composición típica de caña entregada	42	2.4.4	Medición precisa de sacarosa por cromatografía	63
1.2.4 Composición de la fibra	44	2.4.5	Mediciones NIR	64
1.2.5 No-sacarosas en caña	45		Referencias	65
1.2.6 Materia extraña	46	3	SUMINISTRO Y MANEJO DE CAÑA DE AZÚCAR	67
1.2.7 Efecto de la tardanza entre cosecha y molienda	46	3.1	Cosecha, transporte y almacenamiento de caña	67
1.2.8 Efecto de la variedad de caña	48			
1.2.9 Cambios debidos a condiciones climáticas y al momento de la zafra	48			
Referencias	49			

3.1.1	Métodos de cosecha	67	4.3.5	Desfibradoras híbridas	104
3.1.2	Sistemas de transporte	72	4.3.6	Detalles técnicos del diseño de desfibradoras de trabajo pesado	106
3.1.3	Manipulación de atados de caña	74	4.3.7	Requerimientos de potencia para la preparación de caña	109
3.1.4	Sistema de contenedores	74	4.3.8	Requerimientos en accionamientos mecánicos	110
3.1.5	Pesaje de la caña	74	4.4	Operación y mantenimiento	111
3.1.6	Sistemas de almacenamiento	75		Referencias	114
3.1.7	Daño y deterioramiento de la caña	75	5	MOLIENDA DE CAÑA	117
3.2	Descarga de caña	75	5.1	Extracción con molinos	117
3.2.1	Volteadores	75	5.1.1	Extracción	117
3.2.2	Grúas de hilo	76	5.1.2	Otras mediciones del desempeño de molinos	118
3.2.3	Volteadores de camiones	76	5.2	Teoría de molienda	119
3.2.4	Puente grúa	77	5.2.1	Modelo volumétrico básico	119
3.3	Mesas de caña y conductores transversales	77	5.2.2	Supuestos para un modelo simplificado	119
3.3.1	Mesas de alimentación	77	5.2.3	Fórmulas de capacidad de molienda	120
3.3.2	Mesas de descarga	77	5.2.4	Razón de alimentación para máxima capacidad de molienda	120
3.4	Limpieza de caña	79	5.2.5	Razón de compactación, razón de compresión y llenado de fibra	121
3.4.1	Limpieza en seco	79	5.2.6	Fibra en el jugo extraído (“cush cush”)	121
3.4.2	Lavado de caña	81	5.2.7	Mazas no cilíndricas	122
3.4.3	Manejo del agua de lavado y disposición de residuos	82	5.2.8	Flotación de las mazas	122
3.5	Conductores de caña	82	5.2.9	Fricción y amplitud de alimentación	122
3.5.1	Conductores de tablillas	82	5.2.10	Influencia del diámetro de las mazas en la alimentación	123
3.5.2	Conductores de banda	84	5.2.11	Reabsorción, cizalladura de la caña y patinamiento	123
3.5.3	Conductores de cadena y tablillas	85	5.2.12	Cargas de molienda y torque	125
3.5.4	Separador magnético	86	5.3	Molinos y componentes de molinos	126
3.5.5	Accionamientos de conductores y control automático	86	5.3.1	Molinos convencionales	126
	Referencias	89	5.3.2	Cureña (virgen)	127
4	PREPARACIÓN DE CAÑA	91	5.3.3	Mazas de los molinos	129
4.1	Objetivos y medición de la preparación de caña	91	5.3.4	Mazas de los molinos	131
4.1.1	Objetivos	91	5.3.5	Rayado o dientes de las mazas	133
4.1.2	Efecto de la preparación de caña en la extracción	92	5.3.6	Ranuras <i>Messchaert</i>	133
4.1.3	Medición de la preparación de caña	93	5.3.7	Mazas Lotus	134
4.2	Picadoras de caña	95	5.3.8	Hidráulicos y carga de molinos	134
4.2.1	Niveladores	95	5.3.9	Cojinetes de molinos	136
4.2.2	Arreglo de picadoras de caña	96	5.3.10	Piñones de los molinos	136
4.2.3	Velocidad de cuchillas y potencia requerida en máquinas picadoras	97	5.4	Virador (cuchilla) y raspadores (peines)	137
4.2.4	Detalles sobre cuchillas y rotores de picadoras	98	5.4.1	Molinos de dos mazas	138
4.3	Desfibradoras	99	5.4.1	Desarrollo Stork-Werkspoor	138
4.3.1	Tipos de desfibradoras	99	5.4.2	STG-FCB	138
4.3.2	Alimentación de desfibradoras	102			
4.3.3	Factores que afectan la preparación de caña	103			
4.3.4	Tamaño y capacidad de desfibradoras	104			

5.4.3	Molino Bundaberg de elevada extracción	138	5.11.3	Flotación del molino y presiones hidráulicas	169
5.4.4	Unidad de extracción Fives Cail	139	5.11.4	Operación de los molinos	169
5.5	Accionamientos para molinos	140	5.12	Pérdidas de sacarosa a lo largo del molino	170
5.5.1	Requerimientos de potencia en accionamientos de molinos	140	5.12.1	Pérdidas físicas	170
5.5.2	Accionamientos para molinos	140	5.12.2	Pérdidas por destrucción de sacarosa	170
5.5.3	Transmisiones de los molinos	143	5.12.3	Medición y control de la destrucción de sacarosa	170
5.5.4	Acoples y ejes cuadrados (entredós) de los molinos	144	5.12.4	Implicaciones en el pago de caña	171
5.6	Preparación de caña	147		Referencias	171
5.7	Ajustes de molinos	147			
5.7.1	Ajustes de las mazas del molino	143	6	DIFUSORES DE CAÑA	175
5.7.2	Ajustes por flotación de la maza superior	149	6.1	Teoría	175
5.7.3	Ajustes de mazas de alimentación forzada	150	6.1.1	Mecanismo de la extracción	175
5.7.4	Ajuste de la maza alimentadora – “cuarta maza”	150	6.1.2	Variables que afectan a la extracción	176
5.7.5	Abertura en la tolva de alimentación	150	6.1.3	Densidad de empaquetamiento de la fibra	177
5.7.6	Ajustes del virador	151	6.1.4	Retención de jugo	177
5.7.7	Optimización de los ajustes del molino en la práctica	152	6.1.5	Tasa de percolación del jugo	177
5.8	Imbibición y aspectos relacionados	152	6.1.6	Balances de masa y energía	179
5.8.1	Imbibición	152	6.1.7	Dimensionamiento de los difusores	181
5.8.2	Implicaciones del cush-cush en el jugo extraído	156	6.2	Planta y equipos	181
5.8.3	Maceración y transportadores para maceración	157	6.2.1	Tipos de difusor	181
5.8.4	Reciclado de jugo	157	6.2.2	Difusores de cama móvil	182
5.8.5	Extracción a baja presión	157	6.2.3	Alimentación de caña	183
5.8.6	Drenaje de molinos	158	6.2.4	Accionamientos para difusores	184
5.9	Alimentación de molinos	158	6.2.5	Detalles mecánicos	185
5.9.1	Preparación superficial de las mazas	158	6.2.6	Calentamiento de jugo	187
5.9.2	Chevrons	159	6.2.7	Aplicación del jugo entre etapas	187
5.9.3	Empujadores alimentadores	159	6.2.8	Instrumentación y control	187
5.9.4	Tolvas de alimentación <i>Donelly</i>	159	6.3	Reciclaje de lodos de clarificadores	188
5.9.5	Sistemas de alimentación forzada	161	6.4	Factores que afectan el desempeño de difusores	189
5.9.6	Sistemas de alimentación forzada dentados	162	6.4.1	Preparación de caña	189
5.10	Capacidad de molienda	163	6.4.2	Tiempo de residencia de la caña	190
5.10.1	Tamaño y capacidad individual de un molino	163	6.4.3	Tasa de imbibición	190
5.10.2	Capacidad de un tren de molinos	164	6.4.4	Número de etapas	191
5.10.3	Número de unidades de molienda	164	6.4.5	Tasa de percolación e inundaciones	191
5.10.4	Velocidad de molinos	165	6.4.6	Temperatura	191
5.11	Control de molinos	166	6.5	Secado de bagazo	192
5.11.1	Tasa de molienda y otros controles de molino	166	6.6	Control y operación de difusores	194
5.11.2	Pruebas de rutina para los molinos	168	6.6.1	Monitoreo de la eficiencia de extracción	194
			6.6.2	Control de la alimentación de caña y la velocidad del colchón	194
			6.6.3	Control de la percolación en difusores	195

6.6.4	Control de pH	196	8.3	Muestreo y análisis del jugo	227
6.6.5	Control de corrosión en difusores	196	8.3.1	Sistemas de muestreo	227
6.6.6	Mantenimiento de difusores	197	8.3.2	Muestreo de sólidos suspendidos	227
6.6.7	Microbiología de la extracción	197	8.3.3	Análisis de Pol vs. sacarosa	228
6.7	Comparación con la molienda	198	8.4	Bombeos de jugo	228
6.7.1	Costos de capital	198	8.4.1	Tarea de bombas de jugo	228
6.7.2	Costos de mantenimiento y operación	198	8.4.2	Materiales de construcción	232
6.7.3	Efecto sobre el balance de vapor y potencia requerida	198	8.4.3	Dimensionamiento de tanques de jugo crudo	232
6.7.4	Efecto de la calidad del jugo	199	8.4.4	Control del flujo de jugo	232
6.7.5	Cernido y filtración del jugo	201		Referencias	234
6.7.6	Efecto sobre el recobrado total de sacarosa	201	9	CALENTAMIENTO DEL JUGO	235
6.7.7	Efecto sobre las operaciones	202	9.1	Consideraciones teóricas	235
6.7.8	Expansión de la capacidad de molinos y difusores	202	9.1.1	Balance de energía	235
6.7.9	Máxima capacidad de las líneas de extracción	202	9.1.2	Tasa de transferencia de calor	236
	Referencias	203	9.1.3	Coefficientes de transferencia de calor en calentadores de carcasa y tubos para jugo	237
7	CONDUCTORES INTERMEDIOS DE MOLINOS Y CONDUCTORES DE BAGAZO	205	9.1.4	Uso de vapor extraído de los evaporadores	238
7.1	Conductores intermedios	205	9.2	Diseño de calentadores tubulares	238
7.1.1	Conductores intermedios tipo delantal	205	9.2.1	Coefficiente de transferencia de calor	238
7.1.2	Conductores intermedios de banda con poca inclinación	206	9.2.2	Velocidad del líquido	241
7.1.3	Conductor raspador intermedio, de cadena y duela	206	9.2.3	Cálculo del área de calentamiento	241
7.1.4	Conductores intermedios tipo banda	212	9.2.4	Detalles en calentadores de carcasa y tubos	242
7.1.5	Conductores de tolva alimentadora <i>Meinecke</i>	212	9.2.5	Cálculo de pérdidas de presión	244
7.2	Conductores de bagazo	214	9.3	Calentadores de placas	245
7.2.1	Bandas conductoras de bagazo	214	9.4	Calentadores de contacto directo	247
7.2.2	Conductores de cadena para bagazo	217	9.4.1	Dimensionamiento de calentadores de contacto directo	247
7.2.3	Alimentación de bagazo a las calderas	218	9.4.2	Detalles del calentador	248
7.2.4	Muestreo de bagazo	219	9.4.3	Efecto sobre eficacia térmica	248
7.3	Imanes	219	9.5	Incrustación y limpieza	248
	Referencias	219	9.5.1	Caracterización de incrustaciones	248
8	MANEJO DEL JUGO	221	9.5.2	Formación de incrustaciones	249
8.1	Cernido del jugo	221	9.5.3	Limpieza de los tubos	249
8.1.1	Tipos de malla para cernido	221	9.5.4	Incrustaciones en lado vapor	249
8.1.2	Retorno de bagacillo <i>cush-cush</i>	224	9.6	Tanque desaireador flash	249
8.1.3	Limpieza de las mallas	224	9.6.1	Requerimientos del tanque flash	249
8.1.4	Cernido de jugo clarificado	225	9.6.2	Tipos de tanque flash	250
8.2	Mediciones del flujo másico de jugo	225	9.6.3	Dimensionamiento de tanques y boquillas	250
8.2.1	Básculas discontinuas	225	9.6.4	Repartición del flujo a los clarificadores	251
8.2.2	Otros sistemas de medición	226	9.6.5	Control de temperatura	252
			9.7	Calentadores líquido-líquido	252
			9.8	Calentadores de jugo clarificado	253
			9.8.1	Objetivos	253

9.8.2	Dimensionamiento de calentadores	253	10.7.7	Ventajas y desventajas de la sulfitación	284
	Referencias	255	10.7.8	Sulfitación de meladura	285
10	CLARIFICACIÓN	257		Referencias	285
10.1	Procesos físicos y químicos	257	11	FILTRACIÓN	287
10.1.1	Objetivos de la clarificación de jugo	258	11.1	Manejo de lodos y adición de bagacillo	287
10.1.2	Análisis del jugo	258	11.1.1	Cantidad de lodos	287
10.1.3	Efectos del calentamiento de jugo y la adición de cal	258	11.1.2	Manejo de lodos	290
10.1.4	Reacciones químicas en la clarificación simple de jugo	258	11.1.3	Mezclador de cachaza	292
10.1.5	Variantes de los procedimientos de defecación-clarificación	260	11.1.4	Cantidad de bagacillo	294
10.1.6	Procedimientos utilizados para la defecación-clarificación	262	11.2	Detalles de los equipos para filtración	294
10.1.7	pH óptimo del jugo clarificado	263	11.2.1	Tecnología filtro prensa de marcos y placas	294
10.1.8	Efecto del ácido fosfórico en el jugo y adiciones de fosfato	263	11.2.2	Filtros de tambor rotativo al vacío	295
10.2	Suministro y manipulación de la cal	264	11.2.3	Detalles de los equipos	297
10.2.1	Calidad de la cal	264	11.2.4	Acondicionamiento de la alimentación de filtros	298
10.2.2	Manipulación y apagado de la cal	264	11.2.5	Mallas filtranstes y raspadores	299
10.2.3	Lechada de cal y sacarato de cal	265	11.2.6	Capacidad y dimensionamiento	300
10.3	Control de pH	266	11.2.7	Control de nivel y agitación en la bota de filtros	301
10.4	Tipos de clarificadores	267	11.2.8	Lavado de la torta de filtros	302
10.4.1	Descripción de los clarificadores	267	11.2.9	Control operacional	304
10.4.2	Tiempo de residencia	272	11.2.10	Análisis de la torta de filtros y retención de sólidos de lodo	305
10.4.3	Tanque flash	273	11.2.11	Manejo de la torta de filtros	306
10.4.4	Pruebas de sedimentación discontinua	273	11.3	Manejo del jugo filtrado	307
10.4.5	Capacidad de los clarificadores	275	11.3.1	Cantidad de jugo filtrado	307
10.5	Operación de la estación de clarificación	276	11.3.2	Recolección y bombeo de jugo filtrado	308
10.5.1	Operación de clarificadores	276	11.3.3	Separación de arrastres	309
10.5.2	Control del nivel y consistencia del lodo	277	11.3.4	Condensadores de los filtros	309
10.5.3	Ácido fosfórico y otros aditivos	277	11.3.5	Clarificación del jugo filtrado	310
10.5.4	Liquidación	278	11.4	Pérdidas microbiológicas	310
10.6	Floculantes y sistemas dosificadores	278	11.4.1	Efecto de la temperatura	310
10.6.1	Tipos de floculante	278	11.4.2	Monitoreo de cambios de pureza y de ácido láctico	311
10.6.2	Reacciones físicas en la floculación	278		Referencias	311
10.6.3	Preparación y adición del floculante	279	12	EVAPORACIÓN	313
10.6.4	Pruebas de floculante	280	12.1	Transferencia de calor con ebullición	313
10.6.5	Floculantes catiónicos	280	12.1.1	Rango de temperaturas y presiones	313
10.7	Sulfitación	280	12.1.2	Elevación del punto de ebullición	315
10.7.1	Preparación del dióxido de azufre	281	12.1.3	Cabeza hidrastática	315
10.7.2	Hornos de sulfitación	281	12.1.4	Ecuaciones individuales para cuerpos evaporadores	315
10.7.3	Uso de dióxido de azufre líquido anhidro	282	12.1.5	Definición del coeficiente de transferencia de calor	316
10.7.4	Consumo de azufre y de cal	282	12.2	Principios de evaporación con múltiples efectos	318
10.7.5	Equipos de sulfitación	283			
10.7.6	Procedimientos de sulfitación	284			

12.2.1	Principios de <i>Rillieux</i>	318	12.8.3	Efecto del sobrecalentamiento del vapor de escape	350
12.2.2	Extracciones de vapor	318	12.8.4	Pruebas de vacío	350
12.2.3	Sistemas de flujo cocorrente vs. contracorriente vs. combinado	318	12.8.5	Arreglos de evaporadores en serie y en paralelo	351
12.2.4	Tasas de transferencia de calor	320	12.8.6	Bombeo de meladura	351
12.2.5	Pérdidas de calor	323	12.8.7	Causas de mal desempeño	352
12.2.6	Flujo de gases incondensables	323	12.8.8	Pérdidas de sacarosa en evaporadores	352
12.3	Cálculos para evaporadores de múltiples efectos – método abreviado	324	12.8.9	Cambios de pH	353
12.4	Cálculos para evaporadores de múltiples efectos – método riguroso	325	12.9	Separación de arrastres	353
12.4.1	Derivación de ecuaciones	325	12.9.1	Tipos de separadores	354
12.4.2	Cálculos aplicando el método riguroso	327	12.9.2	Diseño y dimensionamiento	357
12.4.3	Comparación de los métodos de cálculo abreviado y riguroso	329	12.10	Remoción de condensados y su evaporación por descompresión instantánea	359
12.5	Factores que afectan la economía de vapor y la capacidad	330	12.10.1	Tuberías	359
12.5.1	Influencia del número de efectos	331	12.10.2	Trampas y piernas-U	359
12.5.2	Efecto de las extracciones de vapor	331	12.10.3	Tanques de condensado	360
12.5.3	Efecto de las presiones del vapor de escape y en el último efecto	332	12.11	Incrustación y limpieza de evaporadores	360
12.5.4	Efecto de la temperatura del jugo clarificado	333	12.11.1	Incrustaciones	360
12.5.5	Evaporación de condensados por descompresión instantánea	334	12.11.2	Caracterización de incrustaciones	361
12.5.6	Distribución del área de calentamiento	335	12.11.3	Agentes anti-incrustantes	363
12.6	Equipos de evaporación	335	12.11.4	Limpieza química	364
12.6.1	Tipos de evaporadores	335	12.11.5	Limpieza mecánica	365
12.6.2	Comparación de los diferentes tipos de evaporadores	338	12.11.6	Limpieza del lado vapor	365
12.6.3	Pre-evaporadores	341	12.12	Remoción de dextranas y almidones	366
12.6.4	Dimensionamiento de tuberías de vapor	342	12.12.1	Propiedades de las enzimas	3566
12.7	Diseño de cuerpos evaporadores de tubos	342	12.12.2	Uso óptimo de enzimas	366
12.7.1	Diseño de la calandria	342		Referencias	367
12.7.2	Dimensiones y especificaciones de los tubos y las placas de calandria	344	13	CONDENSADORES Y EQUIPOS DE VACÍO	369
12.7.3	Tuberías de descenso	345	13.1	Fundamentos básicos	369
12.7.4	Remoción de condensados y gases incondensables	345	13.1.1	Presiones absolutas requeridas	369
12.7.5	Sistemas para alimentación y remoción del jugo	346	13.1.2	Cantidad de agua y de vapor	370
12.7.6	Detalles de evaporadores de placas	348	13.1.3	Efecto de la temperatura del agua en el condensador	371
12.8	Operación de evaporadores	348	13.1.4	Cantidad de gases incondensables	372
12.8.1	Condiciones óptimas de operación	348	13.1.5	Consumo total de agua de enfriamiento en la fábrica	373
12.8.2	Control automático de evaporadores	348	13.1.6	Recuperación de calor	374
			13.2	Condensadores	374
			13.2.1	Disposición de condensadores y requerimientos	374
			13.2.2	Tipos de condensadores	375
			13.2.3	Diseño de condensadores a contracorriente	376
			13.2.4	Materiales de construcción	381
			13.2.5	Sello barométrico	381
			13.2.6	Control de presión absoluta	381

13.2.7	Búsqueda de entradas de aire	382	15	CRISTALIZACIÓN	409
13.3	Bombas de inyección de agua	382	15.1	Fundamentos de la cristalización	409
13.4	Piscinas y torres de enfriamiento	383	15.1.1	Solubilidad y sobresaturación	409
13.4.1	Diseño y especificación de sistemas de enfriamiento	383	15.1.2	Nucleación y crecimiento de cristales	410
13.4.2	Torres de enfriamiento	384	15.1.3	Efecto de las no-sacarosas	412
13.4.3	Piscinas de enfriamiento con boquillas tipo lluvia (espray)	386	15.1.4	Tasa de cristalización	412
13.4.4	Pérdidas por arrastres y corrientes de aire	386	15.1.5	Elevación del punto de ebullición	413
13.4.5	Calidad y tratamiento del agua	387	15.1.6	Tamaño y forma de cristales	415
13.5	Bombas de vacío	387	15.1.7	Contenido de cristales en masas cocidas	417
13.5.1	Bombas de anillo líquido	387	15.1.8	El proceso de cristalización	417
13.5.2	Capacidad de las bombas de vacío	388	15.1.9	Objetivos de la casa de cocimientos	418
13.5.3	Sistema de agua de servicio	389	15.2	Esquemas de cocimientos de azúcar	418
13.5.4	Eficiencia de bombas de vacío y pruebas	389	15.2.1	Descripción de los esquemas de cocimiento	419
13.6	Sistemas de eyectores	390	15.2.2	Comparación de esquemas de cocimiento	422
13.6.1	Eyectores jet de vapor	390	15.2.3	Cálculos y balances de la estación de cocimientos	422
13.6.2	Eyectores jet de agua	391	15.2.4	Efecto de las diferencias entre pol-sacarosa y entre Brix-sólidos disueltos	425
13.7	Postenfriadores	392	15.2.5	Efecto en el color del azúcar	425
	Referencias	391	15.2.6	Efecto del agotamiento de la masa cocida y el rendimiento de cristales	425
14	CLARIFICACIÓN DE MELADURA	393	15.2.7	Factores que afectan la cantidad de masa cocida C	426
14.1	Introducción	393	15.2.8	Capacidad y requerimientos de vapor	426
14.2	Principios involucrados	394	15.3	Evapo-cristalizadores discontinuos	427
14.2.1	Efecto de los parámetros de operación	394	15.3.1	Tipos de evapo-cristalizadores	427
14.2.2	Efecto de insumos químicos	395	15.3.2	Circulación en evapo-cristalizadores	428
14.2.3	Aireación de la meladura	396	15.3.3	Diseño de evapo-cristalizadores discontinuos	429
14.2.4	Clarificación de mieles B y C	397	15.3.4	Capacidad de los cristalizadores evaporativos	433
14.2.5	Clarificación de meladura en fábricas de azúcar crudo	399	15.3.5	Tasas de evaporación	434
14.3	Beneficios de la clarificación de meladura	400	15.3.6	Circulación forzada mediante impulsores o asistida con inyección de vapor	435
14.3.1	Calidad del azúcar	400	15.3.7	Separación de arrastres	437
14.3.2	Viscosidad de la masa cocida	401	15.4	Evapo-cristalizadores continuos	438
14.4	Equipos	401	15.4.1	Tipos de evapo-cristalizadores continuos	438
14.4.1	Clarificadores	401	15.4.2	Diseño de evapo-cristalizadores continuos	443
14.4.2	Sistemas de aireación	403			
14.4.3	Manejo de las espumas	403			
14.4.4	Mezclador estático en línea	404			
14.5	Operación	404			
14.5.1	Control de adición de insumos químicos	404			
14.5.2	Pruebas de laboratorio y evaluaciones	405			
14.5.3	Control de la capa de espuma	405			
14.6	Aumento de la remoción de color	406			
	Referencias	407			

15.4.3	Comparación de evapo-cristalizadores continuos y discontinuos	447	16.2.2	Cristalizadores horizontales vs. verticales	472
15.5	Control y operación de evapo-cristalizadores	449	16.2.3	Cristalizadores horizontales	472
15.5.1	Ciclo en evapo-cristalizadores discontinuos	449	16.2.4	Cristalizadores verticales	474
15.5.2	Semillamiento	450	16.2.5	Coefficientes de transferencia de calor	477
15.5.3	Obtención del tamaño del cristal	450	16.2.6	Diseño del sistema de enfriamiento	477
15.5.4	Pruebas de vacío	450	16.2.7	Accionamiento de cristalizadores	477
15.5.5	Evaluación de la calidad de los cocimientos	451	16.2.8	Cristalizadores al vacío	479
15.5.6	Temperatura y presión de ebullición	453	16.2.9	Bombas para masas cocidas	479
15.5.7	Efecto de las condiciones del evapo-cristalizador y de su operación sobre la calidad de azúcar	453	16.3	Operación y control	480
15.5.8	Operación de evapo-cristalizadores continuos	453	16.3.1	Operación de cristalizadores continuos	480
15.6	Instrumentación y control del tacho	455	16.3.2	Características del flujo de la masa cocida	481
15.6.1	Transductores de medición	455	16.3.3	Reacción de <i>Maillard</i>	483
15.6.2	Dimensionamiento de la válvula de control	456	16.3.4	Circuitos de agua de enfriamiento	484
15.6.3	Control de evapo-cristalizadores discontinuos	457		Referencias	484
15.6.4	Control automático de tachos continuos	458	17	SEPARACIÓN EN MÁQUINAS CENTRÍFUGAS	487
15.7	Equipos auxiliares en la estación de cocimientos	460	17.1	Teoría	487
15.7.1	Acondicionamiento de mieles	460	17.1.1	Centrífugas continuas y discontinuas	487
15.7.2	Tanques de alimentación	460	17.1.2	Fuerzas centrífugas	488
15.7.3	Tanques de almacenamiento	461	17.1.3	Teoría de las separaciones sólido-líquido	490
15.7.4	Recibidores de semilla al vacío	461	17.1.4	Eficiencia del lavado	490
15.7.5	Sistemas de transferencia	461	17.1.5	Rompimiento de cristales	491
15.7.6	Recibidores de masa cocida	461	17.2	Centrífugas discontinuas	492
	Referencias	462	17.2.1	Descripción general	492
16	CRISTALIZADORES POR ENFRIAMIENTO	465	17.2.2	Ciclos discontinuos	492
16.1	Consideraciones teóricas	465	17.2.3	Comparación de diferentes diseños	493
16.1.1	Objetivos y requerimientos de los cristalizadores por enfriamiento	465	17.2.4	Capacidad de máquinas centrífugas	495
16.1.2	Tiempos de residencia y temperaturas	466	17.2.5	Accionamientos para máquinas centrífugas	495
16.1.3	Mezclado / agitado	466	17.2.6	Operación de centrífugas discontinuas	496
16.1.4	Propiedades reológicas de las masas cocidas	467	17.2.7	Inspección de las canastas	499
16.1.5	Bombeo y manejo de masas cocidas	470	17.2.8	Mezcladores de alimentación	499
16.2	Equipo	472	17.3	Centrífugas continuas	500
16.2.1	Cristalizadores tipo cochada (batch) y continuo	472	17.3.1	Descripción general	500
			17.3.2	Comparación de diferentes diseños	501
			17.3.3	Capacidad de las centrífugas	503
			17.3.4	Mallas	504
			17.3.5	Operación de centrífugas continuas	506
			17.3.6	Centrífugas continuas para masas cocidas de alta pureza	508
			17.3.7	Comparación de centrífugas continuas y discontinuas para masas cocidas de alta pureza	510

17.3.8	Centrífugas para fundido y mezclado	510	19.2.2	Diseño y dimensionamiento	546
17.4	Recalentamiento de la masa cocida	511	19.2.3	Instrumentación y automatización	549
17.4.1	Supersaturación del licor madre	511	19.3	Manipulación y almacenamiento del azúcar	550
17.4.2	Requerimientos de área para recalentadores	512	19.3.1	Conductores y tolvas	550
17.4.3	Tipos de recalentadores	513	19.3.2	Bodegas para azúcar crudo	550
17.4.4	Pérdida de presión en recalentadores de tubos	515		Referencias	552
17.5	Refundidores y mezcladores	516	20	CALIDAD DEL AZÚCAR CRUDO	553
17.5.1	Diseño de refundidores	516	20.1	Introducción	553
17.5.2	Detalles de mezcladores de magma	517	20.2	Tipos de azúcar crudo	553
	Referencias	520	20.3	Efecto de las operaciones de fábrica en la calidad del azúcar	554
18	AGOTAMIENTO DE LAS MIELES	523	20.3.1	Transporte de caña y cosecha	555
18.1	Agotamiento de las mieles	523	20.3.2	Extracción de sacarosa	555
18.1.1	Solubilidad del azúcar en las mieles	523	20.3.3	Calentamiento de jugo	555
18.1.2	Ensayos de agotamiento en laboratorio	525	20.3.4	Clarificación	556
18.1.3	Ecuaciones de pureza objetivo para agotamiento de mieles	525	20.3.5	Evaporación	556
18.1.4	Métodos simplificados para la estimación de materia seca y ceniza	528	20.3.6	Tachos	556
18.1.5	Efecto del contenido de alta dextrana y almidón	528	20.3.7	Operaciones de centrifugación	556
18.1.6	Reacción de <i>Maillard</i>	529	20.4	Especificaciones y estándares	557
18.2	Cantidad de masa cocida C y miel final	529	20.4.1	Azúcares no centrifugados	557
18.3	Operación óptima de la estación C	530	20.4.2	Azúcares centrifugados	557
18.3.1	Efecto de las condiciones de operación de fábrica en el agotamiento de las mieles	530	20.4.3	Estándares para azúcares centrifugados de consumo directo	557
18.3.2	Prácticas recomendadas para lograr un buen agotamiento de las mieles	530	20.5	Sistemas de pago	558
18.4	Desazucarado de mieles	532	20.5.1	Pago basado en Pol	558
18.4.1	Separaciones cromatográficas	532	20.5.2	Sistemas de pago basados en la calidad	560
18.4.2	Precipitación de etanol	533	20.6	Calidades de refinación	560
18.4.3	Otros métodos químicos	533	20.6.1	Polarización	561
	Referencias	533	20.6.2	Color	562
			20.6.3	Filtrabilidad	562
			20.6.4	Dextrana	562
			20.6.5	Almidón	564
			20.6.6	Humedad	564
			20.6.7	Ceniza	565
			20.6.8	Azúcares reductores	566
			20.6.9	Otros parámetros	567
				Referencias	568
19	SECADO Y ALMACENAMIENTO DE AZÚCAR CRUDO	535	21	MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MIELES	571
19.1	Marco teórico del proceso de secado	535	21.1	Cantidad, calidad y composición de las mieles	571
19.1.1	Contexto y objetivo	535	21.1.1	Cálculo de la cantidad de mieles	571
19.1.2	Mecanismos de secado	536	21.1.2	Composición típica	572
19.1.3	Modelación	537	21.1.3	Propiedades físicas	575
19.1.4	Interpretación práctica	538	21.2	Enfriamiento de mieles	576
19.2	Secadores de azúcar	540	21.2.1	Requerimientos	576
19.2.1	Tipos de equipos	540			

21.2.2	Tipos de sistemas de enfriamiento	577	22.8.2	Reducciones del consumo de vapor mediante cambios operacionales y de la planta	611
21.2.3	Coefficientes de transferencia de calor	578	22.8.3	Estudios con tecnología “pinch”	611
21.2.4	Control de temperatura	578	22.9	Refinerías adjuntas a fábricas de azúcar crudo	612
21.3	Sistemas de bombeo y tuberías	579	22.9.1	Ventajas de las refinerías adjuntas a fábricas de azúcar crudo	612
21.3.1	Diseño de tuberías para mieles	579	22.9.2	Operación durante la temporada de zafra	612
21.3.2	Selección de bombas para mieles	580	22.9.3	Operación durante la época fuera de zafra	613
21.3.3	Medición del flujo	580	22.10	Producción de azúcar blanco directo	613
21.4	Almacenamiento de mieles	582	22.10.1	Azúcar blanco directo ‘plantación’	613
21.4.1	Degradación durante el almacenamiento	582	22.10.2	Opciones para fabricación de azúcar blanco directo	614
21.4.2	Prevención de la reacción de <i>Maillard</i>	582	Referencias		614
	Referencias	584			
22	REFINACIÓN DEL AZÚCAR	587	23	COLOR Y SISTEMAS DE DECOLORACIÓN	617
22.1	Rendimiento al producir azúcar blanco refinado	588	23.1	Colorantes y formación de color en proceso	617
22.2	Afinación y fundición	589	23.1.1	Naturaleza y origen del color	617
22.2.1	Manejo de azúcares crudos	589	23.1.2	Medición del color	619
22.2.2	Mezcladores	589	23.1.3	Identificación de colorantes	619
22.2.3	Afinación del azúcar	590	23.1.4	Formación de color en la fábrica de azúcar crudo	619
22.2.4	Diseño de fundidores	590	23.1.5	Formación de color en la refinería	620
22.3	Procesos de clarificación	592	23.1.6	Inclusión del color en los cristales de azúcar	620
22.3.1	Carbonatación	592	23.2	Selección del modelo óptimo para decoloración en refinería	621
22.3.2	Fosfatación	595	23.2.1	Comparación de sistemas de decoloración	621
22.3.3	Comparación entre carbonatación y fosfatación	598	23.2.2	Combinaciones de clarificación y decoloración	621
22.4	Sulfitación	598	23.3	Decoloración por intercambio iónico	623
22.5	Filtración	598	23.3.1	Tipo de resina utilizado	623
22.5.1	Ecuaciones para la filtración	599	23.3.2	Uso de resina	623
22.5.2	Pruebas de filtración en laboratorios	599	23.3.3	Sistemas de intercambio iónico	623
22.5.3	Tipos de filtros	600	23.3.4	Remoción de color	624
22.5.4	Área de filtración requerida	601	23.3.5	Regeneración de resina	624
22.5.5	Operación de filtros	601	23.3.6	Tratamiento de efluentes	626
22.5.6	Manipulación de la torta y desendulzado	602	23.4	Carbón de hueso	626
22.5.7	Filtros de lecho profundo	604	23.4.1	Ventajas y desventajas	626
22.6	Evaporación y cristalización	604	23.4.2	Sistemas de carbón utilizados	626
22.6.1	Sistemas de evaporación	604	23.4.3	Regeneración	627
22.6.2	Esquemas de cristalización y agotamiento para azúcar blanco	604	23.4.4	Manejo de agua dulce	627
22.6.3	Operación de los cocimientos de refinería	606	23.5	Carbón activado	627
22.6.4	Operaciones en la casa de recuperación	608	23.5.1	Sistemas de carbón activado	627
22.7	Estándares para azúcares blancos	608	23.5.2	Remoción de color	628
22.8	Requerimientos de vapor	610			
22.8.1	Proporción entre vapor / azúcar fundido	610			

23.5.3	Regeneración	628	25.2.2	Aplicación de la información analítica de sacarosa real	668
23.5.4	Consumo de energía	628	25.2.3	Cálculo de la existencia ó cantidad de azúcar en el proceso	669
23.6	Uso de aditivos	628	25.2.4	Pérdida indeterminada	669
23.6.1	Oxidantes	628	25.2.5	Mecanismos y causas de las pérdidas indeterminadas	670
23.6.2	Precipitantes de color	629	25.3	Evaluación del desempeño de fábricas	671
23.7	Decoloración del jugo de caña	629	25.3.1	La fábrica como un todo	671
23.7.1	Tratamientos químicos	629	25.3.2	Área de extracción	672
23.7.2	Membranas	629	25.3.3	Casa de cocimientos	672
23.7.3	Intercambio iónico	630	25.3.4	Otras mediciones del desempeño de la fábrica	674
	Referencias	630	25.3.5	Contabilización del tiempo	675
24	MANEJO Y ACONDICIONAMIENTO DE AZÚCAR BLANCO	633	25.4	Pérdidas por inversión	675
24.1	Secado, enfriado y acondicionamiento	633	25.4.1	Medición de pérdidas por inversión	675
24.1.1	Acondicionamiento	633	25.4.2	Cálculo de pérdidas por inversión a partir de las ecuaciones de <i>Vukow</i>	675
24.1.2	Secado y enfriado de azúcar refinado	638	25.4.3	Corrección por efecto de temperatura y dilución en el pH	676
24.2	Almacenaje de azúcar refinado	640	25.4.4	Información de <i>Stadler</i>	676
24.2.1	Clases de silos a granel	640	25.4.5	Tablas para estimar la inversión	677
24.2.2	Operación y diseño del almacenaje a granel	644	25.5	Informe de fábrica	679
24.2.3	Ventilación	645	25.5.1	Propósito	679
24.2.4	Almacenaje de azúcar empacada	645	25.5.2	Comparación de desempeño entre fábricas ó benchmarking y auditoría técnica de las cifras de fábrica	679
24.2.5	Formación de color	646	25.5.3	Formato de los informes de fábrica	681
24.3	Manejo del azúcar	646		Apéndice: Lista de verificación de la pérdida indeterminada	683
24.3.1	Conductores	646		Referencias	688
24.3.2	Tolvas, embudos y puntos de transferencia	649	26	MANIPULACIÓN, ALMACENAMIENTO Y SECADO DEL BAGAZO	689
24.3.3	Separación o tamizado	650	26.1	Propiedades del bagazo	689
24.3.4	Explosiones de polvillo de azúcar	653	26.2	Almacenamiento y recuperación de bagazo	690
24.3.5	Equipo eliminador de polvillo	655	26.2.1	Transporte de bagazo	690
24.4	Empaque	656	26.2.2	Pesaje del bagazo	691
24.4.1	Equipos para pesar y llenar	656	26.2.3	Sistemas de almacenamiento y recuperación de bagazo	691
24.4.2	Material de empaque	657	26.2.4	Almacenamiento de pilas de bagazo	694
24.4.3	Forma, llenado y sellado	658	26.2.5	Enfardado	695
24.4.4	Empaquetado y paletizado	659	26.3	Secado del bagazo	696
24.4.5	Productos especiales	659	26.3.1	Efecto sobre la eficiencia y la capacidad de las calderas	696
	Referencias	659	26.3.2	Tipos de secadores de bagazo	697
25	CONTROL QUÍMICO DE LAS FÁBRICAS	661	26.3.3	Problemas de operación	699
25.1	Mediciones y análisis	661			
25.1.1	Resumen de análisis comúnmente relizados	661			
25.1.2	Limitaciones y exactitudes	664			
25.1.3	Determinación de relaciones de flujo másico	665			
25.1.4	Análisis de caña	666			
25.2	Balances de sacarosa en fábrica	666			
25.2.1	Cálculos de recuperación	666			

26.3.4	Otras alternativas para el secado de bagazo	700	27.5.8.2	Corrosión a baja temperatura (corrosión en punto de rocío ácido)	734
26.4	Recolección de bagacillo	700	27.5.8.3	Corrosión a elevadas temperaturas (corrosión por cenizas)	735
26.4.1	Mallas para el bagacillo	700	27.5.9	Ventiladores	736
26.4.2	Separación neumática con persianas (Louvers)	701	27.6	Instrumentación y control	738
26.4.3	Extracción neumática	701	27.6.1	Perfil de la demanda de vapor	738
26.4.4	Transporte neumático	702	27.6.2	Lazos de control	739
26.4.5	Transportadores de tornillo sinfín	703	27.6.3	Instrumentación	741
26.4.6	Ciclones para bagacillo	704	27.6.4	Tecnologías de control	742
26.5	Desmedulado del bagazo	705	27.7	Emisiones por chimenea y manejo de residuos	743
26.5.1	Repartición fibra / médula	705	27.7.1	Regulaciones y unidades de medida	743
26.5.2	Separación neumática	705	27.7.2	Emisión de material particulado	743
26.5.3	Desmeduladoras	706	27.7.3	Recolectores de polvo	745
26.5.4	Evaluación de la calidad de fibra	707	27.7.4	Selección del tipo de colector y su localización	748
	Referencias	707	27.7.5	Emisiones de gases	748
27	GENERACIÓN DE VAPOR	709	27.7.6	Manejo de residuos	751
27.1	Introducción	709	27.8	Operación y mantenimiento de calderas	752
27.2	Cálculos de combustión	709	27.8.1	Manuales de los fabricantes	752
27.2.1	Características del combustible	709	27.8.2	Arranques y paradas	752
27.2.2	Requerimientos del aire de combustión	712	27.8.3	Sistemas de control	752
27.3	Eficiencia de calderas	716	27.8.4	Otros aspectos operacionales críticos	753
27.3.1	Medición de eficiencia	716	27.8.5	Modernización de calderas	754
27.3.2	Evaluación de pérdidas	716	27.9	Sistemas de agua de alimentación de calderas	754
27.4	Diseño de hogares de combustión	720	27.9.1	Fuentes de agua para alimentación de calderas	754
27.4.1	Tipos de hogares de calderas	720	27.9.2	Requerimientos de calidad para el agua	756
27.4.2	Alimentación y medición de bagazo	720	27.9.3	Dimensionamiento de bombas y válvulas de control del agua de alimentación	756
27.4.3	Tasas de liberación de calor sobre parilla	721	27.9.4	Desaireador	759
27.4.4	Diseño de parrillas para alta eficiencia y bajas emisiones	722	27.9.5	Tratamiento del agua de alimentación	760
27.4.5	Diseño de distribuidores para bagazo y para aire de sobrefuego	724	27.9.6	Sistemas de purga de calderas	760
27.4.6	Tamaño de la cámara de combustión	725	27.10	Redes de agua de alimentación de calderas y de vapor	761
27.5	Diseño de calderas	725	27.10.1	Diseño de tuberías	761
27.5.1	Generalidades del diseño	725	27.10.2	Sistemas para reducción de presión	763
27.5.2	Transferencia de calor	726		Referencias	765
27.5.3	Estructuras de soporte de las calderas	730	28	BALANCE DEL VAPOR DE FÁBRICA	767
27.5.4	Bancos de convección	732	28.1	Vapor disponible a partir del bagazo	767
27.5.5	Sobrecalentadores	732			
27.5.6	Circulación	733			
27.5.7	Recuperación de calor	733			
27.5.8	Erosión y corrosión	734			
27.5.8.1	Erosión	734			

28.1.1	Cantidad de bagazo	767	29.4	Requerimientos de agua de servicios	788
28.1.2	Vapor generado a partir de bagazo	767	29.4.1	Agua cruda	788
28.2	Requerimientos de vapor de la fábrica de azúcar	768	29.4.2	Agua tratada	788
28.2.1	Requerimientos energéticos de los movimientos principales	768	29.4.3	Sistema de enfriamiento de agua de servicios	788
28.2.2	Balance entre los requerimientos de alta presión y vapor de escape	769	29.4.4	Aguas para remoción de ceniza y de filtros de calderas	789
28.2.3	Pérdidas de vapor	769	29.4.5	Suministro de agua contra incendios	789
28.3	Uso del vapor de proceso	770	29.5	Tratamiento de efluentes	789
28.3.1	Configuración de la evaporación	770	29.5.1	Sistemas de manejo de excedentes de agua	789
28.3.2	Requerimiento en tachos	770	29.5.2	Cantidad de agua excedente a ser tratada	789
28.3.3	Requerimiento para calentamiento de jugo	771	29.5.3	Calidad de la corriente de agua excedente	791
28.3.4	Opciones para reducir el uso de vapor de proceso	771	29.5.4	Estándares para tratamiento de efluentes	792
28.4	Balance global de vapor	771	29.5.5	Tratamiento biológico	792
28.4.1	Vapor de alta presión	773		Referencias	796
28.4.2	Uso del vapor de escape	775	30	ELECTRICIDAD	797
28.4.3	Otros factores que afectan el balance de vapor	775	30.1	Generación de electricidad	797
28.4.4	Energía disponible para la venta	776	30.1.1	Requisitos de fábrica	797
28.5	Recompresión de vapor	778	30.1.2	Selección del voltaje	798
28.5.1	Situaciones que propician la recompresión	778	30.1.3	Turbinas de vapor	798
28.5.2	Termocompresión	778	30.1.4	Uso de vapor	803
28.5.3	Recompresión mecánica de vapor (MVR)	778	30.2	Generadores	803
	Referencias	779	30.2.1	Tamaño	803
29	AGUA Y SISTEMAS DE CONDENSADOS	781	30.2.2	Tipo	803
29.1	Balance de agua de la fábrica	781	30.2.3	Eficiencia	803
29.1.1	Ingresos de agua, salidas y pérdidas	781	30.2.4	Equipo de control	804
29.1.2	Pérdidas en evaporación	782	30.2.5	Lubricación y enfriamiento	804
29.1.3	Balance de agua	782	30.2.6	Control eléctrico	804
29.2	Agua de alimentación de calderas	784	30.2.7	Protección	805
29.2.1	Recuperación de condensados	784	30.3	Operación de la casa de máquinas	805
29.2.2	Calidad de condensado	784	30.3.1	Monitoreo del generador y la turbina	805
29.2.3	Monitoreo de contaminación con azúcar en el condensado	785	30.3.2	Control de carga	806
29.2.4	Suavizado	786	30.3.3	Monitoreo de vibraciones	806
29.2.5	Parámetros de calidad dependientes de la presión	786	30.3.4	Compra y venta de energía	806
29.2.6	Almacenamiento de agua de alimentación	787	30.4	Motores eléctricos	807
29.3	Requerimientos de agua de proceso en fábrica	787	30.4.1	Clases	807
29.3.1	Imbibición	787	30.4.2	Tipos de aislamiento	808
29.3.2	Uso de agua de proceso	787	30.4.3	Suministro de voltaje	808
			30.4.4	Velocidad y deslizamiento	808
			30.4.5	Motores de corriente directa (DC)	811
			30.4.6	Variadores de frecuencia	811
			30.5	Uso y distribución de energía	812
			30.5.1	Transformadores	812

30.5.2	Dimensionamiento de los cables	813	31.6.7	Rentabilidad de la producción de etanol	845
30.5.3	Corrección del factor de potencia	815		Referencias	845
30.6	Cogeneración y venta de energía	817			
30.6.1	Turbinas de contrapresión (escape) y de condensación	817	32	PROPIEDADES FÍSICAS	847
30.6.2	Sistemas de seguridad	818	32.1	Vapor y agua	847
30.6.3	Control	818	32.1.1	Ecuaciones que representan las propiedades de vapor y agua	847
30.6.4	Potencia rodante	818	32.1.2	Tablas para vapor saturado	847
30.6.5	Gasificación	819	32.1.3	Propiedades de vapor recalentado	847
	Referencias	819	32.2	Jugo y meladura	852
31	UTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS	821	32.3	Caña de azúcar	852
31.1	Cachaza	822	32.4	Azúcar	852
31.1.1	Cantidad y calidad de la cachaza	822	32.4.1	Densidad del cristal	852
31.1.2	Uso en el campo	823	32.4.2	Densidades aparentes a granel	852
31.1.3	Compost	823	32.4.3	Calor específico y entalpía	854
31.1.4	Extracción de productos con valor agregado	824	32.4.4	Solubilidad de la sacarosa	854
31.1.5	Alimento para animales	824	32.5	Bagazo	854
31.2	Bagazo	824	32.5.1	Densidad de la fibra	854
31.2.1	Uso en pulpa y papel	825	32.5.2	Densidad aparente a granel	854
31.2.2	Tableros de bagazo	827	32.5.3	Densidad aparente a granel de fibra seca	855
31.2.3	Concentrados para animales	828	32.5.4	Coefficiente de fricción	855
31.2.4	Elaboración de furfural	828	32.6	Cal	855
31.2.5	Procesamiento integrado de biomasa	829	32.6.1	Lechada de cal	855
31.2.6	Carbón vegetal y carbón activado	831	32.6.2	Cal	855
31.2.7	Ceniza de caldera, carboncillo y hollín	832		Referencias	855
31.3	Hojas y puntas de la caña	832		Tablas (unidades del SI)	857
31.3.1	Recolección como combustible adicional	832	Índice		861
31.3.2	Recuperación de productos con valor agregado	833			
31.4	Productos basados en azúcar	833			
31.5	Melazas	834			
31.5.1	Productos de la fermentación	834			
31.5.2	Alimentos para animales	836			
31.5.3	Uso como fertilizante	836			
31.5.4	Recuperación de productos de valor	836			
31.6	Producción de etanol	837			
31.6.1	Rendimientos de etanol	837			
31.6.2	Sistemas de fermentación	838			
31.6.3	Destilación	840			
31.6.4	Manejo y almacenamiento	843			
31.6.5	Producción de vinaza y su disposición	843			
31.6.6	Recuperación de dióxido de carbono	844			