



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**PROYECTO FINAL**

**“Producción de Bioetanol a partir de Cáscara  
de Arroz”**

Cabrera, Sofía

Fernández, Micaela

López, María Florencia

**Cátedra de Integración V - Proyecto Final**

Profesor Titular: Ing. Alberto Florio

Jefe de Trabajos Prácticos: Ing. Pablo Lorenzo

Ayudante: Ing. Damián Esquivel

Consultor: Ing. Hipólito Choren

Colaboradora: Ing. Gabriela Aiello

## Índice

Capítulo 0: Resumen Ejecutivo.....	12
1. Resumen Ejecutivo.....	13
2. Distribución de capítulos.....	14
Capítulo I: Introducción.....	15
1. Objetivo.....	17
2. Elección de proyecto.....	17
3. Descripción del producto.....	17
3.1. Combustibles de segunda generación.....	18
3.2. Propiedades del bioetanol.....	19
4. Materia prima.....	21
4.1. Composición cascarilla de arroz.....	21
4.1.1. Celulosa.....	22
4.1.2. Hemicelulosa.....	22
4.1.3. Lignina.....	23
5. Proceso productivo.....	24
6. Diagrama de Bloques del proceso.....	25
7. Bibliografía.....	26
Capítulo II: Estudio de Mercado.....	28
1. Objetivo.....	30
2. Contexto Histórico.....	30
3. Producción Nacional.....	31
4. Importaciones.....	33
5. Países exportadores.....	36
6. Consumo Nacional Aparente.....	37
7. Materia Prima.....	38
7.1. Cáscara de arroz.....	38
7.2. Ácido Acético.....	39
8. Intereses del proyecto.....	40
9. Conclusión.....	40
10. Bibliografía.....	42
Capítulo III: Ubicación de planta.....	44
1. Objetivo.....	48
2. Macroubicación.....	48
2.1. Materia Prima.....	48
2.1.1. Disponibilidad.....	49
2.1.2. Seguridad de Entrega.....	49
2.2. Vías de Comunicación.....	50
2.2.1. Rutas.....	50

2.2.2. Red Ferroviaria.....	54
2.2.3. Puertos.....	55
2.3. Disponibilidad de Agua.....	58
2.3.1. Agua Superficial.....	58
2.3.2. Agua Subterránea.....	60
2.4. Parques y Áreas Industriales.....	62
2.4.1. Cantidad.....	63
2.4.2. Disponibilidad.....	63
2.5. Energía.....	65
2.5.1. Electricidad.....	65
2.5.2. Gas.....	68
2.6. Mercado.....	71
2.7. Mano de Obra.....	73
2.7.1. Cantidad.....	73
2.7.2. Calidad.....	73
2.8. Marco Legal.....	74
2.8.1. Beneficios.....	74
2.8.2. Normativas ambientales.....	76
2.9. Clima.....	79
2.9.1. Humedad.....	86
2.9.2. Temperatura.....	86
2.9.3. Precipitación.....	86
3. Matriz de Macroubicación.....	86
4. Microubicación.....	88
4.1. Materia Prima.....	89
4.1.1 Superficie sembrada.....	90
4.1.2. Distancia a parques industriales.....	90
4.2. Terreno.....	91
4.2.1. Disponibilidad.....	91
4.3. Mano de obra.....	92
4.3.1. Cantidad.....	92
4.3.2. Nivel de Formación.....	93
4.4. Vías de comunicación.....	95
4.4.1. Rutas.....	96
4.5. Mercado.....	97
5. Matriz de Microubicación.....	98
6. Localización.....	99
7. Bibliografía.....	101
Capítulo IV: Descripción de Proceso.....	104

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>106</b>
<b>2. Descripción general.....</b>	<b>106</b>
<b>3. Obtención de celulosa.....</b>	<b>106</b>
<b>3.1. Molienda.....</b>	<b>106</b>
<b>3.2. Pretratamiento Acetosolv.....</b>	<b>108</b>
<b>3.3. Separación de fases.....</b>	<b>110</b>
<b>3.4. Separador de sólidos.....</b>	<b>112</b>
<b>3.5. Recuperación solvente orgánico.....</b>	<b>113</b>
<b>4. Hidrólisis enzimática.....</b>	<b>114</b>
<b>5. Fermentación enzimática.....</b>	<b>116</b>
<b>5.1. Captación de CO2.....</b>	<b>118</b>
<b>6. Purificación.....</b>	<b>119</b>
<b>6.1. Destilación.....</b>	<b>119</b>
<b>6.2. Deshidratación.....</b>	<b>120</b>
<b>7. Diagramas de Bloques.....</b>	<b>122</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>124</b>
<b>Capítulo V: Investigación y Desarrollo.....</b>	<b>127</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>129</b>
<b>2. Materiales empleados.....</b>	<b>129</b>
<b>3. Desarrollo experimental.....</b>	<b>129</b>
<b>3.1 Molienda.....</b>	<b>131</b>
<b>3.2 Tamizado.....</b>	<b>132</b>
<b>3.3 Resultados.....</b>	<b>134</b>
<b>4. Desarrollo teórico.....</b>	<b>135</b>
<b>4.1 Pretratamiento.....</b>	<b>135</b>
<b>4.2 Hidrólisis.....</b>	<b>136</b>
<b>4.3 Fermentación.....</b>	<b>137</b>
<b>4.4 Deshidratación.....</b>	<b>138</b>
<b>5. Conclusión.....</b>	<b>138</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>140</b>
<b>Capítulo VI: Balance de Masa y Energía.....</b>	<b>142</b>
<b>1. Objetivo.....</b>	<b>145</b>
<b>2. Generalidades.....</b>	<b>145</b>
<b>3. Balance de Masa.....</b>	<b>145</b>
<b>3.1. Obtención de celulosa.....</b>	<b>145</b>
<b>3.1.1. Molienda.....</b>	<b>145</b>
<b>3.1.2. Pretratamiento Acetosolv.....</b>	<b>145</b>
<b>3.1.3. Centrifugación.....</b>	<b>147</b>
<b>3.1.4. Recuperación de solvente.....</b>	<b>147</b>

3.1.5. Separación de sólidos.....	148
3.2. Hidrólisis enzimática.....	148
3.3. Fermentación enzimática.....	149
3.4. Purificación.....	156
3.4.1. Destilación.....	156
3.4.2. Deshidratación.....	156
4.1. Pretratamiento Acetosolv.....	158
4.2. Condensador Sub - Enfriador 1.....	160
4.3. Recuperación de solvente.....	161
4.4. Intercambiador de calor 1.....	162
4.5. Hidrólisis.....	162
4.6. Intercambiador de calor 2.....	164
4.7. Fermentación.....	164
4.8. Destilación.....	165
4.9. Condensador Sub-enfriador 2.....	166
4. Bibliografía.....	168
Capítulo VII: Diseño y Selección de Equipos.....	169
1. Objetivo.....	176
2. Molino.....	176
2.1 Especificaciones Técnicas.....	176
3. Reactor Pre-tratamiento.....	177
3.1. Especificaciones técnicas del reactor de pretratamiento.....	179
4. Centrífuga de tornillo helicoidal.....	179
4.1. Especificaciones técnicas de la centrífuga.....	180
5. Clasificador de tornillo.....	180
5.1. Especificaciones técnicas del clasificador de tornillo.....	181
6. Condensador Sub-enfriador 1.....	181
6.1. Dimensionamiento.....	183
6.1.1. Diferencia media logarítmica de temperaturas.....	183
6.1.2. Coeficiente global de transferencia térmica.....	185
6.1.3. Área requerida y real del equipo.....	194
6.2. Especificación técnica del condensador sub - enfriador 1.....	196
7. Torre de enfriamiento 1.....	197
7.1. Especificaciones técnicas de la torre de enfriamiento.....	197
8. Recuperación de solvente - Columna de fraccionamiento.....	197
8.1 Especificaciones Técnicas.....	198
9. Intercambiador de calor 1.....	198
9.1. Especificaciones técnicas del intercambiador de calor 1.....	199
10. Torre de enfriamiento 2.....	199

10.1. Especificaciones técnicas de torre de enfriamiento.....	200
11. Reactor de hidrólisis.....	200
11.1. Especificaciones técnicas reactor hidrólisis.....	203
11.2. Bomba dosificadora de membrana.....	203
12. Intercambiador de calor 2.....	204
12.1. Especificaciones técnicas del intercambiador de calor 2.....	205
13. Torre de enfriamiento 3.....	205
13.1. Especificaciones técnicas de la torre de enfriamiento.....	206
14. Reactor fermentativo madre.....	206
14.1. Especificaciones técnicas reactor madre.....	207
15. Reactor fermentativo.....	207
15.1. Dimensiones del reactor.....	207
15.2. Parámetros de la camisa de calefacción.....	209
15.2.1. Cálculo de calor.....	209
15.2.2. Cálculo de caudal de agua.....	210
15.2.3. Cálculo del área efectiva de intercambio de la camisa.....	211
15.2.4. Cálculo de dimensiones de la camisa.....	211
15.3. Diseño del agitador.....	212
15.3.1. Sistema de agitación.....	212
15.3.2 Dimensionamiento del agitador.....	212
15.3.3. Potencia requerida.....	214
15.4. Diseño mecánico.....	216
15.4.1. Presión de diseño.....	216
15.4.2. Temperatura de diseño.....	217
15.4.3. Material de construcción.....	217
15.4.4. Tensión máxima admisible.....	218
15.4.5. Eficiencia de soldadura.....	218
15.4.6. Sobreespesor por corrosión.....	218
15.4.7. Cálculo de espesor de la envuelta.....	219
15.4.8. Cálculo de espesor mínimo de la camisa de media caña.....	219
15.4.9. Cálculo de espesor mínimo de los fondos.....	221
15.5. Especificaciones técnicas.....	222
16. Captador de Dióxido de Carbono.....	222
16.1. Especificaciones Técnicas.....	223
17. Torre de fraccionamiento.....	223
17.1 Trazado de Platos.....	226
17.2 Dimensionamiento de torre.....	230
17.3 Eficiencia.....	238
17.4 Espesor de envuelta.....	240

17.5 Aislamiento.....	241
17.6 Especificaciones técnicas de la torre de destilación.....	242
18. Tamices Moleculares.....	242
18.1 Especificaciones Técnicas.....	243
19. Condensador Sub-enfriador 2.....	243
19.1. Especificaciones técnicas condensador sub-enfriador 2.....	244
20. Torre de enfriamiento 4.....	244
20.1. Especificaciones técnicas de la torre de enfriamiento.....	245
21. Sistema de control.....	245
21.1. Sistema de control de caudal.....	246
21.1.1. Marco teórico.....	246
21.1.2. Dimensionamiento de la línea.....	247
21.1.3. Dimensionamiento de la placa orificio.....	248
21.1.4. Especificaciones técnicas de la placa orificio y la línea.....	252
21.1.5. Elemento transmisor.....	252
21.1.6. Controlador.....	254
21.1.7. Elemento final de medición.....	256
22. Almacenamiento.....	257
22.1. Silos de almacenamiento.....	258
22.2. Tanques de Almacenamiento para ácido acético.....	259
22.3. Tanque de Almacenamiento para ácido clorhídrico.....	260
22.4. Piletas de Almacenamiento para agua.....	261
22.5. Tanques de Almacenamiento para bioetanol.....	263
22.6. Tanque Ecuilizador.....	263
23. Módulo de tratamiento de efluentes.....	265
24. Transporte de materias primas y productos.....	266
24.1. Transportador 1.....	266
24.1 Especificaciones técnicas del transportador de tornillo flexible.....	267
24.2. Transportador 2.....	267
24.3. Bombas transportadoras.....	268
25. Bibliografía.....	269
Capítulo VIII: Servicios Auxiliares.....	274
1. Objetivo.....	276
2. Nitrógeno.....	276
3. Aire Comprimido.....	278
4. Agua para calentamiento de reactores.....	280
5. Agua blanda.....	281
6. Gas natural.....	283
7. Electricidad y grupo electrógeno.....	284

8. Equipo de bombeo y válvulas.....	285
9. Aislamiento térmico de tuberías y accesorios.....	286
10. Vapor.....	288
11. Bibliografía.....	290
Capítulo IX: Layout.....	292
1. Objetivo.....	295
2. Terreno.....	295
3. Layout.....	296
4. Zonas de la planta.....	296
4.1. Zona A: Oficinas y sector de personal.....	297
4.2. Zona B: Obtención de celulosa.....	298
4.3. Zona C: Hidrólisis, Fermentación y acondicionamiento de Bioetanol.....	298
4.4. Zona D: Almacenamiento 1.....	298
4.5. Zona E: Almacenamiento 2.....	299
4.6. Zona F: Almacenamiento de Bioetanol.....	299
4.7. Zona G: Tratamiento de efluentes.....	299
4.8. Zona H: Sala de Bombas.....	299
4.9. Zona I: Mantenimiento.....	300
4.10. Zona J: Sala de Control.....	300
4.11. Zona K: Balanzas y calle interna.....	300
5. Dimensiones de zonas y equipos.....	300
5.1. Zona A.....	301
5.2. Zona B.....	301
5.3. Zona C.....	302
5.4. Zona D.....	302
5.5. Zona E.....	303
5.6. Zona F.....	303
5.7. Zona G.....	304
5.8. Zona H, I y J.....	304
5.9. Zona K.....	305
6. Puestos de trabajo.....	305
6.1. Gerencia general.....	305
6.1.1. Gerencia de administración.....	305
6.1.1.1. Jefe de recursos humanos.....	306
6.1.2. Gerencia de producción.....	306
6.1.2.1. Jefe de mantenimiento.....	306
6.1.2.2. Jefe de logística.....	306
6.1.2.3. Jefe de producción.....	307
6.1.3. Gerencia de Contabilidad y Finanzas.....	307

6.1.4. Gerencia de Gestión de Calidad.....	307
6.1.4.1. Jefe y analista de seguridad e higiene.....	308
6.1.4.2. Jefe de calidad y analistas.....	308
6.1.5. Gerente comercial.....	308
7. Organigrama.....	308
7.1. Descripción del organigrama.....	310
7.1.1. Tabla de operarios y operaciones.....	311
Capítulo X: Sistema de Gestión Integral.....	316
1. Objetivo.....	318
2. Introducción.....	318
2.1 Sistema de Gestión de Calidad - Norma ISO 9001.....	319
2.2 Sistema de Gestión Ambiental - Norma ISO 14001.....	320
2.3 Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo - Norma ISO 45001.....	321
3. Implementación del Sistema de Gestión Integral.....	322
4. Política de Gestión Integrada.....	324
5. Bibliografía.....	326
Capítulo XI: Evaluación de Impacto Ambiental.....	327
1. Introducción.....	330
2. Objetivo.....	330
3. Marco legal.....	330
3.1. Nacional.....	331
3.2. Provincial.....	331
3.3. Departamental.....	333
4. Evaluación ambiental de la zona de emplazamiento.....	334
4.1 Parque Industrial Mercedes.....	335
4.2 Clima.....	337
4.3 Hidrografía.....	337
4.4 Fauna y Flora.....	338
5. Acciones o actividades susceptibles a producir un impacto ambiental del proyecto.....	339
5.1. Etapas del proyecto.....	339
5.1.1. Efluentes y residuos generados en la etapa de construcción.....	340
5.1.2. Efluentes y residuos generados en la etapa de puesta en marcha y operación....	340
5.1.2.1. Residuos sólidos.....	341
5.1.2.2. Efluentes.....	341
5.1.2.3. Emisiones gaseosas.....	342
5.1.2.4. Ruidos y otros factores.....	342
5.1.3. Residuos y efluentes generados durante el proceso de cierre de la planta....	343
5.2. Pasivos ambientales.....	344
5.3. Uso del agua.....	344

<b>6. Matriz de impacto ambiental.....</b>	<b>345</b>
6.1. Etapa de construcción.....	345
6.2. Etapa de operación.....	346
6.3. Etapa cierre.....	347
<b>7. Medidas mitigadoras.....</b>	<b>347</b>
7.1 Construcción y Cierre.....	348
7.2 Planta en actividad.....	349
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>351</b>
<b>Capítulo XII: Seguridad e Higiene en el trabajo.....</b>	<b>352</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>356</b>
<b>2. Protección contra incendios.....</b>	<b>356</b>
2.1. Sistema de hidrantes.....	356
2.2. Clasificación de actividades.....	356
2.2.1. Determinación del caudal de agua.....	358
2.3. Carga de fuego.....	359
2.3.1. Tipos de fuego.....	362
2.3.2 Cantidad de extintores.....	363
2.3.3 Consideraciones en la instalación de matafuegos.....	365
2.3.4 Distribución de extintores.....	366
2.4. Diseño del sistema contra incendios.....	369
2.4.1. Hidrantes.....	369
2.4.1.1. Equipamiento de hidrantes.....	370
2.4.1.2. Cálculo de hidrantes.....	370
2.4.1.3. Sistema de cañerías.....	373
2.4.1.4. Conexión para bomberos.....	374
2.4.2 Rociadores.....	374
2.4.2.1. Distribución de los rociadores.....	375
2.4.2.2. Diseño del sistema de rociadores.....	375
2.4.2.3. Tuberías.....	378
2.4.3. Válvulas de control del sistema.....	379
2.4.4. Válvulas reductoras de presión.....	379
2.4.5. Sistema de drenaje.....	379
2.4.6. Manómetros.....	379
2.4.7. Prueba hidrostática.....	380
2.4.8. Lavado con circulación de agua.....	380
2.4.9. Mantenimiento.....	380
2.5. Fuentes de agua.....	380
2.5.1. Tipos y requisitos para las bombas de incendio.....	380
2.5.2. Fuentes de alimentación motriz.....	381

2.5.3. Accesorios de motobomba.....	381
2.5.4. Arranque y parada de las bombas de incendio.....	381
2.6. Reserva de agua.....	382
2.7. Bombas de incendio.....	382
2.7.1 Bomba eléctrica.....	382
2.7.2. Motobomba.....	387
2.8. En caso de incendio.....	387
2.9. Medios de evacuación.....	388
2.9.1 Ancho de pasillos, corredores y escaleras.....	388
2.9.2 Condiciones de los medios de escape.....	391
3. Bibliografía.....	392
Capítulo XIII: Evaluación económica.....	393
1. Objetivo.....	395
2. Introducción.....	395
3. Determinación del costo de equipos.....	396
4. Determinación del capital fijo de inversión.....	398
5. Determinación de los costos de fabricación.....	400
5.1. Materia prima y reactivos.....	401
5.2. Mano de obra operativa.....	401
5.3. Mantenimiento y reparaciones.....	402
5.4. Servicios generales.....	402
5.5. Gastos generales.....	403
5.6. Gastos administrativos.....	403
5.6.1. Mano de obra administrativa.....	403
5.6.2. Marketing y administración.....	403
5.7. Costo total de fabricación.....	403
6. Inversión inicial necesaria.....	404
7. Depreciación.....	405
8. Cálculo de los ingresos por ventas.....	405
9. Rentabilidad de la empresa.....	407
10. Cálculo de VAN y TIR.....	408
11. Conclusión.....	408
Capítulo XIV: Conclusión.....	409
1. Conclusiones.....	410
ANEXOS.....	411



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo 0: Resumen Ejecutivo**

## 1. Resumen Ejecutivo

En el presente trabajo se evaluará la producción de una alternativa de combustible más amigable con el medio ambiente, que ha presentado en los últimos años un alza en su demanda - el bioetanol-. Dicho combustible, se plantea producir a partir de un residuo de la producción de arroz - la cascarilla -, la cual no tiene un fin útil actualmente, provocando la incineración de miles de toneladas de este residuo por año en Argentina.

Este producto se comercializará como un combustible que se mezclará con nafta para motores de combustión interna. A partir de ello, se propusieron los objetivos de producción para el 2024, los cuales son reemplazar el 4,75% de las importaciones y vender el 3% de lo que se producirá en el mercado interno, lo que representa producir anualmente 46,2 millones de litros de bioetanol.

La planta productora se ubicará en el parque industrial Mercedes, en la localidad de Mercedes, provincia de Corrientes. Esta ubicación se decidió de manera estratégica ya que permitirá estar cercanos a las mayores arroceras del país, facilitando la logística de entrega de la principal materia prima para la producción de bioetanol.

El proceso productivo tendrá cuatro etapas primordiales, la primera, un pre-tratamiento que permitirá tener acceso a la celulosa de la cascarilla de arroz, seguidamente, se hidroliza la celulosa obtenida para elaborar glucosa; dicho producto luego se fermenta y se obtiene finalmente el bioetanol, el cual tiene una pureza muy baja, por lo que requerirá una etapa extra de destilación y deshidratación, para conseguir el combustible anhidro que se desea.

El bioetanol tendrá un precio de venta de 0,86 USD/Lt, lo que genera, teniendo en cuenta los costos de las principales materias primas y los objetivos planteados, una ganancia bruta de 33,8 millones de dólares.

Para llevar a cabo este proyecto, se solicitará un préstamo bancario de la inversión inicial necesaria - 47,7 millones de dólares -, el cual se devolverá mediante el sistema francés. El pago de las cuotas se hará de manera anual, y se tendrá una tasa de interés del 5% y un total de 10 cuotas.

La viabilidad económica del proyecto se evaluó con los indicadores VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno), siendo los resultados positivos y asegurando la rentabilidad del mismo.

## **2. Distribución de capítulos**

- ❖ Capítulo 0 – Resumen Ejecutivo
- ❖ Capítulo I – Introducción
- ❖ Capítulo II – Estudio de Mercado
- ❖ Capítulo III – Ubicación de la Planta
- ❖ Capítulo IV– Descripción del Proceso
- ❖ Capítulo V – Investigación y Desarrollo
- ❖ Capítulo VI – Balances de Masa y Energía
- ❖ Capítulo VII – Diseño y Selección de Equipos
- ❖ Capítulo VIII – Servicios Auxiliares
- ❖ Capítulo IX – Layout
- ❖ Capítulo X – Sistema de Gestión Integral
- ❖ Capítulo XI – Evaluación de Impacto Ambiental
- ❖ Capítulo XII – Seguridad e Higiene en el Trabajo
- ❖ Capítulo XIII – Evaluación Económica
- ❖ Capítulo XIV – Conclusión



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo I: Introducción**

## Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>17</b>
<b>2. Elección de proyecto.....</b>	<b>17</b>
<b>3. Descripción del producto.....</b>	<b>17</b>
3.1. Combustibles de segunda generación.....	18
3.2. Propiedades del bioetanol.....	19
<b>4. Materia prima.....</b>	<b>21</b>
4.1. Composición cascarilla de arroz.....	21
4.1.1. Celulosa.....	22
4.1.2. Hemicelulosa.....	22
4.1.3. Lignina.....	23
<b>5. Proceso productivo.....</b>	<b>24</b>
<b>6. Diagrama de Bloques del proceso.....</b>	<b>25</b>
<b>7. Bibliografía.....</b>	<b>26</b>

## Índice de Figuras

Figura N°1: Composición de la cáscara de arroz.....	21
Figura N°2: Estructura de la biomasa.....	22
Figura N°3: Modelo de moléculas de celulosa unidas por puente de hidrógeno.....	22
Figura N°4: Molécula de hemicelulosa representada por la unión de varios monosacárido.....	23
Figura N°5: Molécula de Lignina.....	24
Figura N°6: Diagrama de bloques proceso de obtención de Bioetanol.....	25

## Índice de Tablas

Tabla N°1: Generación de Biocombustibles por tipo de materia prima.....	18
Tabla N°2: Propiedades físicas y termodinámicas del Bioetanol.....	19
Tabla N°3: Especificaciones del Bioetanol.....	19
Tabla N°4: Especificaciones para el uso como combustible según la ASTM.....	20

## **1. Objetivo**

En el presente capítulo se expondrán las características del producto final a obtener - el bioetanol - luego de realizar el proceso industrial seleccionado, detallando la materia prima a utilizar, haciendo hincapié en las especificaciones de ambos, las características que poseen y los beneficios que puede traer el desarrollo del proyecto.

## **2. Elección de proyecto**

En los últimos años la búsqueda de fuentes de energía renovables se convirtió en un factor a tener en cuenta en la toma de decisiones para una gran cantidad de países. Estas se abrieron camino en el ámbito social gracias a la activa concientización de diferentes organismos ambientales acerca de las graves consecuencias que generan los combustibles tradicionales. Por otro lado, su participación en el ámbito político-económico se vio precipitada ante el agotamiento de recursos no renovables tales como el petróleo o, el más indispensable para los seres vivos, el agua.

Dicha búsqueda debe estar orientada a fuentes de gran eficiencia energética pero asegurando que los costos sean accesibles, por esta razón se dieron a conocer una gran cantidad de alternativas de diferentes características, con sus respectivas ventajas y desventajas; siendo una de ellas la producción de biocombustibles. En particular el bioetanol, ya que existe una amplia variedad de materias primas que pueden utilizarse para su producción, generando un impacto destacable en la economía y regulaciones gubernamentales con respecto al uso de combustibles alrededor del mundo.

Las materias primas para la elaboración del bioetanol pueden clasificarse en los siguientes tres grupos: azúcares (caña de azúcar, sorgo), cereales (almidón de maíz, trigo) y biomasa (celulosa y hemicelulosa, en desechos agrícolas/forestales). Se decidió utilizar esta última opción, un desecho orgánico, con el fin de disminuir así el impacto ambiental que genera su acumulación. El residuo elegido es la cáscara de arroz, producida en gran cantidad como subproducto en la producción de arroz.

## **3. Descripción del producto**

El bioetanol es un compuesto alcohólico que puede obtenerse mediante la fermentación de cualquier tipo de materia orgánica, con la condición que contengan un alto porcentaje de celulosa.

Tiene los mismos usos que aquellos combustibles convencionales que son quemados con el fin de obtener otro tipo de energía, ya sea motriz o eléctrica. De este modo, el bioetanol puede ser utilizado tanto para medios de transporte como para la generación de energía eléctrica, además de ser una fuente calorífica. Una característica a resaltar es el hecho de

que se puede mezclar con naftas al 20% sin precisar cambios del motor utilizado, obteniendo el mismo rendimiento y sin producir ningún tipo de daños.

### 3.1. Combustibles de segunda generación

Los biocombustibles se clasifican según la materia prima utilizada para su realización. A continuación, se dispone de una tabla que muestra los diferentes tipos y las materias primas que se utilizan para producir cada uno:

<b>Primera Generación</b>	<b>Segunda Generación</b>	<b>Tercera Generación</b>	<b>Cuarta Generación</b>
Caña de Azúcar	Residuos de cultivo	Algas	Bacterias genéticamente modificadas
Sorgo	Madera		
Remolacha	Pastos		
Maíz			

Tabla N°1: Generación de biocombustibles por tipo de materia prima

Como se observa, el bioetanol de segunda generación recibe tal nombre por utilizar residuos agrícolas o forestales como materia prima (biomasa lignocelulósica), los cuales presentan dentro de su composición un gran porcentaje de celulosa. El hecho de no utilizar alimentos como materia prima, ha convertido a este tipo de biocombustibles en un producto muy atractivo para el mercado, aumentando su desarrollo en los últimos años.

Alguna de las ventajas que presenta son:

- Requiere menos recursos para su producción, desde agua, terrenos, hasta fertilizantes y pesticidas.
- Se evita la competencia con la industria alimenticia, ya que se utilizan desechos sin generar mayor demanda en las cosechas.

### 3.2. Propiedades del bioetanol

Conocer las propiedades de una sustancia es de suma importancia, ya que permite tener presente ante qué nivel de riesgo se está expuesto al trabajar, pudiendo así, concientizar al personal para tomar las medidas de precaución adecuadas para su manipulación, transporte y almacenamiento. Además, conociendo las propiedades, se puede saber qué clase de procesos y bajo qué condiciones pueden y se debe operar para su obtención.

Las propiedades más importantes del bioetanol se detallan en las siguientes tablas:

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Peso molecular	46,7
Carbono, % peso	52,2
Hidrógeno, % peso	13,1
Oxígeno, % peso	34,7
Presión de vapor [mmHg]	59
Índice de octano	108/92
Solubilidad en agua, % Vol	100
Punto de Fusión [K]	143,15
Punto de Ebullición [K]	351,45
Punto de Inflamación [K]	286
Temperatura de Autoignición [K]	696
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	0,789
Calor específico [J/g°C]	2,42
Conductividad térmica [W/m K]	0,17
Viscosidad [cP]	1,17
Calor de combustión [J/g]	29 677,69
Calor de vaporización en el punto normal de ebullición [J/g]:	839,31
Calor de fusión [J/g]	104,6

Tabla N°2: Propiedades físicas y termodinámicas del Bioetanol

<b>Incompatibilidades químicas</b>	Ácidos, cloruros de ácido, agentes oxidantes y reductores y metales alcalinos
<b>Presentación</b>	Cantidades grandes: tanques metálicos especiales para líquidos inflamables y conectados a tierra.
	Cantidades pequeñas: recipientes de vidrio.
	Buena ventilación en el lugar.
	Recipientes protegidos de la luz directa del sol y alejados de fuentes de ignición.

Tabla N°3: Especificaciones del Bioetanol

Para poder ser utilizado como combustible, el bioetanol debe cumplir con ciertos requisitos de manera excluyente, volviendo a su proceso productivo uno muy exigente en cuanto a las diferentes etapas que lo componen y a los controles que deben realizarse a nuestro producto final.

Algunas de ellas se enumeran a continuación:

<b>Especificaciones</b>	
<b>Aspecto</b>	<b>Sin sólidos en suspensión</b>
<b>Acidez (Ácido acético) [mg/Lt]</b>	30
<b>Grado etanol, % Vol</b>	99,3
<b>Grado alcohólico [°INPM]</b>	99,3
<b>Grado de hidrocarburos, % Vol</b>	3
<b>Conductividad eléctrica [µs/m]</b>	500
<b>Ión cloruro [mg/kg]</b>	1,1
<b>Ión sulfuro [mg/kg]</b>	4,3

Tabla N°4: Especificaciones para el uso como combustible según la ASTM

Se describen aquí los parámetros más importantes del producto final y su posible problemática:

- **Acidez:** Se relaciona con la corrosividad, es un factor sumamente importante durante la elección del material del motor que lo utilizará.
- **Conductividad eléctrica:** Representa la cantidad de iones en el líquido, cuanto mayor sea este valor, mayor será su conductividad al igual que su corrosividad.
- **Aspecto:** Es la variable más fácil de identificar. El líquido no debe contener ningún tipo de impureza, ya que causaría problemas en los filtros o inyectores de los automóviles. Con respecto al color, debemos asegurarnos que sea incoloro, en caso contrario evidenciará la oxidación de aldehídos y alcoholes.
- **Grado de etanol:** Nos informa acerca de si existen otros alcoholes en el combustible.
- **Grado alcohólico:** Indica la pureza del bioetanol.
- **Grado de hidrocarburos:** Cuantifica la contaminación por parte de compuestos orgánicos no oxigenados.
- **Grado de iones cloruro, sulfato:** Se relacionan con el poder de corrosión del biocombustible.

#### 4. Materia prima

Como se mencionó anteriormente, para realizar el proceso de producción de bioetanol, se utilizará cascarilla de arroz. Ésta es un subproducto de la molienda del arroz producida a lo largo de la extensión de nuestro país en grandes cantidades.

Debido a la acumulación que genera en los vertederos de residuos sólidos urbanos, crea potenciales problemas ambientales. Además, al no tener un fin definido, en muchas agroindustrias se decide realizar una quema como disposición final, creando así una emisión importante de gases de efecto invernadero. Otro factor importante es la situación crítica que se genera al momento de disponer la descarga de los volúmenes de cáscara que se producen en el descascarado del arroz, proceso que resulta en una gran cantidad de polvillo, ocasionando no solo molestias a los pobladores de las cercanías, si no también riesgos de combustión.

Actualmente, en nuestro país se utiliza un promedio de 5% de este desecho para, por ejemplo, producción de ladrillos, abono y cama para criadero de pollos.

##### 4.1. Composición cascarilla de arroz

Dentro de sus componentes más importantes se encuentran la celulosa y la sílice, lo que hace de la cascarilla un gran candidato para la conversión en combustible. Al utilizar este tipo de materia prima, se genera un destacable avance con respecto a materia de preservación de recursos, disminuyendo la dependencia hacia los combustibles de origen fósil, aportando al desarrollo e implementación de energías alternativas y limpias.

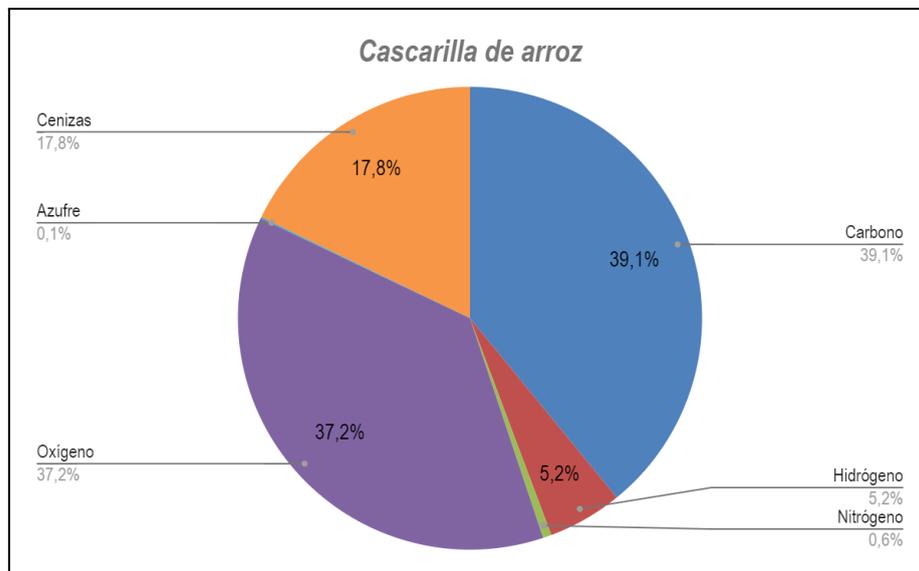


Figura N°1: Composición de la cáscara de arroz

La cascarilla es clasificada como material lignocelulósico por estar constituida por altos porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina, estando éstas unidas entre sí por enlaces covalentes y puentes intermoleculares. Gracias a esto, sirven de soporte estructural a la pared celular, lo que hace a la cascarilla altamente resistente a la hidrólisis. Además de los

mencionados, existen otros componentes en menor proporción, que pueden ser extraídos fácilmente con distintos tipos de solventes orgánicos, inorgánicos, o una mezcla de estos.

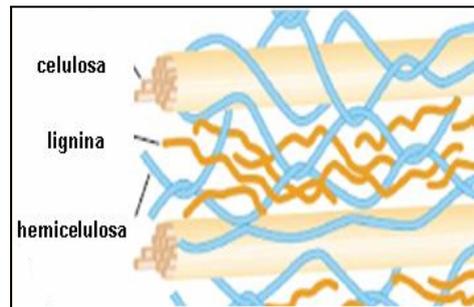


Figura N°2: Estructura de la biomasa

#### 4.1.1. Celulosa

Es un polímero compuesto únicamente por moléculas de glucosa, precisamente de  $\beta$ -glucosa. Es la sustancia más abundante en la Tierra ya que constituye la pared celular de células vegetales, formando parte de los tejidos de sostén. Por otro lado, también tiene una gran adaptación tecnológica, siendo utilizado como base de muchos productos industriales tales como fibras, papel, etc.

Las moléculas de glucosa se encuentran unidas mediante una estructura lineal, caracterizada por múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de las distintas cadenas, originando fibras muy compactas, lo cual otorga su propiedad impermeable ante el agua, siendo entonces, insoluble en agua y en alcohol.

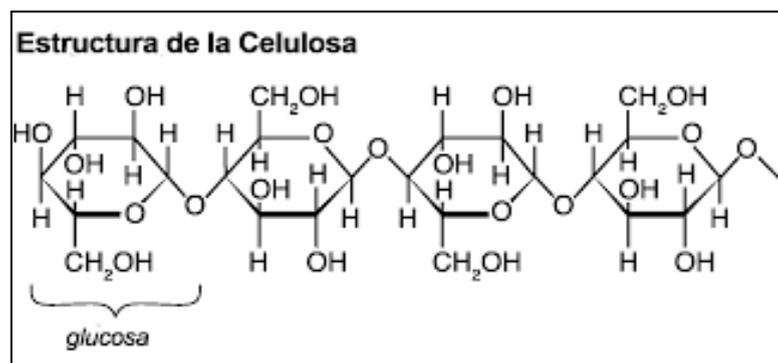


Figura N°3: Modelo de moléculas de celulosa unidas por puente de hidrógeno

#### 4.1.2. Hemicelulosa

Está compuesto por varios polisacáridos o azúcares que se encuentran dentro de las paredes celulares de muchas plantas, siendo más de la tercera parte de la biomasa de estos materiales. Dichos polisacáridos están compuestos por estructuras glucanas unidos por enlaces  $\beta$ -1,4 constituidos por sustituyentes glicosilados (cadenas largas conformadas por pentosas, hexosas, y sus correspondientes ácidos urónicos) que poseen la capacidad de

interactuar entre sí y con las fibras de celulosa a través de puentes de hidrógeno (interacciones no covalentes).

A diferencia de la celulosa, que forma microfibras compactas, las hemicelulosas tienen estructuras más amorfas, que le concede una gran solubilidad en soluciones acuosas.

Dentro de la hemicelulosa podemos encontrar cuatro clases de moléculas diferentes a nivel estructural: xilanos, D-mano glicanos,  $\beta$ -glucanos y xiloglucanos. Así como su composición varía dependiendo de la especie vegetal de la que provenga, sus funciones también lo harán. Como mencionamos antes, su principal función es ser parte de la pared celular, gracias a su capacidad de asociarse no covalentemente con la celulosa.

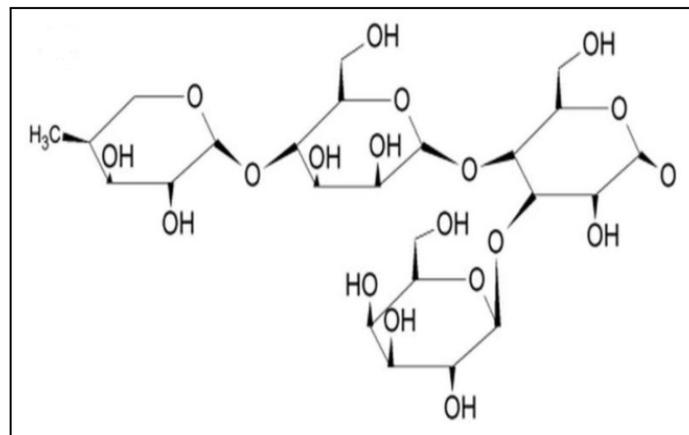


Figura N°4: Molécula de hemicelulosa representada por la unión de varios monosacárido

#### 4.1.3. Lignina

De la pared celular, la lignina es el compuesto con mayor impermeabilidad ante el agua debido a que no está formado por monómeros de carbohidratos; encargándose de eliminar el agua de las paredes celulares. Además, colabora con el transporte y restringe la difusión lateral, lo que produce un aumento de la resistencia mecánica de los tejidos de las paredes celulares (otorgando protección frente a ataques bacterianos). También actúa como una especie de pegamento junto con la hemicelulosa, apareciendo como un tejido de fibrillas entre la estructura de la celulosa.

Está formado por un grupo de moléculas de gran diversidad en la organización de sus monómeros. La composición de lignina es específica de cada tipo celular. Hay tres tipos de monómeros denominados unidades H, G y S. Estos se liberan por la célula a la pared celular y son activados por enzimas denominadas fenol-oxidasas. Las características de la lignina formada dependen del proceso de activación y de los monómeros liberados. No existe un patrón común de estructura molecular primaria para los diferentes tipos de ligninas. ([Atlas de Histología, 2020](#))

La estructura de la lignina podría indicar que es la principal fuente renovable de compuestos aromáticos; además, la utilización de ésta es una excelente opción para la producción de gran variedad de compuestos químicos, así como también nuevos materiales.

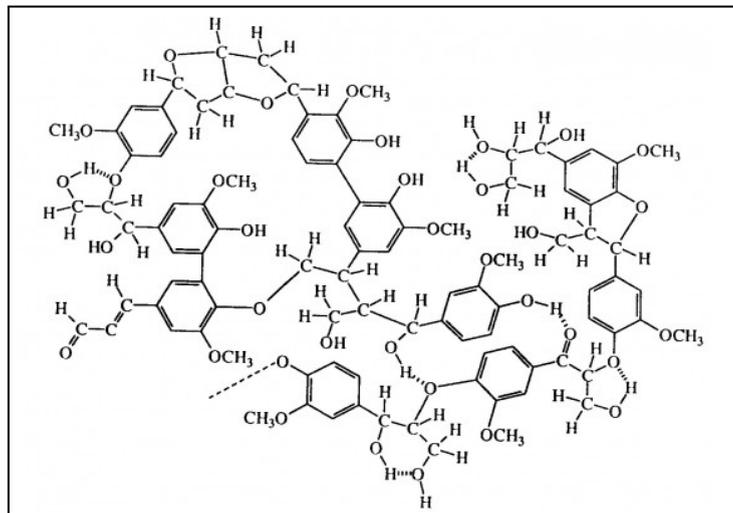


Figura N°5: Molécula de Lignina

## 5. Proceso productivo

Para obtener el producto deseado, el bioetanol, se realizarán tratamientos tanto físicos como químicos a la biomasa. La secuencia de operaciones comenzará con una molienda de la cascarilla para obtener un área superficial mucho mayor a la original, produciendo un aumento de eficiencia en el pretratamiento con solventes que continúa. Dicho pretratamiento tiene como fin la solubilización de la lignina y la hemicelulosa, facilitando el acceso hacia la celulosa, lo cual es nuestro objetivo ya que será transformada en las siguientes etapas.

La siguiente operación a realizar será la hidrólisis, en la cual se utilizarán enzimas que permitirán obtener mediante una reacción en serie, primero celobiosa y finalmente glucosa, siendo ésta el producto a tratar en la subsiguiente etapa, la fermentación.

Para la fermentación, se hará uso de la *Saccharomyces cerevisiae*, una levadura capaz de convertir la glucosa en dióxido de carbono y etanol.

El bioetanol que se obtiene en este caso está compuesto por una gran cantidad de agua, por lo que será necesaria una purificación llevando al producto de una pureza de 8,5% a una del 99,9%.

## 6. Diagrama de Bloques del proceso

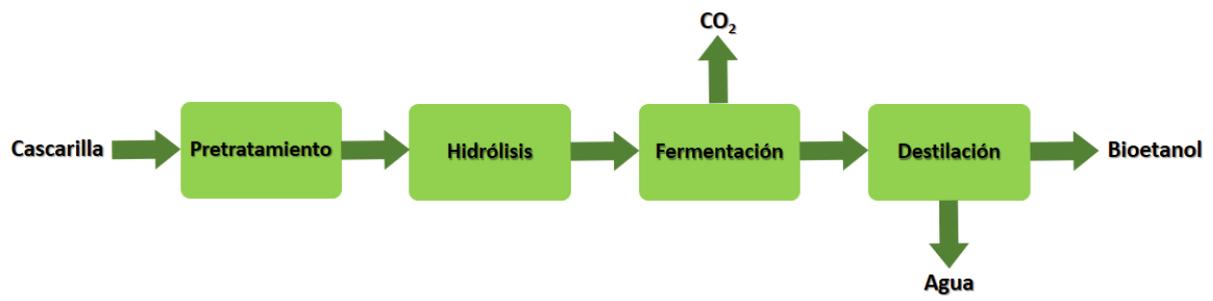


Figura N°6: Diagrama de bloques proceso de obtención de Bioetanol

## 7. Bibliografía

- Megías M, Molist P, Pombal MA. (2019). Atlas de histología vegetal y animal. Órganos vegetales. [http://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/guiada\\_o\\_v\\_inicio.php](http://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/guiada_o_v_inicio.php)
- Arriols, E. (2018, Febrero 19). Ecología Verde. Retrieved from <https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-bioetanol-y-para-que-sirve-1147.html>
- Bio4. (2017). Bioetanol de Río Cuarto. Retrieved from <https://www.bio4.com.ar/productos/bioetanol/>
- Carvalho Meldau, D. (2009). *lignina*. InfoEscola. Retrieved from <https://www.infoescola.com/compostos-quimicos/lignina/>
- *Celulosa*. (n.d.). <https://alexianextle.wixsite.com/quimicanutricional/celulosa>
- Curvetto, N., Bredan, R., Busso, C., Galantini, J., & Vita, O. (2009). Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida. *Boletín de Cerzos*, 16(8). <https://cerzos.conicet.gov.ar/BoletinCERZOS/2009-16/intro.htm>
- De Simone, M. E. (2018, Junio 29). ¿Qué es el Bioetanol? *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. <https://inta.gob.ar/documentos/que-es-el-bioetanol>
- Di Carlo, S. M., Puyol, F. V., Vázquez, R. B. (2018). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL*. RINFI. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/338/SMDiCarlo%2BFVPuyol%2BRBVazquezWehrhahne-TFG-IQ-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- *ESPECIFICACIONES*. (n.d.). Ingenieras Químicas en proceso. <https://ingenierasquimicasenproceso.wordpress.com/recoleccion-de-datos-tecnicos-especificos/especificaciones/>
- Gracida Rodríguez, J. N., & Pérez-Díaz, B. (2014, Mayo). Factores previos involucrados en la producción de bioetanol, aspectos a considerar. *Revista Internacional de contaminación ambiental*, 30(2). [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-4999201400020008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-4999201400020008)
- Grasso, D. D. (n.d.). *Desarrollo de Procesos para la transformación de Biomasa en Bioenergía* [Programa Nacional Agroindustria y Agregado de Valor]. INTA- Bioenergía. Retrieved from [https://inta.gob.ar/sites/default/files/bioenergia-bioetanol\\_de\\_2a\\_generacion\\_en\\_el\\_inta.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/bioenergia-bioetanol_de_2a_generacion_en_el_inta.pdf)

- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2016). *Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina, con énfasis en el etanol de base celulósica*. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-serie\\_cuadernos\\_del\\_desarrollo\\_-\\_1\\_-\\_perspectivas\\_de\\_.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-serie_cuadernos_del_desarrollo_-_1_-_perspectivas_de_.pdf)
- Procesadora de ingredientes S.A. (n.d.). *Hoja de seguridad de la cascarilla de arroz*. Aprenderly. <https://aprenderly.com/doc/3398171/hoja-de-seguridad-cascarilla-de-arroz>
- Ramos, I. C., Hernández, D. K., Castellá, D. M., Hernández, T. M., Orozco, D. M., & Zurita, A. N. (n.d.). *Celulosa*. Química Nutricional. <https://alexianextle.wixsite.com/quimicanutricional/celulosa>
- Salvachúa Rodríguez, D. (2013). *Producción de etanol de segunda generación a partir de paja de trigo: hongos, enzimas fúngicas y aplicaciones*. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/127937/1/Tesis%20Davinia%20Salvach%20baa.pdf>
- Sanchez, O. J., & Cardona, C. A. (n.d.). *Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas*. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442005001100005](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005001100005)



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo II: Estudio de Mercado**

## Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>30</b>
<b>2. Contexto Histórico.....</b>	<b>30</b>
<b>3. Producción Nacional.....</b>	<b>31</b>
<b>4. Importaciones.....</b>	<b>33</b>
<b>5. Países exportadores.....</b>	<b>36</b>
<b>6. Consumo Nacional Aparente.....</b>	<b>37</b>
<b>7. Materia Prima.....</b>	<b>38</b>
7.1. Cáscara de arroz.....	38
7.2. Ácido Acético.....	39
<b>8. Intereses del proyecto.....</b>	<b>40</b>
<b>9. Conclusión.....</b>	<b>40</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>42</b>

## Índice de Figuras

Figura N°1: Consumo de naftas y bioetanol como combustible en Argentina.....	30
Figura N°2: Producción de bioetanol a nivel nacional.....	31
Figura N°3: Ventas de bioetanol a nivel nacional.....	32
Figura N°4: Cantidad de Importaciones de bioetanol en el período 2009-2022.....	34
Figura N°5: Importaciones en FOB de bioetanol en el período 2009-2022.....	34
Figura N°6: Importaciones por procedencia.....	37
Figura N°7: Producción de cáscara de arroz por año.....	39

## Índice de Tablas

Tabla N°1: Datos de producción nacional del bioetanol en el período 2009-2022.....	32
Tabla N°2: Datos de Importación del bioetanol en el período 2009-2022.....	33
Tabla N°3: Estimaciones de Importación de bioetanol para el período 2021-2024.....	36
Tabla N°4: Principales productores de bioetanol en Argentina.....	37
Tabla N°5: Producción de arroz/cáscara de arroz en el período 2006-2024.....	38
Tabla N°6: Estimaciones de producción de ácido acético.....	39

## 1. Objetivo

A lo largo de este capítulo se hará un análisis sobre la participación del bioetanol en el mercado argentino, teniendo en cuenta su consumo y producción. También se analizarán las cantidades importadas por año, así como su costo. Por último, se evaluará el costo estimado de venta del bioetanol junto con el de las materias primas principales, la cascarilla de arroz y el ácido acético, para comprobar que el proyecto sea factible.

## 2. Contexto Histórico

El uso de biocombustibles líquidos como fuente de energía para automotores comenzó a tomar relevancia a inicios del siglo XXI, aunque su verdadero protagonismo en el ámbito económico se desarrolló a lo largo de esta última década mediante la aplicación del “corte obligatorio” de nafta con bioetanol y gasoil con biodiesel, tanto en nuestro país como en el resto del mundo. Su popularidad se debe a que incorporar los biocombustibles en el mercado amplía la matriz energética, genera empleos en sectores locales, puede sustituir gran parte, o la totalidad, de las importaciones, y disminuye de manera considerable la contaminación, en especial las emisiones de gases de invernadero.

Si bien la proporción de dicho corte depende del marco legal de cada país, a lo largo de los años tanto el porcentaje de biocombustibles en la mezcla como la preferencia de esta sobre la nafta convencional presentaron cambios favorables, resultando en un continuo incremento, del cual no fue excepción la Argentina y podemos visualizarlo en el gráfico a continuación.

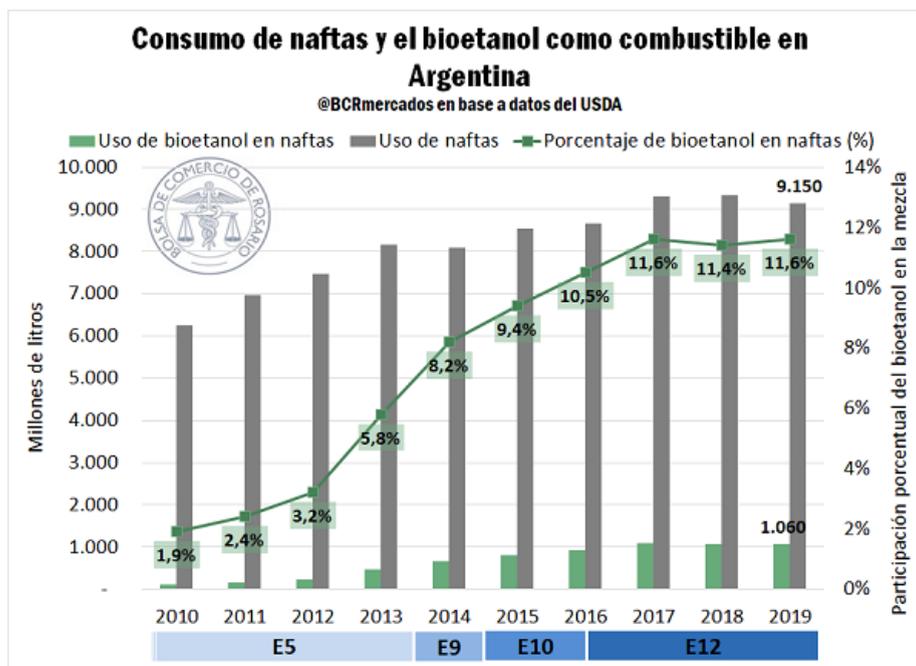


Figura N°1: Consumo de naftas y bioetanol como combustible en Argentina

### 3. Producción Nacional

A partir de la reglamentación ya mencionada del corte obligatorio de bioetanol en nafta implementado en 2010, el consumo ha crecido de tal manera que la industria debió ajustarse a la demanda para poder abastecer al mercado interno, mediante la creación de nuevas plantas productoras de bioetanol. Exactamente ese envión fue el que llevó a la Argentina a ser uno de los mayores productores de bioetanol, incluso convirtiéndose en una de las figuras principales en la escena de exportaciones de este.

Recurriendo a datos de la Secretaría de Energía se realizan los siguientes gráficos, donde se puede observar cómo evolucionó la producción nacional de bioetanol y su venta a lo largo de los últimos años, mostrando una clara tendencia positiva año tras año, a excepción del año 2020.

Cabe destacar que este desvío negativo observado es resultado de la pandemia Covid-19 que sacudió al mundo en dicho año, la cual produjo drásticos cambios y efectos adversos en cuanto al ámbito económico, produciendo un estancamiento en la producción de bioetanol en nuestro país.

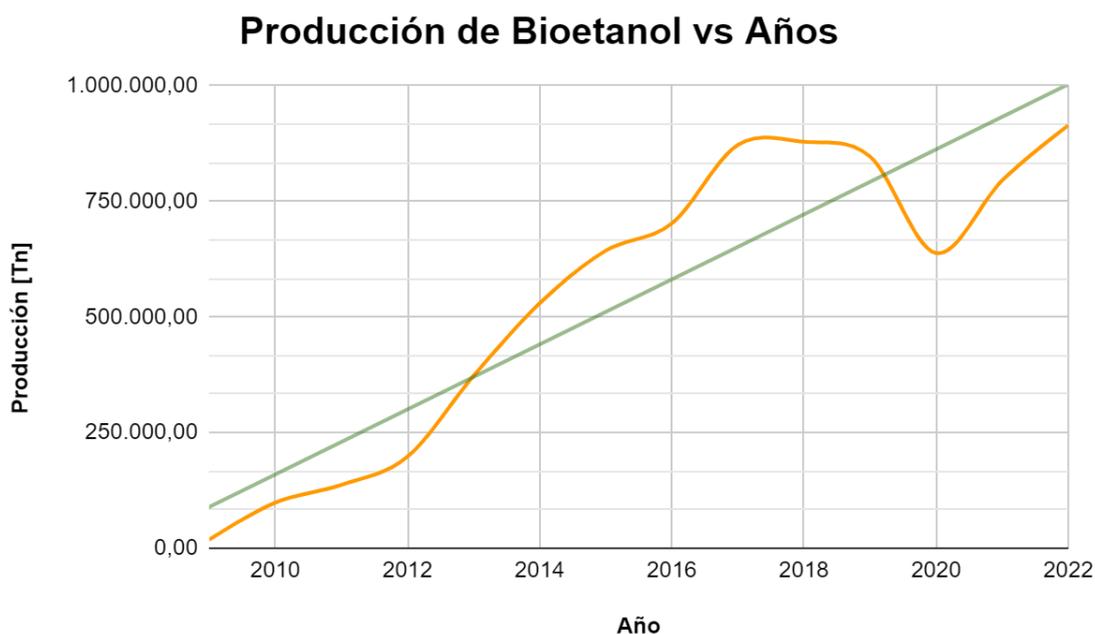


Figura N°2: Producción de bioetanol a nivel nacional

## Ventas Bioetanol

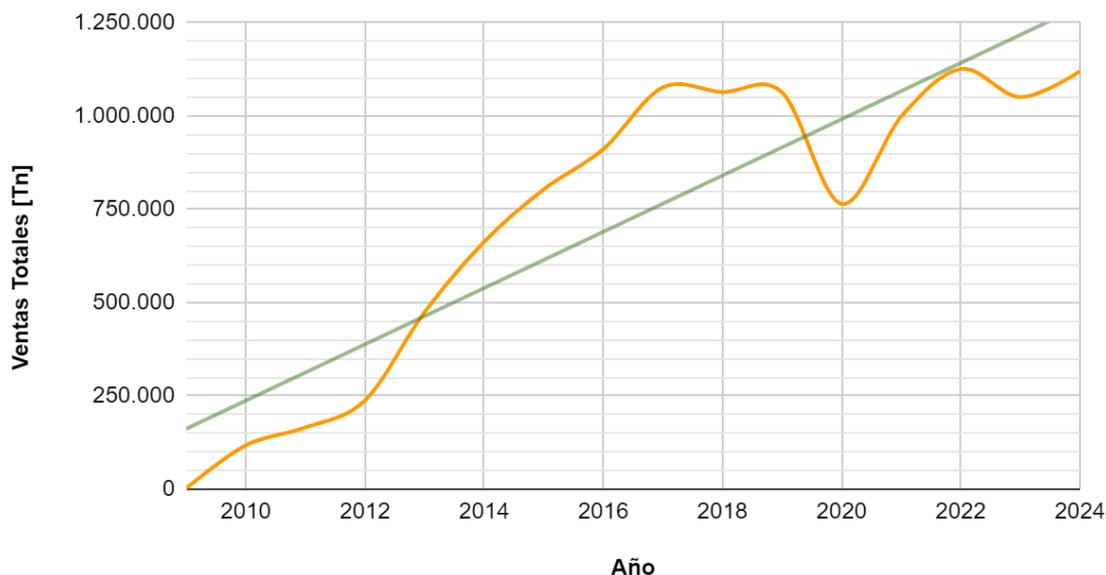


Figura N°3: Ventas de bioetanol a nivel nacional

Es necesario conocer la producción requerida en el país para el año 2024 para poder plantear los objetivos del presente proyecto. Para ello, en el gráfico se agregó una línea de tendencia de carácter lineal con el fin de realizar las estimaciones mencionadas.

Año	Producción [Tn]	Ventas Totales [Tn]
2009	18.381,33	2.664
2010	98.569,77	117.806
2011	136.988,55	165.392
2012	197.635,82	237.843
2013	372.707,82	474.752
2014	529.514,47	663.102
2015	643.356,91	803.639
2016	702.166,98	910.891
2017	871.929,30	1.076.875
2018	878.773,05	1.063.868
2019	846.987,94	1.063.418
2020	638.083,65	764.329
2021	795.356,97	998.508
2022	914.325,83	1.126.158
<b>Estimaciones</b>		
2023	1.073.258,44	1.050.716
2024	1.143.552,16	1.119.657

Tabla N°1: Datos de producción nacional del bioetanol en el período 2009-2022

#### 4. Importaciones

Como se mencionó anteriormente, el uso de biocombustibles marcó un antes y después en la economía y ecología global, a tal punto que la mayoría de los países cuyas matrices energéticas dependían en gran porcentaje del consumo de hidrocarburos, originaron diferentes vías para concientizar e incentivar los efectos positivos generados por la producción y uso de biocombustibles.

Países industrializados que ya habían conseguido establecer un marco político y económico estable con la participación de estos combustibles, como por ejemplo Estados Unidos o Brasil, a comienzos del siglo XXI aprovecharon la oportunidad de reinventarse como exportadores hacia aquellos países cuyos niveles de consumo de hidrocarburos eran destacables pero que aún no contaban con las legislaciones ni herramientas para poder autoabastecerse a partir de esta nueva alternativa. Siendo nuestro país perteneciente a este segundo grupo. Sin embargo, a inicios de la década del 2010 esta historia comenzó a presentar escenas más favorables.

Para conocer las razones se decidió recaudar la información existente acerca de su evolución en el mercado durante dicho periodo, primeramente analizando cómo fueron variando las importaciones del bioetanol en Argentina a lo largo de la última década. Esta información fue obtenida mediante el uso del buscador de comercio internacional, NOSIS.

Para tener acceso a este tipo de datos, en el nomenclador Común del Mercosur determinamos la posición arancelaria del bioetanol:

- *22.07.10.10 -alcohol> 80% abv - alcohol etílico sin desnaturalizar con grado alcohólico volumetrico superior o igual al 80 % vol; alcohol etílico y aguardiente desnaturalizados, de cualquier graduación.*

AÑO	FOB	Tn importadas	Precio [usd/Tn]
2009	810.151,00	419,08	1.933,17
2010	5.068.530,00	6.321,10	801,84
2011	21.481.336,00	22.082,38	972,78
2012	10.157.373,00	9.825,84	1.033,74
2013	1.569.937,00	984,75	1.594,25
2014	1.035.231,00	808,74	1.280,05
2015	1.084.663,00	573,39	16.902,89
2016	2.392.882,00	4.006,38	4.053,59
2017	9.691.880,00	15.526,28	155,58
2018	16.240.208,00	26.171,56	662,09
2019	2.415.599,00	2.479,00	6.989,91
2020	17.327.976,83	29.107,60	595,31
2021	10.076.072,41	14.941,90	674,35
2022	28.670.930,37	29.833,73	961,02

Tabla N°2: Datos de Importación del bioetanol en el período 2009-2022

A continuación, se presenta gráficamente la tabla anterior para una mejor visualización de cómo fueron desarrollándose el precio FOB y las cantidades de las importaciones.

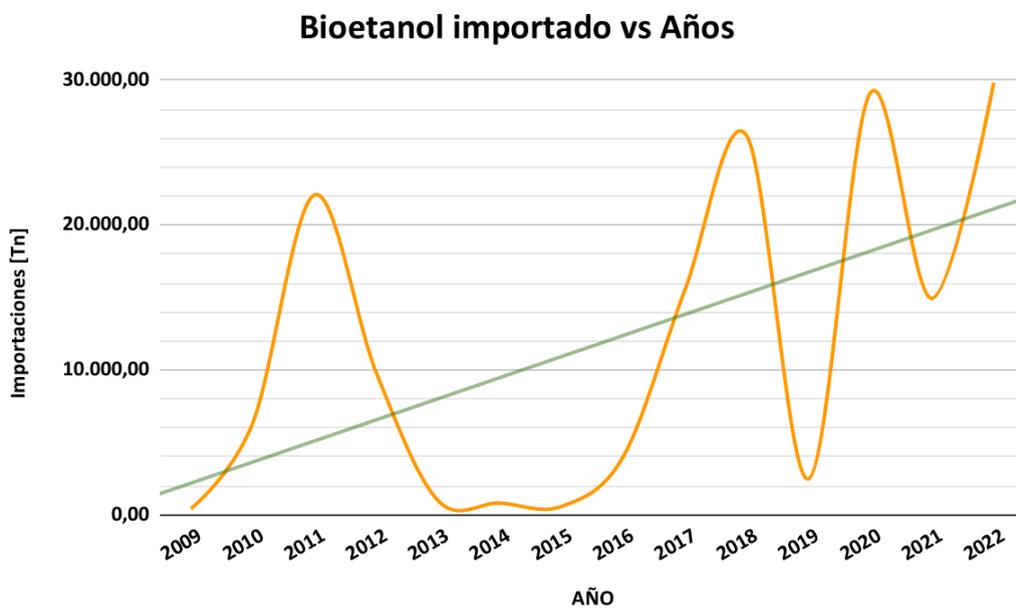


Figura N°4: Cantidad de Importaciones de bioetanol en el período 2009-2022

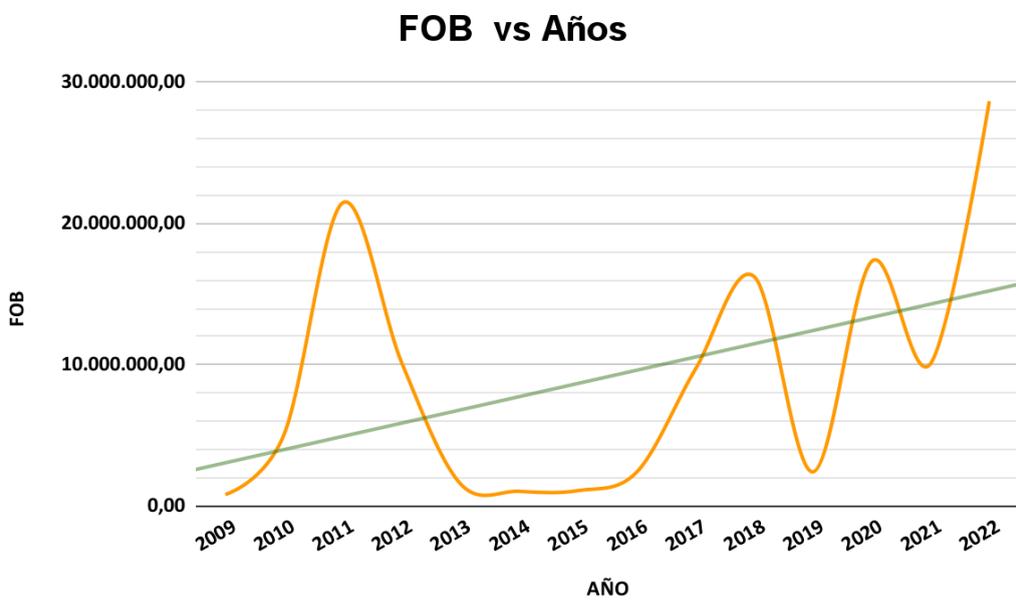


Figura N°5: Importaciones en FOB de bioetanol en el período 2009-2022

En la Figura N°4, se puede observar que hay cuatro períodos que se distinguen por una mayor importación de bioetanol a diferencia de otros años, se refiere concretamente a los años 2011, 2018, 2020 y 2022. El primer periodo puede haberse debido a la abrupta implementación del corte obligatorio en el año 2010, ya que como la industria no se encontraba en condiciones para abastecer esa nueva demanda, las importaciones demostraron ser una más rápida y accesible solución ante la necesidad del producto.

Para explicar el incremento en las importaciones en el año 2018 se debe hacer foco en la poca rentabilidad del bioetanol de producción nacional durante el año anterior; donde no se permitieron aumentos en el costo del producto, provocando que muchas de las productoras de bioetanol no vieran beneficioso abrir sus fábricas, derivando en paradas de planta y trabajo intermitente. Esto, además de perjudicar a dueños y empleados, impactó en el abastecimiento del mercado interno, generando inevitablemente la importación de grandes cantidades de bioetanol. Otro factor clave en este incremento fue que a comienzos de dicho año se presenciaron continuas lluvias de gran magnitud que afectaron a la producción y a la cosecha de la materia prima por excelencia de la época, la caña de azúcar.

En cuanto al año 2020, debe hacerse mención a la pandemia que se ha padecido por el COVID-19 que, si bien generó diversas restricciones a nivel global, a nivel país impactó fuertemente en la cantidad de mano de obra disponible para ciertos trabajos, debido a que muchos cayeron enfermos por largos períodos, y otros tantos decidieron resguardarse en sus hogares, por lo que numerosas pymes debieron cerrar y fueron reemplazadas por empresas exportadoras.

El último pico se tiene en el año 2022, año donde las relaciones diplomáticas entre los países de Rusia y Ucrania se vieron envueltas en un altercado llegando a un conflicto bélico, permitiendo que el bioetanol compita con el petróleo volviendo los precios más accesibles de manera que se optó por importar mayores cantidades en reemplazo del petróleo.

Lo mismo puede apreciarse en la Figura N°5, en los años 2011, 2017, 2020, y 2022 el costo de las importaciones fue mucho mayor a los otros años por las razones mencionadas anteriormente. Como todo mercado, al existir un aumento de demanda hacia un producto, se generará la posibilidad de elevar su precio, esto es lo que sucedió en el 2011. Mientras que en el 2017, el costo de importaciones no se vio tan influenciado por la demanda como en el 2011, ya que en los últimos años tanto las regulaciones en los precios como la cantidad de países productores aumentaron, debiendo respetar precios en conjunto.

Sobre la etapa de depresión presente en ambos gráficos podemos decir que se debió a que en esos años, el país ha recibido ayuda e incentivo para aumentar su capacidad de producción debiendo así importar en menor cantidad bioetanol.

Nuevamente, es necesario conocer valores a futuro, por lo tanto se vuelve a recurrir a las líneas de tendencia. Entonces, a partir de los datos de la Tabla N°2, se obtiene la cantidad a importar de bioetanol en Argentina y el precio de dicho producto en el año 2024:

Año	Tn Importadas	Precio [USD/Tn]
2021	14.941,90	774,35
2022	29.833,73	961,02
2023	44.725,55	1.002,67
2024	59.617,38	1.089,76

Tabla N°3: Estimaciones de Importación de bioetanol para el período 2021-2024

## 5. Países exportadores

Cada vez son más los países que incursionan en la implementación de energías alternativas, por lo que la oferta es día a día más abundante, teniendo a Argentina, Brasil, Estados Unidos, entre otros, como los mayores productores de bioetanol a nivel mundial actualmente.

El mercado ha ido creciendo de tal forma que el producir biocombustibles de segunda generación comienza a resonar entre los diferentes productores, lo cual fue uno de los puntos de partida para la confección de nuestro trabajo ya que representa una oportunidad que puede ser aprovechada a nuestro favor.

En el período considerado, hubo cambios en las reglamentaciones que tienen gran influencia en las importaciones aunque no será de mayor importancia el marco legal en este capítulo.

A continuación, se presenta un gráfico donde se puede ver el nivel de participación de los países elegidos por la Argentina para importar el bioetanol, junto con la cantidad en cuestión a lo largo del año 2022.

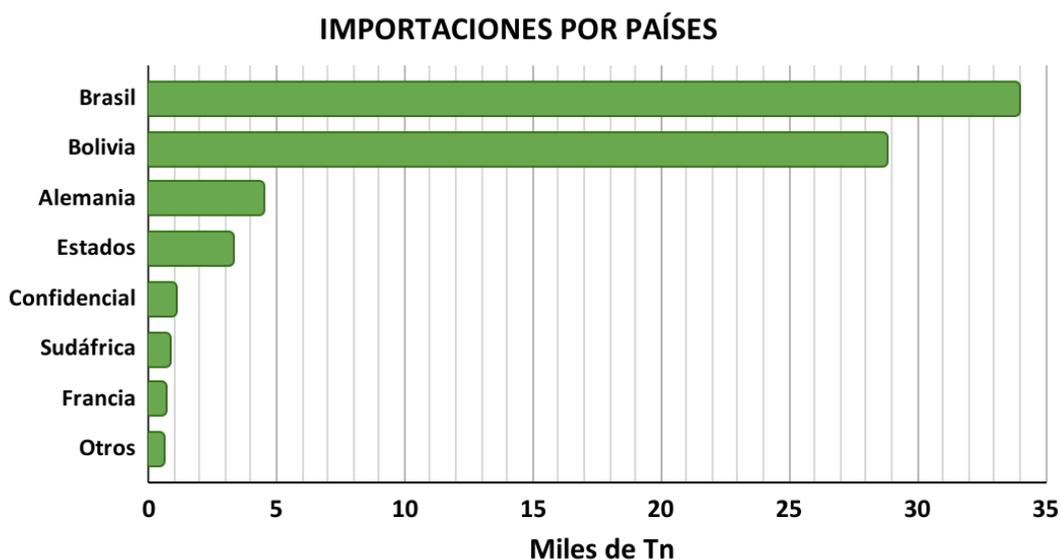


Figura N°6: Importaciones por procedencia

## 6. Consumo Nacional Aparente

Como ya se vio, el bioetanol no solo se importa, sino que también es fabricado nacionalmente. Una manera sencilla de ver la demanda real que resulta del consumo de nuestra población es mediante el valor del Consumo Nacional Aparente (CNA), el cual se obtiene al realizar el siguiente cálculo:

$$CNA = Producción Nacional + Importaciones - Exportaciones$$

La producción a nivel nacional está en manos de 18 empresas, de las cuales 8 producen el 84% del total de bioetanol. Se construyó la siguiente tabla según datos extraídos de la Cámara Argentina de Biocombustibles.

Empresa	Provincia	Ciudad	Producción a base de	Producción [m³]
Aca Bio Cooperativa LTDA	Córdoba	Villa María	Maíz	135.084
Promaíz S.A.	Córdoba	Alejandro	Maíz	141.663
Seaboard Energías Renovables y Alimentos S.R.L.	Salta	El Tabacal	Caña de Azúcar	124.398
Compañía Bioenergética La Florida S.A.	Tucumán	La Florida	Caña de Azúcar	107.829
Bioetanol Río Cuarto S.A.	Córdoba	Río Cuarto	Maíz	92.558
Diaser S.A.	San Luis	San Luis	Maíz	88.075
Bioledesma S.A.	Jujuy	Ledesma	Caña de Azúcar	82.864
Vicentín S.A.I.C.	Santa Fe	Avellaneda	Maíz	81.736

Tabla N°4: Principales productores de bioetanol en Argentina

Ahora, con los valores de producción nacional, importaciones y exportaciones del 2022 - último año con datos completos -, es posible calcular el Consumo Nacional Aparente:

$$CNA_{2022} = 1.073.495,5 m^3 + 23.538,81 m^3 - 3.201,23 m^3$$

$$CNA_{2022} = 1.093.833,1 m^3$$

Como se puede observar, el CNA es un número positivo que da una idea del consumo dentro del país e incentiva a realizar un análisis mucho más profundo para poder definir qué porcentajes de importaciones y producción nacional es posible sustituir.

## 7. Materia Prima

### 7.1. Cáscara de arroz

Como se ha mencionado en el primer capítulo, la producción del bioetanol se realizará en base a la cáscara de arroz. Ésta representa un 22% del peso total del arroz, por lo que para realizar la estimación de esta materia prima para el 2023 y 2024, se utilizará dicho valor, en conjunto con los datos de la producción del arroz anuales, aportados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la nación.

Año	Arroz [Tn]	Cáscara [Tn]
2006	1.193.492,00	262.568,00
2007	1.080.071,00	237.616,00
2008	1.255.015,00	276.103,00
2009	1.338.865,00	294.550,00
2010	1.243.259,00	273.517,00
2011	1.748.076,00	384.577,00
2012	1.567.971,00	344.954,00
2013	1.563.450,00	343.959,00
2014	1.581.810,00	347.998,00
2015	1.558.100,00	342.782,00
2016	1.404.980,00	309.096,00
2017	1.328.340,00	292.235,00
2018	1.367.968,00	300.953,00
2019	1.189.866,00	261.771,00
2020	1.474.815,68	324.459,75
2021	1.486.493,36	327.028,87
2022	1.498.171,04	329.597,98
2023	1.509.848,73	332.167,10
2024	1.521.526,41	334.736,22

Tabla N°5: Producción de arroz/cáscara de arroz en el período 2006-2024

Graficando estos valores se obtiene:

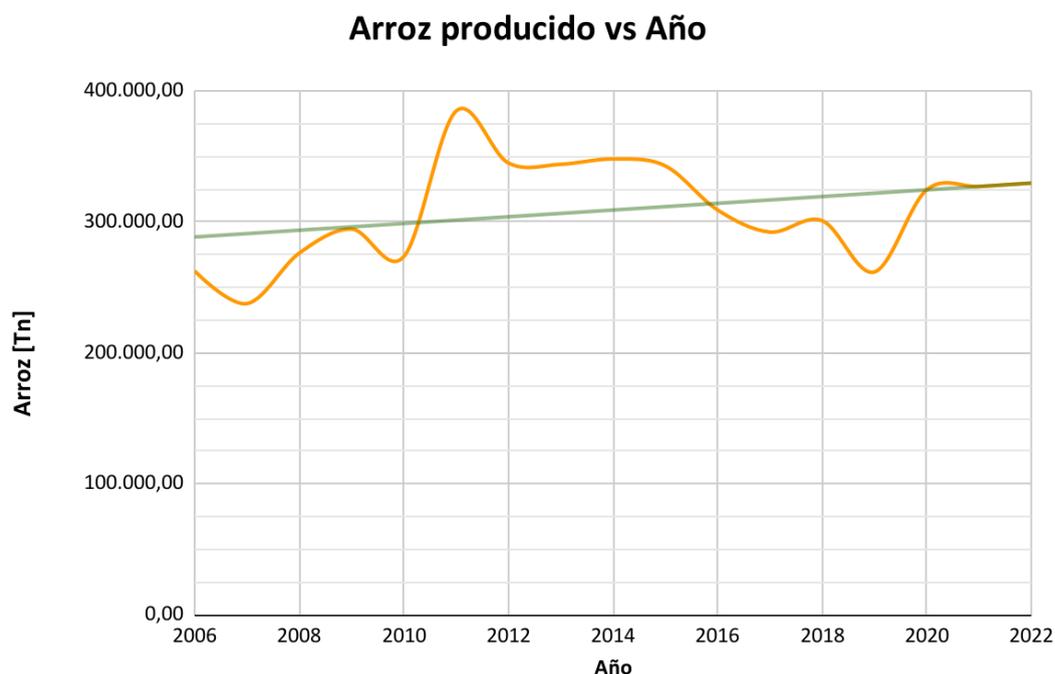


Figura N°7: Producción de cáscara de arroz por año

## 7.2. Ácido Acético

Como el ácido acético se utilizará en gran cantidad durante la primera etapa del proceso - el pretratamiento de la cáscara de arroz -, se analizarán las exportaciones e importaciones para entender la disponibilidad del mismo para el proceso.

La principal razón de este análisis es poder estimar la cantidad de esta materia prima disponible al momento del comienzo de las operaciones de la planta, ya que es un factor crucial para la determinación de la producción y el balance de masa.

Año	Impo y Expo [Tn]	USD/Tn
2021	6.739,63	638,72
2022	7.498,39	958,85
2023	9.083,13	1.297,06
2024	10.117,22	1.623,21

Tabla N°6: Estimaciones de producción de ácido acético

Finalmente, se observa que para el año 2024 habrá 334.736,22 toneladas de cáscara de arroz y 10.177,22 toneladas de ácido acético en Argentina. Estos valores brindan una idea de la máxima producción de bioetanol que se puede realizar a partir de la cáscara de arroz utilizando ácido acético en el pretratamiento y la disponibilidad de estos recursos.

## 8. Intereses del proyecto

El propósito del presente trabajo es sustituir el 4,75% de las importaciones realizadas actualmente por nuestro país, además de reemplazar el 3% de la producción nacional de bioetanol, con el objetivo de eliminar gradualmente la controversial producción de dicho combustible a base de alimentos, y comenzar a poner en acción un enfoque más amigable con el medio ambiente, como es la que se realiza a base de desechos agrícolas.

Con esta alternativa se busca incentivar a la industria argentina a desarrollarse y fortalecer su participación en este nuevo sector económico mundial caracterizado por su creciente interés ambiental.

## 9. Conclusión

Luego del profundo análisis de las cantidades de bioetanol importado, exportado y de consumo interno, se procederá a calcular las cantidades de cascarilla de arroz a utilizar para cumplir con los objetivos planteados, además de finalmente conocer los costos y ganancias que se generarán para el año 2024.

En primer lugar, se calculará la cantidad de bioetanol a producir para cumplir ambos objetivos planteados:

- Importaciones:  $0,0475 * 75.560.202,8 \text{ Lts bioetanol}$
- Consumo interno:  $0,03 * 1.419.083.121,3 \text{ Lts bioetanol}$
- Total de producción proyectada al año 2024:

$$46.200.000 \text{ Lt de bioetanol} = 36.400 \text{ Tn de bioetanol}$$

Una vez obtenida nuestra producción estimada de bioetanol, se procede a calcular la cantidad de cascarilla de arroz y ácido acético, materias primas principales, teniendo en cuenta las proporciones y rendimientos teóricos que se obtienen durante el proceso, los cuales serán detallados ampliamente en el Capítulo V - Descripción de proceso.

- Cascarilla:  $\frac{46.163.227,68 \text{ Lts}}{347,44 \frac{\text{Lts}}{\text{Tn de Cascarilla}}} = 132.866,7 \text{ Tn de Cascarilla}$
- Ácido acético:  $\frac{46.163.227,68 \text{ Lts}}{24.852,61 \frac{\text{Lts}}{\text{Tn Ácido acético}}} = 1857,48 \text{ Tn Ácido acético}$

Ahora, con el valor de las materias primas proyectadas para 2024, se calculará la inversión preliminar requerida para alcanzar la producción deseada:

- $132.866,7 \text{ Tn Cascarilla} * 21,2 \frac{\text{USD}}{\text{Tn Cascarilla}} = 2.816.773,8 \text{ USD}$
- $1857,48 \text{ Tn Ácido Acético} * 1.623,2 \frac{\text{USD}}{\text{Tn Ác. Acético}} = 3.015.088,7 \text{ USD}$

Suponiendo la recaudación del 100% de las ventas de bioetanol producido se obtiene:

$$46.163.227,68 \text{ Lt} * 0,86 \frac{\text{USD}}{\text{Lt}} = 39.700.375,8 \text{ USD}$$

Se calcula la ganancia neta anual:

$$39.700.375,8 \text{ USD} - 2.816.773,8 \text{ USD} - 3.015.088,7 \text{ USD} = 33.868.513,3 \text{ USD}$$

Nuevamente cabe aclarar que esta ganancia es en base solo de los costos que conlleva la compra de materias primas y suponiendo la venta total del bioetanol producido.

El mercado en el que se quiere insertar el proyecto está en pleno crecimiento, lo que nos permitirá participar libremente, pudiendo cubrir parte del mismo sin entrar en competencia con otros productores, al mismo tiempo que permitirá el desarrollo, pudiendo a futuro ampliar la producción si así se deseara.

## 10. Bibliografía

- Bernardi, L. (2016). *PERFIL DEL MERCADO DE ARROZ*. <https://www.magyp.gob.ar/new/0-0/programas/dma/granos/Perfil%20de%20Mercado%20de%20Arroz%202017.pdf>
- Blenguino, C. (n.d.). *Arroz: situación y perspectivas*. Subsecretaría de alimentos y bebidas-Secretaría de agregado de valor. <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/revistas/noticia.php?id=187>
- *Importaciones de alcohol etílico sin desnaturalizar*. (n.d.). NOSIS. <https://www.nosis.com/es>
- INDEC. (n.d.). *alcohol etílico sin desnaturalizar con grado alcohólico volumétrico superior o igual al 80 % vol; alcohol etílico y aguardiente desnaturalizados, de cualquier graduación*. Estadísticas de productos industriales. [https://comex.indec.gob.ar/?\\_ga=2.168430433.1347629102.1622158697-388124443.1619797891#/](https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.168430433.1347629102.1622158697-388124443.1619797891#/)
- Instituto Nacional de Censos y Estadísticas. (2021, Mayo 17). *Consultas del Comercio Exterior de Bienes*. INDEC. [https://comex.indec.gob.ar/?\\_ga=2.168430433.1347629102.1622158697-388124443.1619797891#/](https://comex.indec.gob.ar/?_ga=2.168430433.1347629102.1622158697-388124443.1619797891#/)
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020, Diciembre). *Indicadores del sector energético [Tercer trimestre de 2020]*. In *Energía* (4, 230th ed., Vol. 4, Issue 4). Marcelo Costanzo. [https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/indicadores\\_energeticos\\_12\\_202496EDAA32.pdf](https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/indicadores_energeticos_12_202496EDAA32.pdf)
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (n.d.). *bioetanol*. Observatorio de bioeconomía. [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/observatorio\\_bioeconomia/indicadores/07/index.php](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/observatorio_bioeconomia/indicadores/07/index.php)
- Ministerio de Economía, Agricultura y Pesca. (n.d.). *Molienda cereales*. Mercados Agropecuarios. [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss\\_mercados\\_agropecuarios/\\_molienda/\\_cereales.php](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/_molienda/_cereales.php)
- MINISTERIO DE HACIENDA. (2019, Mayo 30). *SUBSECRETARÍA DE HIDROCARBUROS Y COMBUSTIBLES* [Disposición 81/2019].

<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/320000-324999/323765/norma.htm>

- Pérez, G. C., & Mejicanos Jol, I. D. Y. (2010). *EVALUACIÓN DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO ORGÁNICO EN MORTEROS DE MAMPOSTERÍA*. Universidad de San Carlos de Guatemala. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3173\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3173_C.pdf)
- Ramseyer, F. (2020, Marzo 13). *En la 2019/20 se producirían 587 mil m3 de bioetanol de maíz*. Bolsa de comercio de Rosario. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/en-la-201920>
- Romano, S. D., & UBA – CONICET. (2016). *BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN LA ARGENTINA*. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/116325/CONICET\\_Digital\\_Nro.b75f2375-5c0c-4242-ad1e-1c1d3cb9e372\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/116325/CONICET_Digital_Nro.b75f2375-5c0c-4242-ad1e-1c1d3cb9e372_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Subsecretaría de Programación Microeconómica - Secretaría de Política Económica - Ministerio de Hacienda. (2017, Noviembre). *INFORMES DE CADENA DE VALOR - ARROZ*. ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro\\_cadena\\_de\\_valor\\_arroz.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadena_de_valor_arroz.pdf)
- Di Carlo, S. M., Puyol, F. V., Vázquez, R. B. (2018). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE bioetanol*. RINFI. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/338/SMDiCarlo%2BFVPuyol%2BRBVazquezWehrhahne-TFG-IQ-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo III: Ubicación de planta**

## Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>48</b>
<b>2. Macroubicación.....</b>	<b>48</b>
2.1. Materia Prima.....	48
2.1.1. Disponibilidad.....	49
2.1.2. Seguridad de Entrega.....	49
2.2. Vías de Comunicación.....	50
2.2.1. Rutas.....	50
2.2.2. Red Ferroviaria.....	54
2.2.3. Puertos.....	55
2.3. Disponibilidad de Agua.....	58
2.3.1. Agua Superficial.....	58
2.3.2. Agua Subterránea.....	60
2.4. Parques y Áreas Industriales.....	62
2.4.1. Cantidad.....	63
2.4.2. Disponibilidad.....	63
2.5. Energía.....	65
2.5.1. Electricidad.....	65
2.5.2. Gas.....	68
2.6. Mercado.....	71
2.7. Mano de Obra.....	73
2.7.1. Cantidad.....	73
2.7.2. Calidad.....	73
2.8. Marco Legal.....	74
2.8.1. Beneficios.....	74
2.8.2. Normativas ambientales.....	76
2.9. Clima.....	79
2.9.1. Humedad.....	86
2.9.2. Temperatura.....	86
2.9.3. Precipitación.....	86
<b>3. Matriz de Macroubicación.....</b>	<b>86</b>
<b>4. Microubicación.....</b>	<b>88</b>
4.1. Materia Prima.....	89
4.1.1 Superficie sembrada.....	90
4.1.2. Distancia a parques industriales.....	90
4.2. Terreno.....	91
4.2.1. Disponibilidad.....	91
4.3. Mano de obra.....	92
4.3.1. Cantidad.....	92

4.3.2. Nivel de Formación.....	93
4.4. Vías de comunicación.....	95
4.4.1. Rutas.....	96
4.5. Mercado.....	97
<b>5. Matriz de Microubicación.....</b>	<b>98</b>
<b>6. Localización.....</b>	<b>99</b>
<b>7. Bibliografía.....</b>	<b>101</b>

## Índice de Figuras

Figura N°1: Provincias argentinas productoras de arroz.....	48
Figura N°2: Mapa de rutas nacionales y provinciales de Corrientes.....	51
Figura N°3: Mapa de rutas nacionales y provinciales de Entre Ríos.....	52
Figura N°4: Mapa de rutas nacionales y provinciales de Santa Fe.....	53
Figura N°5: Mapa de ferrocarriles de carga nacional.....	54
Figura N°6: Mapa de puertos en Corrientes.....	55
Figura N°7: Mapa de puertos públicos y privados de Entre Ríos.....	56
Figura N°8: Mapa de puertos públicos de Santa Fe.....	57
Figura N°9: Mapa de aguas superficiales de Corrientes.....	58
Figura N°10: Mapa de aguas superficiales de Entre Ríos.....	59
Figura N°11: Mapa de aguas superficiales de Santa Fe.....	60
Figura N°12: Principales acuíferos de la región Pampeana Argentina.....	61
Figura N°13: Acuífero Guaraní en Corrientes, Entre Ríos Y Santa Fe.....	61
Figura N°14: Parques y áreas industriales.....	63
Figura N°15: Parques y Áreas industriales Santa Fe.....	63
Figura N°16: Parques y Áreas industriales Entre Ríos.....	64
Figura N°17: Parques y Áreas industriales Corrientes.....	64
Figura N°18: Red eléctrica de Corrientes, Entre Ríos y Santa F.....	66
Figura N°19: Mapa de tendido eléctrico de Corrientes.....	66
Figura N°20: Tendido eléctrico entrerriano.....	67
Figura N°21: Tendido eléctrico en Santa Fe.....	68
Figura N°22: Gas natural en Corrientes, Entre Ríos y Santa Fe.....	69
Figura N°23: Gasoducto Correntino.....	69
Figura N°24: Gas natural Entre Ríos.....	70
Figura N°25: Gasoducto Santafesino.....	71
Figura N°26: Mapa Climático De la República Argentina.....	79
Figura N°27: Temperatura media anual provincial.....	80
Figura N°28: Precipitación media anual provincial.....	80

Figura N°29: Humedad de suelo argentino.....	81
Figura N°30: Mapa de climas en la provincia de Corrientes.....	82
Figura N°31: Mapa de climas en la provincia de Entre Ríos.....	83
Figura N°32: Mapa de climas en la provincia de Santa Fe.....	84
Figura N°33: Departamentos de la provincia de Corrientes.....	88
Figura N°34: Mapa de la siembra de arroz en Corrientes.....	89
Figura N°35: Parques Industriales de Corrientes.....	89
Figura N°36: Mapa de las rutas de Corrientes.....	96
Figura N°37: Selección de lote dentro del Parque Industrial Mercedes.....	100

### **Índice de Tablas**

Tabla N°1: Refinerías del país.....	72
Tabla N°2: Población mayor a 5 años que asistió a un establecimiento educativo.....	73
Tabla N°3: Nivel educativo de la población.....	73
Tabla N°4: Matriz de Macroubicación.....	87
Tabla N°5: Molinos arroceros en la provincia de Corrientes.....	91
Tabla N°6: Población total y activa en los departamentos seleccionados.....	93
Tabla N°7: Alumnos por Nivel, Según División Política Territorial, Provincia de Corrientes (2017).....	94
Tabla N°8: Cantidad de Unidades de Servicio Por Nivel, Según División Política Territorial, Provincia de Corrientes (2017).....	95
Tabla N°9: Distancia de Refinerías a departamentos estudiados.....	97
Tabla N°10: Matriz de Microubicación.....	98

## 1. Objetivo

En el presente capítulo se analizarán diferentes regiones dentro del territorio argentino, investigando y determinando las características que estas presenten para convertirse en potenciales candidatas para la elección de la ubicación final de nuestra planta de producción de bioetanol, teniendo en cuenta diversos factores que tienen peso tanto en el marco económico, técnico/ingenieril, social, legal como ambiental.

## 2. Macroubicación

### 2.1. Materia Prima

Como se vio en el capítulo anterior, la producción de bioetanol requiere de gran cantidad de materia prima, principalmente de la cáscara de arroz, por esto será indispensable que el estudio de la macro ubicación se realice en torno a las provincias que mayor disponibilidad tengan de ésta.

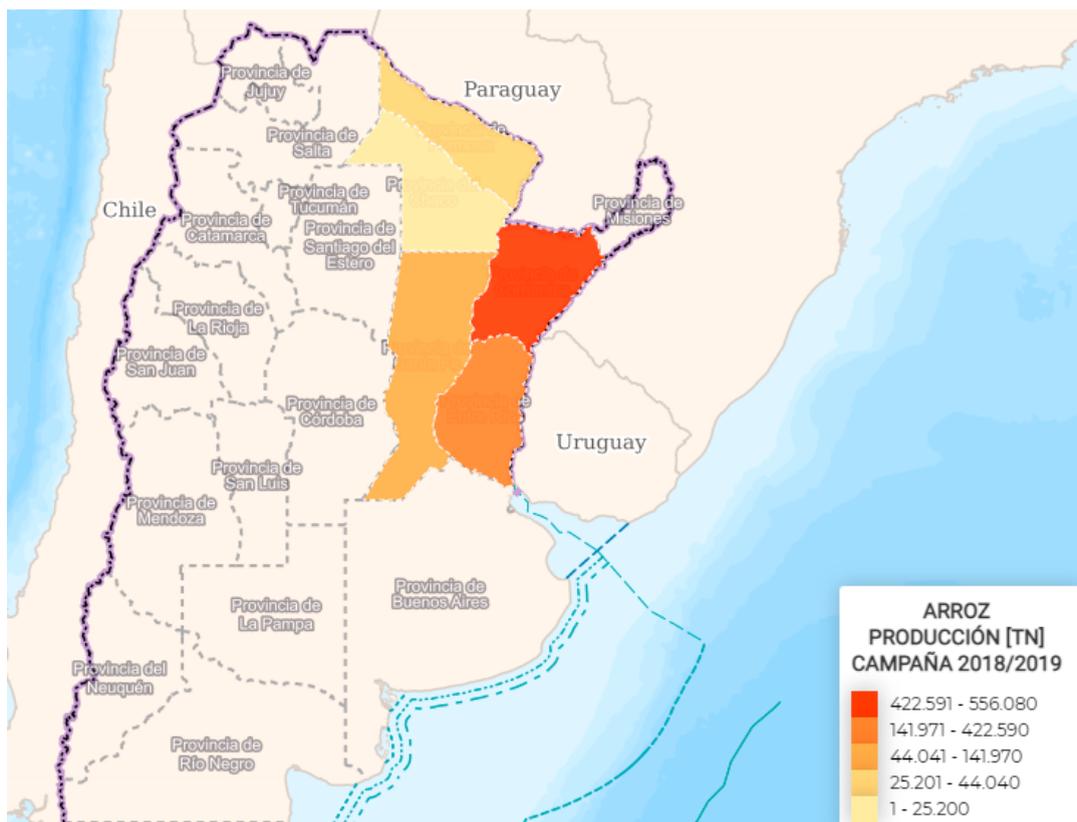


Figura N°1: Provincias argentinas productoras de arroz

Como se puede apreciar, las provincias productoras de arroz en Argentina de mayor a menor producción son: Corrientes, Entre Ríos, Santa Fe, Formosa y Chaco. Por este motivo, nuestro análisis para la ubicación de la planta se centrará en las provincias de Corrientes, Entre Ríos y Santa Fe.

Para el análisis de la materia prima se estudiará la disponibilidad y seguridad de entrega de ésta en las distintas provincias seleccionadas.

### 2.1.1. Disponibilidad

Como se mencionó anteriormente, la provincia de mayor producción de arroz en Argentina es Corrientes, con aproximadamente 550.000 toneladas de arroz anual. Luego se encuentra Entre Ríos, con 350.000 toneladas y, por último, Santa Fe con una producción anual de 120.000 toneladas.

Por este motivo, en el ítem de disponibilidad de materia prima, los valores que tendrá Corrientes serán los máximos, seguido por Entre Ríos y en último lugar Santa Fe.

### 2.1.2. Seguridad de Entrega

Para el estudio de este ítem nos comunicamos directamente con distintas arroceras de las provincias seleccionadas, algunas de éstas fueron:

- Los Cerrillos (Santa Fe)
- Marcos Schmukler (Entre Ríos)
- Agroper (Corrientes)
- Dos Hermanos (Entre Ríos)
- La esperanza (Corrientes)
- Trimacer (Santa Fe)
- Carogran (Entre Ríos)
- Oryza (Corrientes)
- Santa Isabel (Santa Fe)
- Gallo (Entre Ríos)
- Aguaceritos (Corrientes)
- San Javier (Santa Fe)
- Proarroz (Entre Ríos)

De la información recolectada se llega a la conclusión que en Santa Fe la mayoría de las productoras de arroz venden el 70% de la cáscara, mientras que en Entre Ríos y Corrientes no están tan desarrolladas las industrias a partir de este desecho, produciendo una venta de, aproximadamente, solo el 40%.

Ya que nuestro proceso requiere de gran cantidad de materia prima, es preciso tener la seguridad de la entrega, por esto es que en los puntajes de la matriz, en este ítem, Corrientes y Entre Ríos tendrán un valor elevado y similar, mientras que Santa Fe al tener menos capacidad de entrega, tendrá un valor inferior.

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Corrientes	Puntaje Parcial	Santa Fe	Puntaje Parcial	Entre Ríos	Puntaje Parcial
Materia Prima	35	Disponibilidad	25	10	250	3	75	6	150
		Seguridad de entrega	10	9	90	6	60	9	90
			Subtotal	340		135		240	

## 2.2. Vías de Comunicación

Teniendo en cuenta la gran cantidad de materia prima requerida, es esencial el estudio de las vías de comunicación ya que ésta provendrá de diversas provincias. Por este motivo, a continuación se compararán las rutas de acceso, las vías ferroviarias y los puertos dentro de las tres provincias seleccionadas.

### 2.2.1. Rutas

#### Corrientes

Las rutas de acceso a la provincia de Corrientes son:

- Desde las Provincias de Buenos Aires y Santa Fe: RN 9, RN 11 y RN 16
- Desde las Provincias de Misiones y Entre Ríos: RN 12 y RN 14
- Desde las Provincias de Catamarca y La Rioja: RN 38, RN 64, RN 34, RN 89, RP 94 (Chaco) y RN 16
- Desde la Provincia de Córdoba: RN 19, RN 11 y RN 16
- Desde la Provincia de Mendoza: RN 40, RP 34 (Mendoza), RN 142, RN 20, RN 19, RN 11 y RN 16
- Desde la Patagonia Andina: RN 40, RN 258, RN 237, RN 151, RP 20 (La Pampa), RN 143, RN 152, RN 35, RN 188, RN 33, RN 11 y RN 16
- Desde la Patagonia Atlántica: RN 3, RN 251, RN 22, RN 154, RN 35, RN 188, RN 33, RN 11 y RN 16



Figura N°2: Mapa de rutas nacionales y provinciales de Corrientes

### Entre Ríos

La provincia de Entre Ríos posee 2491 kilómetros de ruta pavimentada (red nacional y provincial), siendo las principales rutas:

- RN N° 12: Une el norte de la provincia con Corrientes y Misiones.
- RN N° 14: Une la provincia con el puente de Zárate-Brazo Largo, acceso a Buenos Aires.
- RN N° 18: Atraviesa la provincia y la conecta a través del túnel subfluvial a Santa Fe.
- RN N° 127: También permite llegar al túnel subfluvial que cruza el río Paraná.
- RP N° 11, 6 y 39.



Figura N°3: Mapa de rutas nacionales y provinciales de Entre Ríos

## Santa Fe

A la provincia de Santa Fe se puede ingresar por los cuatro puntos cardinales por diversas rutas nacionales y provinciales:

- Desde el Norte por las Rutas Nacionales N°11 y N°95, y Ruta Provincial N°1.
- Desde el Este por la Ruta Nacional N°168.
- Desde el Sur por la Ruta Nacional N°11 y N°177, Ruta Provincial N°70, y Autopista Rosario-Santa Fe.
- Desde el Oeste por las Rutas Nacionales N°7, N°8, N°9, N°19, y N°34.

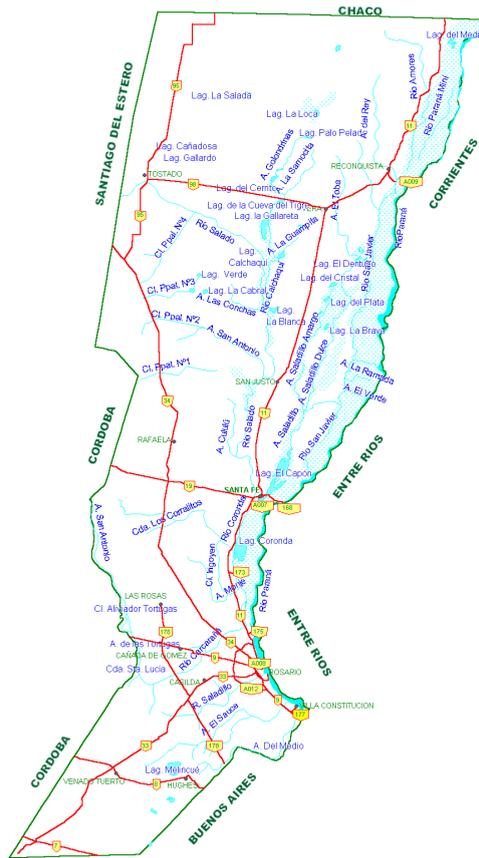


Figura N°4: Mapa de rutas nacionales y provinciales de Santa Fe

En cuanto a rutas nacionales y provinciales, las tres provincias están provistas de gran cantidad de éstas, por lo que su puntuación será similar, teniendo en cuenta que Santa Fe tendrá levemente un valor superior por disponer de una mayor cantidad de rutas.

## 2.2.2. Red Ferroviaria

Para el análisis de la red ferroviaria se cuenta con el mapa de ferrocarriles de carga que atraviesan el país.

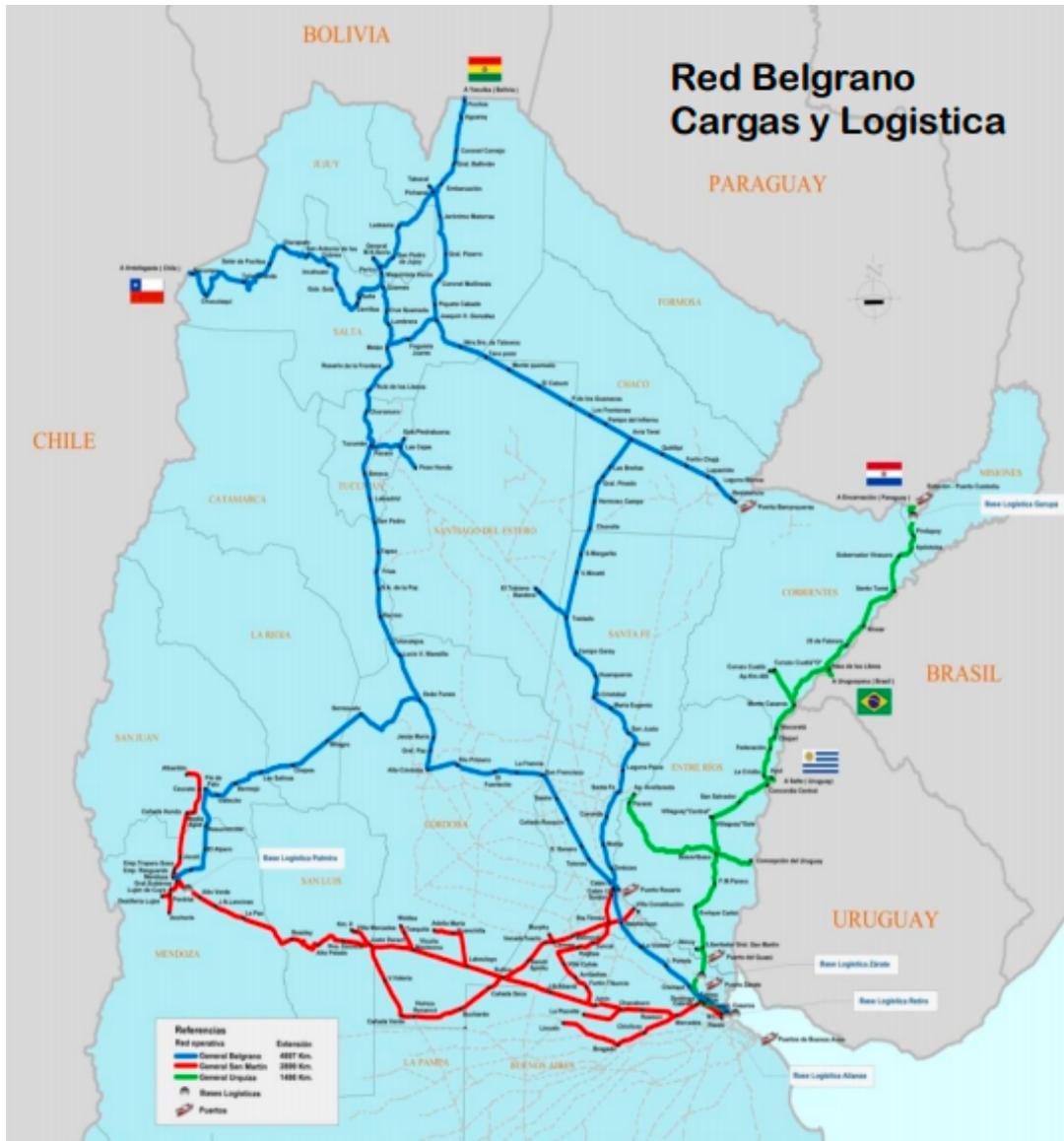


Figura N°5: Mapa de ferrocarriles de carga nacional

Las provincias de Corrientes y Entre Ríos cuentan con el Ferrocarril General Urquiza (color verde), mientras que la provincia de Santa Fe dispone del Ferrocarril General Belgrano (color azul).

Como se ve, en cuanto a ferrocarriles, Corrientes y Entre Ríos tendrán un menor puntaje por disponer sólo una línea que llega hasta la provincia de Misiones, mientras que Santa Fe tiene conexión tanto con el norte como el noroeste del país, lo que hace que tenga una mejor distribución y un mayor puntaje en este subítem.

### 2.2.3. Puertos

Las tres provincias seleccionadas para la macroubicación cuentan con gran cantidad de ríos que permiten el transporte de carga por esta vía, por esto se analizará la disponibilidad de puertos en cada una de las provincias.

#### Corrientes

Corrientes posee dos puertos públicos, estos son el Puerto Corrientes y el Puerto Itá Ibatés. El primero, actualmente, cumple la función de puerto de servicios y de carga y descarga. Se encuentra sobre el río Paraná y es el segundo puerto más importante de la región. En cuanto al Puerto Itá Ibaté, que también se encuentra sobre el río Paraná, es un puerto relativamente nuevo de gran importancia ya que permitió el aumento de exportaciones anuales de arroz y madera, productos esenciales para la economía de la región.



Figura N°6: Mapa de puertos en Corrientes

#### Entre Ríos

La provincia de Entre Ríos cuenta con trece puertos, siendo cuatro públicos y nueve privados. Estos se enumeran a continuación:

- 1- Puerto La Paz - Márquez
- 2- Puerto Coop. Agropecuaria La Paz Ltda.
- 3- El Maná Puerto Buey S.A.
- 4- Puerto Piedras Blancas S.A.
- 5- Puerto Brugo - Coop. La Ganadera de Gral. Ramírez Ltda.
- 6- Puerto Cattorini Hnos. S.A.I.C.F.I. 7- Cargill S.A. - Muelle Elevador
- 8- Puerto Diamante
- 9- Estación de Transferencia Paraná Iron
- 10- Puerto Ibicuy - Muelle Continental
- 11- Puerto Del Guazú S.A.
- 12- Muelle YPF S.A.
- 13- Puerto Concepción del Uruguay

Los puertos utilizables para el posible transporte en nuestro proyecto son los públicos que están ubicados, por orden de importancia, en Ibicuy, Concepción del Uruguay y Diamante.

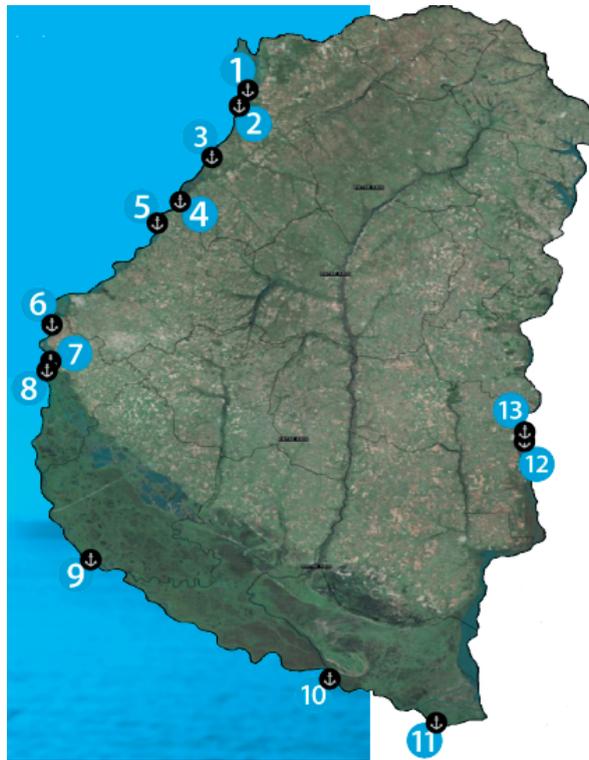


Figura N°7: Mapa de puertos públicos y privados de Entre Ríos

### Santa Fe

Santa Fe dispone de treinta y tres puertos, de los cuales solo nos centraremos en los públicos que son cuatro. Estos son el Puerto de Santa Fe, Puerto de Rosario y el Puerto de Villa Constitución, ubicados en el río Paraná y luego, en el Riacho San Gerónimo, el Puerto de Reconquista.

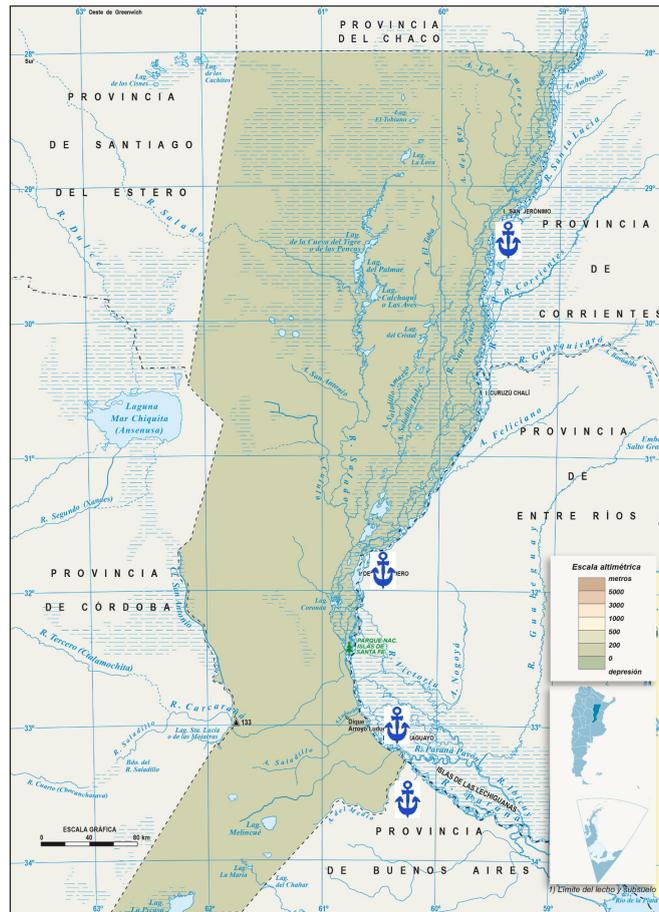


Figura N°8: Mapa de puertos públicos de Santa Fe

Por lo que, en cuanto a puertos, la provincia más desfavorecida por tener menor cantidad es Corrientes, resultando en un menor puntaje. Mientras que Santa Fe y Entre Ríos tendrán el mismo valor ya que disponen de la misma cantidad y calidad de puertos públicos.

Se completa la siguiente matriz, dándole una mayor importancia a las rutas por estar mejor preparadas para el transporte, seguido de los puertos por permitir una vía rápida, pero poco desarrollada y, por último, la red ferroviaria que presenta mayores complicaciones para el transporte entre provincias por disponer de pocas líneas.

Ítem	Puntos	Subítem	Subpuntos	Corrientes	Puntaje Parcial	Santa Fe	Puntaje Parcial	Entre Ríos	Puntaje Parcial
Vías de Comunicación	14	Rutas	8	8	64	9	72	8	64
		Puertos	4	5	20	6	24	6	24
		Red Ferroviaria	2	5	10	7	14	5	10
Subtotal				94		110		98	

### 2.3. Disponibilidad de Agua

Evaluaremos la disponibilidad de agua tanto superficial como subterránea en las tres provincias seleccionadas. Este es un aspecto importante, ya que el proceso requiere de gran cantidad de agua para llevarse a cabo.

Cabe aclarar que el agua superficial no se utiliza como agua de proceso, por este motivo su valor en la matriz de ubicación será menor al de agua subterránea.

#### 2.3.1. Agua Superficial

##### Corrientes

Los dos principales cauces de la provincia de Corrientes son el Río Paraná y el Río Uruguay, muchos de los ríos interiores de la provincia desaguan en alguno de ellos.

El Paraná recorre la provincia de Corrientes por el oeste y al norte, y se le suman los ríos Santa Lucía y Corrientes, a este último se le suman las aguas del Arroyo Batel, y el río Guayquiraró. Mientras que el río Uruguay rodea a Corrientes por el este, y sus afluentes son el Aguapey, el Miriñay, y el Mocoetá, uno de los límites con Entre Ríos.

Además, dentro de la provincia se cuenta con una gran red fluvial.

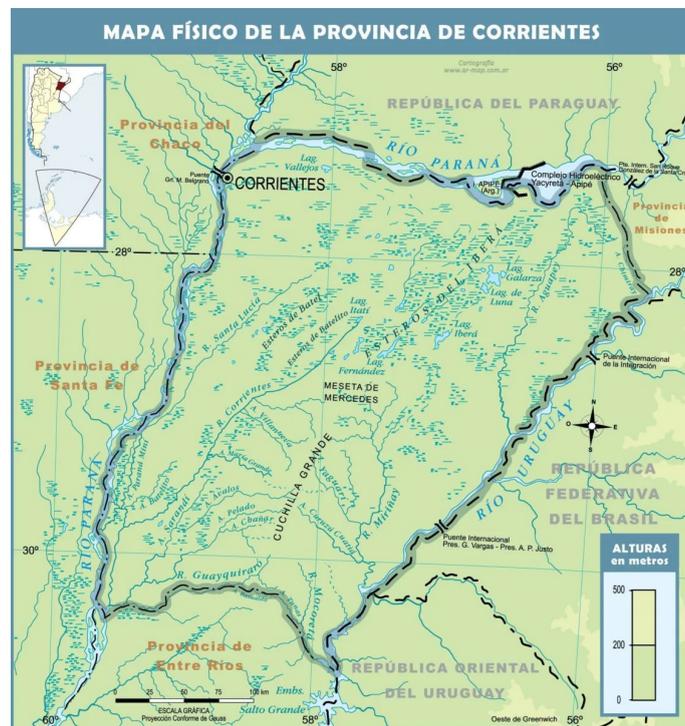


Figura N°9: Mapa de aguas superficiales de Corrientes

## Entre Ríos

Como lo indica su nombre, Entre Ríos tiene en sus límites distintos ríos y arroyos, estos son:

- Al oeste y sur, el río Paraná
- Al norte el río Guayquiraró, el Mocoretá y los arroyos Basualdo y Tunas
- Al este, el río Uruguay.

Como sucede con Corrientes, dentro de la provincia hay una gran red fluvial debido al Río Paraná.

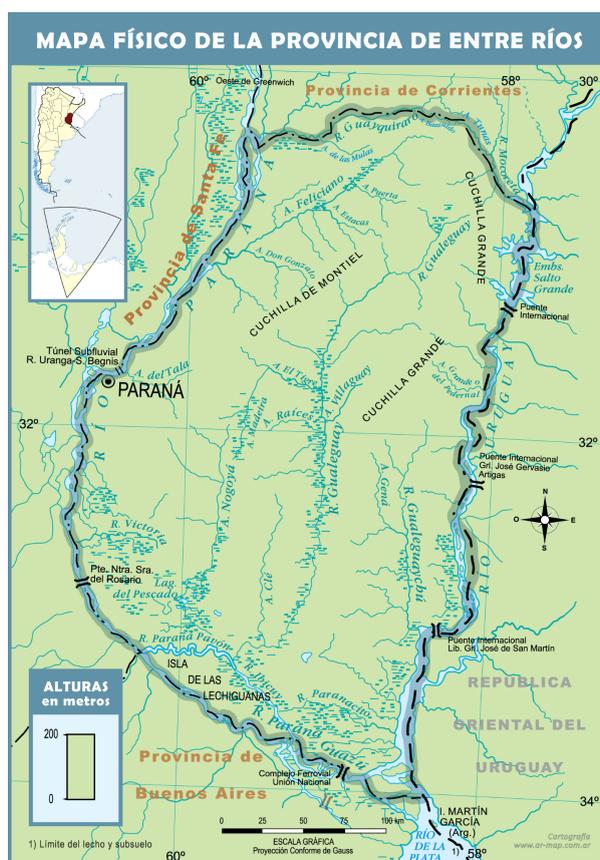


Figura N°10: Mapa de aguas superficiales de Entre Ríos

## Santa Fe

La provincia de Santa Fe, limita con el Río Paraná, lo que le brinda una gran cantidad de aguas superficiales. Los brazos más importantes del Río Paraná dentro de Santa Fe son el Río Coronda, el Santa Fe, el San Javier y el Colastiné. Otros dos grandes ríos cruzan la provincia para llevar sus aguas al Paraná: el Salado y el Carcarañá.

Todos los ríos y arroyos que cruzan el territorio santafesino depositan sus aguas directa o indirectamente en el río Paraná.

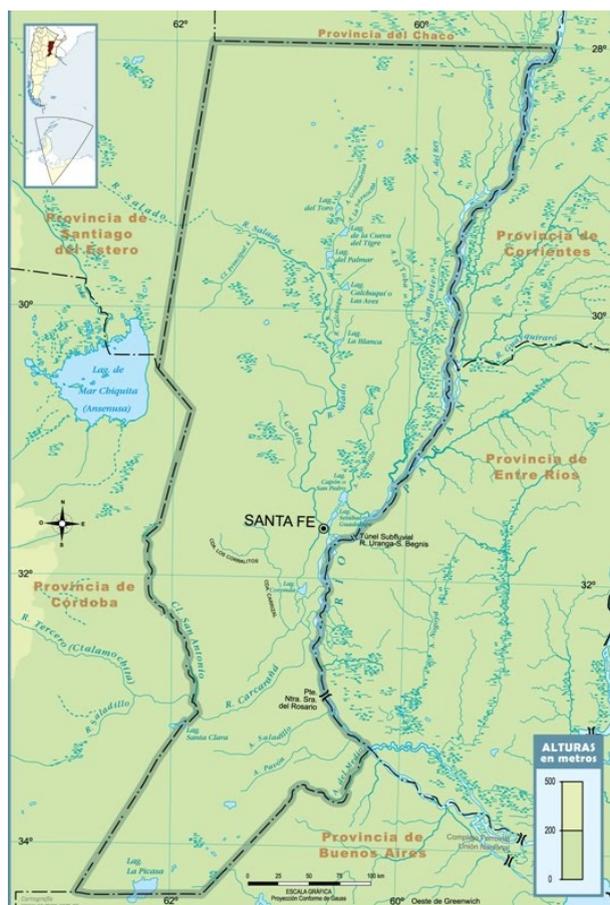
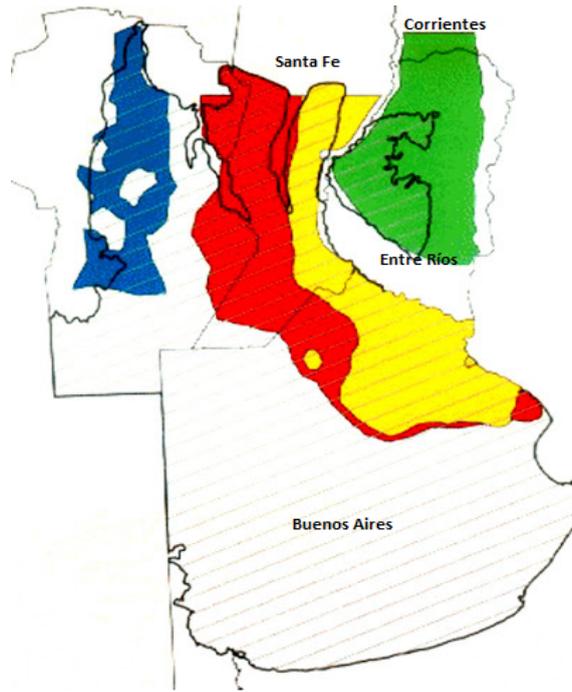


Figura N°11: Mapa de aguas superficiales de Santa Fe

Las tres provincias cuentan con gran cantidad de aguas superficiales en sus regiones, por lo que sus puntajes serán iguales en este ítem.

### 2.3.2. Agua Subterránea

Para el estudio de los acuíferos de las diferentes provincias, dispondremos de los siguientes mapas:



- Formación Puelches
- Formación Puelches Salado
- Formación Santiago Temple y Arcillas Pardas
- Formación Ituzaingó

Figura N°12: Principales acuíferos de la región Pampeana Argentina



Figura N°13: Acuífero Guaraní en Corrientes, Entre Ríos Y Santa Fe

### Entre Ríos

El acuífero más importante debajo de la superficie de la provincia de Entre Ríos es el acuífero Guaraní, el cual es de muy buena calidad ya que tiene un bajo contenido de salinidad. También la provincia cuenta con los acuíferos Salto Chico e Ituzaingó.

### Corrientes

En la provincia de Corrientes se encuentran los acuíferos Ituzaingó, Salto Chico y, al Igual que Entre Ríos, el acuífero Guaraní.

### Santa Fe

El agua subterránea en la provincia de Santa Fe está provista principalmente por el acuífero Puelches y luego, en menor medida, por el acuífero Guaraní y El Saladillo.

Por lo estudiado, las tres provincias cuentan con gran cantidad de recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos. Entre Ríos y Corrientes por disponer principalmente del Acuífero Guaraní, que tiene una mejor calidad de agua que el Acuífero Puelches ubicado principalmente en Santa Fe, tendrán un mayor puntaje en aguas subterráneas, mientras que en aguas superficiales, las provincias de Corrientes y Entre Ríos tendrán también puntajes máximos por la gran cantidad de ríos que poseen, mientras que Santa Fe por disponer de menos ríos, tendrá un valor menor.

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Corrientes	Puntaje Parcial	Santa Fe	Puntaje Parcial	Entre Ríos	Puntaje Parcial
Agua	11	Superficial	4	10	40	8	32	10	40
		Subterránea	7	10	70	7	49	8	56
Subtotal				110		81		96	

#### 2.4. Parques y Áreas Industriales

Para el presente proyecto es interesante evaluar una ubicación dentro de algún área o parque industrial por los beneficios que estos representan, como lo son una ubicación estratégica, la formación de una economía de red dentro de los miembros del mismo parque, infraestructura y seguridad, exenciones en impuestos provinciales y municipales en los distritos que se adhieren a los regímenes impuestos por la ley que regula la Promoción Industrial en las provincias, entre otros.

Por ello a continuación se hará un análisis de estas zonas en las provincias de Corrientes, Santa Fe y Entre Ríos; con datos obtenidos del Registro Nacional de Parques Industriales (RENPI).

### 2.4.1. Cantidad

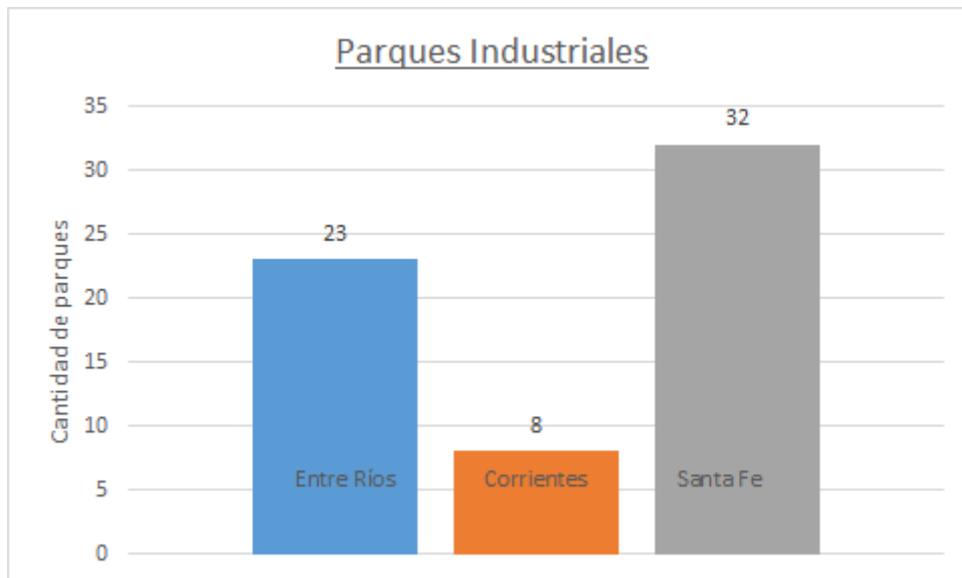


Figura N°14: Parques y áreas industriales

En el gráfico se puede ver que la cantidad de parques y áreas industriales de cada provincia estudiada presentan una marcada diferencia entre ellas, por lo que por cantidad, Santa Fe es quien recibe mayor puntuación, seguido por Entre Ríos y por último, Corrientes.

### 2.4.2. Disponibilidad

Seguido, haremos un análisis de los parques y áreas industriales por provincia y la disponibilidad que ellas presentan.

#### Santa Fe



Figura N°15: Parques y Áreas industriales Santa Fe

En este mapa se observa que Santa Fe tiene la mayor concentración de parques industriales en la zona sur de la provincia, y con el 68% de sus parques con lotes disponibles.

### Entre Ríos



Figura N°16: Parques y Áreas industriales Entre Ríos

En la provincia de Entre Ríos, vemos una distribución un poco más homogénea de parques que en el caso anterior, aunque si hay una concentración en la zona central. Esta provincia cuenta con un 86% de sus parques, con lotes disponibles.

### Corrientes



Figura N°17: Parques y Áreas industriales Corrientes

Corrientes recibirá el menor puntaje en este aspecto, ya que vemos que tiene la menor cantidad de parques industriales, si bien comienza a levantar este número al realizar proyecciones a futuro, no podrá alcanzar a las demás provincias.

Cuenta con parques con un 86% de lotes disponibles.

En disponibilidad otorgamos a Corrientes y Entre Ríos puntajes altos por igual, teniendo a Santa Fe también último lugar con una ponderación menor. Se completa la matriz según lo analizado:

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Corrientes	Puntaje Parcial	Santa Fe	Puntaje Parcial	Entre Ríos	Puntaje Parcial
Parques Industriales	9	Cantidad	4	4	16	10	40	7	28
		Disponibilidad	5	9	45	7	35	9	45
			Subtotal	61		40		28	

## 2.5. Energía

### 2.5.1. Electricidad

Debemos evaluar correctamente el sistema eléctrico de cada una de las ubicaciones posibles ya que la planta funcionará en mayor parte gracias a la energía eléctrica, lo que la vuelve un factor muy importante.

Para el estudio de este ítem contamos con un mapa donde podemos observar el tendido eléctrico que atraviesa a las tres provincias seleccionadas para el análisis: Santa Fe, Corrientes y Entre Ríos.



Figura N°18: Red eléctrica de Corrientes, Entre Ríos y Santa F

### Corrientes

En esta provincia se tiene un tendido eléctrico importante conectando Mercedes, Rincón Santa María y Paso de la Patria, además de otros pequeños puntos. En el siguiente mapa se observa que en Rincón Santa María la red se ramifica hacia la provincia de Misiones y Paraguay, ya que pegada se encuentra la represa de Yacyretá, una represa binacional, una de las principales empresas generadoras de energía eléctrica de América Latina, que provee el 45% de la energía hidroeléctrica del país.



Figura N°19: Mapa de tendido eléctrico de Corrientes

## Entre Ríos

En esta provincia se encuentra la central hidroeléctrica de Salto Grande, que abastece tanto a la provincia de Entre Ríos como al país vecino, Uruguay; siendo esta central la primera en abastecer a dos naciones a la vez.

La red entrerriana se nutre de tres estaciones transformadoras: Salto Grande, Colonia Elía y Santa Fe, que reciben la energía desde la central antes mencionada.

Además, la provincia cuenta con cinco centrales térmicas instaladas en Paraná, Concepción del Uruguay, La Paz, San Salvador y Viale.

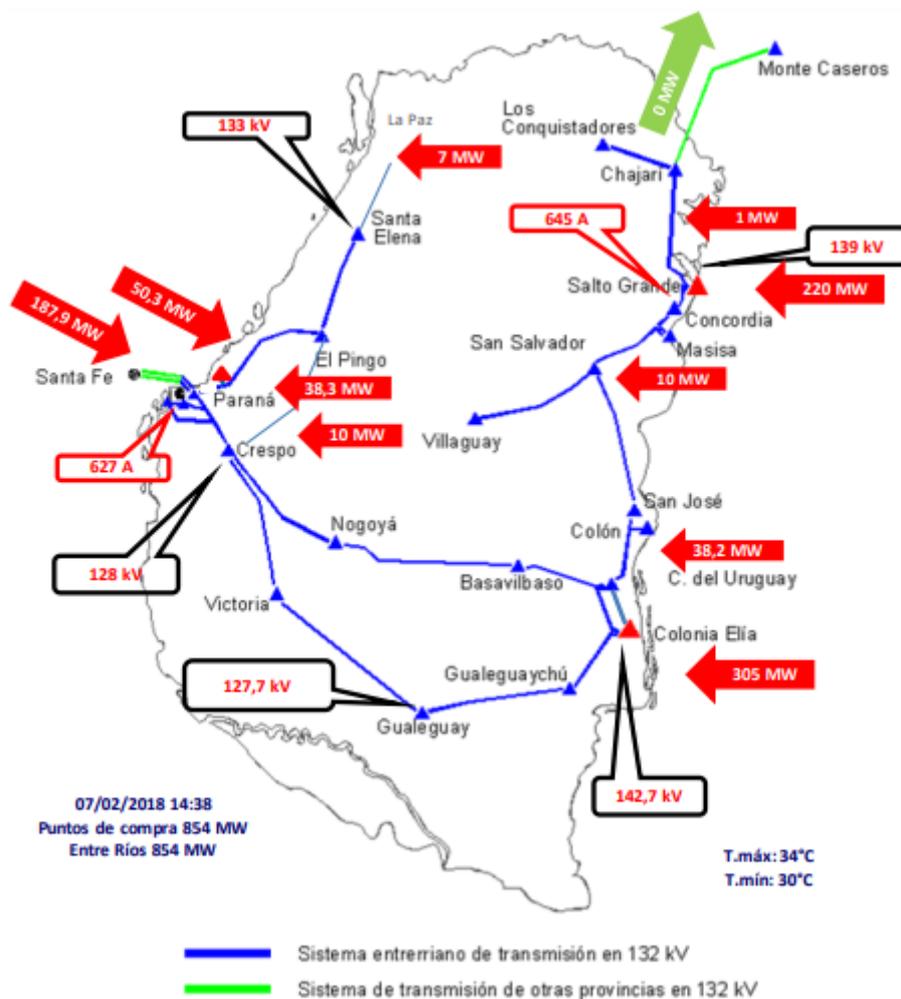


Figura N°20: Tendido eléctrico entrerriano

## Santa Fe

Se observa que en la provincia de Santa Fe hay un tendido eléctrico que comunica casi completamente toda la provincia. Además, en las ciudades de Rosario, Constitución y San Lorenzo se encuentra una gran red que genera un punto estratégico.



Figura N°21: Tendido eléctrico en Santa Fe

Por lo mencionado anteriormente, Corrientes y Entre Ríos tendrán el máximo puntaje, mientras que Santa Fe tendrá uno menor por no contar con la misma capacidad eléctrica.

### 2.5.2. Gas

En la evaluación de energía incluimos el gas ya que es otro servicio indispensable para el funcionamiento de la planta, aunque no necesariamente desde el punto de vista de procesos ya que, en su mayoría, los equipos utilizarán dispositivos eléctricos para, por ejemplo, el calentamiento de corrientes. Debido a esto el servicio de gas presenta un valor numérico menor que el mencionado en la matriz, centrándose su utilización en los sectores de cocina/comedor y laboratorios.

Primero se observará un mapa donde tenemos en rojo las conexiones de gas de las tres provincias en cuestión, teniendo a Entre Ríos cubierta por completo, a Santa Fe la cubre en el centro y sur, y las Corrientes tiene escasas conexiones.



Figura N°22: Gas natural en Corrientes, Entre Ríos y Santa Fe

### Corrientes

Corrientes está conectada al gasoducto del NEA, por el gasoducto troncal y luego ramificaciones de este como redes de distribución.



Figura N°23: Gasoducto Correntino

## Entre Ríos

Entre Ríos está conectado al Gasoducto Subfluvial que cruza el río Paraná y continúa con el Gasoducto Troncal Entrerriano.

Se puede observar en el mapa que todas las ciudades aledañas al límite de la provincia están conectadas a un gasoducto regional y en verde vemos el gasoducto de expo e importación de Brasil-Uruguayana que conecta las ciudades del centro de la provincia.

Además de ser una provincia con buenas conexiones en varios puntos.

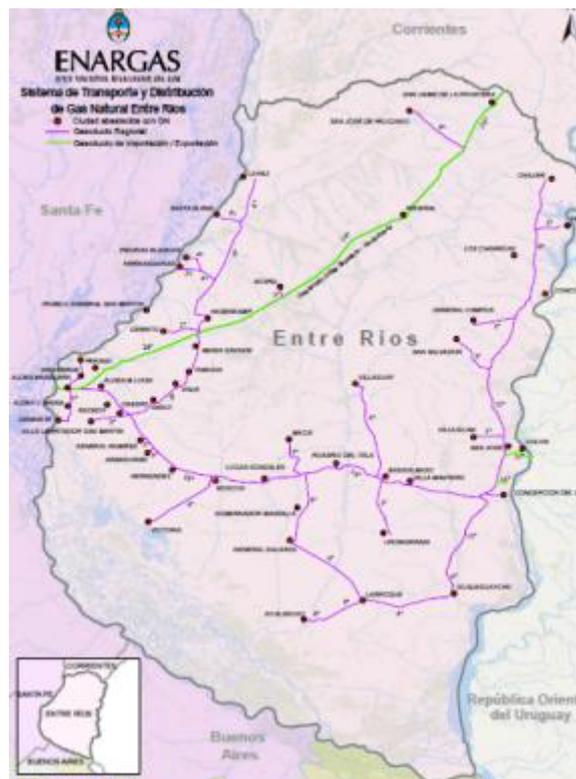


Figura N°24: Gas natural Entre Ríos

## Santa Fe

Al igual que Corrientes, Santa Fe se encuentra conectada al GNEA, en la imagen vemos al gasoducto troncal y las redes de distribución, y en azul pueden verse las líneas proyectadas en obras.

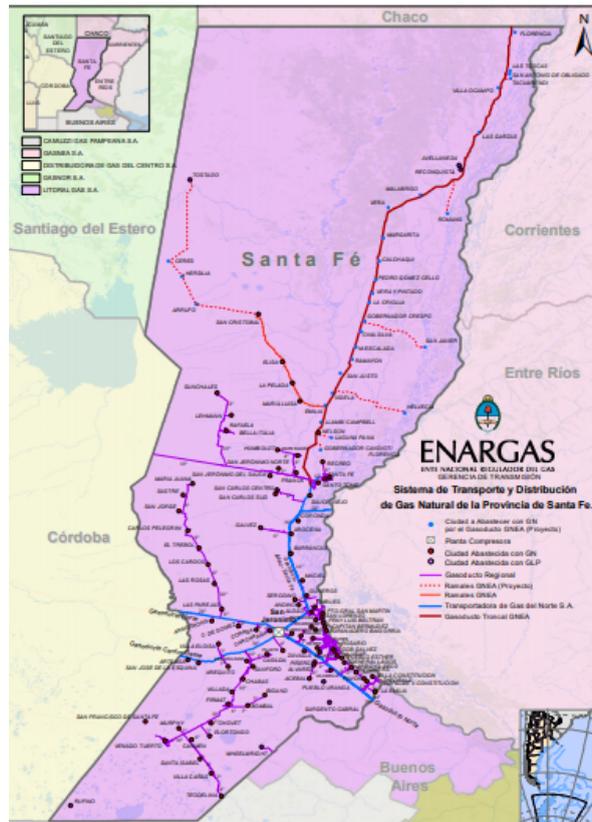


Figura N°25: Gasoducto Santafesino

Si bien Corrientes y Santa Fe están ambas conectadas al GNEA, Corrientes cuenta con menos conexiones entre sus ciudades, por lo que Santa Fe recibirá un mayor puntaje, lo seguirá Entre Ríos, que si bien tiene buenas conexiones, no tiene un sistema tan grande como el GNEA de respaldo, y por último seguirá Corrientes con un puntaje mucho menor. Quedando la matriz de macroubicación:

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Corrientes	Puntaje Parcial	Santa Fe	Puntaje Parcial	Entre Ríos	Puntaje Parcial
Energía	9	Electricidad	6	10	60	8	48	10	60
		Gas	3	6	18	9	27	6	18
Subtotal				78		75		78	

## 2.6. Mercado

Una vez finalizado el proceso y obtenido el producto deseado, se debe llevar a cabo el mezclado de éste en nafta. Esta tarea es llevada a cabo en distintas refinerías de nuestro país; por este motivo para este ítem evaluaremos la cantidad de mezcladoras presentes en las provincias seleccionadas.

A continuación se dispone de una tabla, con datos brindados por el Ministerio de Economía, con las empresas mezcladoras y su ubicación en el país.

Refinerías	Ubicación
YPF S.A.	Junín - Buenos Aires
YPF S.A.	Berisoo - Buenos Aires
YPF S.A.	Gregorio de Laferrere -Buenos Aires
YPF S.A.	Ensenada - Buenos Aires
YPF S.A.	Dock Sud – Buenos Aires
RAIZEN ARGENTINA S.A.	Dock Sud - Buenos Aires
Petrolera Degab S.A.	Ramallo – Buenos Aires
Refi Pampa S.A.	Junin - Buenos Aires
Pan American Energy S.L.	Ciudad de Puerto Galván – Bueno Aires
Pan American Energy S.L.	Campana - Buenos Aires
Refinería Bahía Blanca S.A.U.	Bahía Blanca – Buenos Aires
Novum Energy S.A.	Tigre – Buenos Aires
YPF S.A.	Concepción del Uruguay – Entre Ríos
YPF S.A.	San Lorenzo - Santa Fe
RAIZEN ARGENTINA S.A.	Pto. Santa Fe - Santa Fe
RAIZEN ARGENTINA S.A.	Arroyo Seco - Santa Fe
Pan American Energy S.L.	San Lorenzo - Santa Fe
YPF S.A.	Barranqueras - Chaco
RAIZEN ARGENTINA S.A.	Pto. Vilelas - Chaco
YPF S.A.	Montecristo - Cordoba
REFINOR S.A.	Banda del Rio Salí - Tucumán
YPF S.A.	Lujan de Cuyo - Mendoza
YPF S.A.	Plaza Huincol - Neuquén
Pan American Energy S.L.	Caleta Olivia – Santa Cruz

Tabla N°1: Refinerías del país

Como se observa, la mayoría de las refinerías se encuentran en Buenos Aires y luego, en menor medida, en Santa Fe, Chaco, Entre Ríos, Tucumán, Córdoba, Neuquén, Mendoza y Santa Cruz.

Por la disposición de las refinerías en el país, se considerará a Santa Fe como la provincia con mayor posibilidad de mercado por presentar cuatro refinerías en su territorio, obteniendo el mejor puntaje entre las tres provincias. Luego, se encuentra Entre Ríos que posee solamente una refinería por lo que tendrá un puntaje bajo en la matriz y, en último lugar, con el puntaje más bajo por no disponer de ninguna refinería, se encuentra Corrientes.

A continuación se presenta la matriz para este ítem:

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Corrientes	Puntaje Parcial	Santa Fe	Puntaje Parcial	Entre Ríos	Puntaje Parcial
Mercado	6	Cantidad	6	2	6	5	30	2	12
			Subtotal	12		30		12	

## 2.7. Mano de Obra

Para el análisis de este ítem se tendrán en cuenta los dos aspectos siguientes: la cantidad de población activa en cada provincia, como así también la calidad de capacitación que ésta dispone. Cabe destacar que consideramos como población activa aquellas personas cuya edad se encuentra entre los 15 y 65 años.

Para ello nos basamos en la información que brinda el INDEC a partir de los datos registrados durante el Censo Nacional del 2010.

### 2.7.1. Cantidad

	<b>Población Total</b>	<b>Población Activa (15-65)</b>
<b>Entre Ríos</b>	1.129.813	821.723
<b>Corrientes</b>	899.848	647.051
<b>Santa Fe</b>	2.939.833	2.174.932

Tabla N°2: Población mayor a 5 años que asistió a un establecimiento educativo

Teniendo en cuenta únicamente el número de habitantes por provincia, se observa que Santa Fe se lleva una gran cantidad de puntos, lo cual es predecible por su gran superficie respecto a las otras provincias. Le sigue Entre Ríos y, por último, Corrientes.

### 2.7.2. Calidad

Se tuvo en cuenta el nivel de educación alcanzado por la cantidad de habitantes establecida.

	<b>Secundario</b>	<b>Superior No Universitario</b>	<b>Superior Universitario</b>
<b>Entre Ríos</b>	146.984	48.569	37.340
<b>Corrientes</b>	111.477	32.211	23.835
<b>Santa Fe</b>	441.506	137.811	120.225

Tabla N°3: Nivel educativo de la población

Nuevamente, como era posible anticipar, la provincia de Santa Fe tiene un mayor número de personas con estudios, independientemente del nivel académico alcanzado. Por lo tanto, obtiene un puntaje mayor, siendo segundo lugar Entre Ríos y, por último, Corrientes.

Se procede a completar la matriz de macroubicación con los puntajes descritos anteriormente. Vemos que estos serán altos por el hecho de que la cantidad de empleados a necesitar será mucho menor que las cantidades de población acá mostradas.

Ítem	Puntos	Subítem	Subpuntos	<b>Corrientes</b>	Puntaje Parcial	<b>Santa Fe</b>	Puntaje Parcial	<b>Entre Ríos</b>	Puntaje Parcial
Mano de Obra	6	Cantidad	3	7	21	10	30	8	24
		Calidad	3	8	24	10	30	8	24
Subtotal				45		60		48	

## 2.8. Marco Legal

En nuestro gobierno existe un amplio sistema con respecto a las actividades que influyen de manera directa e indirecta a la matriz energética, la cual comprende una serie de leyes nacionales que establecen determinadas condiciones y requisitos para la realización de dichas actividades, además de leyes provinciales de adhesión, precisando aspectos extras que dependen de la provincia.

Por esto mismo, dentro de este ítem se tuvo en cuenta ciertas leyes que facilitarán o complicarán la instalación y funcionamiento de la planta de bioetanol que se busca realizar en alguna de las provincias de interés.

### 2.8.1. Beneficios

#### Corrientes

- Ley Nº 6.085. Se declara interés provincial el uso de fuentes de energías renovables llamada también alternativa, no convencional o no contaminante, factible de aprovechamiento en la Provincia de Corrientes.
- Ley Nº 5.744. Solo adhesión provincial a la Ley Nacional 26.093. Ley provincial. Los cuerpos legislativos de la Provincia de Corrientes, podrían elaborar un cuerpo legal destinado a la promoción de estas actividades dictando normas que incentiven fiscalmente la producción y uso de estas fuentes de energía.

#### Santa Fe

- En 2006 se propone la creación de la Agencia Provincial de la Energía no Convencional Renovable, un ente autárquico destinado a promover y controlar la investigación en materia de energías, así como su producción y uso. En línea con la promoción se creó una Secretaría de Estado de Energía dentro del Poder Ejecutivo Provincial, cuyo objetivo es la producción de combustibles de origen vegetal.
- Ley Nº 12691. En 2006. Adhesión provincial a la Ley Nacional Nº 26093. Exención, reducción y/o diferimiento de los tributos provinciales, pueden ser aprovechados por un período de hasta 15 años:
  1. Impuesto a los ingresos brutos: Impuesto al valor agregado e Impuesto a las ganancias, podrán obtener la devolución anticipada del IVA, o practicar en el impuesto a las ganancias la amortización acelerada de los bienes u obras pertenecientes al proyecto.
  2. Impuesto de sellos: los bienes de los proyectos aprobados no integrarán la base de imposición del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta, a partir de la fecha de aprobación y hasta el tercer ejercicio cerrado, inclusive.

3. Impuesto inmobiliario: Impuestos específicos, el biodiesel y el bioetanol producidos bajo el Régimen de Promoción para satisfacer los porcentajes del “corte obligatorio” exigidos por la Ley 26.093 no estarán alcanzados por: la tasa de Infraestructura Hídrica; Impuesto sobre los combustibles líquidos y el gas natural; y el Impuesto sobre la transferencia a título oneroso o gratuito.

- Ley N° 12.692 en 2006. Decreto 158/07. Régimen de promoción de energías renovables no convencionales. La ley adhiere a la legislación nacional en la materia y establece beneficios adicionales para los proyectos de radicación industrial, aplicables también en caso de ampliaciones en la capacidad instalada y/o en la absorción de mano de obra. Contempla la creación de fuentes de financiamiento específicas para el otorgamiento de créditos y la realización de obras de infraestructura.
- Ley N° 14.010. Programa Provincial de Uso Sustentable de Biocombustibles. Tiene como objetivo llegar a la utilización masiva de biocombustibles en estado puro o en el mayor nivel posible de mezclas con combustibles fósiles en el territorio provincial. En los pliegos de contratación de obras públicas y/o servicios se deberá incluir la exigencia de su uso en los equipos que se utilicen, en la medida que sea técnicamente viable. El Poder Ejecutivo deberá desarrollar acciones específicas, para cada sector productivo y de servicios, tales como tareas de difusión, investigación, programas de uso intensivo, etc.
- Ley N° 8.478. 1979. Promoción Industrial. Exención, reducción y/o diferimiento de tributos por períodos determinados hasta un plazo máximo de 10 años. En el caso de exención o reducción del Impuesto a los Ingresos Brutos, el mismo quedará condicionado al aporte forzoso del 3% o sobre los ingresos correspondientes a las actividades promovidas, el que se depositará a favor del Banco Santafesino de Inversión y Desarrollo S.A., quien lo capitaliza a favor del Estado Provincial. Venta, locación o donación, a precio de fomento o sin cargo de bienes del dominio público o privado del Estado Provincial. Expropiación de inmuebles para facilitar la instalación y/o ampliación de Parques y/o Áreas Industriales y/o Polos Industriales. Construcción de infraestructuras básicas para acondicionamiento de áreas y/o parques industriales para la radicación de industrias. Concesión de créditos a mediano y largo plazo, con tasas de interés en condiciones preferenciales.

#### Entre Ríos

- 2007 se crea un Programa Provincial de Promoción de la Investigación y la Producción de Biocombustibles. Propone también el otorgamiento de incentivos fiscales para las actividades de producción, almacenamiento y comercialización de biocombustibles, que incluyen la exención por 5 años del impuesto a los ingresos brutos, del impuesto a los sellos y del impuesto inmobiliario a los inmuebles afectados a su producción y almacenamiento.

- Ley Nº 10.499 en 2007. Adhesión a las disposiciones de la Ley Nacional Nº 26.190 y su modificatoria Ley nacional Nº 27.191, de “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica”.
- Ley Nº 10.204 en 2013. Adhesión a la Ley Nacional Nº 26.093. Promoción Industrial.
  1. Impuesto a los ingresos brutos: Preferencias en licitaciones y compras del Estado provincial.
  2. Impuesto inmobiliario: Exenciones en impuestos provinciales por 15 años. Serán del 100% en los primeros cinco años, 75% desde los 6 a 10 años, y 50% desde el año 11 al 15. Si se encuentran localizadas en parques y áreas se agrega 5 años al plazo del beneficio (quedando en total 20 años).
  3. Impuesto a los ingresos brutos: Las industrias nuevas que se encuentran radicadas en parques industriales tienen la posibilidad de obtener un reintegro de hasta el 50% de las inversiones dirigidas hacia obras eléctricas y gasíferas. Por otro lado, las empresas podrán obtener un reintegro del 15% por el consumo de energía eléctrica.

En este caso vemos que las leyes/decretos establecidos tienen objetivos muy similares, aunque también es notorio el hecho de que Santa Fe y Entre Ríos gozan de grandes beneficios en cuanto a los tributos provinciales, poniendo a Corrientes en una posición menos favorable ante nuestra elección.

Decidimos que Entre Ríos tendrá un valor mayor por la existencia de porcentajes de exención superiores, más el otorgamiento de un plazo extra según la ubicación del establecimiento.

#### 2.8.2. Normativas ambientales

Consideramos este un ítem de importancia ya que una de las principales causas del cambio climático es la emisión de gases de efecto invernadero provocadas por la combustión de combustibles fósiles, y la inadecuada manipulación de efluentes industriales. Entonces como nuestro objetivo es producir un tipo de biocombustible mediante una vía de carácter más eco-friendly, debemos conocer las normativas que contribuirán o potenciarán nuestro intento de reducir dichas emisiones dañinas.

#### Corrientes

- Ley 4731/93. Ley de la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente.
- Ley 6002/10. Programa de asistencia e incentivo para la implementación de un sistema de gestión ambiental en el sector empresarial.

- Ley 3979/85. Habilitación de Establecimientos industriales. Reglamentación de efluentes: sólidos, líquidos, gaseosos y/o calor u otras fuentes de energía (emisiones a la atmósfera)

### Santa Fe

- Ley 11717/99. Ley marco de medio ambiente y desarrollo sustentable.
- Decreto 101/03. Ley 11717/99. Requisitos de los Estudios de Impacto Ambiental. Identificación del proyecto, problemas y acciones a desarrollar. Descripción, objetivos y propósitos generales y justificación del proyecto propuesto. Ubicación. Definición y duración de las etapas. Descripción de operaciones y procesos, materias primas e insumos; Residuos generados, emisiones de materia o energía. Tratamiento, disposición y manejo. Estimación de las personas afectadas y/o beneficiadas con el proyecto. Área afectada directa e indirectamente por el proyecto. Vida útil del proyecto. Marco legal, administrativo y político. Análisis del contexto político, legal-normativo y administrativo y su interacción con otros proyectos. Investigación y estudios sobre el ambiente físico, químico, biológico, cultural, socioeconómico y de salud. Análisis de alternativas. Identificación de impactos y efectos ambientales del proyecto. Plan de gestión ambiental. Identificación y descripción de los programas de mitigación, prevención y/o corrección.
- Resolución Provincial 0201/2004. Prevención, control y corrección de la contaminación del aire. Análisis de inmisión. Límites máximos (Emisiones a la atmósfera, efluentes, vibraciones, ruidos, olores)
- Resolución DiPOS 1089/82. Reglamento para el control del vertido de líquidos residuales. Establece las condiciones a que deberá ajustarse el efluente y el proyecto, y las instalaciones de que debe dotarse a aquellos inmuebles cuyos líquidos residuales requieran un tratamiento previo para alcanzar las condiciones de vuelco aceptables para su descarga a los cuerpos receptores.
- Ley 12503/05. Ley marco de biocombustibles. Declárase de interés provincial la generación y el uso de energías alternativas a partir de la aplicación de las fuentes renovables en todo el territorio de la Provincia de Santa Fe. Créase en el Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda, un órgano de estudio y planificación para el aprovechamiento de fuentes de energías renovables. Dicho órgano deberá estar integrado por representantes del Ministerio de la Producción, del Ministerio de Educación, de los Municipios, de las Comunas, de la Empresa Provincial de la Energía y de las Cooperativas Eléctricas. Asimismo, para su conformación la autoridad de aplicación convocará a representantes de las universidades nacionales y entidades científicas con experiencia y trayectoria en la materia. El Poder Ejecutivo en la reglamentación establecerá la conformación de dicho organismo.

## Entre Ríos

- Ley 6260/78. Prevención y control de la contaminación ambiental industrial. Industrias que deseen radicarse en la provincia deberán gestionar el certificado de funcionamiento que deberá contar con: Razón social de la empresa, domicilio legal, ubicación del establecimiento. Nombre de los profesionales, dirección de obras, y sistemas de tratamiento de residuos industriales. Certificación del Colegio de Profesionales de la Ingeniería de Entre Ríos sobre la locación del servicio entre el comitente y los profesionales actuantes. Número de personal a ocupar, horarios y días de trabajo. Memoria técnica con: Proceso de producción (materias primas, productos, agua, combustibles, energía eléctrica y capacidad a instalar) y Residuos industriales (tipos, composición, caudales, tratamientos, transporte).
- Habilitación de establecimientos industriales. Decreto 5837/81.
- Decreto 5837/91 reglamentario de la Ley 6260. Norma complementaria sobre Efluentes Líquidos. Zonificación y clasificación industrial, efluentes, certificados (emisión atmosférica)
- El Decreto 4.977/09 reglamenta el Estudio de Impacto Ambiental y establece los siguientes contenidos: Índice. Resumen ejecutivo. Descripción, objetivos y justificación del proyecto propuesto. Profesionales responsables de los estudios. Área de localización. Marco legal y administrativo. Análisis de alternativas. Identificación de impactos y efectos ambientales. Plan de gestión ambiental. Entre otros.

Nuevamente se ve una situación similar entre las provincias y el contexto ambiental, por lo tanto sus puntajes serán similares. Rescatamos que a diferencia de Santa Fe y Entre Ríos, en Corrientes no existe una ley o decreto que exija la realización de un estudio ambiental de un determinado proyecto.

Con respecto a la puntuación de los subitems, consideramos que a "Beneficios" le corresponde un mayor puntaje por el hecho de que, como mencionamos anteriormente, nuestro proceso genera una menor cantidad de inconvenientes ambientales o, al menos, en menor magnitud. Además por ser dicho proceso perteneciente al campo de las nuevas tecnologías, el nivel de participación del gobierno como incentivador y promotor es un factor crucial para su futuro desarrollo.

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Corrientes	Puntaje Parcial	Santa Fe	Puntaje Parcial	Entre Ríos	Puntaje Parcial
Marco Legal	6	Beneficios	4	7	28	9	36	10	40
		Normativa Ambiental	2	6	12	7	14	7	14
			Subtotal	40		50		54	

## 2.9. Clima

Gracias a la imponente extensión del territorio argentino en dirección norte-sur, nuestro país presenta distintos tipos de clima, desde climas húmedos hasta secos, desde veranos muy calurosos a los inviernos más fríos, cuyo papel depende de la región en que nos ubiquemos.

Es posible clasificar esta gran variedad de condiciones climáticas en cuatro grupos: Cálido, Templado, Árido y Frío, como se ve en el mapa a continuación. Este se centra en la zona donde se encuentran nuestras posibles locaciones.

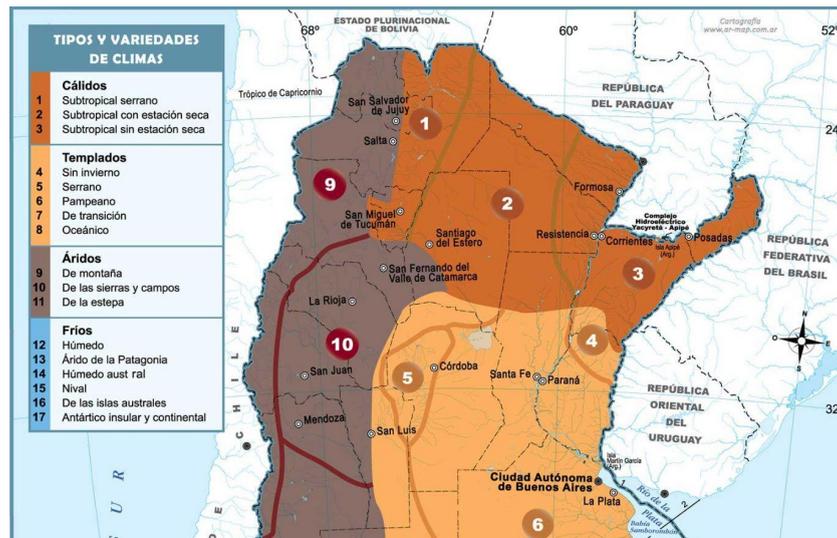
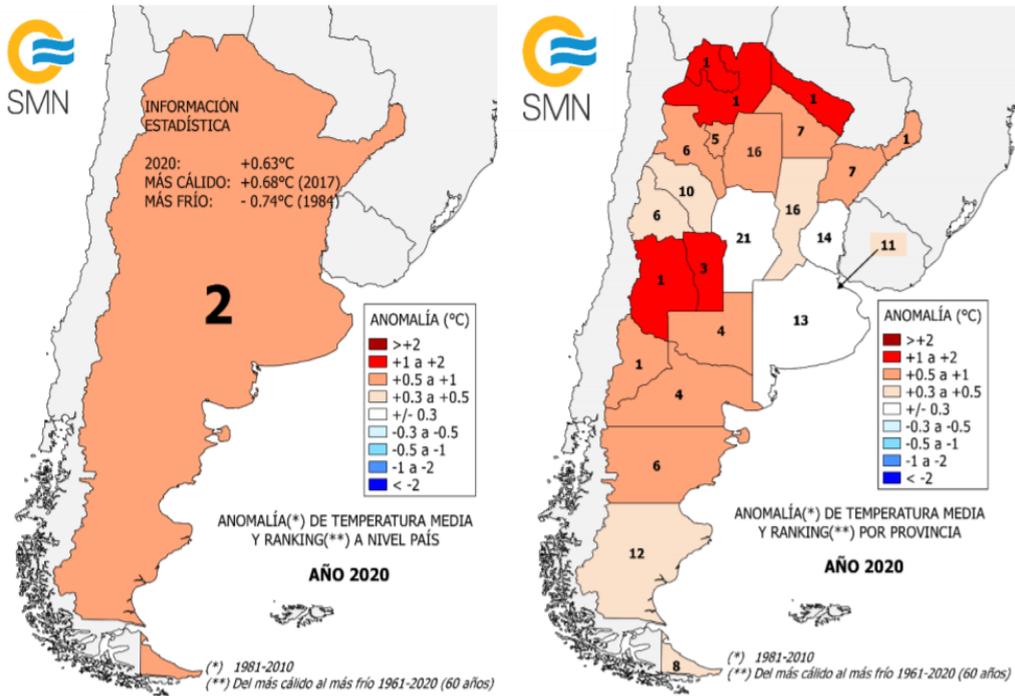


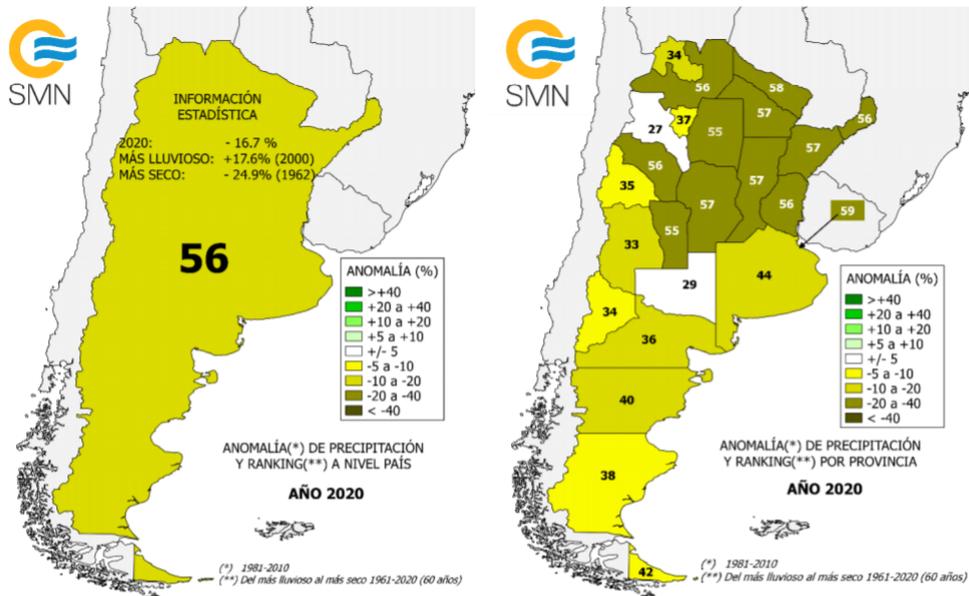
Figura N°26: Mapa Climático De la República Argentina

Como primer avistamiento general acerca de las características climáticas que presentan las provincias de interés se observarán en los siguientes mapas las desviaciones en cuanto a la temperatura y nivel de precipitaciones promedio anual nacional en el año 2020, junto con una breve información estadística acerca de los años donde ocurrieron casos extremos a modo de comparación.



Anomalía (°C) y ranking de la temperatura media anual a nivel país y provincial – Año 2020. El sombreado indica la tipificación por rango de anomalía. El número indica la posición en el ranking ordenado de mayor a menor.

Figura N°27: Temperatura media anual provincial



Anomalía (%) y ranking de la precipitación anual a nivel país y provincial – Año 2020. El sombreado indica la tipificación por rango de anomalía. El número indica la posición en el ranking ordenado de mayor a menor.

Figura N°28: Precipitación media anual provincial

El periodo de marzo a octubre del año 2020 en la zona noreste del país se vivió una situación que vale la pena mencionar, hubo una gran ausencia de lluvias. Según los informes publicados por la Gerencia de Ingeniería del ICAA (Instituto Correntino del Agua y Ambiente) durante el año 2020 las precipitaciones alcanzaron un total de 1022,3 mm, siendo los meses más lluviosos: enero con 335,4mm, febrero con 191,3 mm y, por último, noviembre con 154,8 mm. Por otro lado, los meses de agosto y septiembre apenas alcanzaron los 3,9 mm. Consagrándose el 2020 como el año más seco de los últimos 8 años, no alcanzando ni al 50% de la lluvia caída durante el año 2019 que totalizó la marca de 2076,6 mm.

Gracias a los modernos sistemas de riego (con dispositivos de acumulación de agua) en estas provincias y a la época de cosecha, la producción de arroz no se vio del todo afectada, pudiendo alcanzar valores apreciables aún con las limitaciones de dicha sequía y la, ya conocida, pandemia.

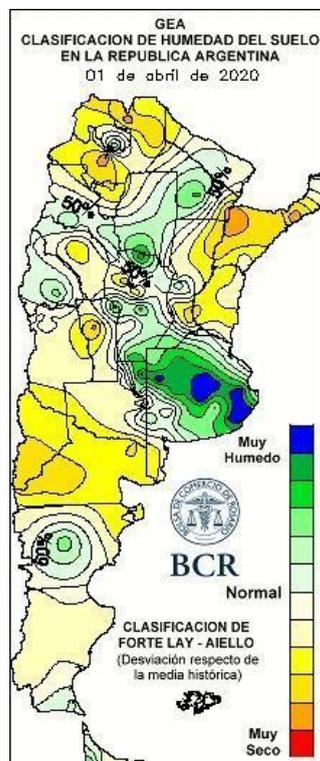


Figura N°29: Humedad de suelo argentino

## Corrientes

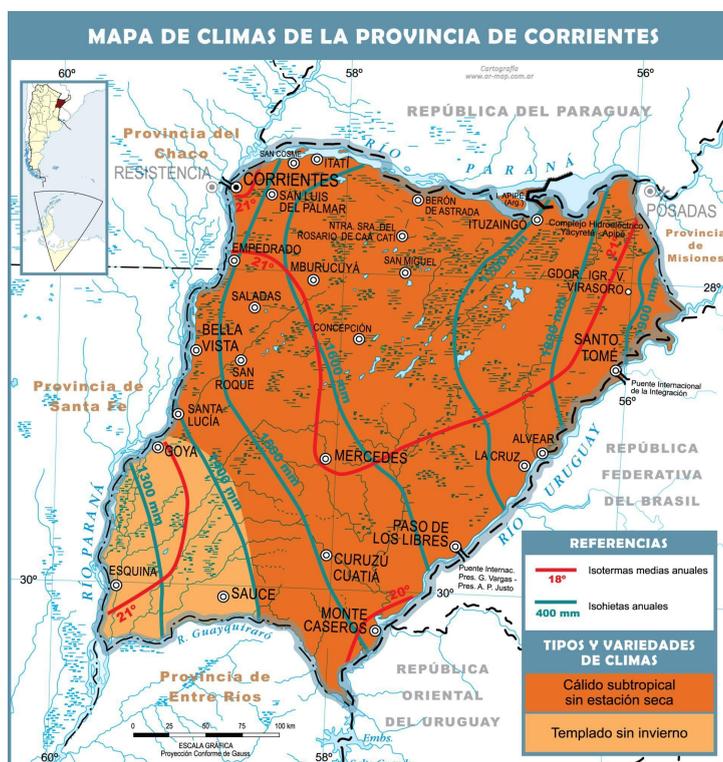


Figura N°30: Mapa de climas en la provincia de Corrientes

Si bien se pueden diferenciar dos tipos de climas en la superficie correntina, cálido subtropical y templado, el primero abarca casi la totalidad de la provincia. Por lo tanto, en general, se viven veranos muy cálidos pero bajas temperaturas en el invierno. También se conoce como un clima húmedo con abundantes precipitaciones durante la transición de verano a otoño, sin embargo son escasas a finales de invierno y comienzo de primavera.

Más hacia el norte los veranos son muy húmedos, con altas temperaturas y las precipitaciones se hacen importantes durante la primavera y el otoño. Acercándonos a la zona media la humedad desciende presentando inviernos muy secos, el calor se mantiene y las lluvias se trasladan hacia el verano. Llegando al sur correntino encontramos un carácter más templado, donde la distribución de precipitaciones es bastante homogénea a lo largo de las cuatro estaciones en grandes cantidades, y las temperaturas durante el invierno son las más bajas registradas en toda la provincia.

En cuanto a las precipitaciones podemos decir que en zonas próximas a Paraguay no se supera los 1100 mm, y por las cercanías del río Uruguay se registran cantidades entre 1200 y 1600 mm.

En toda la provincia las precipitaciones oscilan entre los 1200 mm y 1400 mm anuales, presentando un decrecimiento en dirección noreste-sudoeste como mencionamos

previamente. Por otro lado, la temperatura anual promedio entre ambos climas se encuentra entre los 19°C y 22°C, siendo más próximas a este último. Los valores máximos alcanzados suelen estar entre los 35°C y 40°C, mientras los mínimos se hallan alrededor de los 10°C y, en algunos casos, -4°C.

### Entre Ríos

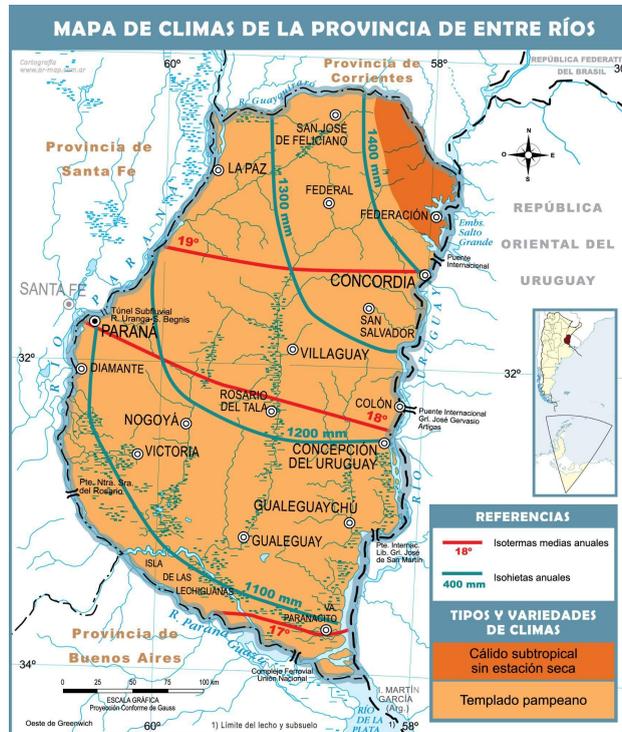


Figura N°31: Mapa de climas en la provincia de Entre Ríos

Nuevamente podemos identificar las mismas dos regiones climáticas que en el caso anterior: Templado pampeano y cálido subtropical sin estación seca, sin embargo ahora estamos ante una distribución opuesta. El mayor porcentaje de la superficie se encuentra cubierto por condiciones templadas, mientras que en una pequeña fracción en el norte tenemos un ambiente caracterizado por la eco región subtropical.

Las precipitaciones se presentan de manera bastante homogénea, siendo abundantes durante todo el año, incluso en los meses más secos la cantidad es apreciable. Se suelen registrar alrededor de 1200 mm anuales.

Con respecto a la temperatura, sufre un descenso de norte a sur y se vuelven cada vez más extremos mientras más al este estemos. Durante el verano se registra una temperatura promedio de 30°C en la zona oeste, mientras que en el este puede alcanzar los 41°C. En invierno ocurre algo similar, mientras que de un lado la temperatura es de unos 8°C en promedio, en el otro suelen vivirse heladas y temperaturas por debajo de 0°C.

Recorriendo norte a sur: áreas límites a Corrientes la temperatura anual promedio es de 20°C, suele mantenerse cerca de los 25°C durante el verano, y entre 10°C y 16°C en invierno, las precipitaciones superan los 1000 mm anuales. Yendo hacia el sur tenemos el descenso de temperatura mencionado, donde la temperatura media en verano oscila entre los 19°C y 23°C, mientras que en invierno entre los 7° C y 10° C con frecuentes heladas, siendo las precipitaciones, en promedio, inferiores a los 1000 mm anuales (descienden en invierno). En cuanto a humedad, se hace presente a medida que descendemos hacia el sur de la provincia.

## Santa Fe

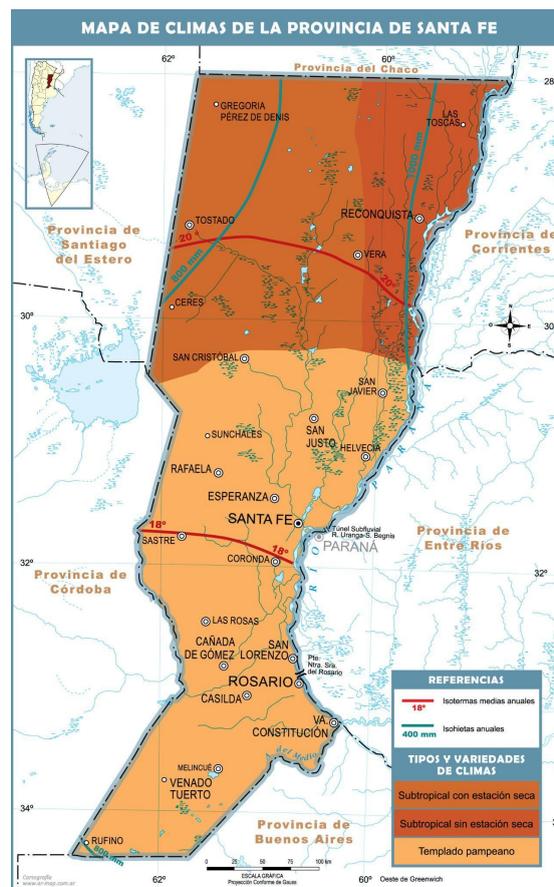


Figura N°32: Mapa de climas en la provincia de Santa Fe

Si tenemos en cuenta que Santa Fe es una de las provincias con mayor extensión longitudinal podemos anticipar que tendrá diferentes comportamientos climáticos. En la parte norte hallamos una región subtropical que se puede subclassificar hacia el oeste como “con estación seca”, y al este “sin estación seca”. Por otro lado, hacia el sur tenemos el ya conocido templado pampeano.

El clima subtropical sin estación seca se caracteriza por la abundancia de lluvias y una variación de temperatura anual muy baja, además de veranos cálidos e inviernos suaves, pero con altos valores de humedad durante todo el año.

En cambio, el clima subtropical con estación seca presenta grandes variaciones térmicas, junto con un invierno más grosero con cierta participación de heladas. Las precipitaciones cesan a lo largo del invierno pero no interfieren con la actividad de cultivos.

En general en estas zonas subtropicales las temperaturas se mantienen altas durante todo el año, con inviernos de corta duración y poco frío, y veranos más lluviosos. Presentando temperaturas anuales alrededor de los 21°C y precipitaciones entre 800 y 1100 mm anuales, las cuales, junto con la humedad, descienden hacia el oeste.

Por último, el templado pampeano se caracteriza por grandes cantidades de lluvias durante todo el año (siendo más intensas en el verano), superiores a los 800 mm anuales, y por cambios de temperaturas entre las estaciones más marcadas con una constante presencia de humedad (alrededor de 80% de humedad relativa anual) que se fortalece hacia el este de la provincia. En los inviernos puede alcanzar temperaturas debajo de los 0°C.

Gracias a la gran variedad de temperaturas, también llamado desequilibrio térmico, a lo largo del territorio santafesino, existe una gran diversidad en cuanto a actividades agropecuarias y agricultoras.

Con respecto a estadísticas más generales tenemos que la temperatura media anual varía entre los 15°C y 21°C, en el sur y norte respectivamente. En verano la máxima anual es de 27°C con zonas donde puede alcanzar los 40°C o 43°C, mientras que en invierno el promedio es de 9°C pero como mínimo se llega a los -1°C. Si hablamos de las precipitaciones, en la parte oeste se tienen unos 950 mm anuales, mientras que en el este unos 1100 mm anuales.

Consideramos que la presencia de humedad es un factor decisivo en cuanto al almacenamiento del producto final ya que este presenta propiedades higroscópicas. Junto con este se encuentra la magnitud y distribución de las precipitaciones, por el hecho de que el cultivo del producto/grano que nos otorga la materia prima, el arroz, se ve beneficiado por las grandes cantidades de lluvia durante su crecimiento.

Generalmente el sembrado se realiza a lo largo de los meses septiembre y octubre mientras que la cosecha abarca el periodo desde febrero hasta abril. Con esta información en mente, podemos deducir que conviene la presencia de precipitaciones en meses posteriores a la siembra, junto con un gran porcentaje de humedad.

También hay que tener en cuenta que temperaturas superiores de los 40°C afectan negativamente a la germinación del grano, siendo que los valores óptimos suelen estar entre los 30°C y 35°C. Alrededor de unos 23°C son necesarios para un buen crecimiento del brote. Luego, el correcto florecimiento ocurre a temperaturas mayores a 15°C, con óptimo de 30°C. Cabe destacar que si bien vemos que las altas temperaturas favorecen el proceso de cultivo, las noches frías son un aporte positivo para la maduración de los granos.

### 2.9.1. Humedad

Como Santa Fe presenta un porcentaje importante de humedad a lo largo de la zona más amplia de su extensión, podemos decir que recibirá el menor puntaje teniendo en cuenta su incompatibilidad con las condiciones de almacenaje. Luego, tenemos una situación similar entre Entre Ríos y Corrientes, como criterio para esta elección tuvimos en cuenta la participación de la humedad por todo el territorio. Por ello, vemos que en Corrientes cerca de la zona media-sur la humedad es bastante baja con respecto a la que presenta la región Templado pampeano que presenta Entre Ríos. Entonces, este último tendrá un puntaje poco menor que Corrientes.

### 2.9.2. Temperatura

Si tenemos en cuenta no solamente la temperatura óptima para el cultivo sino también que cualquier tipo de condición extrema no es beneficiosa para el proceso, decidimos que Santa Fe es el mejor puntuado. Debido a que sus temperaturas medias anuales corresponden con las necesarias para el crecimiento de los granos, y su temperatura máxima anual no resulta ser muy extrema como en el caso de las otras provincias. El puntaje más bajo le corresponde a Corrientes, ya que presenta cierta tendencia a altas temperaturas en la mayor parte de su territorio, en cambio Entre Ríos ofrece temperaturas máximas menos agobiantes y, aun así, beneficiosa para el cultivo.

### 2.9.3. Precipitación

Consideramos que a la provincia de Corrientes le corresponde el mayor puntaje ya que si bien presenta los mm anuales mayores, se concentran desde finales de primavera hasta la transición al otoño, época del sembrado y cosecha del arroz. Luego entre Entre Ríos y Santa Fe decidimos por el segundo, ya que los mm anuales son levemente menores a lo largo del año.

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Corrientes	Puntaje Parcial	Santa Fe	Puntaje Parcial	Entre Ríos	Puntaje Parcial
Clima	4	Precipitaciones	2	9	18	6	12	7	14
		Temperatura	1	5	5	8	8	6	6
		Humedad	1	7	7	3	3	6	6
			Subtotal	30		23		26	

## 3. Matriz de Macroubicación

Finalizado el análisis de cada ítem, se presenta la matriz de macroubicación. En la cual es posible apreciar que Corrientes se corona como la provincia más apta para la instalación y desarrollo de nuestro proyecto, con un puntaje final de 814 puntos, diferenciándose de

Entre Ríos por 134 puntos y de Santa Fe, con una diferencia más amplia, superando los 200 puntos.

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Corrientes	Puntaje Parcial	Santa Fe	Puntaje Parcial	Entre Ríos	Puntaje Parcial
Materia Prima	35	Disponibilidad	25	10	250	3	75	6	150
		Seguridad de entrega	10	9	90	6	60	9	90
Subtotal				340		135		240	
Vías de Comunicación	14	Rutas	8	8	64	9	72	8	64
		Puertos	4	5	20	6	24	6	24
		Red Ferroviaria	2	5	10	7	14	5	10
Subtotal				94		110		98	
Agua	11	Superficial	4	10	40	8	32	10	40
		Subterránea	7	10	70	7	49	8	56
Subtotal				110		81		96	
Parques Industriales	9	Cantidad	4	4	16	10	40	7	28
		Disponibilidad	5	9	45	7	35	9	45
Subtotal				61		40		28	
Energía	9	Electricidad	6	10	60	8	48	10	60
		Gas	3	6	18	9	27	6	18
Subtotal				78		75		78	
Mercado	6	Cantidad	6	2	12	5	30	2	12
Subtotal				12		30		12	
Mano de Obra	6	Cantidad	3	7	21	10	30	8	24
		Calidad	3	8	24	10	30	8	24
Subtotal				45		60		48	
Marco Legal	6	Beneficios	4	8	32	9	36	10	40
		Normativa Ambiental	2	6	12	7	14	7	14
Subtotal				44		50		54	
Clima	4	Precipitaciones	2	9	18	6	12	7	14
		Temperatura	1	5	5	8	8	6	6
		Humedad	1	7	7	3	3	6	6
Subtotal				30		23		26	
<b>Total</b>	<b>100</b>			<b>814</b>		<b>604</b>		<b>680</b>	

Tabla N°4: Matriz de Macroubicación

#### 4. Microubicación

En esta sección se buscará el departamento perteneciente a la provincia de Corrientes que presente las mejores condiciones para la instalación de la planta productora de Bioetanol.

La provincia de Corrientes tiene una superficie de 522 km<sup>2</sup> en la que se disponen 25 departamentos. A continuación, se observa el mapa de Corrientes con sus departamentos.

Departamentos de la provincia de Corrientes



Figura N°33: Departamentos de la provincia de Corrientes

Dentro de la provincia podemos reconocer cuatro zonas productoras: Paraná Sur, Paraná Medio, Costa del Río Uruguay y Centro Sur.

La Costa del Río Uruguay y Centro Sur concentran el mayor porcentaje de producción de arroz debido a las mejores condiciones agroecológicas, tecnologías aplicadas, explotaciones de mayor superficie y productores empresarios.

Se estudiarán en detalle los siguientes ítems para determinar la Microubicación de nuestra planta por departamento:

- Materia prima
- Vías de comunicación
- Terreno
- Mano de obra
- Mercado

#### 4.1. Materia Prima

En este ítem evaluaremos la distancia que habrá entre las arroceras que nos proveerán de cáscara de arroz y los parques industriales que tiene la provincia de Corrientes, así como también la cantidad de materia prima por departamentos.

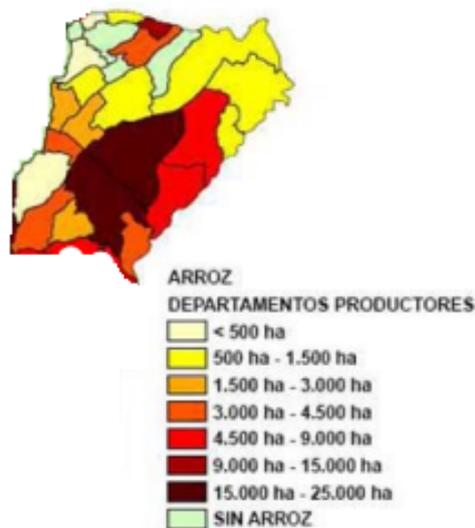


Figura N°34: Mapa de la siembra de arroz en Corrientes

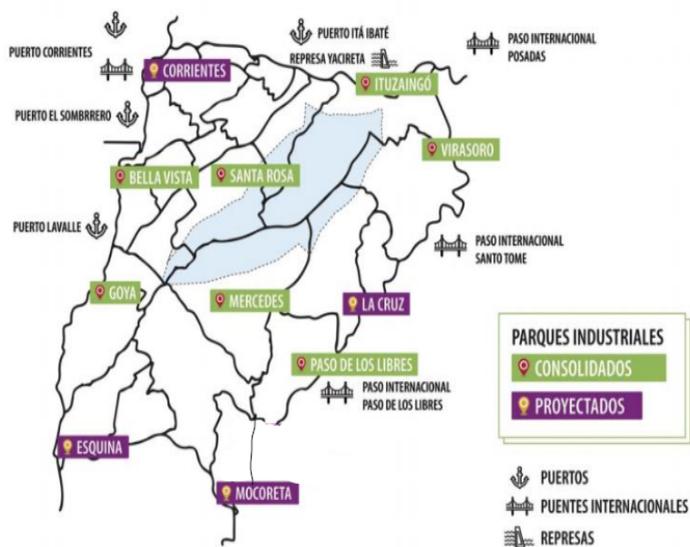


Figura N°35: Parques Industriales de Corrientes

Aquí podemos observar los departamentos con mayor siembra de arroz, sumado a los departamentos que cuentan con al menos un parque industrial en su extensión, deduciendo de allí que estudiaremos para nuestra microubicación los departamentos de Mercedes, San Martín y Monte Caseros. Se llega a esta decisión debido a que necesitaremos una importante cantidad de esta materia prima, que junto con la disponibilidad de terreno, son factores determinantes en la ubicación de la planta.

#### 4.1.1 Superficie sembrada

Según el mapa provisto anteriormente, se puede observar que el departamento de Mercedes tiene de 15.000 a 25.000 hectáreas de arroz, San Martín tiene de 4.500 a 9.000 hectáreas de siembra mientras que Monte Caseros tiene una superficie menor, siendo esta de 3.000 a 4.500 hectáreas.

Por la gran superficie de siembra, traduciéndose ésta en cantidad de materia prima, Mercedes tendrá puntaje máximo, seguido de San Martín con un puntaje un poco menor, finalizando con Monte Caseros puntuado en menor medida que ambos.

#### 4.1.2. Distancia a parques industriales

A continuación estudiaremos uno por uno los departamentos seleccionados para saber cuál presenta menor distancia desde los molinos a los parques industriales.

Para la puntuación se hará una ponderación de las distancias de parques en cada departamento:

Arroceras	Distancia desde el parque industrial [km]		
	Mercedes	Monte Caseros	San Martín
Arroz Danubio	230	401	420
Molino Arroceros Victoria	239	410	430
Molino Arroceros Zdanovicz SRL	97	268	287
Molino Arroceros La Rosario	132	279	323
Arrocera Manduré	85	156	127
Taipey SRL	128	282	319
Alimentaria Correntina SRL	239	409	342
Estancia Oscuro	101	215	293
Adeco Agropecuaria S.A.	6	171	196
Ea. Yuquerí	56	225	166
Ea. Manduré	88	156	129
Ea. La Susana	268	381	86,2
Bella Unión Agrícola S.A.	96	145	137

Ea. San Ramón	179	222	312
Ea. Lago del Quiyatí	92	177	99,6
Storti S.A.	286	335	93,8
Molinos Libres	120	152	93,1
GUAYQUIRARO	246	248	351
Ea. Santa Victorina	67	103	193
Consortio Cuenca Ayuí	125	143	139
Irundy SAAyG	84	187	108
Tizan S.A.	124	157	96,6
Estancia Timboy	136	44,5	209
Fideicomiso Agrolibres	124	157	96,6
Estancia Doña Marina	346	525	359
<b>Promedio</b>	<b>148</b>	<b>238</b>	<b>216</b>

Tabla N°5: Molinos arroceros en la provincia de Corrientes

Debido a esto, en la matriz de microubicación se dará a Mercedes la mayor de las puntuaciones por contar con menor distancia promedio entre los molinos y el parque industrial, seguido vendrá San Martín con una puntuación moderada por presentar una distancia un poco mayor, seguido de Monte Caseros que tiene un promedio de distancia medianamente elevado.

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Mercedes	Puntaje Parcial	Monte Caseros	Puntaje Parcial	San Martín	Puntaje Parcial
Materia Prima	40	Superficie sembrada	20	10	200	4	80	6	120
		Distancia	20	8	160	4	80	6	120
			Subtotal	360		160		240	

#### 4.2. Terreno

En este ítem comprobaremos la disponibilidad de parques y áreas industriales en los departamentos de interés.

##### 4.2.1. Disponibilidad

La provincia cuenta con una cantidad limitada de parques y áreas industriales y, como se mencionó antes, cada uno de los departamentos estudiados cuenta con un parque industrial propio y aquí se evaluará su disponibilidad de lotes.

## Mercedes

- Parque industrial Mercedes - Mercedes

Posee un total de 57,2 ha y cuenta con disponibilidad para instalarse.

## San Martín

- Parque industrial Cruz - San Martín

Cuenta con una disponibilidad de 28 lotes de 1 ha y 15 lotes de ½ ha.

## Monte Caseros

- Parque industrial Mocoretá - Monte Caseros

Este parque también cuenta con gran disponibilidad y un total de 21,8 ha.

Siguiendo la síntesis realizada, podemos decir que para disponibilidad, le daremos al departamento de Mercedes un puntaje perfecto por contar con gran disponibilidad y mayor superficie, seguido de San Martín con buen puntaje aunque menor por tener menos superficie y por último Monte Caseros, que si bien cuenta con disponibilidad, no tiene la superficie de las otras dos opciones.

Dicho esto, veremos que los puntajes para los 3 departamentos elegidos serán:

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	<b>Mercedes</b>	Puntaje Parcial	<b>Monte Caseros</b>	Puntaje Parcial	<b>San Martín</b>	Puntaje Parcial
Terreno	20	Disponibilidad	20	10	200	6	120	8	160
			Subtotal	200		120		160	

### 4.3. Mano de obra

Así como en lo analizado para la matriz de macroubicación, nuevamente, consideramos tanto el factor de cantidad de habitantes como la calidad en su nivel de educación, con la diferencia que esta vez nos centraremos solo en los departamentos elegidos para la posible localización de nuestra planta.

#### 4.3.1. Cantidad

Como fuente de información recurrimos una vez más a los datos recolectados por el Censo Nacional de 2010, INDEC. Vemos en el siguiente cuadro tanto la población total registrada por departamento como la que consideramos activa.

Vemos que Mercedes tiene una mayor extensión geográfica, así como la mayor cantidad de personas, por lo tanto le corresponde un puntaje mayor al resto, aunque similar a Monte Caseros.

	<b>Población Total</b>	<b>Población Activa (15-65)</b>
<b>Mercedes</b>	40.667	25.193
<b>San Martín</b>	13.140	7.763
<b>Monte Caseros</b>	36.338	22.961

Tabla N°6: Población total y activa en los departamentos seleccionados

#### 4.3.2. Nivel de Formación

Para la evaluación de este ítem se utilizaron datos proporcionados por el Ministerio de Educación de Corrientes, que se ven resumidos en la tabla a continuación.

En ella se puede ver que la desventaja que presenta el departamento de San Martín en cuanto a cantidad de personas se reitera pero, en esta oportunidad, con el nivel de formación alcanzado por dichas personas. Por lo tanto, se le asignará el menor puntaje.

Por otro lado, los otros dos departamentos tienen estadísticas similares, aunque a medida que el nivel de educación es superior comienzan a verse diferencias, donde el departamento de Mercedes saca provecho, exceptuando la columna Secundario no Universitario. Sin embargo, dicha diferencia se ve recompensada con aquellos alumnos que asisten a otro tipo de servicios educativos (Educación para adultos, educación indígena, educación especial, bachillerato técnico).

Por ende, en términos generales observando el porcentaje de alumnos que abarca cada departamento, Mercedes posee el mayor número. Siendo el segundo lugar Monte Caseros con una pequeña diferencia entre los valores.

División Político Territorial	Alumnos	%	Nivel				Otros Servicios Educativos
			Inicial	Primaria	Secundaria	SNU	
<b>TOTAL</b>	<b>392.859</b>	<b>100%</b>	<b>44.540</b>	<b>141.471</b>	<b>123.589</b>	<b>40.540</b>	<b>42.719</b>
BELLA VISTA	13.615	3,5%	1.566	5.307	4.321	1.155	1.266
BERON DE ASTRADA	859	0,2%	98	381	331	49	
CAPITAL	143.058	36,4%	18.410	45.157	43.812	21.052	14.627
CONCEPCION	9.102	2,3%	1.042	3.968	2.615	312	1.165
CURUZU CUATIA	15.856	4,0%	1.728	6.498	4.840	1.301	1.489
EMPEDRADO	5.534	1,4%	561	2.202	1.930	502	339
ESQUINA	11.647	3,0%	1.359	5.001	4.124	493	670
GENERAL ALVEAR	2.890	0,7%	292	1.125	977	332	164
GENERAL PAZ	6.217	1,6%	545	1.840	1.937	732	1.163
GOYA	34.138	8,7%	3.569	12.881	10.204	3.225	4.259
ITATI	4.109	1,0%	405	1.298	1.165	573	668
ITUZAINGO	12.355	3,1%	1.200	4.560	4.573	755	1.267
LAVALLE	11.218	2,9%	1.383	5.119	3.393	426	897
MBURUCUYA	3.855	1,0%	295	1.455	1.203	300	602
MERCEDES	16.062	4,1%	1.809	6.091	4.795	877	2.490
MONTE CASEROS	13.892	3,5%	1.298	4.626	4.551	1.251	2.166
PASO DE LOS LIBRES	19.027	4,8%	2.004	7.825	6.356	938	1.904
SALADAS	9.458	2,4%	857	3.578	3.057	656	1.310
SAN COSME	5.079	1,3%	470	1.791	2.025	165	628
SAN LUIS DEL PALMAR	7.441	1,9%	644	2.649	2.449	760	939
SAN MARTIN	5.422	1,4%	629	2.175	1.751	380	487
SAN MIGUEL	5.609	1,4%	466	1.914	1.748	968	513
SAN ROQUE	7.335	1,9%	738	2.828	2.328	777	664
SANTO TOME	25.324	6,4%	2.874	9.882	7.855	2.145	2.568
SAUCE	3.757	1,0%	298	1.320	1.249	416	474

Tabla N°7: Alumnos por Nivel, Según División Política Territorial, Provincia de Corrientes (2017)

Creemos que es importante destacar la cantidad de establecimientos educativos que cada departamento posee como una posible nueva mirada para una mejor asignación de puntos.

División Político Territorial	Unidades de Servicio	%	Nivel				Otros Servicios Educativos
			Inicial	Primaria	Secundaria	SNU	
<b>TOTAL</b>	<b>2.856</b>	<b>100%</b>	<b>951</b>	<b>1.096</b>	<b>461</b>	<b>102</b>	<b>246</b>
BELLA VISTA	99	3,5%	37	39	13	2	8
BERON DE ASTRADA	18	0,6%	5	7	3	2	1
CAPITAL	582	20,4%	194	145	123	26	94
CONCEPCION	95	3,3%	30	42	10	5	8
CURUZU CUATIA	134	4,7%	49	55	19	3	8
EMPEDRADO	86	3,0%	30	45	8	1	2
ESQUINA	141	4,9%	50	65	17	3	6
GENERAL ALVEAR	35	1,2%	12	14	4	2	3
GENERAL PAZ	95	3,3%	31	39	14	4	7
GOYA	259	9,1%	91	102	44	6	16
ITATI	40	1,4%	12	15	6	3	4
ITUZAINGO	107	3,7%	32	41	21	4	9
LAVALLE	108	3,8%	38	45	18	3	4
MBURUCUYA	46	1,6%	15	20	7	2	2
MERCEDES	120	4,2%	41	50	17	2	10
MONTE CASEROS	120	4,2%	36	47	20	7	10
PASO DE LOS LIBRES	103	3,6%	35	39	17	3	9
SALADAS	89	3,1%	30	34	12	2	11
SAN COSME	64	2,2%	20	27	10	4	3
SAN LUIS DEL PALMAR	101	3,5%	33	49	13	2	4
SAN MARTIN	73	2,6%	21	33	13	2	4
SAN MIGUEL	52	1,8%	16	22	6	5	3
SAN ROQUE	77	2,7%	23	37	13	2	2
SANTO TOME	160	5,6%	53	62	26	5	14
SAUCE	52	1,8%	17	22	7	2	4

Tabla N°8: Cantidad de Unidades de Servicio Por Nivel, Según División Política Territorial, Provincia de Corrientes (2017)

Es claro que, entre los departamentos a estudiar, no existe gran diferencia en cuanto a establecimientos. Por lo tanto, la conclusión anterior sigue en pie. Lo cual se muestra a continuación:

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Mercedes	Puntaje Parcial	Monte Caseros	Puntaje Parcial	San Martín	Puntaje Parcial
Mano de Obra	10	Cantidad	5	8	35	7	40	4	15
		Nivel de Formación	5	7	35	6	35	4	10

#### 4.4. Vías de comunicación

En este ítem se evaluarán las rutas que atraviesan los tres departamentos seleccionados, cabe aclarar que no se tendrán en cuenta los puertos ni la red ferroviaria ya que estas vías no tienen gran incidencia en los departamentos de interés.

#### 4.4.1. Rutas

Para el estudio de este ítem se cuenta con el mapa de la provincia de Corrientes con sus respectivos departamentos y con las rutas provinciales y nacionales que recorren dicha provincia.

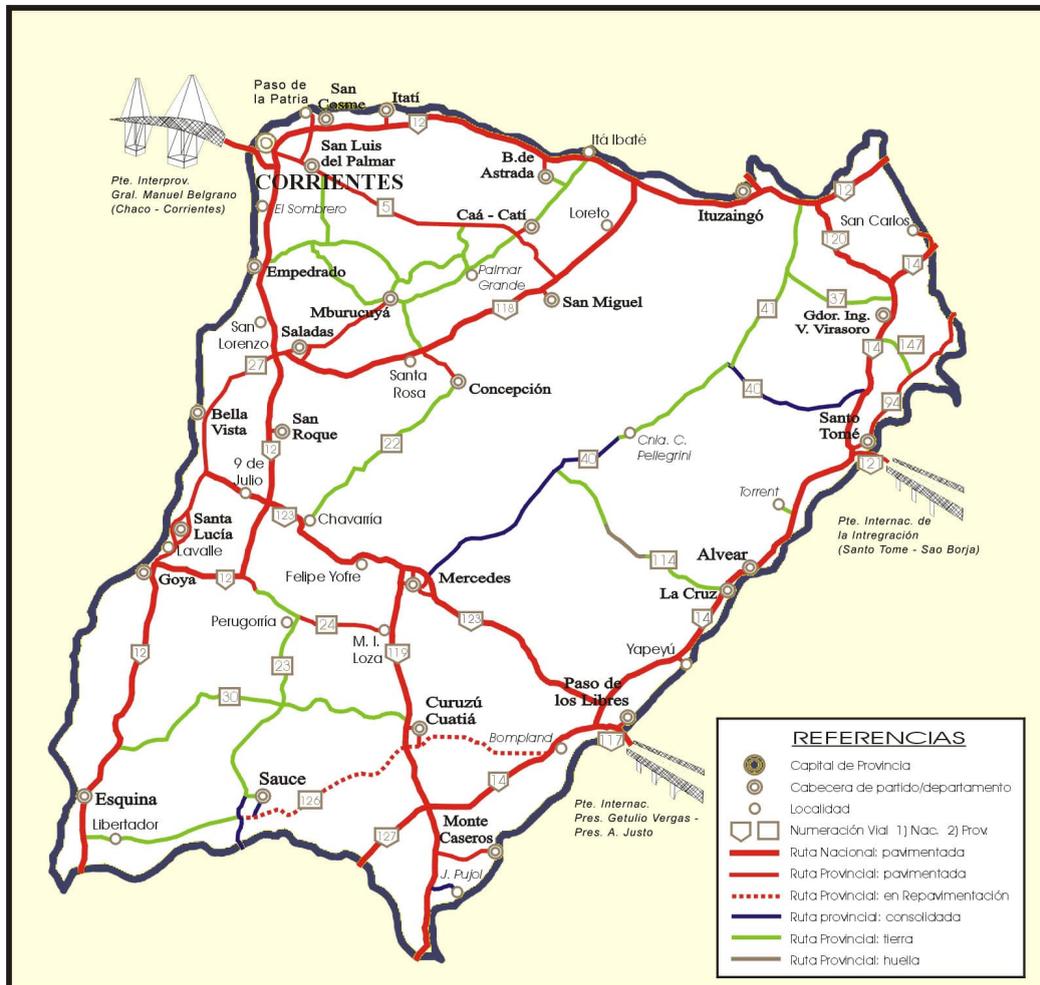


Figura N°36: Mapa de las rutas de Corrientes

#### Mercedes

Por este departamento pasan la Ruta Nacional N°119 que conecta Mercedes con el sureste de Corrientes y la N°123 que recorre la provincia de este a oeste atravesando el departamento de Mercedes. Además, cuenta con las Rutas Provinciales N°40 y N°114.

#### Monte Caseros

Por Monte Caseros pasa la Ruta Nacional N°119 que, como se mencionó anteriormente, conecta el sureste de la provincia con el departamento de Mercedes. También se encuentra la Ruta Nacional N°127 que se transforma en la N°14 y bordea todo el este de la provincia. En este departamento también se cuenta con dos rutas provinciales que se conectan con la Ruta Nacional N°119.

## San Martín

En este departamento se encuentra la Ruta Nacional N°14, que, como se mencionó anteriormente, recorre todo el este de la provincia de manera vertical y las rutas provinciales N°40 y 114, siendo la RP N°114 de tierra.

Por lo que al completar la matriz, en este ítem, el departamento con menor puntaje por disponer de menos rutas será San Martín, mientras que Mercedes y Monte Caseros tendrán un puntaje levemente mayor e igual, por disponer de la misma cantidad de rutas tanto provinciales como nacionales.

La matriz de microubicación para este ítem queda:

Ítem	Puntos	Subitem	Subpuntos	Mercedes	Puntaje Parcial	Monte Caseros	Puntaje Parcial	San Martín	Puntaje Parcial
Vías de Comunicación	20	Rutas	20	7	140	7	140	6	120
			Subtotal	140		140		120	

### 4.5. Mercado

Como se realizó anteriormente para la macroubicación, en este ítem se estudiará la posibilidad de mercado de los distintos departamentos, evaluando la distancia promedio desde éstos hacia las refinerías más cercanas. Para este análisis se utilizará nuevamente la Tabla N°1.

En el siguiente cuadro se observan las distancias entre las refinerías más cercanas a los departamentos en estudio.

Refinería	Distancia [Km]		
	Mercedes	Monte Caseros	San Martín
Barranqueras - Chaco	258	415	490
Pto. Vilelas - Chaco	260	420	490
Concepción del Uruguay - Entre Ríos	400	400	515
San Lorenzo - Santa Fe	600	520	720
Arroyo Seco - Santa Fe	780	540	900
Promedio	459,5	459	623

Tabla N°9: Distancia de Refinerías a departamentos estudiados

Analizando la distancia de las refinerías de las provincias más cercanas a los departamentos seleccionados, se observa que San Martín tiene una distancia mayor a las refinerías, en comparación con Mercedes y Monte Caseros con un promedio de 623 km. En cuanto a los otros dos departamentos, Mercedes y Monte Caseros, tienen en promedio la misma

distancia a las refinerías más cercanas. Igualmente, hay que destacar que Mercedes es el departamento que posee a menor distancia dos refinerías situadas en la provincia de Chaco.

Por la gran cantidad de bioetanol que se producirá, se requerirán de varias refinerías para su posterior proceso; por este motivo se debería ponderar con un mejor puntaje a aquel departamento que, en promedio, esté más cercano a más refinerías. Como en este caso dos departamentos tienen en promedio el mismo valor, se tendrá también en cuenta para la puntuación, la mayor cercanía que posee Mercedes a dos refinerías. Obteniendo este departamento el mejor puntaje, seguido por Monte Caseros y, en último lugar, San Martín. Completando la matriz siguiendo este razonamiento queda:

Ítem	Puntos	Subítem	Subpuntos	Mercedes	Puntaje Parcial	Monte Caseros	Puntaje Parcial	San Martín	Puntaje Parcial
Mercado	10	Cantidad	10	8	80	7	70	5	50
			Subtotal	80		70		50	

## 5. Matriz de Microubicación

Al finalizar el estudio de todos los ítems y subítems de la matriz de microubicación, ésta queda conformada de la siguiente manera:

Ítem	Puntos	Subítem	Subpuntos	Mercedes	Puntaje Parcial	Monte Caseros	Puntaje Parcial	San Martín	Puntaje Parcial
Materia Prima	40	Superficie sembrada	20	10	200	4	80	6	120
		Distancia	20	8	160	4	80	6	120
			Subtotal	360		160		240	
Terreno	20	Disponibilidad	20	10	200	6	120	8	160
			Subtotal	200		120		160	
Mano de Obra	10	Cantidad	5	8	40	7	35	4	20
		Nivel de Formación	5	7	35	6	30	4	20
			Subtotal	75		65		40	
Vías de Comunicación	20	Rutas	20	7	140	7	140	6	120
			Subtotal	140		140		120	
Mercado	10	Cantidad	10	8	80	7	70	5	50
			Subtotal	80		70		50	
<b>Total</b>	<b>100</b>			<b>855</b>		<b>555</b>		<b>610</b>	

Tabla N°10: Matriz de Microubicación

Como se observa, el departamento de Mercedes es el que mayor puntaje posee, por lo que será el departamento elegido para ubicar nuestra planta de producción de bioetanol.

## **6. Localización**

Ya que el departamento de Mercedes solo presenta un parque industrial en su territorio, se hará el estudio de los servicios que éste dispone para definir si es apto para la ubicación final de la planta de producción.

El parque industrial de Mercedes se encuentra ubicado en un punto estratégico, justo en el corazón de la provincia y en el principal polo arrocerero del país. Dentro de sus grandes características está el hecho de que se sostiene en la diversidad de conexión vial, pudiendo sumarse al tendido ferroviario.

Este predio abarca 57 hectáreas que están totalmente dispuestas con gran infraestructura para cualquier industria y 17 lotes disponibles, listos para la instalación de nuestra planta.

Además de esto, el parque cuenta con pórtico de acceso, casilla de seguridad, 1000m lineales de pavimento y 400m de ripio, red de alumbrado público, servicios de energía para las industrias, red de agua potable, gas natural y balanza.

Algunas de las empresas localizadas en este parque son las siguientes:

- Vademarco S.A. (Grupo Equitecnica-Fabricación de máquinas compactadoras de residuos, prensas enfardadoras, tanques neumáticos, estufas a biomasa y sistemas solares térmicos para agua caliente sanitaria)
- Nutricorrientes S.A. (Molienda de arroz)
- Italvarroz SRL (Cultivo de arroz)
- Neavade S.A. (Fabricación de calefones solares)

Como se observa, este parque cuenta con todos los servicios requeridos para el correcto funcionamiento de nuestra planta, por lo que queda definida la localización de la planta de producción de bioetanol en el Parque Industrial Mercedes.

Finalmente, se selecciona el lote N°16 de 3,5 ha de superficie con medidas de 125 m de ancho por 280 m de largo, con un costo de 40.212.270 \$ARS (217.000 USD) para la ubicación en el siguiente mapa; este fue elegido por cercanía al molino “NutriCorrientes” que también está dentro del mismo predio, facilitando traslados de materia prima.



Figura N°37: Selección de lote dentro del Parque Industrial Mercedes

## 7. Bibliografía

- AGENCIA NACIONAL DE PROMOCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN, EL DESARROLLO TECNOLÓGICO Y LA INNOVACIÓN. (n.d.). *Mapa de legislación socio ambiental*. Agencia I+D+i. [http://www.agencia.mincyt.gob.ar/frontend/agencia/mapa\\_ambiental](http://www.agencia.mincyt.gob.ar/frontend/agencia/mapa_ambiental)
- Agritotal.com. (2016, Diciembre 22). Luego de 21 años vuelve a construirse un nuevo puerto en el país. *Agritotal*. <https://www.agritotal.com/nota/25533-luego-de-21-anos-vuelve-a-construirse-un-nuevo-puerto-en-el-pais/>
- Breard, N., & Flinta, M. (09-11-2011). Sala de Sesiones de la Honorable Legislatura de la Provincia de Corrientes. In *LEY Nº 6085* (p. 5). <http://www.hcdcorrientes.gov.ar/Leyes-texto/Ley6085.pdf>
- CAUCE. (2019). *LA ACTIVIDAD PORTUARIA Y SU PAPEL EN ENTRE RÍOS*. <https://cauceecologico.org/wp-content/uploads/2021/01/LA-ACTIVIDAD-PORTUARIA-Y-SU-PAPEL-EN-ENTRE-RIOS-3.pdf>
- *Clima de Provincias Argentinas*. (n.d.). Todo Argentina. <https://www.todo-argentina.net/geografia/provincias/index.htm>
- *Corrientes Argentina: Historia, ciudades, clima, turismo, playas y más*. (n.d.). Argentina lo mejor. <https://argentalomejor.com/c-provincias/corrientes-argentina/>
- Di Paola, M. M., & Área de Cambio Global de FARN. (2013). *La producción de biocombustibles en Argentina* [INFORME AMBIENTAL ANUAL FARN]. [http://www.altamirandayasoc.com.ar/archivos/produccion\\_de\\_biocombustibles\\_en\\_argentina\\_por\\_maria\\_marta\\_di\\_paola.pdf](http://www.altamirandayasoc.com.ar/archivos/produccion_de_biocombustibles_en_argentina_por_maria_marta_di_paola.pdf)
- *EL CULTIVO DEL ARROZ*. (n.d.). infoAgro. <https://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm>
- El Mercosur buscará gestión sostenible del acuífero Guaraní. (2020, Noviembre 5). *La Nación*.
- Estación Meteorológica ICAA. (n.d.). *AÑO 2020 FUE EL AÑO MÁS SECO Y CÁLIDO DE LOS ÚLTIMOS AÑOS*. ICAA. Instituto Correntino del Agua y del Ambiente. <https://icaa.gov.ar/estacion-icaa-ano-2020-fue-ano-mas-seco-calido-los-ultimos-anos/>
- FEDENAR. (n.d.). *Cadena del arroz*. Plan estratégico agroalimentario y agroindustrial participativo y federal.

[http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/Paginas/PEA\\_ARROZ\\_FEDENAR\\_FINAL\\_final.pdf](http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/Paginas/PEA_ARROZ_FEDENAR_FINAL_final.pdf)

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (n.d.). *Censo 2010*. INDEC. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- INTA. (n.d.). *Agua para riego*. Agricultura. [http://www.agrobit.com/Documentos/A\\_3\\_Riego/716\\_ag\\_000003ri\[1\].htm](http://www.agrobit.com/Documentos/A_3_Riego/716_ag_000003ri[1].htm)
- Intertournet. (n.d.). *Rutas Nacionales en la Provincia de Santa Fe*. Intertournet. <http://www.intertournet.com.ar/rutas/rnsfe.htm>
- Laboratorio Pedagógico-Gobierno de Santa Fe. (n.d.). *Condiciones naturales: hidrografía*. Santa Fe, mi país. <https://sites.google.com/site/santafemipais/condiciones-naturales/condiciones-naturales-hidrografia>
- *La falta de humedad no sería impedimento para sembrar trigo en el 2020*. (2020, 04 03). Agrositio. <https://www.agrositio.com.ar/noticia/209476-la-falta-de-humedad-no-seria-impedimento-para-sembrar-trigo-en-el-2020>
- *Ley N°26.093*. (n.d.). *Trivia*. (2006, 05, 02) <http://data.triviasp.com.ar/files/l26093.htm>
- *Leyes Provinciales Vigentes*. (n.d.). SAJ - Sistema Argentino de Información Jurídica. <http://www.saj.gob.ar/buscador/leyes-provinciales-vigentes>
- Mapoteca Argentina. (n.d.). <http://mapoteca.educ.ar/.files/index.html.1.27.html>
- Ministerio de Educación de Corrientes. (n.d.). *Corrientes*. Ministerio de educación.
- Pupareli, S. (2016). *FERROCARRILES DE CARGA PARA EL NORTE ARGENTINO. PROGRAMA INTERDISCIPLINARIO SOBRE TRANSPORTE – UBA*. [https://www.uba.ar/archivos\\_secyt/image/PIUBAT%20-%20BELGRANO%20CARGAS%20\\_%20PIUBAT%20puparelli.pdf](https://www.uba.ar/archivos_secyt/image/PIUBAT%20-%20BELGRANO%20CARGAS%20_%20PIUBAT%20puparelli.pdf)
- RED PARQUES. (2019, Agosto 15). Parques industriales. *Desarrollo industrial Argentino*, 1(20). <http://www.redparques.com.ar/edicion-20/>
- RENPI. (2021). *Parques y Áreas industriales*. Registro Nacional de Parques Industriales. <https://www.datos.gob.ar/dataset/produccion-registro-nacional-parques-industriales-renpi>

- *Río Corrientes*. (2020, Enero 16). Ríos del planeta. <https://riosdelplaneta.com/rio-corrientes/>
- *Rutas y Accesos a Colón*. (n.d.). Entre Ríos-Colón. <http://www.entrerios-colon.com.ar/rutasyaccesos.htm>
- SCHAPIRO, G. S., & CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. (DICIEMBRE 2010). *BIOCOMBUSTIBLES ASPECTOS TÉCNICO-LEGALES*. <http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/sites/2/2010/01/48322.pdf>
- SOLO CORRIENTES. (n.d.). *RUTAS PROVINCIALES DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES*. <http://solocorrientes.blogspot.com/2011/09/rutas-provinciales-de-la-provincia-de.html>
- Weather Atlas. (n.d.). *Pronóstico del tiempo Argentina*. [weather-atlas. https://www.weather-atlas.com/es/argentin](https://www.weather-atlas.com/es/argentin)



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo IV: Descripción de Proceso**

## Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>106</b>
<b>2. Descripción general.....</b>	<b>106</b>
<b>3. Obtención de celulosa.....</b>	<b>106</b>
3.1. Molienda.....	106
3.2. Pretratamiento Acetosolv.....	108
3.3. Separación de fases.....	110
3.4. Separador de sólidos.....	112
3.5. Recuperación solvente orgánico.....	113
<b>4. Hidrólisis enzimática.....</b>	<b>114</b>
<b>5. Fermentación enzimática.....</b>	<b>116</b>
5.1. Captación de CO <sub>2</sub> .....	118
<b>6. Purificación.....</b>	<b>119</b>
6.1. Destilación.....	119
6.2. Deshidratación.....	120
<b>7. Diagramas de Bloques.....</b>	<b>122</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>124</b>

## Índice de Figuras

Figura N°1: Efecto del tamaño de partícula en el rendimiento de hidrólisis.....	107
Figura N°2: Molino de discos.....	108
Figura N°3: Efecto de la reacción y contenido de agua en el rendimiento de conversión de Xilosa.....	110
Figura N°4: Centrífuga de tornillo helicoidal modelo decanter.....	111
Figura N°5: Clasificador de tornillo.....	113
Figura N°6: Columna de fraccionamiento continuo con secciones de rectificación y agotamiento.....	114
Figura N°7: Mecanismo de reacción de fermentación.....	116
Figura N°8: Modelo de recuperación de CO <sub>2</sub> .....	119
Figura N°9: Esquema del proceso de tamices moleculares.....	121
Figura N°10: Diagrama de bloques de operaciones del proceso.....	122
Figura N°11: Diagrama de bloques de equipos involucrados en el proceso.....	123

## **1. Objetivo**

En este capítulo se hará un desarrollo detallado de las operaciones que serán parte del proceso productivo, donde se convertirá la cáscara de arroz en bioetanol como producto final, enfocándonos en los rendimientos, las etapas involucradas y los equipos a utilizar.

## **2. Descripción general**

El creciente interés orientado hacia los biocombustibles en la última década ha disparado nuevos estudios e investigaciones acerca de estos. Con lo que respecta a nuestro país, la atención se encuentra sobre el biodiesel y bioetanol, sobre todo en este último, producido bajo determinadas condiciones para poder ser de segunda generación, motivos explicados en el capítulo introductorio.

El proceso productivo del bioetanol consiste básicamente en una hidrólisis, una fermentación enzimática y una posterior purificación, utilizando la biomasa obtenida de la cascarilla de arroz, de la cual será útil solo la celulosa extraída.

Existen dos tipos de fermentaciones, la directa y la indirecta. La fermentación directa es aplicada sobre los azúcares, mientras que la fermentación indirecta es aplicada sobre la materia orgánica y la biomasa, ambas ricas en azúcares; a éstas se les realiza un pretratamiento para poder mejorar su rendimiento y optimizar el aprovechamiento de la celulosa en ellas presente.

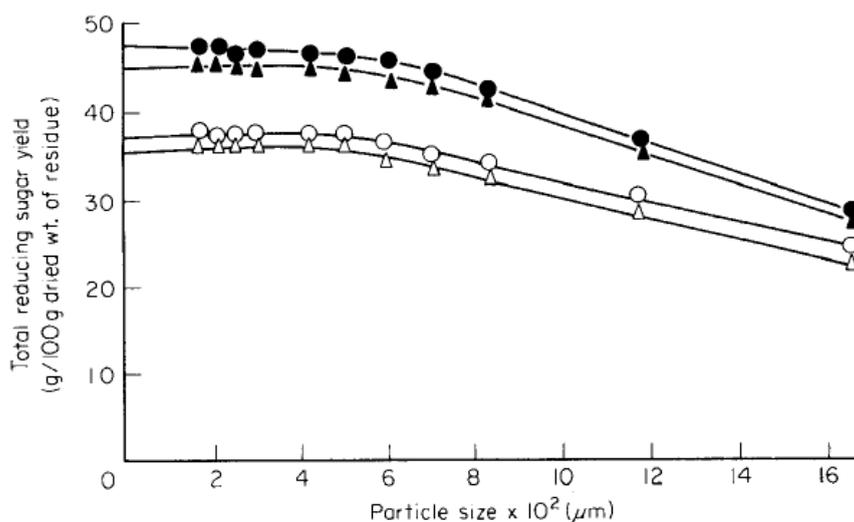
A lo largo de este proyecto se utilizará la segunda opción, la fermentación indirecta, por lo que la materia prima será sometida a un pretratamiento. Como se ha mencionado anteriormente, la cascarilla de arroz posee una estructura celulósica cristalina compleja, lo que dificulta la hidrólisis de los azúcares fermentables que lo componen; por este motivo se requiere del pretratamiento previo a las etapas de hidrólisis, fermentación y separación.

## **3. Obtención de celulosa**

### **3.1. Molienda**

Como en todo proceso dentro del ámbito industrial, son muy importantes las dimensiones de la materia a tratar, por eso es indispensable la realización de una etapa que se centre en la disminución de tamaño, ya que aumentará la superficie de contacto entre los componentes, y con ésta la velocidad y rendimiento de la operación.

El hecho de que la primera etapa del proceso sea una reacción química, hace que el contacto entre esta con los reactivos sea un factor crucial a tener en cuenta. Por ende, se realizará una disminución de tamaño de la cascarilla de arroz.



**Figure 1.** The effect of particle size on hydrolysis (acid concentration=0.6%). ○, Bagasse at 473 K for 30 min; △, rice husk at 473 K for 30 min; ●, bagasse at 493 K for 5 min; ▲, rice husk at 493 K for 5 min.

Figura N°1: Efecto del tamaño de partícula en el rendimiento de hidrólisis

En la figura anterior se puede observar la dependencia del rendimiento de la hidrólisis en función del tamaño de partícula.

El tamaño de las partículas finales será de 0.1 mm, y para realizar esta operación unitaria se optó por utilizar un molino de discos ya que posee un gran rendimiento en materiales de carácter fibroso y blando, como es el caso de la cáscara de arroz. Además, presenta una amplia capacidad de regulación de tamaño, permitiendo alcanzar el diámetro óptimo para el proceso deseado.

Este tipo de molino consta de dos discos dentados que, en nuestro caso, ambos serán rotatorios y lo harán en sentido contrario.

La alimentación del equipo se realiza por una extensión que dirige la materia prima hacia el centro de los dos discos enfrentados, donde se encontrará con un espacio mayor al que hay en la periferia de éstos. La materia prima se desplazará desde el centro hacia el borde de los discos por efecto centrífugo donde, debido a la reducción de área, el material es triturado mediante presión y cizallamiento, además cuenta con un dentado interno grueso (elemento auxiliar para optimizar la molienda) que actúa en sentido opuesto. La disposición progresiva de los dientes hace que el material sea primero partido y luego, en el área perimetral de los discos, se realiza la trituración fina.

El tamaño de las partículas de salida es ajustable dependiendo de la distancia entre los discos. Una vez alcanzado el tamaño deseado de la cáscara de arroz, caerá por la abertura de salida hacia un recipiente colector, pasando previamente por un tamiz de 200 mallas.

Los discos de los molinos de rotación doble giran a una velocidad que se encuentra entre los 1200 y 7000 rpm, mientras que la alimentación debe entrar con una velocidad uniforme controlada.

Una característica esencial de este equipo es su considerable capacidad de alimentación, pudiendo tratar corrientes con altas relaciones de Tn/h, lo que es indispensable para nuestro proceso ya que requiere del tratado de gran cantidad de materia prima para alcanzar los niveles de producción deseados.

A continuación se dispone de una imagen del equipo seleccionado:

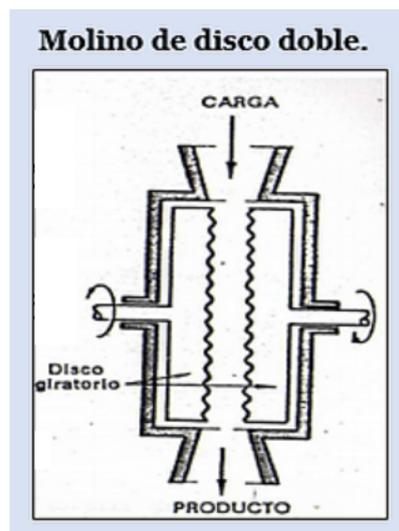


Figura N°2: Molino de discos

### 3.2. Pretratamiento Acetosolv

El propósito principal de los pretratamientos es la desintegración de la matriz de celulosa, hemicelulosa y lignina de manera tal, que la celulosa disminuya su carácter cristalino y aumente la celulosa amorfa, que resulta ser un elemento fundamental para etapas posteriores. Se aplica para conservar los componentes de interés, la celulosa, separando la lignina y hemicelulosa. Gracias a esta etapa se obtiene una velocidad de producción superior, al igual que un mayor rendimiento de los azúcares en la etapa de hidrólisis que prosigue.

El pretratamiento de la materia prima debe cumplir con algunos requisitos para garantizar su efectividad; debe aumentar la producción de azúcares, evitar la formación de subproductos que puedan convertirse en agentes inhibidores de los microorganismos fermentadores, que los rendimientos en la hidrólisis de celulosa aumenten de menos del 20% a valores mayores al 90%. Al mismo tiempo, el tratamiento debe ser ambientalmente seguro y económicamente rentable; este último punto no es menor ya que esta etapa, junto con la hidrólisis, son las que mayor influencia tienen en el costo final del proceso.

Si bien existen varios tipos de pretratamiento, como pueden ser los físicos, químicos y biológicos, en este proyecto se decidió recurrir a aquellos de carácter químico. En particular los que utilizan disolventes orgánicos a altas temperaturas para el trato de materiales lignocelulósicos, llamados métodos Organosolv.

Estos disolventes se encargan de romper los enlaces de lignina, solubilizándola casi por completo, para luego poder ser extraída. Esto mismo ocurre con la hemicelulosa, por lo tanto, este proceso nos permite obtener una pasta rica en celulosa. Por otro lado, también presenta la ventaja de una fácil recuperación de solventes, los cuales pueden actuar como inhibidores de la acción de microorganismos usados en etapas más adelante.

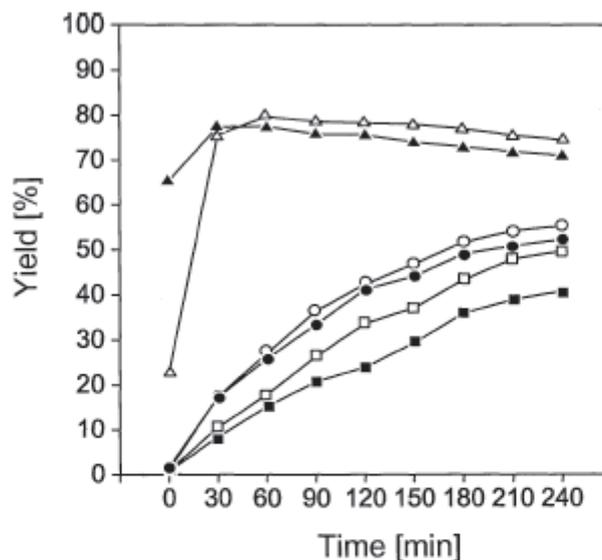
Algunos de los métodos Organosolv más conocidos son el Acetocell, Acetosolv y el Formacell. Los tres métodos presentan características y resultados similares, las diferencias principales son el tipo de disolvente utilizado, la presencia de catalizador y la necesidad, o no, de aplicar un post-tratamiento.

Es posible predecir que los métodos Acetosolv y Formacell darán mejores y más veloces resultados por el simple hecho de que estos emplean pequeñas cantidades de catalizadores, además de permitir trabajar a menores temperaturas y presiones, mientras que el Acetocell solo se vale de la acción del ácido acético como disolvente.

Por su parte, el método Formacell utiliza, como indica su nombre, de disolvente al ácido fórmico y como catalizador al ácido acético; mientras que el método Acetosolv consta de una disolución de ácido acético y ácido clorhídrico como catalizador.

Al momento de hacer la elección del método, se tiene en consideración el hecho de que el ácido clorhídrico presenta un carácter catalítico más fuerte que el acético y el fórmico en términos generales. Por los motivos expuestos, se procede a utilizar en este proceso el método Acetosolv.

En muchos casos antes de usar solventes puros, se opta por mezclarlos con agua ya que esta intensifica la acidez del medio gracias a la disociación del ácido liberado, resultando en rendimientos mayores y, claro está, disminuyendo el costo del pretratamiento. Esta proporción de agua empleada con respecto al disolvente y rendimiento se ve en la figura a continuación.



**Fig. 2.** Effect of reaction time and water content on formation of furfural from xylose in different cooking liquors.  
 ACETOSOLV: ▲ = 15 % H<sub>2</sub>O, △ = 30 % H<sub>2</sub>O,  
 FORMACELL: ● = 15 % H<sub>2</sub>O, ○ = 30 % H<sub>2</sub>O,  
 ACETOCELL: ■ = 15 % H<sub>2</sub>O, □ = 30 % H<sub>2</sub>O.

Figura N°3: Efecto de la reacción y contenido de agua en el rendimiento de conversión de Xilosa

Como se mencionó en el análisis anterior, y haciendo uso del gráfico comparativo, el método Acetosolv utiliza como reactivo principal el ácido acético con 30% de agua y 0,1% de ácido clorhídrico como catalizador, logrando trabajar a temperaturas menores que estarán entre los 120°C y 180°C, con un rendimiento del 80% a los 60 minutos de reacción, obteniendo finalmente un 58,4% de celulosa, siendo estos rendimientos y porcentajes peso en peso.

Para realizar este proceso, se utilizará un reactor heterogéneo con un encamisado y un sistema de agitación incluido. El encamisado será el encargado de mantener la temperatura a 125°C, y el agitador no deberá ser muy potente debido a que sólo tendrá como función el mantener en contacto la cáscara con el líquido y producir una distribución homogénea de la temperatura; y para evitar la producción de vapores dentro del reactor que disminuyan el contacto entre reactivos, se opta por una presión alta dentro del mismo. ([Casillas, Miguel B., 2010](#))

### 3.3. Separación de fases

A partir de la etapa anterior se obtiene un sistema de dos fases, una líquida que consta de la lignina solubilizada, junto con una proporción del disolvente utilizado (ácido acético) y, por otra parte, la fase sólida que consta de la celulosa concentrada, nuestro componente de interés, y de cenizas, las cuales se deben remover para disminuir impurezas.

Una vez obtenida la cáscara pretratada, se debe separar la fase líquida de la sólida para que los componentes de la primera no causen inconvenientes en etapas posteriores, además

puede ser procesada, con el fin de recuperar el solvente y evitar su reiterada compra innecesaria, disminuyendo costos. Para ello se utilizará una centrífuga de tornillo helicoidal modelo decanter.

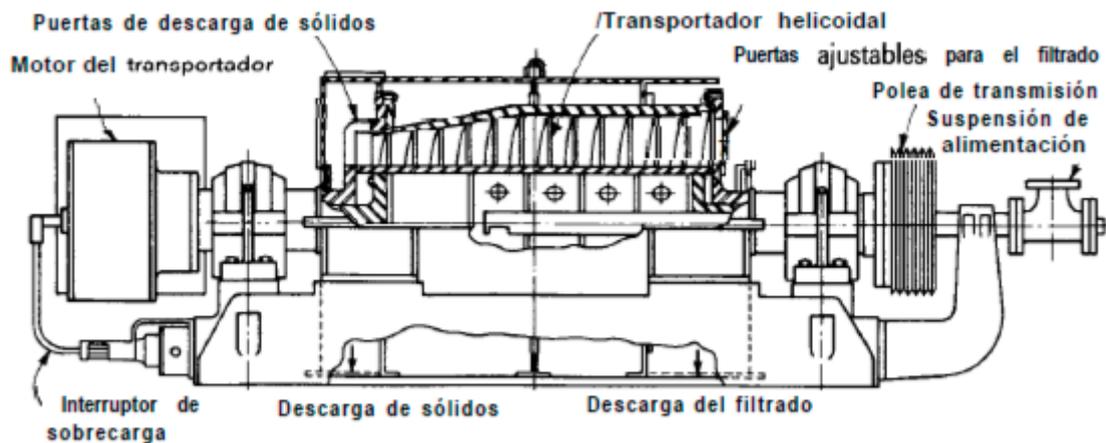


Figura N°4: Centrífuga de tornillo helicoidal modelo decanter

En este equipo la alimentación ingresa por el eje de uno de los extremos del tornillo y la libera en la zona media del equipo, mediante unos orificios presentes en éste. Estos equipos poseen dos motores, uno encargado del giro de la carcasa y otro del giro del tornillo, girando de manera simultánea pero a diferentes velocidades, presentando el tornillo una mayor.

Gracias al campo centrífugo creado por el movimiento giratorio, los sólidos se desplazarán rápidamente hacia la pared de la carcasa. El pequeño espacio existente entre el tornillo y la pared, junto con el movimiento centrífugo hacen posible el traslado de los sólidos, por dicho espacio, hacia uno de los extremos caracterizado por su forma cónica, donde se encuentra su zona de descargas. Asimismo, el líquido continuará su recorrido hacia el extremo opuesto donde también se descargará.

El diseño de la zona de descarga de sólidos permite que estos queden por encima del nivel del líquido, provocando así un escurrimiento previo a ser arrastrados hacia la salida. Transformándolo en un equipo de gran utilidad en aquellos casos donde la alimentación tiene un porcentaje de sólidos en el rango de 20-40%, como es nuestro caso, y cuando la obtención y calidad de la corriente de sólidos tiene igual o más importancia que la corriente líquida

Una característica importante a destacar de las centrífugas del tipo transportador helicoidal es su nivel de capacidad, con diámetros del recipiente comprendidos entre 4 y 54 pulgadas (100 a 1400 mm) pueden separar grandes cantidades de material. Por ejemplo, una máquina de 18 pulgadas puede tratar de 1 Tn/h a 2 Tn/h.

Al finalizar esta operación se obtendrá, por un lado, el sólido seco que luego se hidrolizará y por el otro, el líquido que continuará con el proceso de recuperación de solvente.

Si bien dentro de los componentes restantes de la fase líquida (ya retirado el solvente mencionado) se encuentra la hemicelulosa, la cual puede ser tratada de manera simultánea con la celulosa para la obtención de etanol, presenta una proporción y cantidades tan pequeñas que la consideramos despreciable; siendo protagonista de las transformaciones, la celulosa.

#### 3.4. Separador de sólidos

Los sólidos obtenidos en la etapa de separación de fases, como se mencionó anteriormente, constan de celulosa y cenizas. Estas cenizas deben eliminarse para, además de purificar la celulosa, evitar obstrucciones en etapas posteriores. Para llevar a cabo esta operación se utilizará un clasificador de tornillo.

Este equipo tiene tres elementos fundamentales:

- Una cuba inclinada donde se depositarán los sólidos a separar
- Un elemento mecánico (tornillo) que se encarga de la elevación de la fase sólida
- Un líquido (agua) que permite una mejor separación

El principio de funcionamiento de este equipo se basa en que las partículas más pesadas (en este caso las de celulosa) al ingresar a la cuba irán al fondo. Este material sedimentado es elevado lentamente por el fondo inclinado de la cuba por unas paletas o hélices que se encuentran en el eje del tornillo, que generan una suave turbulencia para que, mientras retiene el material más pesado en el fondo, permite el movimiento de partículas más livianas que puedan estar obstruidas entre las más pesadas, generando una separación efectiva.

Gracias a estas hélices es posible trabajar con pendientes poco mayores de 14°, proporcionando productos mejor separados.

El recorrido de las hélices es hasta el borde de la cuba, por lo que la celulosa continuará hasta esta instancia, donde finalmente abandona el equipo. En cuanto a las partículas más livianas (las cenizas), al ser más finas irán a la superficie del líquido por poseer una velocidad de sedimentación muy baja, permitiendo que el agua las arrastre hasta el borde de la cuba, haciendo que desborden.

A continuación se presenta un esquema de este equipo.

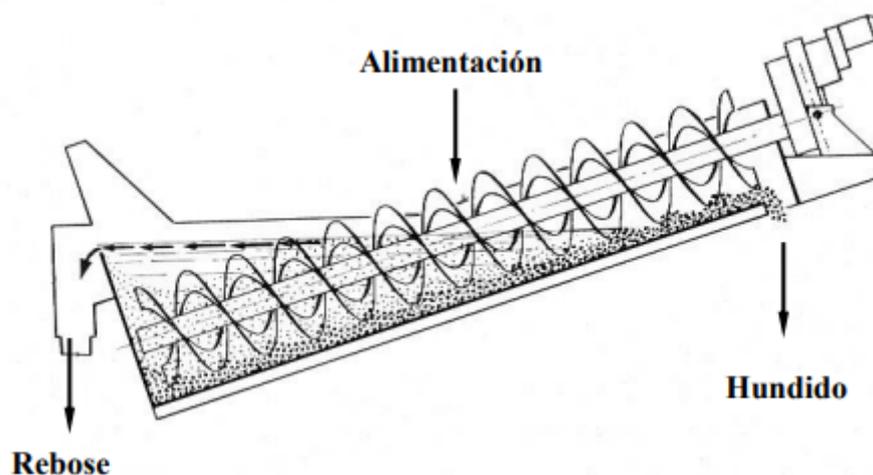


Figura N°5: Clasificador de tornillo

En el presente esquema se pueden observar las corrientes de “rebose” y “hundido”, las cuales indican la salida de las partículas más livianas y pesadas correspondientemente. Además, se puede apreciar el sistema de alimentación, el cual se produce en el medio del equipo y es continuo.

Al finalizar esta operación se obtendrá la celulosa purificada, la cual podrá ser utilizada en la siguiente etapa de producción del bioetanol, la hidrólisis. En cuanto a las cenizas, al no tener ningún valor, se desecharán.

### 3.5. Recuperación solvente orgánico

El ácido acético debe ser retirado de la solución que se obtiene en la centrifugación para poder utilizarlo nuevamente en el pretratamiento, evitando compras del producto y con esto, costos innecesarios.

Para realizar esta separación se podría implementar una destilación simple, pero al tener el ácido acético un punto de ebullición de  $118^{\circ}\text{C}$  y ser muy similar a la del agua, se descarta esta posibilidad. Quedando como opción la destilación fraccionada que permite separaciones entre componentes que presentan puntos de ebullición con diferencias menores a  $25^{\circ}\text{C}$ , como es el caso del ácido acético y el agua.

El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla miscible de distintos componentes, utilizando como beneficio la diferencia de volatilidad. Específicamente, la destilación fraccionada se basa en sucesivas etapas de evaporación y condensación del reflujo de una parte del destilado al condensador y un posterior goteo por una columna a una serie de placas horizontales. Simultáneamente, el vapor que se direcciona al condensador burbujea en el líquido de las placas; el vapor y el líquido interaccionan de tal

manera que parte del agua del vapor se condensa y parte del alcohol del líquido se evapora. De esta forma, la interacción en cada placa es como si fuese una re-distilación.

A continuación se presenta un esquema del equipo:

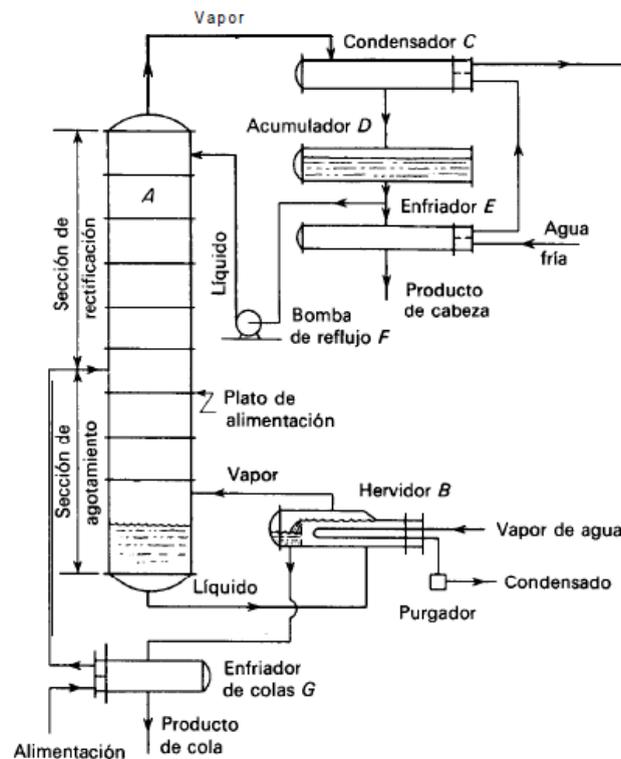


Figura N°6: Columna de fraccionamiento continuo con secciones de rectificación y agotamiento

Una vez separado el líquido de interés, se tiene agua residual que contiene restos de lignina, hemicelulosa y algunos componentes en menor proporción, además de un porcentaje de ácido acético que no ha podido recuperarse en la destilación. Toda esta corriente residual será dirigida hacia un tanque equalizador de efluentes.

#### 4. Hidrólisis enzimática

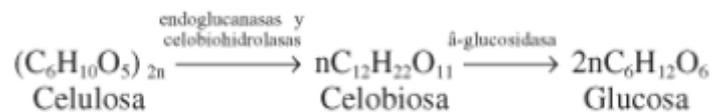
Así como existen más de un tipo de hidrólisis - enzimática, alcalina, ácida - también existe más de un método para obtener etanol. Este proceso puede ocurrir en una o en dos etapas, siendo la diferencia entre éstas la realización de la hidrólisis y la fermentación juntas, o la hidrólisis y fermentación por separado.

Se puede afirmar que hacer por separado la hidrólisis y fermentación presenta como ventaja el poder implementar las condiciones óptimas de cada una sin inconvenientes, al contrario de lo que sucede al realizar las etapas sin distinción. La etapa de hidrólisis se realiza a la temperatura óptima de la enzima, la cual se encuentra entre los 30°C y 50 °C ([ICIDCA, 2012](#)), mientras que la fermentación se realiza a la temperatura óptima de acción del microorganismo productor de etanol, en la mayoría de los casos suele ser 37°C, ya que arriba de esta la sustancia se desintegra.

La hidrólisis enzimática tiene como finalidad convertir los polímeros de celulosa y hemicelulosa en sacáridos, glucosa y xilosa, que se fermentan y, posteriormente, se separan. En nuestro caso, como se despreja el aporte de la hemicelulosa, solo es de importancia lo que sucede con la celulosa.

Esta hidrólisis presenta algunas ventajas frente a la hidrólisis química, como que no genera gran corrosión, requiere un menor consumo de enzimas, baja toxicidad de los hidrolizados, costos de equipamiento menores, rendimientos mayores, y no produce compuestos inhibidores de la fermentación. La celulosa sometida a la hidrólisis enzimática permite obtener una solución de azúcares fermentables, formada principalmente por glucosa.

Las enzimas elegidas para catalizar este tipo de reacción son, por excelencia, las celulasas. Estas forman un complejo enzimático muy conocido por su destacable performance como catalizador en la descomposición de la celulosa. Existen diferentes tipos de celulasas como las endocelulasas, exocelulasas y las  $\beta$ -glucosidasas.



Definidas las reacciones y propósitos se concluyen las condiciones de operación óptimas para el tipo de enzimas utilizadas, según Martínez Bocaz 2012, esto es a una temperatura de 50°C, pH 4,8 y un tiempo de operación entre 48 y 72 horas, el cuál se terminará de definir en el laboratorio, con un rendimiento final de 90% como máximo ([Rogel Alban Karen A., 2017](#)).

Si bien ya se presentaron los grandes beneficios que las enzimas utilizadas aportan, también se debe tener en cuenta sus desventajas, siendo la más importante la de carácter económico. Debido al alto costo que estas representan, se procede a implementar un sistema de inmovilización de enzimas que permitirá la reutilización de las mismas y minimizar el impacto económico requerido para su reemplazo.

Para la implementación de este sistema, se procederá a utilizar un soporte de nanopartículas magnéticas, que ayudarán al aumento del área superficial, disminuyendo las limitaciones que presenta la difusión, haciendo más favorable la degradación de la materia prima implementada. Además, gracias a sus propiedades magnéticas ofrece grandes beneficios al momento de separar las enzimas del producto obtenido, pudiendo recuperarse por aplicación de un campo magnético.

Finalmente, se hará uso de un biorreactor de membrana, que es un tanque agitado continuo con un agitador de turbinas con paletas curvas provisto de una camisa con un sistema de circulación de agua - el cual girará a una velocidad adecuada para la viscosidad que nuestro hidrolizado presentará -, que estará conectado a un módulo de membrana en una configuración de recirculación con el propósito de filtrar o separar continuamente el medio

de reacción que contiene reactivos, productos y biocatalizadores, dejando pasar selectivamente los productos de reacción y recirculando el medio ([Mg. YULY A. RAMÍREZ TAPIAS, 2018](#)).

El transporte de la glucosa hacia el fermentador se hará mediante un transportador de tornillo helicoidal sin eje para evitar la adhesión de la pasta semi viscosa al mismo tornillo.

### 5. Fermentación enzimática

De la etapa anterior resulta una pasta concentrada de glucosa, la cual será tratada por determinados microorganismos con el fin de obtener nuestro producto deseado, el bioetanol, y como subproducto el dióxido de carbono.

En términos generales, la fermentación es un proceso en el que compuestos orgánicos son transformados gracias a acciones bioquímicas de microorganismos que, a medida que se alimentan de los reactivos, generan productos, siempre y cuando se encuentren en un ambiente adecuado para su crecimiento.

El microorganismo más utilizado para la obtención de etanol a partir de glucosa es la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, debido a que, a comparación de otros, crece de manera más rápida en condiciones anaeróbicas, convirtiendo las hexosas en etanol. Como ventaja adicional, estas levaduras pueden tolerar concentraciones relativamente altas de etanol, además de que su comportamiento es de los más conocidos por el hecho de ser uno de los microorganismos más usados en la industria.

A continuación se puede observar el mecanismo de reacción que caracteriza esta etapa del proceso:

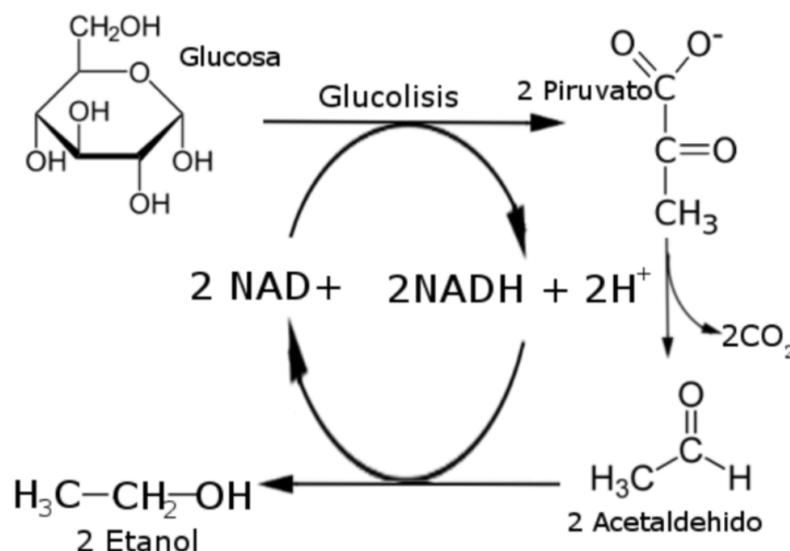
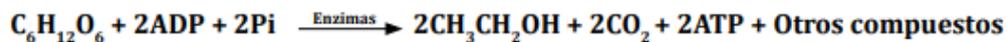


Figura N°7: Mecanismo de reacción de fermentación

La reacción principal de esta etapa será una glucólisis, por lo que por cada molécula de glucosa transformada obtendremos dos moléculas de piruvato que, por trabajar en ausencia de oxígeno, son convertidas a etanol desprendiendo dióxido de carbono. Como mencionamos anteriormente, la levadura se consume y se produce continuamente a lo largo de este proceso, por lo que es importante destacar que, además del etanol, se obtienen dos moléculas de ATP (adenosín trifosfato), que son la principal fuente de energía para estos organismos. Esta energía se obtiene como producto del ADP (adenosín difosfato) que consumen los propios microorganismos en condiciones anaeróbicas.



O más sencilla:



Ecuación química de la fermentación alcohólica, establecida en 1815 por Gay-Lussac.

La fermentación enzimática se realiza en dos etapas principales, la primera comienza en un reactor discontinuo, conocido como “reactor madre”, donde se introduce una cierta cantidad de levadura junto con el producto de la hidrólisis con el fin de llevarse a cabo el crecimiento de la levadura, dicho proceso dura alrededor de 48 horas. Una vez finalizada esta etapa, el contenido del reactor es utilizado para inocular otros dos reactores que serán alimentados de manera continua con glucosa fresca y agua para que pueda producirse la fermentación propiamente dicha, la cual tiene una duración de aproximadamente 24 horas.

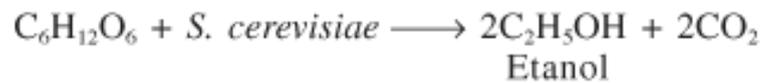
Este tipo de operación tiene como ventaja la maximización de la acción de las enzimas, así a comparación de otros métodos se utiliza menor cantidad de enzimas en el primer tanque, para luego aprovechar el hecho de que estas se producen dentro del propio proceso en los reactores inoculados.

Para llevar a cabo este proceso, se tiene en cuenta que a los 37°C y 101.3 kPa se obtienen los mayores rendimientos posibles, junto con el hecho de que esta temperatura es la máxima que *S. cerevisiae* puede soportar. Además, en la bibliografía se recomienda utilizar un agitador con una velocidad de 500 rpm para así poder asegurar el procesamiento de mayor carga de biomasa. ([Ana María Arismendy et al. 2021](#))

En la fermentación propiamente dicha ingresarán dos corrientes, una proveniente de la hidrólisis -dividida entre la corriente del reactor madre y glucosa fresca- y una de agua, en una proporción de 1:5 ([Guigou, 2011](#)) teniendo en cuenta que cuanto mayor sea esta proporción, mayor será la cantidad de azúcares a fermentar, y la cantidad de etanol a obtener. También es importante dar a conocer que al disminuir dicha relación azúcares-agua se llegará a una mezcla altamente viscosa, que dificultará las condiciones de trabajo.

Finalmente, las corrientes de salida de cada fermentador se unen para formar parte de una única corriente líquida, que contiene etanol en un 8,58% de pureza, lo que hace requerir una etapa de purificación posterior.

Según la bibliografía consultada ([Capdevilla et al, 2015](#)), los rendimientos obtenidos para la siguiente reacción fermentativa son de un 95%:



### 5.1. Captación de CO<sub>2</sub>

Como se mencionó anteriormente, en la etapa de fermentación se produce, además de etanol, dióxido de carbono. Este debe ser capturado por ser un importante contaminante que pertenece al grupo de los gases de efecto invernadero. Para reducir la emisión de estos gases en nuestra planta productiva, se implementará en el fermentador un sistema de captación de dióxido de carbono. Posteriormente, este gas será vendido a empresas encargadas de procesos donde sea necesario utilizarlo (fábrica de bebidas gaseosas, equipos e instalaciones contra incendios, invernaderos), generando ganancias adicionales.

Los extractores de este gas son instalados en la parte superior de los rectores de fermentación, funcionan como una especie de ventilador que opera con una presión de succión positiva, con el fin de prevenir que haya vacío y que exista la posibilidad de entrada de aire. Además consta de controles especiales que permiten que la presión durante la fermentación sea constante.

Un aspecto a tener en cuenta de la fermentación es la formación de espuma en los reactores, proveniente principalmente de los azúcares, la cual es eliminada mediante trampas de espuma. Estas constan de recipientes con boquillas de aspersión para arrastrar dicha espuma que pueda remontarse junto con el dióxido de carbono.

La siguiente etapa es la compresión del gas pero previo a esta es necesario que sea sometido a un lavado con agua a contracorriente para eliminar las impurezas solubles en agua, como por ejemplo el etanol. Seguido por una etapa de desodorización, una de secado y finalmente su licuefacción, resultando en un dióxido de carbono listo para su utilización en un nuevo proceso.

Es importante destacar que estas etapas se llevarán a cabo por las empresas interesadas en el producto, encargandonos únicamente de su extracción y almacenamiento.

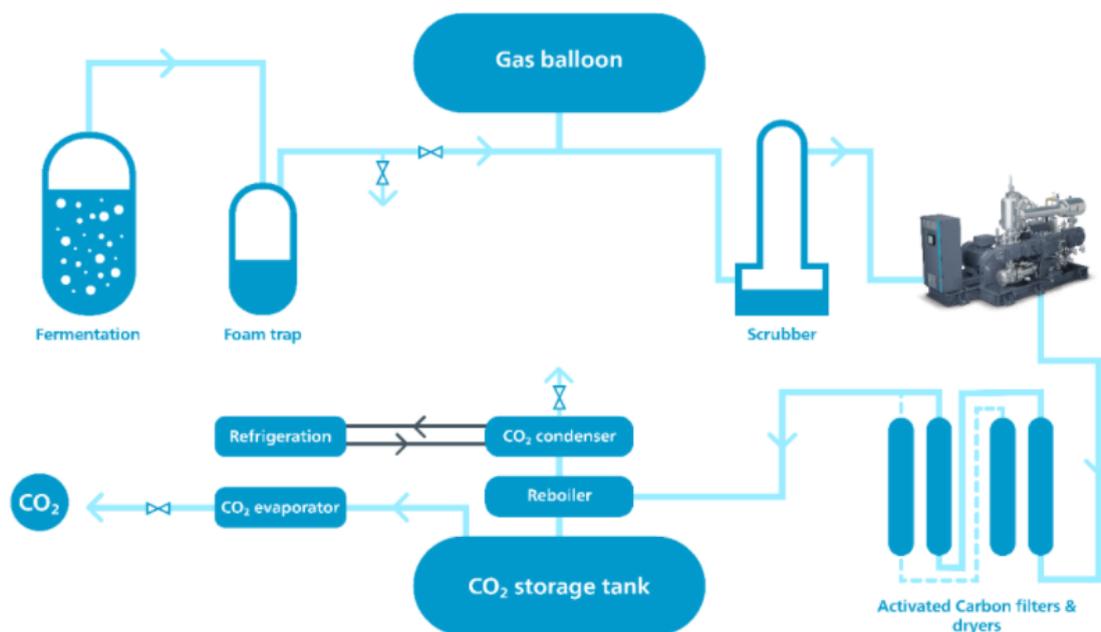


Figura N°8: Modelo de recuperación de CO<sub>2</sub>

## 6. Purificación

El bioetanol producido en la fermentación posee gran cantidad de agua, la cual hay que eliminar para utilizarlo como combustible en motores de combustión interna; si el combustible no es anhidro no realizará una combustión eficiente o puede dañar por corrosión al motor.

En el caso del agua se podría realizar únicamente una etapa de destilación convencional, pero al ejecutarla se presenta un punto azeotrópico de la mezcla etanol - agua cerca del 95% de concentración de etanol. Por este motivo, hay que realizar posterior al destilado una deshidratación para romper dicho azeótropo y eliminar el agua restante del bioetanol.

Al finalizar cada una de estas operaciones se obtendrá una solución de agua y bioetanol, la cual se recolectará en un tanque equalizador de efluentes para un posterior tratado.

### 6.1. Destilación

Como se mencionó en la sección 3.4., la destilación se utiliza para separar compuestos con diferencias de volatilidad. En este caso, como sucedió con el ácido acético y agua, el punto de ebullición entre el etanol y agua a separar es menor a 25°C, por lo que se realizará nuevamente una destilación fraccionada.

Al finalizar esta etapa, se obtendrá un azeótropo con un 95% de concentración de etanol.

## 6.2. Deshidratación

Para terminar con el proceso de eliminación de agua, se debe proseguir con una deshidratación para, como se mencionó previamente, eliminar el azeótropo que no permite obtener el bioetanol anhidro. Para esta etapa se decidió utilizar tamices moleculares. Estos son básicamente materiales granulares fabricados a partir de distintas materias primas como pueden ser aluminosilicatos, zeolitas, vidrios porosos, etc. Dentro de la red cristalina de estos materiales se forman túneles. Estos túneles, que son de diferentes diámetros según el material de fabricación, poseen la capacidad de absorber distintas sustancias en su interior.

Para esta operación se utilizará un tamiz de diámetro medio de 0.30 nm, ya que las moléculas de agua poseen un diámetro medio menor (0.28 nm), mientras que las moléculas de etanol son mayores (0.44 nm).

Los tamices, además de separar a los componentes por su tamaño molecular, separan por adsorción según la polaridad de las especies involucradas y su estado de insaturación.

Esta es una operación que funciona mediante ciclos de deshidratación y regeneración. Cuando uno de los lechos está realizando la deshidratación a alta presión, el segundo se está regenerando a baja presión con una recirculación del 15% de los vapores del bioetanol anhidro que salen del primer lecho.

Esta técnica presenta varias ventajas sobre los otros métodos utilizados convencionalmente. Desde el punto de vista energético, el consumo de energía por metro cúbico de etanol producido es 70 veces menor utilizando los tamices moleculares. Además, no requiere de ningún solvente extra para su implementación, presenta alta eficiencia y la vida útil de los tamices rodea los 10 años, por lo que justifica la inversión.

Con la implementación de este tipo de deshidratación se conseguirá un bioetanol con un 99,9% de pureza.

A continuación, se presenta un diagrama de la operación por tamices moleculares:

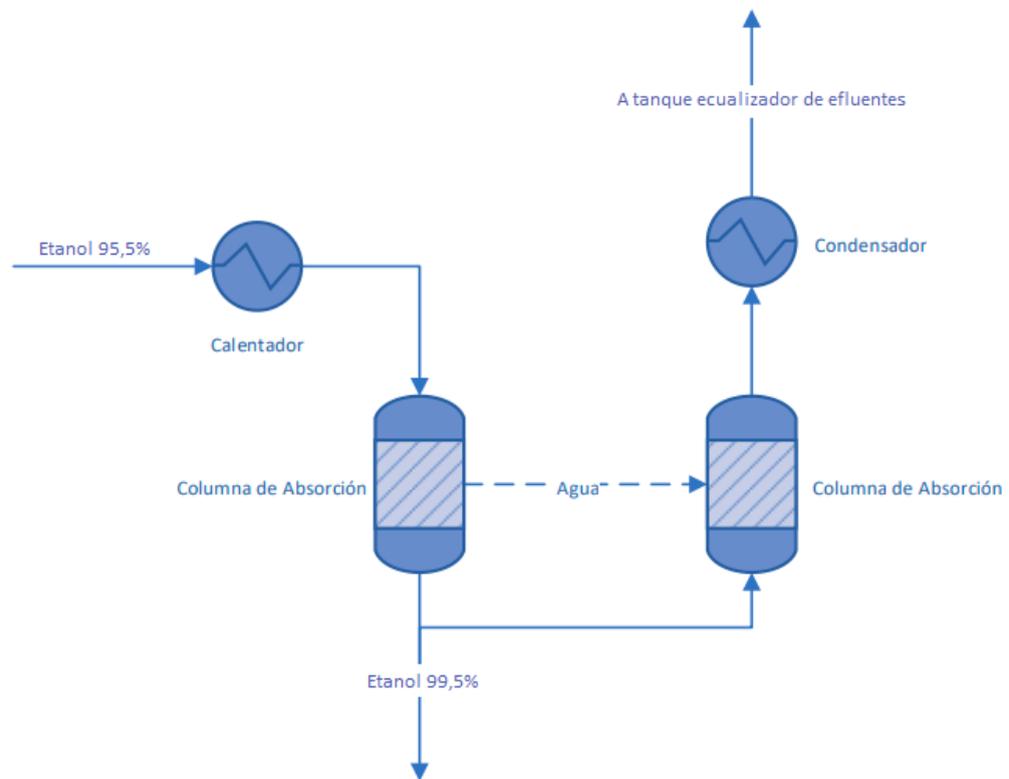


Figura N°9: Esquema del proceso de tamices moleculares

## 7. Diagramas de Bloques

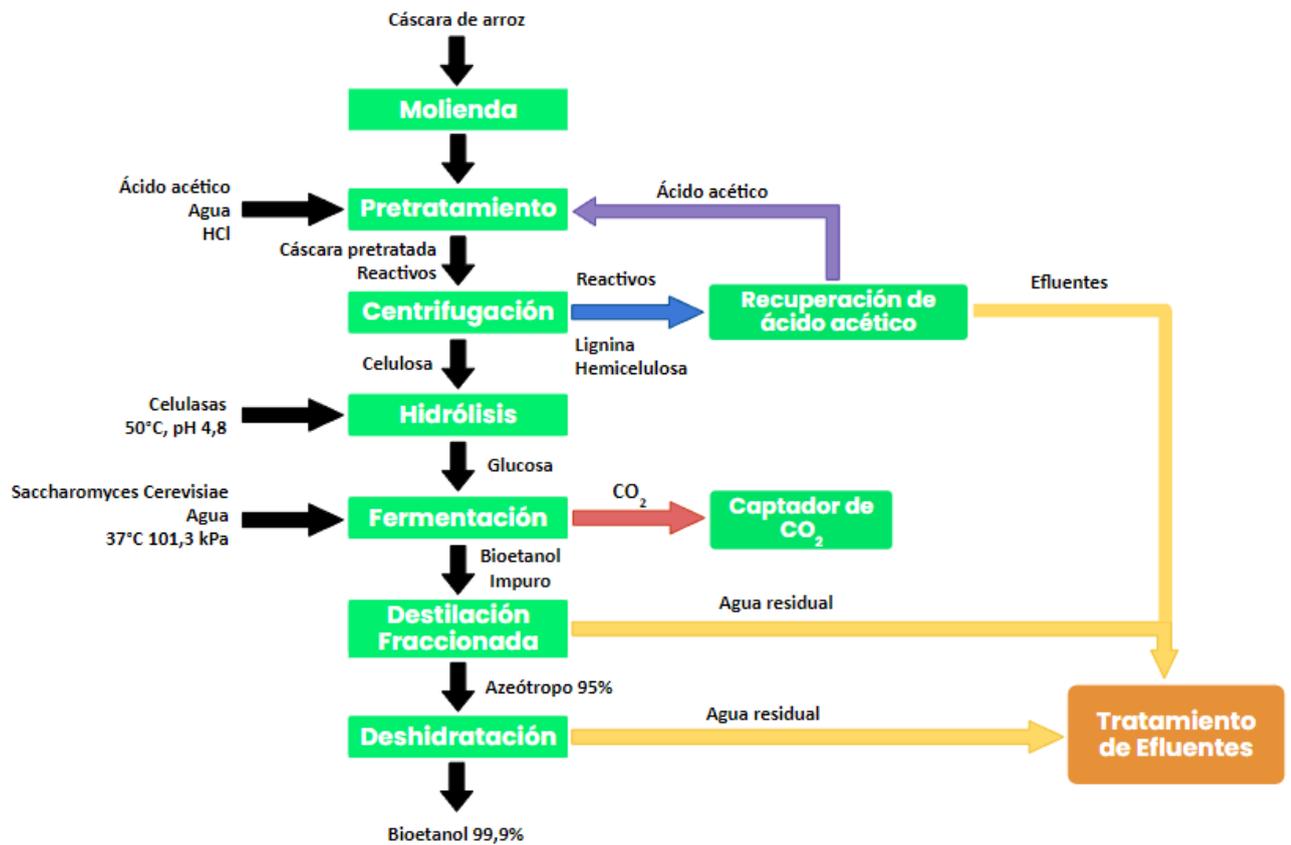


Figura N°10: Diagrama de bloques de operaciones del proceso

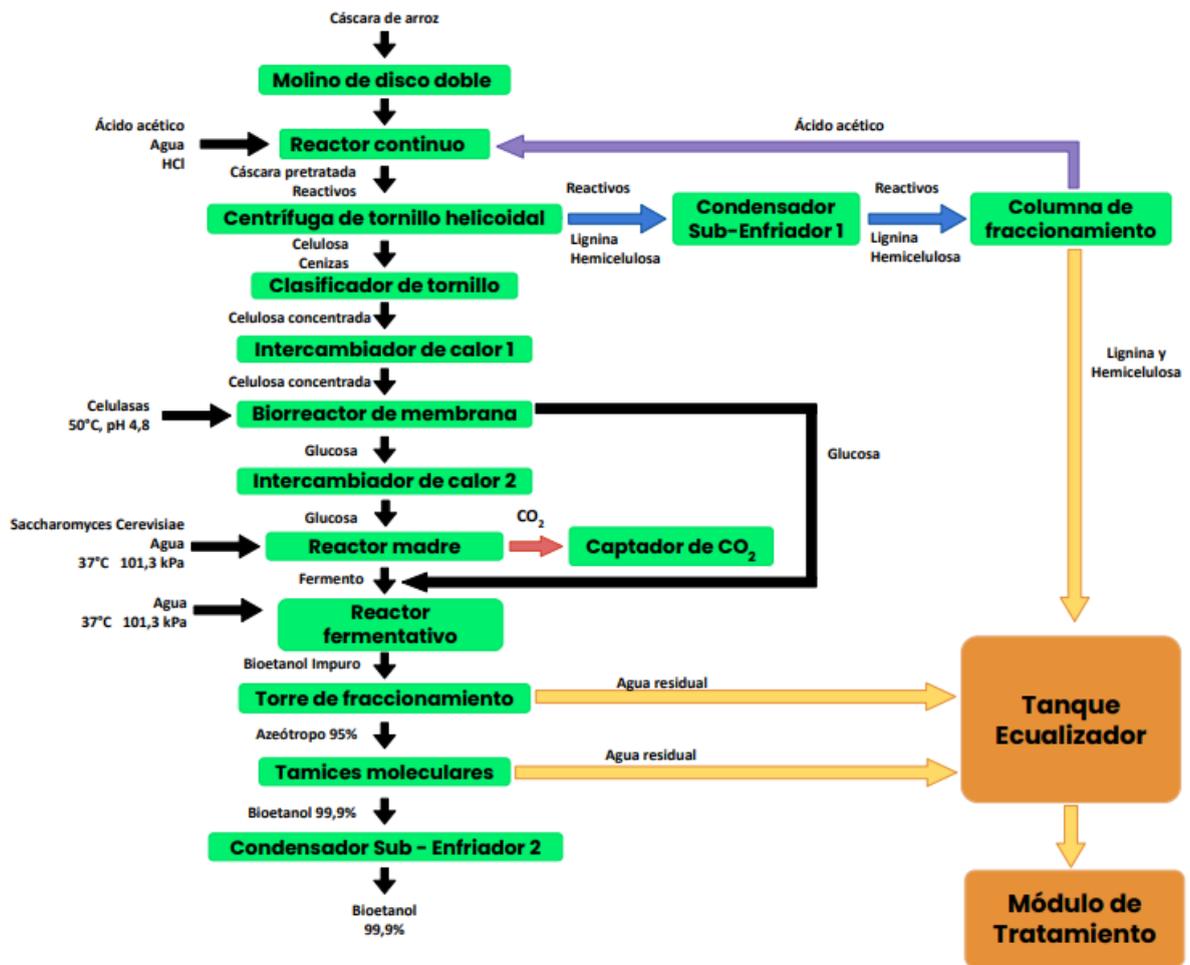


Figura N°11: Diagrama de bloques de equipos involucrados en el proceso

## 8. Bibliografía

- Aeration Industries International. (2021). *Tanques de homogeneización y ecualizadores*. Aeration Industries International. <https://www.aireo2.com/es/aplicaciones/homogenizacion-ecualizadores/>
- Anderson Guarnizo, F., Martínez, P. N., & Hoover Sánchez, A. V. (2009). *PRETRATAMIENTOS DE LA CELULOSA Y BIOMASA PARA LA SACARIFICACIÓN*. (42nd ed.).
- Berg, A. (2015, Mayo 6). *Residuos forestales o nuevas materias primas de la industria*. BIOECONOMÍA ARGENTINA 2015 REGIÓN NORESTE. <http://www.cursobioeconomia.mincyt.gob.ar/wp-content/uploads/2014/12/2.-Residuos-forestales-o-nuevas-materias-primas-de-la-industria-Alex-Berg.pdf>
- Casillas, M. B. (2010). *Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de la biorrefinería*. [http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL\\_BARROSO\\_CASILLAS.pdf](http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf)
- Cortes Ortiz, W. G. (2014, Febrero). Tratamientos Aplicables a Materiales Lignocelulósicos para la Obtención de Etanol y Productos Químicos. *Journal of Technology*, 13(1), 39-44. <https://revistacolombianadeenfermeria.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/1297>
- Cuervo, L., Quiroz Castañeda, R. E., & Folch-Mallol, J. L. (2014, Octubre). Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol. *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Folch-Mallol/publication/266610846\\_Lignocelulosa\\_Como\\_Fuente\\_de\\_Azucres\\_Para\\_la\\_Produccion\\_de\\_Etanol/links/54451eba0cf2f14fb80e9651/Lignocelulosa-Como-Fuente-de-Azucres-Para-la-Produccion-de-Etanol.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Folch-Mallol/publication/266610846_Lignocelulosa_Como_Fuente_de_Azucres_Para_la_Produccion_de_Etanol/links/54451eba0cf2f14fb80e9651/Lignocelulosa-Como-Fuente-de-Azucres-Para-la-Produccion-de-Etanol.pdf)
- Di Carlo, S. M., Puyol, F. V., & Vázquez, R. B. (2018). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL*. RINFI. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/338/SMDiCarlo%2BFV Puyol%2BRBVazquezWehrhahne-TFG-IQ-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- *Fermentación alcohólica*. (n.d.). LÖV ferments. <https://www.lovferments.com/es/fermentacion-alcoholica/>
- Gómez Aguilar, J., Martínez Castellanos, G., Cruz, S. S., & Aguilar, M. G. (2019). Proceso de producción de bioetanol de segunda generación (2G) en planta piloto, una oportunidad para mitigar la contaminación ambiental en México. *Ingeniantes*, 3(2). <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes6no2vol3/4.%20Proceso%>

20de%20producci%C3%B3n%20de%20bioetanol%20de%20segunda%20generaci%C3%B3n%20(2G)%20en%20planta%20piloto,%20una%20oportunidad%20para%20mitigar%20la%20contaminaci%C3%B3n%20ambiental%20en%20M%C3%A9xico.pdf

- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Patrouilleau, R. D., Lacoste, C., Yapura, P., & Casanovas, M. (2006). *PERSPECTIVAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ARGENTINA, CON ÉNFASIS EN EL ETANOL DE BASE CELULÓSICA*. República Argentina. [https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-serie\\_cuadernos\\_del\\_desarrollo\\_-\\_1\\_-\\_perspectivas\\_de\\_.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-serie_cuadernos_del_desarrollo_-_1_-_perspectivas_de_.pdf)
- Lehen, R., Saake, B., & Nimz, H. H. (2001). *Furfural and Hydroxymethylfurfural as By-Products of FORMACELL Pulping* (2nd ed., Vol. 55). Holzforschung.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1991). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química* (4th ed.). Mc Graw Hill.
- Monroy, A., Narváez, R., Vera, B., & Bautista, L. (2017, Octubre 5). Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio. *Revista de Energía Química y Física*, 4(13). [https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia\\_Quimica\\_y\\_Fisica/vol4num13/Revista\\_de\\_Energia\\_Quimica\\_y\\_Fisica\\_V4\\_N13\\_7.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol4num13/Revista_de_Energia_Quimica_y_Fisica_V4_N13_7.pdf)
- Parajó, J. C., Alonso, J. L., Vázquez, D., & Santos, V. (1993). *Optimization of Catalysed Acetosolv Fractionation of Pine Wood* (3rd ed., Vol. 47). Holzforschung.
- Piñeros-Castro, Y. (2014). *Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica, algunas experiencias de investigación en Colombia* (Editora Académica ed.). Medellín, Colombia. [https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field\\_attached\\_file/pdf-aprovechamiento\\_de\\_biomasa.pdf](https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-aprovechamiento_de_biomasa.pdf)
- Sánchez, Ó. J., & Cardona, C. A. (2005). *Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas*. (11th ed., Vol. 30). [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442005001100005](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005001100005)
- Santos Meneses, T. M. (2018). *Autohidrólisis y deslignificación organosolv de madera de Pinus radiata para la recuperación de hemicelulosas y lignina con aprovechamiento de la fracción celulósica por vía enzimática*. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/49065/1/T40168.pdf>
- SYNERTECH-Water Technologies. (2020). *Tratamiento de aguas residuales*. Tanques de almacenamiento. <https://www.nyfdecolombia.com/tanques/tanques-de-almacenamiento-de-agua>

- Torres Jaramillo, D., Morales Vélez, S. P., & Quintero Díaz, J. C. (2017). *Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos* (4th ed., Vol. 25). [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052017000400733&lng=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052017000400733&lng=es&nrm=iso)
- Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia & UNaM-CONICET. (2014). *OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CELULOSA PRESENTE EN CASCARILLA DE ARROZ Y ASERRÍN DE ALGARROBO*. Argentina. <https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/30034/Obtencion%20de%20bietanol%20a%20partir%20de%20la%20celulosa.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Salvachúa Rodríguez, D. (2013). *Producción de etanol de segunda generación a partir de paja de trigo: hongos, enzimas fúngicas y aplicaciones*. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/127937/1/Tesis%20Davinia%20Salvach%20baa.pdf>



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo V: Investigación y Desarrollo**

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>129</b>
<b>2. Materiales empleados.....</b>	<b>129</b>
<b>3. Desarrollo experimental.....</b>	<b>129</b>
3.1 Molienda.....	131
3.2 Tamizado.....	132
3.3 Resultados.....	134
<b>4. Desarrollo teórico.....</b>	<b>135</b>
4.1 Pretratamiento.....	135
4.2 Hidrólisis.....	136
4.3 Fermentación.....	137
4.4 Deshidratación.....	138
<b>5. Conclusión.....</b>	<b>138</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>140</b>

## Índice de Figuras

Figura N°1: Efecto del tamaño de partícula en el rendimiento de hidrólisis.....	130
Figura N°2: Cáscara de arroz.....	131
Figura N°3: Equipos a utilizar.....	131
Figura N°4: Cáscara de arroz triturada.....	132
Figura N°5: Mortero.....	132
Figura N°6: Tamices antes de tamizado.....	133
Figura N°7: Tamices luego de tamizado.....	134
Figura N°8: Efecto de la temperatura en la velocidad de crecimiento de microorganismos.....	137

## Índice de Tablas

Tabla N°1: Resultados del tamizado.....	134
Tabla N°2: Comparación de distintos métodos de pre-tratamiento.....	135
Tabla N°3: Parámetros óptimos para la hidrólisis enzimática.....	136

## 1. Introducción

Con el fin de comprobar la posibilidad de llevar el proceso de bioetanol teóricamente elegido a una escala de producción real, descrito en el capítulo IV - “Descripción de Proceso”, se debe realizar el desarrollo experimental de las etapas de dicho proceso a nivel laboratorio. Al contar con dimensiones de equipos, cantidades de productos y condiciones de reacción no reproducibles fácilmente en laboratorio, nos concentramos en realizar de manera experimental aquellas partes del proceso de producción de bioetanol a partir de cáscara de arroz que sean posibles, para aquellas que no resolvimos la elección de parámetros mediante un seguimiento teórico.

## 2. Materiales empleados

Los materiales y equipos empleados en este ensayo fueron los siguientes:

- Mortero
- Licuadora
- Balanza Analítica
- Sistema de tamizado Zonytest

Materia prima empleada:

- Cáscara de arroz

## 3. Desarrollo experimental

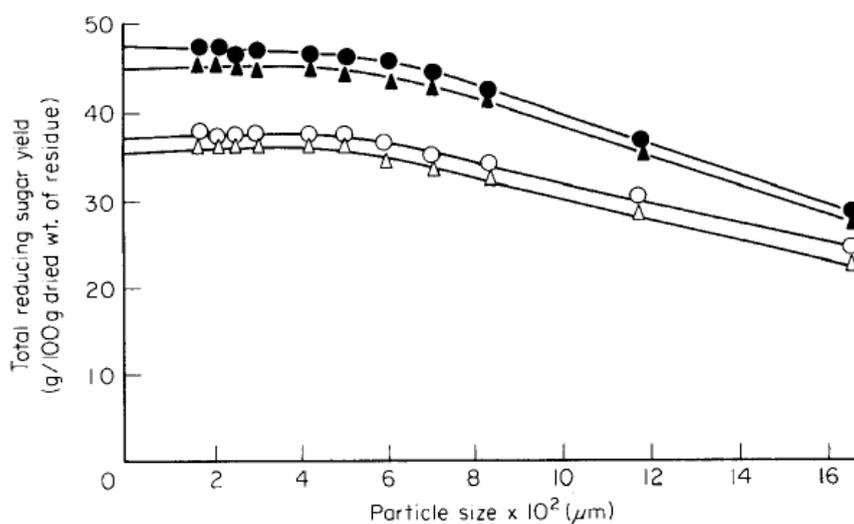
*“Las dos etapas críticas que impactan en el costo final de bioetanol son los pre-tratamientos y la hidrólisis enzimática” (Revista Ingeniantes, 2019).*

Como se mencionó en capítulos anteriores, uno de los puntos críticos del proceso es el aumento de la superficie específica de la cáscara para lograr un mayor contacto con los reactivos utilizados para la etapa de pretratamiento. A su vez, esto genera un incremento del rendimiento de la hidrólisis. Por lo tanto, el tamaño de partícula que resulta de la molienda es un factor fundamental para el rendimiento de la hidrólisis, creando una relación directa con la obtención de glucosa.

Siguiendo esta idea principal se pretendió investigar la relación entre estos dos factores, el rendimiento de la hidrólisis y el tamaño de la materia prima molida, sin embargo para lograr la reacción del pretratamiento son necesarias condiciones de presión y temperatura riesgosas, especialmente por las propiedades que presenta el ácido acético, entonces se decidió llevar a cabo únicamente la molienda en el laboratorio otorgando a la investigación un nuevo punto de vista.

Por lo cual el carácter de esta actividad será puramente cualitativa, se busca conocer cómo se comporta la cáscara ante la acción mecánica, y tener un mejor entendimiento de cuáles son los factores que pueden influenciar al proceso y resultado y cómo lograr el tamaño deseado. Como no se dispone del equipo elegido para la operación ni con la cantidad de materia prima estimada, se utilizarán equipos y materiales que emulen el proceso a una escala más amigable y práctica.

En el paper de base para la molienda (Lehen, R., Saake, B., Nimz, H. H., 2001), se encuentra una gráfica donde se representa la relación entre el rendimiento de la hidrólisis y los distintos tamaños finales en la molienda, obteniendo como resultado que el tamaño ideal para lograr el máximo rendimiento (90%) es una partícula de 0,1 mm o 100 micrones.



**Figure 1.** The effect of particle size on hydrolysis (acid concentration=0.6%). ○, Bagasse at 473 K for 30 min; △, rice husk at 473 K for 30 min; ●, bagasse at 493 K for 5 min; ▲, rice husk at 493 K for 5 min.

Figura N°1: Efecto del tamaño de partícula en el rendimiento de hidrólisis

Recordando del capítulo anterior, las dimensiones iniciales de la cáscara suelen estar alrededor de los 5 - 7 mm de largo por 2 - 3 mm de ancho, según el tipo de arroz que se vaya a utilizar, y se decidió utilizar, teóricamente, un equipo de molienda fina con un tamiz incluido para garantizar la obtención de partículas de 100 micrones.

### 3.1 Molienda

La materia prima a utilizar se muestra a continuación:



Figura N°2: Cáscara de arroz

Al no conseguir un equipo de molienda como tal, como reemplazo se utilizó una licuadora y un sistema de tamizado.



Figura N°3: Equipos a utilizar

Previo a comenzar con la molienda nos aseguramos de que la cascarilla de arroz no contenga polvo o materiales ajenos a esta para evitar pérdidas de energía o algún otro inconveniente en el equipo empleado, para ello pasamos nuestra materia prima por el tamiz con el número de malla menor.

Luego procedemos a una primera trituration grosera utilizando la licuadora. Durante esta operación vimos que se hace presente un considerable aumento de temperatura, además de una gran cantidad de polvillo, debido a esto se tomaron medidas estrictas en cuanto a los tiempos y velocidad de trituration para evitar pérdidas del material al abrir y cerrar el equipo. Una vez hecho, se obtuvo el siguiente resultado.



Figura N°4: Cáscara de arroz triturada

Para conocer de manera aproximada la efectividad de la reducción de tamaño decidimos pasar el producto por la malla N°140 (o 105 micrones), y pudimos ver que casi la totalidad quedó retenida. Para intentar mejorar este resultado, reunimos nuevamente todo el material triturado y buscamos reducir su tamaño aún más mediante el mortero que se ve a continuación.



Figura N°5: Mortero

Pesamos 100,74 gramos de la materia prima conseguida, para facilitar los cálculos más adelante, y seguimos con el tamizado.

### **3.2 Tamizado**

Para esta instancia debemos recordar que adoptamos como tamaño aceptable, aproximadamente, 0.1 mm para que la reducción de tamaño de la cascarilla tenga un efecto positivo notorio en el rendimiento de la reacción que prosigue, sin embargo como adoptamos una postura experimental utilizaremos una serie de tamices, tanto mayores como menores del tamaño deseado.

Primeramente se pesan los tamices limpios y secos para luego calcular por diferencia la cantidad retenida en cada uno.

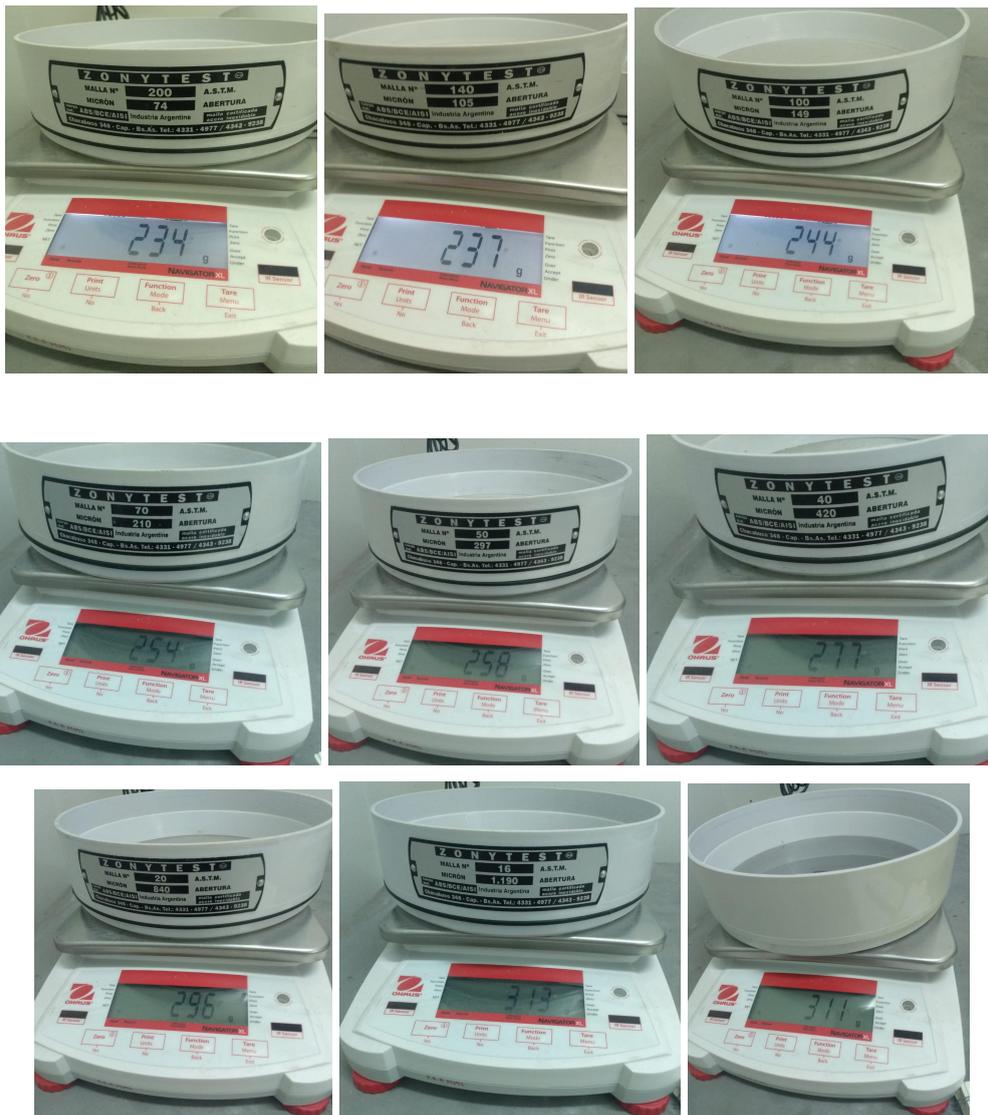


Figura N°6: Tamices antes de tamizado

Depositamos la cáscara de arroz ya tratada y encendemos el equipo por 5 min. Luego volvemos a pesar cada malla con su respectiva cantidad de cáscara retenida.



Figura N°7: Tamices luego de tamizado

### 3.3 Resultados

De la trituration obtuvimos los resultados que se ven en la Tabla N°1 subsiguiente.

<b>N° Malla</b>	Fondo	200	140	100	70	50	40	20	16
<b>Micrones</b>	Fondo	74	105	149	210	297	420	840	1190
<b>Peso malla [gr]</b>	311	233,68	236,75	243,56	253,5	257,6	276,96	295,8	312,4
<b>Peso malla [gr]</b>	313,22	234,74	238,22	246,11	259,48	270	326,81	318,16	312,8
<b>Peso retenido [gr]</b>	2,22	1,06	1,47	2,55	5,98	12,4	49,85	22,36	0,39

Tabla N°1: Resultados del tamizado

Tomamos como tamaño aceptable la malla N°140 y tamaños menores. Teniendo en cuenta que la muestra inicial pesada fue de 100,74g podemos calcular la cantidad de cáscara de arroz perdida:

$$\frac{100,74 \text{ g} - 98,28 \text{ g}}{100,74 \text{ g}} * 100\% = 2,44\%$$

Porcentaje justificado por el continuo transporte del material y la generación de polvillo.

#### 4. Desarrollo teórico

##### 4.1 Pretratamiento

Luego de investigar acerca de los distintos tipos de pretratamientos que pueden realizarse a materiales lignocelulósicos, llegamos a la conclusión de que el método llamado Organosolv o por solventes orgánicos, es el indicado para nuestro propósito: separar la celulosa de otros componentes de la cáscara.

En la siguiente tabla se ve que de las distintas opciones presentadas en *“Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio”* del artículo N°13 de la Revista de Energía Química y Física, solo se solubilizan los componentes no deseados con el método de solventes orgánicos, lo cual facilita la separación posterior.

Proceso	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Explosión de vapor	Despolimerización	80-100%	Poco o nula
Hidrólisis ácida	Despolimerización	Solubilización	Poco o nula
Solventes orgánicos		Solubilización	Solubilización
Termólisis	Poco	80-100% de	
AFEX	Descristalización	0-60% de	Solubilización
Hidrólisis alcalina	Relajamiento	>50% de	Solubilización

Tabla N°2: Comparación de distintos métodos de pre-tratamiento

Como solventes orgánicos suelen utilizarse metanol, etanol, ácido acético, acetona, entre otros o su mezcla con 1% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o HCl (Sánchez J. O., Cardona C. A., 2015).

Dentro de estas opciones en el artículo N°4 de The Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes llamado *“Production Of Furfural: Overview And Challenges”*, se compara la acción del método llamado Acetocell, donde se utiliza una mezcla de ácido acético, agua y ácido clorhídrico, y Formacell, que usa una solución de ácido fórmico. Igualmente ocurre en el paper *“Production of 5-Hydroxymethylfurfural from Pine Wood”*

(Penin, 2019), se detalla el método Acetosolv. En ambos, el ácido clorhídrico participa en la reacción como catalizador, por lo tanto se conserva su proporción del 0,1%.

Por su parte, el acético se utiliza en un 88% a una temperatura de 175°C y presiones de hasta 20 bares. Como al reducir la proporción de acético descienden las condiciones mencionadas (Casillas, 2010), se vio que por debajo del 70% puede trabajarse a temperaturas de hasta 160°C, entonces se decidió ir por una proporción de 60% de acético, 0,1% de ácido clorhídrico y el resto agua.

Para el tiempo de reacción, nuevamente recurrimos al paper (Casillas, 2010) donde luego de varios experimentos llega a la conclusión de que *“la mayor tasa de deslignificación con acético ocurre a la hora”*, adoptamos ese valor obteniendo finalmente un rendimiento de reacción del 80%.

#### 4.2 Hidrólisis

Según las normas NREL (National Renewable Energy Laboratory) al llevar a cabo una hidrólisis del tipo enzimática se es posible conseguir una reducción del costo de hasta 4 veces con un proceso del tipo enzimático que en la hidrólisis ácido concentrado.

Por esta razón, investigamos acerca de qué condiciones optimizarían la acción de las enzimas y como consecuencia, el rendimiento. Si bien las enzimas utilizadas, celulasas, son específicas para la obtención de celulosa, presentan como principal desventaja la disminución de su rendimiento cuando se aumenta excesivamente la concentración de celobiosa y glucosa. Por lo cual, los rangos de operación óptimas más relevantes se encuentran detallados en la Tabla N°3, resultado de *“Estudio del proceso productivo de bioetanol a partir de residuos de eucaliptus pre-tratados con distintos líquidos iónicos”*, (Martínez Bocaz, 2012):

<b>Parámetro</b>	<b>Rango óptimo de operación</b>
Temperatura	45-55°C (optimo = 50°C)
pH	4-5 (optimo= 4,8)
Carga enzimática	10-30 (FPU/gr material lignocelulósico)
Tiempo de operación	48 – 72 horas

Tabla N°3: Parámetros óptimos para la hidrólisis enzimática

Como sustento de esta decisión también nos basamos en el paper *“Obtención De Bioetanol A Partir De La Celulosa Presente En Cascarilla De Arroz Y Aserrín De Algarrobo”* de la revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, donde se utilizaron las mismas enzimas, celulasas, para la cáscara de arroz a una temperatura de 50°C durante 72hs, logrando que los

rendimientos de la fermentación de los hidrolizados fueran aproximadamente del 100% en todos los casos.

Con valores similares de reacción, Rogel A. K. A. (2017), alcanza a escala laboratorio un rendimiento final de 90% como máximo.

### 4.3 Fermentación

En el caso de la fermentación, la decisión de los parámetros fue más sencilla que en las operaciones anteriores ya que el hecho de usar enzimas condiciona a la reacción.

El rango de temperatura a utilizar se fijó a partir de bibliografía especializada en el comportamiento de levaduras ante distintas temperaturas (Tortora, Funke, & Case, 2007), resultando en el siguiente gráfico.

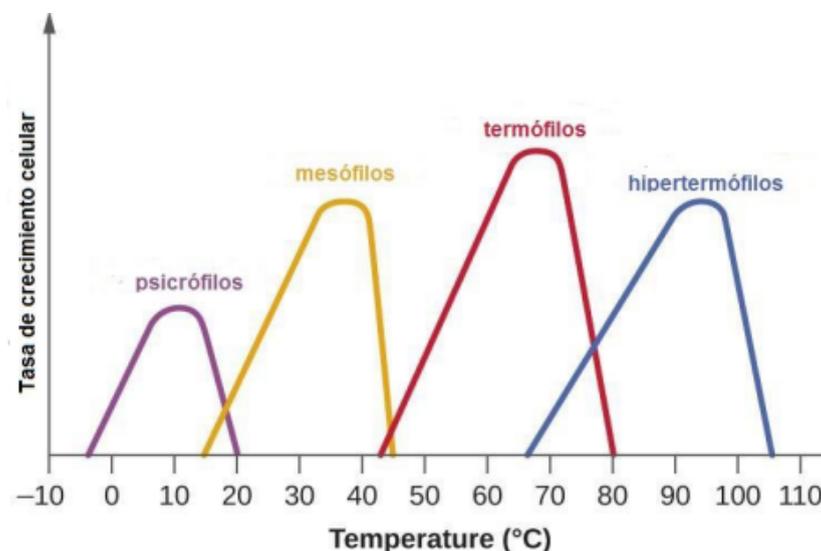


Figura N°8: Efecto de la temperatura en la velocidad de crecimiento de microorganismos

Según Shuler (1992), al tratarse de un microorganismo del tipo mesófilo, la temperatura óptima para las levaduras *S. cerevisiae* es de 30°C a 37°C.

En el paper “Optimización de la hidrólisis de la cascarilla de arroz”, Arismendy (2021) observó que a 37°C y presión atmosférica se generan rendimientos aceptables de azúcares fermentables y también es la temperatura máxima que podrían llegar a soportar microorganismos como *S. cerevisiae*.

Con respecto a la proporción de glucosa y agua a reaccionar, Guigou (2011) en “Obtención de parámetros cinéticos para el crecimiento del microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* en reactor CSTR” afirma que cuanto mayor es la relación biomasa:agua, mayor es el contenido de azúcares, pudiéndose conseguir mayores concentraciones de etanol al final del proceso. Por otro lado, a menor relación aumenta en forma significativa la viscosidad de la solución, dificultando mucho su manipulación y análisis. Obteniendo los mejores

desempeños (rendimiento, velocidad y manipulación) con una relación de materia seca a agua 1:5, la cual decidimos utilizar.

Capdevilla (2015) en *“Simulación del proceso fermentativo para la obtención de bioetanol a partir de residuos de arroz”* utilizó dichas condiciones basándose en la misma bibliografía obteniendo un rendimiento del 95%, y una corriente líquida de etanol obtenida que contiene 8,58% de pureza.

#### **4.4 Deshidratación**

El método más común y básico para purificar líquidos es la destilación, no obstante, el etanol presente en una mezcla etanol-agua a presión atmosférica no se puede purificar más allá de un 95%, ya que en ese mismo punto existe un azeótropo. En el caso de la mezcla etanol-agua, el azeótropo se encuentra a 78,2°C. (Pérez Madroñal, 2017)

Por esta razón en la bibliografía *“Diseño de biorreactores para producir bioetanol a partir de residuos de piel de patata”* se plantean dos opciones: Deshidratación por destilación (cambiar la presión de la destilación y agregar un agente auxiliar) y deshidratación por diferencia de tamaño molecular.

Por razones ya mencionadas en el Capítulo IV - Descripción de proceso, se decidió ir por el segundo método mencionado, también utilizado en la bibliografía mencionada.

#### **5. Conclusión**

Este capítulo se llevó a cabo, principalmente, para tener un mejor entendimiento de cómo se comporta la cáscara de arroz bajo las condiciones de molienda y tamizado.

Un aspecto a destacar fue la cantidad de polvillo que se genera durante la molienda, si bien el porcentaje de pérdida del producto por esto es mínimo, la importancia radica en la seguridad tanto del personal como de los equipos. La protección hacia operarios por riesgos de inhalación, y a los equipos por aumento de temperatura ya que la cáscara presenta una alta inflamabilidad, tanto con la licuadora como con el mortero se sintió un evidente aumento de temperatura que, ante alguna presencia de chispa podría ocasionar un incendio. Como posible solución a este problema se podría considerar llevar a cabo una molienda del tipo húmeda, ya que la siguiente operación es una reacción en medio acuoso.

Si se quisiera continuar el proceso con los resultados experimentales de la molienda obtenidos se tienen tres posibles caminos:

- Utilizar la cantidad de cáscara que cumple con el tamaño elegido aunque la cantidad sea menor, generando caudales de mucho menor tamaño que los calculados en los balances, aumentando los tiempos de producción, lo cual no es un aspecto positivo pero tampoco es un efecto condenante con respecto al nivel y calidad del producto obtenido, bioetanol.

- No ser tan estrictos en cuanto al tamaño de partícula deseado y utilizar más cantidad de cáscara de arroz. Lo cual, como mencionamos al principio, afecta directamente al rendimiento de la reacción del pretratamiento y, a su vez, a la hidrólisis. Desembocando en un descenso del rendimiento del proceso en general, resultando en un ineficiente uso de recursos y comprometiendo la calidad del bioetanol.
- Otra opción podría ser continuar con una molienda del tipo húmeda, aprovechando que el pretratamiento se realiza en medio acuoso. Para esto se debería recurrir a nueva bibliografía, agregar etapas en el proceso original propuesto y el gasto de recursos hídricos sería mucho mayor, lo cual lo vuelve una alternativa más costosa.

## 6. Bibliografía

- Aguilar, J., Martínez Castellanos, G., & Cruz, S. (2019). Proceso de producción de bioetanol de segunda generación (2G) en planta piloto, una oportunidad para mitigar la contaminación ambiental en México. *Revista Ingeniantes*, 3(2), 7. [https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes6no2vol3/4.%20Proceso%20de%20producci%C3%B3n%20de%20bioetanol%20de%20segunda%20generaci%C3%B3n%20\(2G\)%20en%20planta%20piloto,%20una%20oportunidad%20para%20mitigar%20la%20contaminaci%C3%B3n%20ambient](https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes6no2vol3/4.%20Proceso%20de%20producci%C3%B3n%20de%20bioetanol%20de%20segunda%20generaci%C3%B3n%20(2G)%20en%20planta%20piloto,%20una%20oportunidad%20para%20mitigar%20la%20contaminaci%C3%B3n%20ambient)
- Area, M. C., & Chamorro, E. R. (2014). OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CELULOSA PRESENTE EN CASCARILLA DE ARROZ Y ASERRÍN DE ALGARROBO. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 18(6), 7. <https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/30034/Obtencion%20de%20bioetanol%20a%20partir%20de%20la%20celulosa.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Capdevila, V., Kafarov, V., Gely, C., & Pagano, A. (2015). SIMULACIÓN DEL PROCESO FERMENTATIVO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE ARROZ. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 6(2), 11-21.
- Casillas, M. B. (2010). PRETRATAMIENTO DE BIOMASA CELULÓSICA PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL EN EL MARCO DE UNA BIORREFINERÍA. [https://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL\\_BARROSO\\_CASILLAS.pdf](https://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf)
- Cuervo, L., Folch, J. L., & Quiróz, R. E. (2014, Octubre 20). *Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Folch-Mallol/publication/266610846\\_Lignocelulosa\\_Como\\_Fuente\\_de\\_Azucres\\_Para\\_la\\_Produccion\\_de\\_Etanol/links/54451eba0cf2f14fb80e9651/Lignocelulosa-Como-Fuente-de-Azucres-Para-la-Produccion-de-Etanol.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Folch-Mallol/publication/266610846_Lignocelulosa_Como_Fuente_de_Azucres_Para_la_Produccion_de_Etanol/links/54451eba0cf2f14fb80e9651/Lignocelulosa-Como-Fuente-de-Azucres-Para-la-Produccion-de-Etanol.pdf)
- GUARNIZO FRANCO, A., MARTÍNEZ YÉPES, P. N., & VALENCIA SÁNCHEZ, H. A. (2009). PRETRATAMIENTOS DE LA CELULOSA Y BIOMASA PARA LA SACARIFICACIÓN. *Scientia Et Technica*, XV(42), 284-289.
- Lehen, R., Saake, B., & Nimz, H. H. (2001). *Furfural and Hydroxymethylfurfural as By-Products of FORMACELL Pulping* (2nd ed., Vol. 55). *Holzforschung*.
- MONROY, Antonio, NARVÁEZ, Rafael, VERA, Bernardo y BAUTISTA, Lilia. (2017) Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio. *Revista de Energía Química y Física*, 4-13:49-57.

- Penín, L., Rivas, S., & Parajó, J. C. (2019). Production of 5-Hydroxymethylfurfural from Pine Wood. *Bioresources.com*.  
[https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2019/04/BioRes\\_14\\_2\\_4733\\_Penin\\_PRSP\\_Prodn\\_5HMF\\_Pine\\_Wood\\_Biorefin\\_Fractionation\\_Ionic\\_Liquid\\_15562.pdf](https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2019/04/BioRes_14_2_4733_Penin_PRSP_Prodn_5HMF_Pine_Wood_Biorefin_Fractionation_Ionic_Liquid_15562.pdf)
- Sánchez, Óscar Julián, & Cardona, Carlos Ariel. (2005). Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas.. *Interciencia*, 30(11),671-678.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442005001100005&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005001100005&lng=es&tlng=es)
- Santos, T. M. (2018, September 11). *Autohidrólisis y deslignificación organosolv de madera de Pinus radiata para la recuperación de hemicelulosas y lignina con a.* E-Prints Complutense. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/49065/1/T40168.pdf>
- Torres Jaramillo, Diana, Morales Vélez, Sonia Patricia, & Quintero Díaz, Juan Carlos. (2017). Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(4), 733-743.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000400733>



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo VI: Balance de Masa y Energía**

## Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>145</b>
<b>2. Generalidades.....</b>	<b>145</b>
<b>3. Balance de Masa.....</b>	<b>145</b>
3.1. Obtención de celulosa.....	145
3.1.1. Molienda.....	145
3.1.2. Pretratamiento Acetosolv.....	145
3.1.3. Centrifugación.....	147
3.1.4. Recuperación de solvente.....	147
3.1.5. Separación de sólidos.....	148
3.2. Hidrólisis enzimática.....	148
3.3. Fermentación enzimática.....	149
3.4. Purificación.....	156
3.4.1. Destilación.....	156
3.4.2. Deshidratación.....	156
4.1. Pretratamiento Acetosolv.....	158
4.2. Condensador Sub - Enfriador 1.....	160
4.3. Recuperación de solvente.....	161
4.4. Intercambiador de calor 1.....	162
4.5. Hidrólisis.....	162
4.6. Intercambiador de calor 2.....	164
4.7. Fermentación.....	164
4.8. Destilación.....	165
4.9. Condensador Sub-enfriador 2.....	166
<b>4. Bibliografía.....</b>	<b>168</b>

## Índice de Figuras

Figura N°1: Productividad Vs Caudal.....	155
Figura N°2: Diagrama de bloques de operaciones con transferencia de energía.....	158

## Índice de Tablas

Tabla N°1: Coeficientes de Reacción.....	150
Tabla N°2: Parámetros cinéticos.....	152
Tabla N°3: Parámetros de reacción en el tiempo.....	153
Tabla N°4: Concentraciones.....	154
Tabla N°5: Valores finales de producción y productividad.....	155

Tabla N°6: Corrientes de entrada y salida por operación.....	157
Tabla N°7: Calor específico materiales.....	159
Tabla N°8: Calores de formación.....	163
Tabla N°9: Calores de las corrientes de entrada y salida por operación.....	167

## 1. Objetivo

En el presente capítulo se realizarán los balances de masa y energía de cada etapa del proceso productivo del bioetanol a partir de cáscara de arroz, con el fin de obtener todas las corrientes másicas y energéticas, tanto principales como secundarias. Permitiendo conocer, además de las cantidades de materia prima a utilizar y el bioetanol producido a partir de ésta, la cantidad y dimensión de los equipos a utilizar para dicho proceso.

## 2. Generalidades

Como se expuso anteriormente en el capítulo de estudio de mercado, la producción anual prevista para nuestra planta es de, aproximadamente, 46,2 millones de litros de bioetanol; para su producción se dispondrá de la máxima cantidad de cáscara de arroz a la que podemos acceder en el mercado argentino, que son 133 mil toneladas anuales.

Todas las operaciones del proceso funcionarán en régimen continuo, exceptuando una parte de la operación de fermentación que ocurrirá en régimen discontinuo, generando que en la planta se operen 330 días anuales, quedando 25 días para tareas de mantenimiento.

## 3. Balance de Masa

### 3.1. Obtención de celulosa

#### 3.1.1. Molienda

Como se detalló en el Capítulo IV: Descripción del Proceso, la primera operación que se debe realizar para obtener la celulosa es una molienda. Ésta se realizará por medio de un molino de discos dentados; posteriormente, la cascarilla molida pasará por un tamiz que separará el material que no logró alcanzar el tamaño deseado y será recirculado. Por este motivo, no se considera ningún tipo de pérdidas en esta corriente, ingresando y saliendo por día en esta operación 402,6 toneladas de cáscara de arroz, representando que por hora se tratan 16,78 toneladas.

#### 3.1.2. Pretratamiento Acetosolv

La siguiente operación es el pretratamiento en el cual se tratará la cáscara con una solución 30% de agua, 69,9% de ácido acético y 0,1% de ácido clorhídrico. Las cantidades de cada compuesto mencionado se obtienen en base al hecho de que la proporción sólido-líquido requerida para la operación es 1:2; se detallan a continuación los cálculos:

- Agua:

$$\dot{m}_{\text{Agua}} = 16,78 \frac{\text{Tn Cascarilla}}{\text{Hr}} * 2 \frac{\text{Tn Agua}}{\text{Tn cascarilla}} * 0,3$$

$$\dot{m}_{\text{Agua}} = 10,07 \frac{\text{Tn Agua}}{\text{Hr}}$$

- Ácido Acético:

$$\dot{m}_{Ac. Acético} = 16,78 \frac{Tn Cascarilla}{Hr} * 2 \frac{Tn \acute{A}c. Acético}{Tn cascarilla} * 0,699$$

$$\dot{m}_{Ac. Acético} = 23,45 \frac{Tn Ac. Acético}{Hr}$$

- Ácido Clorhídrico:

$$\dot{m}_{HCl} = 16,78 \frac{Tn Cascarilla}{Hr} * 2 \frac{Tn HCl}{Tn cascarilla} * 0,001$$

$$\dot{m}_{HCl} = 0,03 \frac{Tn HCl}{Hr}$$

Por lo que, para llevar a cabo el pretratamiento, serán necesarios estos caudales máxicos de solvente.

Finalizada dicha operación, se obtiene celulosa, lignina, hemicelulosa, cenizas y extraíbles. De estos compuestos, el protagonista principal es la celulosa, que será utilizada para la siguiente etapa del proceso productivo (hidrólisis). A continuación, se detallan los cálculos de las corrientes de salida del pretratamiento:

- Lignina:

$$\dot{m}_{Lignina} = 16,78 \frac{Tn Cascarilla}{Hr} * 0,12 \frac{Tn Lignina}{Tn Cascarilla}$$

$$\dot{m}_{Lignina} = 2,01 \frac{Tn Lignina}{Hr}$$

- Hemicelulosa:

$$\dot{m}_{Hemicelulosa} = 16,78 \frac{Tn Cascarilla}{Hr} * 0,07 \frac{Tn Hemicelulosa}{Tn Cascarilla}$$

$$\dot{m}_{Hemicelulosa} = 1,17 \frac{Tn Hemicelulosa}{Hr}$$

- Celulosa

$$\dot{m}_{Celulosa} = 16,78 \frac{Tn Cascarilla}{Hr} * 0,584 \frac{Tn Celulosa}{Tn Cascarilla}$$

$$\dot{m}_{Celulosa} = 9,80 \frac{Tn Celulosa}{Hr}$$

- Cenizas y Extraíbles

$$\dot{m}_{Cenizas y Extra} = 16,78 \frac{Tn Cascarilla}{Hr} * 0,225 \frac{Tn Cenizas y Extras}{Tn Cascarilla}$$

$$\dot{m}_{Cenizas y Extra} = 3,77 \frac{Tn Cenizas y Extras}{Hr}$$

La salida de esta operación estará compuesta por los caudales másicos de celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas recién calculados, además de las corrientes que conforman el solvente orgánico, que salen del equipo en iguales cantidades a las que ingresaron.

### 3.1.3. Centrifugación

A la centrífuga de tornillo helicoidal ingresará la mezcla de corrientes que proviene del pretratamiento, con el objetivo de separar los compuestos líquidos (lignina, hemicelulosa y solvente) de los sólidos (celulosa y cenizas).

Como en esta operación simplemente se realizará una separación, a la salida se conservarán los mismos caudales másicos que ingresaron al equipo, solo que separados.

Por hora se obtendrán, por un lado, 13,57 Toneladas de celulosa y cenizas y, por el otro, 36,74 Toneladas que corresponden a los compuestos líquidos, los cuales posteriormente serán tratados para su recirculación dentro del proceso.

### 3.1.4. Recuperación de solvente

La corriente líquida que se separa en la centrifugación es tratada para recuperar el ácido acético por medio de una columna de destilación. Dicha columna tiene un rendimiento del 99%, por lo que la cantidad de ácido acético recuperado será:

$$\dot{m}_{\text{Ác. Acético}} = 23,45 \frac{\text{Tn Ac. Acético}}{\text{Hr}} * 0,99$$

$$\dot{m}_{\text{Ác. Acético}} = 23,22 \frac{\text{Tn Ac. Acético}}{\text{Hr}}$$

De esta manera, el caudal de reposición del ácido acético requerido será:

$$\dot{m}_{\text{Reposición Ác Acético}} = 23,45 \frac{\text{Tn Ac. Acético}}{\text{Hr}} - 23,22 \frac{\text{Tn Ac. Acético}}{\text{Hr}} = 0,23 \frac{\text{Tn Ac. Acético}}{\text{Hr}}$$

Finalmente, serán necesarias 185.747,63 toneladas anuales de ácido acético para llevar a cabo el proceso, de las cuales 1.857,48 toneladas corresponden al caudal de reposición.

Por otro lado, tenemos en el caudal de efluentes:

$$\dot{m}_{\text{Efluente}} = 23,45 \frac{\text{Tn Ac. Acético}}{\text{Hr}} * 0,01 + 2,01 \frac{\text{Tn Lignina}}{\text{Hr}} + 1,17 \frac{\text{Tn Hemicelulosa}}{\text{Hr}} + 10,07 \frac{\text{Tn Agua}}{\text{Hr}} + 0,03 \frac{\text{Tn HCl}}{\text{Hr}}$$

$$\dot{m}_{\text{Efluente}} = 13,52 \frac{\text{Tn Efluente}}{\text{Hr}}$$

### 3.1.5. Separación de sólidos

Como el producto deseado es la celulosa y ésta se encuentra mezclada con las cenizas, se procederá a realizar una separación mediante un clasificador de tornillo; ya que el objetivo de esta operación es exclusivamente separar los sólidos.

Por esta razón, el caudal másico que ingresa (mezcla de celulosa y cenizas) permanecerá constante a la salida, aunque dividiéndose en dos corrientes.

Al finalizar la operación, se tendrán 9,80 Tn/Hr de celulosa y 3,77 Tn/Hr de cenizas.

### 3.2. Hidrólisis enzimática

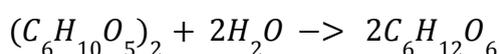
Con el fin de transformar la celulosa concentrada en glucosa, ésta se tratará con enzimas (para catalizar la reacción) y agua en una proporción 1:1. Dicha operación tiene un rendimiento del 90%.

Disponemos de las masas molares de los compuestos para calcular la cantidad de glucosa producida por hora:

$$Mr_{Glucosa} = 0,00018016 \frac{Tn Glucosa}{Mol}$$

$$Mr_{Celulosa} = 0,00016214 \frac{Tn Celulosa}{Mol}$$

Reacción estequiométrica:



Con estos datos se procede a realizar los cálculos:

$$\dot{m}_{Glucosa} = \frac{9,80 \frac{Tn Celulosa}{h} * 0,00018016 \frac{Tn Glucosa}{Mol}}{0,00016214 \frac{Tn Celulosa}{Mol}} * 0,90$$

$$\dot{m}_{Glucosa} = 9,80 \frac{Tn Glucosa}{h}$$

Además de la glucosa, debemos calcular el agua necesaria. Para ello, partimos de una cantidad anual de 10.000 Tn que, si bien según la reacción debería ser relación mol a mol, se decide utilizar una porción en exceso para garantizar el 90% de rendimiento mencionado. Afectando por los 330 días y 24 horas de funcionamiento decididos y plasmados en el comienzo del capítulo, se necesita la siguiente cantidad:

$$\dot{m}_{Agua} = 1,26 \frac{Tn Agua}{h}$$

Teniendo en cuenta que la reacción no presenta un 100% como mencionamos, obtenemos el caudal de agua que queda sin reaccionar:

$$\dot{m}_{\text{Agua sobrante}} = \dot{m}_{\text{Agua Ingreso}} - \dot{m}_{\text{Celulosa}} * Mr_{\text{Agua}} / Mr_{\text{Celulosa}} * 0,9$$

$$\dot{m}_{\text{Agua sobrante}} = 1,26 \frac{Tn}{h} - 9,8 \frac{Tn}{h} * \frac{0,000018 \frac{Tn}{mol}}{0,000162 \frac{Tn}{mol}} * 0,9 = 0,28 \frac{Tn}{h}$$

Además de la cantidad necesaria para asegurar la reacción de forma estequiométrica, se va agregando agua a medida que se va formando la glucosa para evitar que se solidifique hasta alcanzar un total de  $11,8 \frac{Tn \text{ Agua}}{h}$  de agua agregada al finalizar la reacción. Considerando que ya se cuenta con cierta cantidad de agua sobrante ( $0,28 \frac{Tn \text{ Agua}}{h}$ ), se reutiliza para así agregar un caudal total de  $11,52 \frac{Tn}{h}$ . La base principal para esta decisión fue el hecho de que la solubilidad de la glucosa indica que 83 gramos de esta, se disuelven en 100 ml de agua.

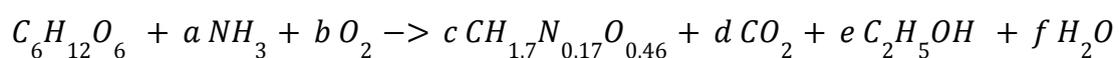
Como el objetivo principal es obtener un producto en estado líquido, estas toneladas extras serán parte de la corriente de glucosa resultante. Por lo tanto, al finalizar esta operación, se obtendrá por hora una corriente de 21,6 toneladas de glucosa en agua a partir de 12,78 toneladas de agua y 9,80 toneladas de celulosa; dejando 0,98 toneladas por hora de celulosa que no reacciona disponible para ser reutilizada en la siguiente reacción ya que al ser insoluble es posible separarla fácilmente del medio.

### 3.3. Fermentación enzimática

La siguiente operación es la fermentación y, como se mencionó anteriormente, a partir de esta se obtendrá el bioetanol impuro. Antes de realizar el balance de masa, se hará un balance estequiométrico para poder obtener los coeficientes correspondientes a cada reactivo/producto de la reacción.

Sabiendo que se requiere de amoníaco y oxígeno para poder llevar a cabo la reacción de una manera eficiente, agregaremos ambos del lado de reactivos y completamos la ecuación con los productos habituales de este tipo de reacciones, como lo son el  $CO_2$ , agua, además de la biomasa elegida (*Saccharomyces Cerevisiae*) y el producto esperado, el bioetanol; quedando de la siguiente manera:

*Saccharomyces Cerevisiae*:  $CH_{1,7}N_{0,17}O_{0,46}$

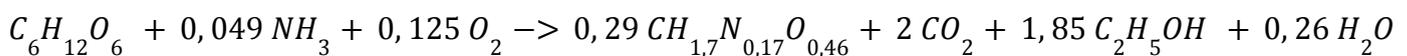


Haciendo uso de un sistema de ecuaciones y algunos coeficientes adquiridos de la bibliografía, se llega al siguiente resultado:

Coeficientes de Reacción	
a	0,049
b	0,125
c	0,29
d	2,00
e	1,85
f	0,26

Tabla N°1: Coeficientes de Reacción

Reemplazando en la reacción original se obtiene:



Cabe aclarar que, si bien en un principio se estableció que nuestro proceso fermentativo sería anaeróbico, según la bibliografía consultada, es preferible que haya presencia de oxígeno en cantidades pequeñas y controladas para poder garantizar la supervivencia y crecimiento correcto de la *Saccharomyces Cerevisiae*.

Ahora que se obtuvo la reacción real, dividiremos este análisis en dos cálculos diferentes. En primer lugar, calcularemos los caudales másicos que intervienen en la operación, como lo hemos hecho hasta ahora, haciendo uso de los reactivos disponibles y las relaciones estequiométricas.

Tenemos disponibles 9,80 toneladas de glucosa;

$$\dot{m}_{Etanol} = 9,80 \frac{Tn Glucosa}{h} * \left( \frac{1,855 \frac{mol Etanol}{mol Glucosa} * 0,000046 \frac{Tn Etanol}{mol etanol}}{0,00018 \frac{Tn Glucosa}{mol Glucosa}} + 0,26 \frac{mol agua}{mol Glucosa} * \frac{0,000018 \frac{Tn agua}{mol agua}}{0,00018 \frac{Tn Glucosa}{mol Glucosa}} \right) * 0,95 + \dot{m}_{Agua}$$

Siguiendo la bibliografía, el caudal de agua utilizado para la fermentación tiene únicamente la función de participar como medio (saliendo luego mezclado con el bioetanol), entonces se calcula como cinco veces el caudal de glucosa entrante.

Como se menciona en la hidrólisis, la glucosa debe tener cierta cantidad de agua para ser solubilizada por lo que del caudal de agua ingresante que se calcula, debemos descontar las 11,8 Tn/h que trae de la operación unitaria anterior, de todas formas seguirá siendo necesario el caudal de 5 veces solicitado por bibliografía. Entonces:

$$\dot{m}_{Etanol} = 4,41 \frac{Tn Bioetanol}{h} + 49,24 \frac{Tn Agua}{h}$$

$$\dot{m}_{Etanol} = 53,64 \frac{Tn Bioetanol Impuro}{h}$$

Para leer correctamente estos valores, debemos tener en cuenta que el bioetanol que sale de esta operación es un bioetanol impuro, -pureza 8,53%- ya que tiene una gran cantidad de agua.

De manera análoga se calcula la cantidad de dióxido de carbono que, recordando el capítulo de descripción de proceso, será capturado para, posteriormente, comercializarlo.

$$\dot{m}_{CO_2} = 9,80 \frac{Tn\ Glucosa}{h} * 2 \frac{mol\ CO_2}{mol\ Glucosa} * \frac{0,000044 \frac{Tn\ CO_2}{mol\ CO_2}}{0,00018 \frac{Tn\ Glucosa}{mol\ Glucosa}} * 0,95$$

$$\dot{m}_{CO_2} = 4,55 \frac{Tn\ CO_2}{h}$$

Una vez obtenidos los caudales, en la segunda parte del cálculo, se hará un estudio de la cinética del proceso fermentativo, para entender los tiempos de reacción y con ello la cantidad de reactores a utilizar.

Como se detalló en capítulos anteriores, esta etapa consta de una primera parte discontinua y luego otra continua. Para ello las siguientes ecuaciones:

- Discontinuo

$$r_S = \mu_{Smax} \frac{S}{S+K_S}$$

$$r_N = \mu_{Nmax} \frac{N}{K_N+N} \frac{K_{IN}}{K_{IN}+N} \frac{K_{IP}}{K_{IP}+P} \frac{S}{K_{NS}+S}$$

$$\frac{dS}{dt} = - r_S X$$

$$\frac{dN}{dt} = - r_N X$$

$$\frac{dX}{dt} = - \alpha_2 r_S X + \alpha_3 r_N X$$

$$\frac{dP}{dt} = - \beta_2 r_S X + \beta_3 r_N X$$

Valores necesarios otorgados por bibliografía:

Parámetros cinéticos	
$\mu_S$ máx	101,728
KS	714,372
$\mu_N$ máx	0,0627
KN	0,000302
KIN	0,4526
KIP	8,812
KNS	714,106
$\alpha_2$	0,0379
$\alpha_3$	41,926
$\beta_2$	0,2555
$\beta_3$	601,155
S°	150
N°	0,1900
X°	0,7197
P°	0

Tabla N°2: Parámetros cinéticos

Teniendo en cuenta estos valores y las ecuaciones, calculamos cómo evolucionan los diferentes parámetros en el tiempo y elegimos el tiempo final. Decidimos detener la reacción a las 9,5 hs ya que en ese momento se obtiene una cantidad de producto satisfactoria y se conservan pequeñas concentraciones de sustrato y nitrógeno, los cuales serán necesarios para la próxima etapa de régimen continuo.

t [h]	X [g/L]	S [g/L]	P [g/L]	N [g/L]
0	0,720	150,000	5,522	0,190
0,5	0,841	147,520	6,553	0,183
1	0,981	144,637	7,725	0,176
1,5	1,141	141,297	9,052	0,168
2	1,322	137,443	10,549	0,160
2,5	1,529	133,017	12,231	0,151
3	1,761	127,958	14,111	0,141
3,5	2,023	122,209	16,204	0,130
4	2,315	115,716	18,519	0,120
4,5	2,638	108,437	21,065	0,108
5	2,995	100,347	23,844	0,096
5,5	3,383	91,450	26,849	0,084
6	3,801	81,789	30,060	0,072
6,5	4,244	71,470	33,442	0,059
7	4,704	60,675	36,934	0,047
7,5	5,170	49,686	40,448	0,0354
8	5,625	38,899	43,861	0,0244
8,5	6,048	28,813	47,024	0,0147
9	6,417	19,972	49,774	0,0065
9,5	6,713	12,840	51,971	0,0003
10	6,920	7,638	53,437	0,0000
10,5	7,049	4,238	54,305	0,0000

Tabla N°3: Parámetros de reacción en el tiempo

Con estos valores, procedemos a calcular la etapa continua de la fermentación. Como dato adicional, se decidió utilizar un reactor discontinuo de  $25 m^3$  mientras que el volumen de los reactores continuos será de  $50 m^3$ .

- Continuo

$$r_{Si} = \mu_{Smax} \frac{S_i}{S_i + K_s}$$

$$r_{Ni} = \mu_{Nmax} \frac{N_i}{K_N + N_i} \frac{K_{IN}}{K_{IN} + N_i} \frac{K_{IP}}{K_{IP} + P_i} \frac{S_i}{K_{NS} + S_i}$$

$$\frac{dS_1}{dt} = D \cdot (S_e - S_1) - r_{S1} X_1$$

$$\frac{dN_1}{dt} = D \cdot (N_e - N_1) - r_{N1} X_1$$

$$\frac{dX_1}{dt} = (\alpha_2 r_{S1} + \alpha_3 r_{N1} - D) \cdot X_1$$

$$\frac{dP_1}{dt} = (\beta_2 r_{S1} + \beta_3 r_{N1}) \cdot X_1 - DP_1$$

$$S^\circ = Sf * \frac{V_{Discontinuo}}{V_{Continuo} * N^\circ \text{ reactores}}$$

$$P^\circ = Pf * \frac{V_{Discontinuo}}{V_{Continuo} * N^\circ \text{ reactores}}$$

$$X^\circ = Xf * \frac{V_{Discontinuo}}{V_{Continuo} * N^\circ \text{ reactores}}$$

$$N^\circ = Nf * \frac{V_{Discontinuo}}{V_{Continuo} * N^\circ \text{ reactores}}$$

$$N^\circ \text{ reactores} = 16$$

Siendo:

Concentraciones [g/L]	
S°	0,4013
N°	0,00000938
X°	0,2098
P°	1,6241
Se	150
Ne	0,19
Pe	0,00

Tabla N°4: Concentraciones

Para poder elegir la mejor opción para nuestro proceso, se hace un análisis utilizando diferentes caudales de entrada y valores del factor dilución (D), comparando las productividades máximas resultantes de dichos parámetros, con el fin de hallar las condiciones óptimas para la reacción, y proceso en general. Realizando una iteración, se llega al siguiente gráfico:

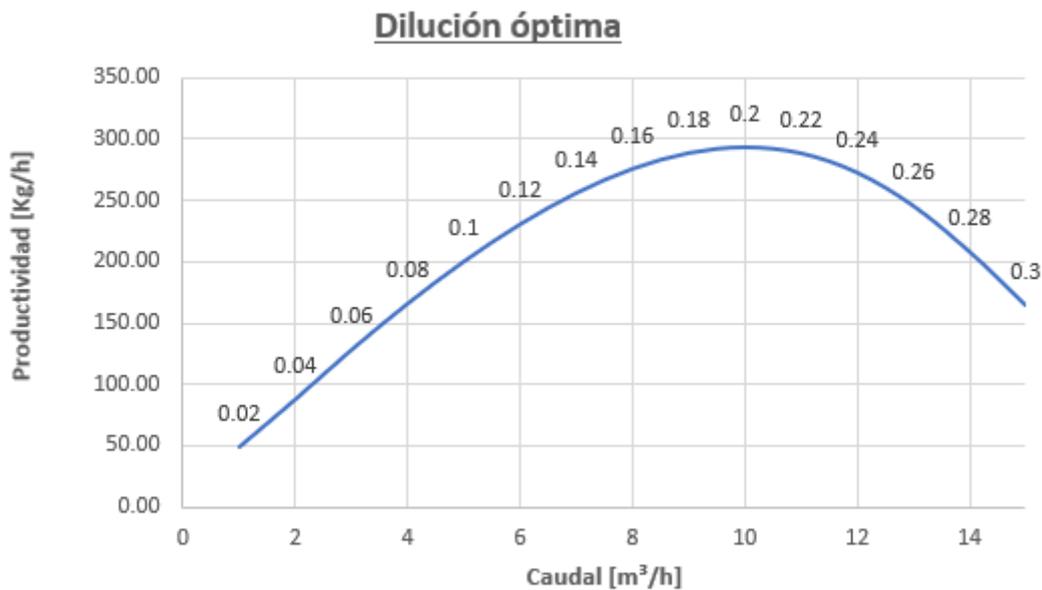


Figura N°1: Productividad Vs Caudal

En este gráfico se puede observar que la mayor productividad se obtiene con un caudal de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  y un factor de dilución de  $0,2 \text{ h}^{-1}$ .

Cabe aclarar que todos los caudales fueron comparados al mismo tiempo de reacción y a las mismas condiciones que, al igual que los cálculos mencionados, se encuentran detallados en el anexo.

A partir de estos valores, utilizamos la productividad en unidades convenientes para poder corroborar si con los 16 reactores elegidos inicialmente se logrará llegar a la producción deseada.

Con la productividad estimada de los cálculos, se hará una relación con la producción anual estimada y se verá si el número de reactores coincide con el elegido.

X [g/Lt]	S [g/Lt]	P [g/Lt]	N [g/Lt]	Productividad Vol [Kg/Lt.h]	Productividad [Kg/h]	Dilución [1/h]	Caudal [m3/h]
3,8479	60,3624	29,3643	0,0825	0,0059	293,6427	0,2	10

Tabla N°5: Valores finales de producción y productividad

$$Productividad [Tn/d] = 293,64 \frac{kg}{h} * \frac{24 \frac{h}{d}}{1000 \frac{kg}{Tn}} = 7,05 \frac{Tn}{d}$$

$$Productividad [Lt/año] = 7,05 \frac{Tn}{d} * \frac{330 \frac{d}{año}}{0,000789 \frac{Tn}{Lt}} = 2.947.592 \frac{Lt}{año}$$

Sabiendo que por año la producción estimada es de 46.163.227,68 litros, se puede realizar el cociente con la productividad anual de cada reactor, logrando estimar el número de reactores requeridos.

$$\frac{46.163.227,68 \text{ Lt/año}}{2.947.592 \text{ L/(año*reactor)}} = 16 \text{ reactores}$$

Finalmente, podemos concluir que nuestra planta requerirá de 16 reactores de  $50 \text{ m}^3$  en la operación de fermentación para alcanzar la producción prevista.

### 3.4. Purificación

Al finalizar la fermentación se obtiene un bioetanol con gran cantidad de agua, por lo que se realiza un proceso de purificación en dos etapas para lograr bioetanol de alta pureza, apto para utilizar como combustible.

#### 3.4.1. Destilación

En esta etapa se parten de los 53,64 Tn/Hr de bioetanol que poseen un 8,53% de pureza. Al finalizar la operación se obtendrá bioetanol al 95% (punto donde se genera el azeótropo agua-bioetanol).

$$\dot{m}_{\text{Bioetanol}} = 53,64 \frac{\text{Tn Bio Impuro}}{\text{Hr}} * 0,0853 + (53,64 \frac{\text{Tn Bio Impuro}}{\text{Hr}} * 0,0853 * \frac{5}{95})$$

$$\dot{m}_{\text{Bioetanol}} = 4,82 \frac{\text{Tn Bio Impuro}}{\text{Hr}}$$

Además, se obtiene como efluente el agua sustraída de la corriente de bioetanol:

$$\dot{m}_{\text{Efluente}} = 53,64 \frac{\text{Tn Bio Impuro}}{\text{Hr}} - 4,82 \frac{\text{Tn Bio Impuro}}{\text{Hr}}$$

$$\dot{m}_{\text{Efluente}} = 48,82 \frac{\text{Tn Efluente}}{\text{Hr}}$$

#### 3.4.2. Deshidratación

Para poder romper el azeótropo alcanzado en la etapa de destilación y obtener una mayor pureza en el bioetanol, se realizará una deshidratación que se llevará a cabo con tamices moleculares. Con esta operación se logrará finalmente un bioetanol de 99,9% de pureza, siendo éste apto para la utilización en motores de combustión interna.

$$\dot{m}_{\text{Bioetanol}} = 4,82 \frac{\text{Tn Bio Impuro}}{\text{Hr}} * 0,95 + (4,82 \frac{\text{Tn Bio Impuro}}{\text{Hr}} * 0,95 * \frac{0,5}{99,5})$$

$$\dot{m}_{\text{Bioetanol}} = 4,60 \frac{\text{Tn Bioetanol}}{\text{Hr}}$$

Como ocurrió en la destilación, se obtienen los efluentes del agua extraída de la corriente:

$$\dot{m}_{Efluente} = 4,82 \frac{Tn \text{ Bio Impuro}}{Hr} - 4,60 \frac{Tn \text{ Bioetanol}}{Hr}$$

$$\dot{m}_{Efluente} = 0,22 \frac{Tn \text{ Efluente}}{Hr}$$

**Por lo que en nuestra planta industrial se producirán 4,60 toneladas de bioetanol por hora, logrando producir anualmente 46.163.227,68 litros de bioetanol.**

A modo de resumen se presenta el siguiente cuadro con los caudales de cada corriente por operación:

Etapa	Operación	Corriente	Entrada [Tn/Hr]	Salida [Tn/Hr]
Obtención de Celulosa	Molienda	Cáscara de arroz	16,78	16,78
	Pretratamiento	Cáscara de arroz	16,78	-
		Ácido acético	23,45	23,45
		Ácido clorhídrico	0,03	0,03
		Agua	10,07	10,07
		Celulosa	-	9,8
		Cenizas	-	3,77
		Lignina - Hemicelulosa	-	3,18
	Centrifugación	Celulosa	9,8	9,8
		Cenizas	3,77	3,77
		Solvente	33,55	33,55
		Lignina - Hemicelulosa	3,18	3,18
	Recuperación de solvente	Ácido acético	23,45	23,22
		Ácido clorhídrico	0,03	-
		Lignina - Hemicelulosa	3,18	-
		Agua	10,07	-
Separación de sólidos	Efluentes	-	13,52	
	Celulosa	9,8	9,8	
Hidrólisis Enzimática	Hidrólisis	Cenizas	3,77	3,77
		Celulosa	9,8	-
		Agua	1,26 (+11,8)*	-
		Glucosa	-	21,6
Fermentación	Fermentación	Efluentes	-	-
		Glucosa	9,8	0,49
		Agua	49	-
		Bioetanol	-	53,64
Captación CO2	Captación de CO2	CO2	-	4,55
		CO2	4,55	4,55
Purificación	Destilación	Bioetanol	53,64	4,82
		Efluentes	-	48,83
	Deshidratación	Bioetanol	4,82	4,6
		Efluentes	-	0,22

Tabla N°6: Corrientes de entrada y salida por operación

\* 11,8 Tn se van agregando gradualmente

#### 4. Balance de Energía

A continuación, se muestra el diagrama de bloques del proceso, especificando en color naranja las operaciones que presentan una transferencia de calor, las cuales calcularemos en esta sección.

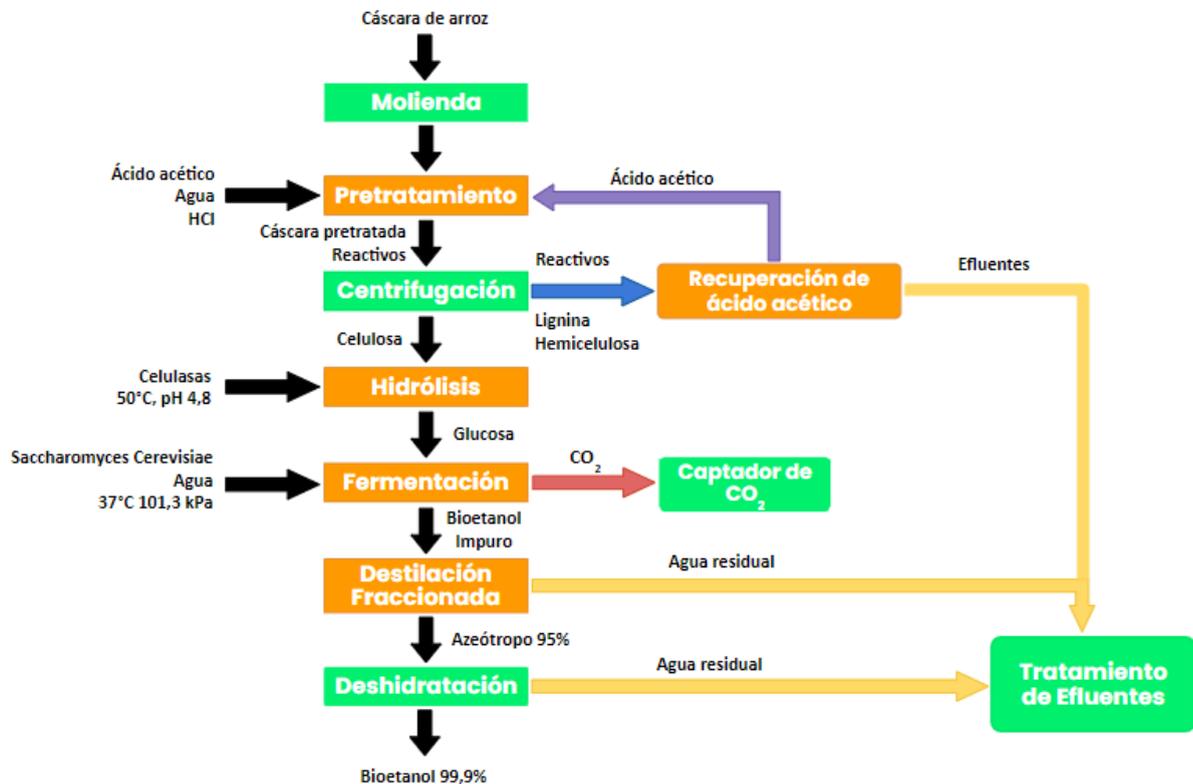


Figura N°2: Diagrama de bloques de operaciones con transferencia de energía

##### 4.1. Pretratamiento Acetosolv

Como se detalló anteriormente, en esta operación estarán involucradas las siguientes materias primas: cáscara de arroz, ácido acético, ácido clorhídrico y agua. El ácido clorhídrico funcionará como catalizador y, además, se utilizará un reactor encamisado logrando trabajar a una temperatura de 160°C, de manera constante. Por lo que el salto de temperatura en esta operación será de 25°C a 160°C.

La expresión para obtener la energía calorífica es la siguiente:

$$Q = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

A continuación se presentan los calores específicos de todas las materias primas y productos del proceso:

Materia Prima	Calor específico [Kcal/Kg °C]
Cáscara de Arroz	0,5200
Agua	0,9984
Ácido Acético	0,4930
HCl	0,8288
Celulosa	0,3343
Glucosa	0,1530
CO2	0,2032
Bioetanol	0,5373

Tabla N°7: Calor específico materiales

Todos los valores se buscaron a las diferentes temperaturas en las que ocurrían las diversas operaciones y se observó que los mismos no presentaban grandes modificaciones por tratarse de saltos de temperaturas pequeños, por ello todos los cálculos se harán en base a estos valores promedio. Cabe aclarar que para la cáscara se toma un valor entre los que se encuentra el Cp de la madera (0,31 kcal/kg.°C - 0,57 kcal/kg.°C) ya que no se dispone de valores exactos.

Con estos valores, se procede a realizar los cálculos:

- Cáscara:

$$Q_{Cáscara} = \dot{m}_{Cáscara} * C_{p_{Cáscara}} * \Delta T$$

$$Q_{Cáscara} = 16,78 \frac{Tn\ Cáscara}{Hr} * \frac{1000\ Kg}{1\ Tn} * 0,52 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (160 - 25)^{\circ}C$$

$$Q_{Cáscara} = 1.117.682,01 \frac{Kcal}{Hr}$$

- Agua:

$$Q_{Agua} = \dot{m}_{Agua} * C_{p_{Agua}} * \Delta T$$

$$Q_{Agua} = 10,07 \frac{Tn\ Agua}{Hr} * \frac{1000\ Kg}{1\ Tn} * 0,9984 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (160 - 25)^{\circ}C$$

$$Q_{Agua} = 1.356.689,67 \frac{Kcal}{Hr}$$

- Ácido Acético:

$$Q_{Ac. Acético} = \dot{m}_{Ac. Acético} * C_{p_{Ac. Acético}} * \Delta T$$

$$Q_{Ac. Acético} = 23,45 \frac{Tn\ Ac. Acético}{Hr} * \frac{1000\ Kg}{1\ Tn} * 0,4930 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (160 - 25)^{\circ}C$$

$$Q_{Ac. Acético} = 1.560.913,32 \frac{Kcal}{Hr}$$

- Ácido Clorhídrico:

$$Q_{HCl} = \dot{m}_{HCl} * c_{p_{HCl}} * \Delta T$$

$$Q_{HCl} = 0,03 \frac{Tn_{HCl}}{Hr} * \frac{1000 Kg}{1 Tn} * 0,8288 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (160 - 25)^{\circ}C$$

$$Q_{HCl} = 3.754,09 \frac{Kcal}{Hr}$$

Finalmente, para esta operación se obtiene:

$$Q_{Pre-Tratamiento} = Q_{Cáscara} + Q_{Agua} + Q_{Ac. Acético} + Q_{HCl}$$

$$Q_{Pre-Tratamiento} = 4.099.039,08 \frac{Kcal}{Hr}$$

#### 4.2. Condensador Sub - Enfriador 1

La siguiente operación al pretratamiento en la que se produce una transferencia de calor es la recuperación del ácido. Sin embargo, se presenta una situación que se repite en varias etapas del proceso y se debe aclarar para realizar el balance energético de manera apropiada. Nos referimos a la diferencia de temperaturas o estado de una sustancia entre la salida de una operación y la necesaria para la siguiente. Como solución a esto se decidió utilizar entre ciertas operaciones un intercambiador de calor o condensador, según sea la necesidad.

En este caso en particular, se requiere de un condensador para que la corriente del ácido acético y agua alcance los 95°C en estado líquido para ingresar a la siguiente operación (recuperación de solvente). Se ha seleccionado al agua como fluido refrigerante ya que es económico y de fácil obtención; éste ingresará a 15°C y absorberá el calor del ácido acético, permitiendo alcanzar la temperatura deseada de este fluido y saliendo el agua a 50°C.

$$Q = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

Como la mezcla se compone principalmente de ácido acético, utilizamos sus propiedades para calcular el calor que cede al líquido refrigerante, teniendo en cuenta el calor latente para la etapa de condensación, y el calor sensible para la etapa de enfriamiento. Para finalmente, obtener el caudal de agua requerido para el intercambio. Siendo 118°C el punto de ebullición del ácido acético:

$$Q_{Ac. Acético} = Q_{Sensible} + Q_{Latente}$$

$$Q_{Ac. Acético} = \dot{m}_{Ac. Acético} * C_{p_{Ac. Acético (Vapor)}} * \Delta T + \dot{m}_{Ac. Acético} * \lambda$$

$$Q_{Ac. Acético} = [33,52 \frac{Tn_{Ac. Acético}}{Hr} * 1000 \frac{Kg}{Tn} * 0,327 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (118 - 95)^{\circ}C] + [33,52 \frac{Tn_{Ac. Acético}}{Hr} * 1000 \frac{Kg}{Tn} * 96,13 \frac{Kcal}{Kg}]$$

$$Q_{Ac. Acético} = 252.080,18 \frac{Kcal}{Hr} + 3.221.741,52 \frac{Kcal}{Hr}$$

$$Q_{Ac. Acético} = 3.473.822 \frac{Kcal}{Hr}$$

Entonces, sabiendo que el agua ingresa a 15°C y considerando que no hay pérdidas de calor durante la operación, el calor cedido por un fluido es absorbido por el otro, resultando en

$$Q_{Condens 1} = 0 \frac{Kcal}{Hr} :$$

$$- 3.473.822 \frac{Kcal}{Hr} = \dot{m}_{Agua} * 1000 \frac{Kg}{Tn} * 0,9984 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (15 - 50)^{\circ}C$$

$$\dot{m}_{Agua} = 99,28 \frac{Tn Agua}{Hr}$$

#### 4.3. Recuperación de solvente

Durante esta etapa se hace presente un leve incremento de la temperatura, elevando la temperatura de 95°C a 100°C. Para conocer el aporte calorífico total, debemos analizar cómo participa cada componente en este, por lo tanto:

- Ácido Acético :

$$Q_{Ac. Acético} = 23,45 \frac{Tn Ac. Acético}{Hr} * \frac{1000 Kg}{1 Tn} * 0,4930 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (100 - 95)^{\circ}C$$

$$Q_{Ac. Acético} = 57.811,6 \frac{Kcal}{Hr}$$

- Agua:

En este componente se tendrá en cuenta tanto el calor sensible como el latente por producirse un cambio de estado al llegar a los 100°C, siendo el calor de vaporización: 582,76 Kcal/Kg. Para obtener la energía calorífica se debe realizar el siguiente cálculo:

$$Q = \dot{m} * Cp * \Delta T + \dot{m} * \Delta H$$

$$Q_{Agua} = 10,07 \frac{Tn Agua}{Hr} * \frac{1000 Kg}{1 Tn} * [0,9984 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (100 - 95)^{\circ}C + 582,76 \frac{Kcal}{Kg}]$$

$$Q_{Agua} = 5.916.143,53 \frac{Kcal}{Hr}$$

Cabe destacar que se despreció el aporte calorífico correspondiente al HCl, ya que tiene una participación másica casi imperceptible (0,1%) en comparación a los otros dos compuestos analizados. Entonces, para esta operación queda:

$$Q_{Recuperación} = Q_{Agua} + Q_{Ac. Acético}$$

$$Q_{Recuperación} = 5.973.955,14 \frac{Kcal}{Hr}$$

#### 4.4. Intercambiador de calor 1

Con el fin de adecuar la temperatura de la corriente previo a la hidrólisis, utilizará un intercambiador de calor para disminuir la temperatura de la celulosa, obtenida desde 77°C, hasta los 37°C óptimos para la hidrólisis enzimática.

Como los rangos de temperaturas con los que estamos trabajando no implican un cambio de fase de alguna de las sustancias, se aplicarán solo calores sensibles:

$$Q_{Celulosa} = 9,80 \frac{Tn Celulosa}{Hr} * 1000 \frac{Kg}{Tn} * 0,3343 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (37 - 77)^{\circ}C$$

$$Q_{Celulosa} = - 131.053,44 \frac{Kcal}{Hr}$$

La masa de agua utilizada se obtendrá suponiendo que no hay pérdidas de energía y que lo que cede un fluido, es captado por el otro (suposición en todos los equipos de intercambio de calor). Además, sabiendo que el agua ingresa a 20°C y sale a 30°C, procedemos a calcular el caudal de agua requerido para esta operación:

Sabiendo que  $Q_{IC1} = 0 \frac{Kcal}{Hr}$ , entonces:

$$131.053,44 \frac{Kcal}{Hr} = \dot{m}_{Agua} * 1000 \frac{Kg}{Tn} * 0,9984 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (30 - 20)^{\circ}C$$

$$\dot{m}_{Agua} = 13,13 \frac{Tn Agua}{Hr}$$

#### 4.5. Hidrólisis

La temperatura óptima para llevar a cabo la hidrólisis enzimática, como se mencionó anteriormente, es de 37°C. Por este motivo es que la operación comenzará con esta temperatura y, al pasar las horas, se alcanzará una temperatura máxima de 50°C. En esta operación solo están involucradas las corrientes de celulosa y agua, las cuales reaccionarán para producir glucosa.

Nuevamente se aplica la expresión para obtener la energía calorífica, ahora teniendo en cuenta también el calor de formación.

$$Q = \dot{m} * Cp * \Delta T + \dot{m} * \Delta H_f$$

Materia Prima	$\Delta H_f$ [Kcal/Kg]	$\Delta H_f$ [Kj/Kg]
Celulosa	-2.037	-8.523
Agua	-3.794,84	-15.878
Glucosa	-1.683,6	-7.044
CO2	-2.137,42	-8.943,2
Bioetanol	-1.442,3	-6.034

Tabla N°8: Calores de formación

- Celulosa:

$$Q_{Celulosa} = 9,80 \frac{Tn Celulosa}{Hr} * \frac{1000 Kg}{1 Tn} * [(- 2.037 \frac{Kcal}{Kg}) + 0,3343 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (43 - 37)^{\circ}C]$$

$$Q_{Celulosa} = - 19.942.912,58 \frac{Kcal}{Hr}$$

- Agua entrada:

$$Q_{Agua} = 13,06 \frac{Tn Agua}{Hr} * \frac{1000 Kg}{1 Tn} * [0,9984 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (43 - 37)^{\circ}C + (- 3.794,84 \frac{Kcal}{Kg})]$$

$$Q_{Agua} = - 49.481.708,26 \frac{Kcal}{Hr}$$

- Glucosa:

$$Q_{Glucosa} = 9,80 \frac{Tn Glucosa}{Hr} * \frac{1000 Kg}{1 Tn} * [0,1530 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (50 - 43)^{\circ}C + (- 1.683,6 \frac{Kcal}{Kg})]$$

$$Q_{Glucosa} = - 16.484.707,58 \frac{Kcal}{Hr}$$

- Agua salida:

$$Q_{Agua} = \frac{1000 Kg}{1 Tn} * 11,8 \frac{Tn Agua}{Hr} * [0,9984 \frac{Kcal}{Kg.^{\circ}C} * (50 - 43)^{\circ}C + (- 3.794,84 \frac{Kcal}{Kg})]$$

$$Q_{Agua} = - 45.756.625,07 \frac{Kcal}{Hr}$$

Entonces:

$$Q_{Hidrólisis} = Q_{Glucosa} + Q_{Agua salida} - (Q_{Agua entrada} + Q_{Celulosa})$$

$$Q_{Hidrólisis} = - 16.484.707,58 \frac{Kcal}{Hr} - 45.756.625,07 \frac{Kcal}{Hr} - (- 49.481.708,26 - 19.942.912,58) \frac{Kcal}{Hr}$$

$$Q_{Hidrólisis} = 7.183.288,19 \frac{Kcal}{Hr}$$

#### 4.6. Intercambiador de calor 2

Nuevamente se requiere descender la temperatura del compuesto de interés, la glucosa obtenida en la hidrólisis. Utilizamos un intercambiador de calor para que disminuya la temperatura de 50°C a 32°C, temperatura operativa óptima para la fermentación.

$$Q_{Glucosa\ en\ agua} = 21,60 \frac{Tn\ Glucosa}{Hr} * \frac{1000\ Kg}{1\ Tn} * (0,1530 \frac{Kcal}{Kg.\ ^\circ C} + 0,9984) / 2 * (32 - 50)^\circ C$$
$$Q_{Glucosa} = - 223.797,92 \frac{Kcal}{Hr}$$

Cabe aclarar que el calor específico utilizado es el correspondiente a un Cp medio entre el del agua y la glucosa, ya que la corriente a enfriar está compuesta casi en iguales proporciones por dichas sustancias.

A continuación, se obtiene la cantidad de líquido refrigerante, agua inicialmente a 20°C, que finalmente saldrá de la operación a 30°C para lograr el objetivo del equipo:

Partiendo desde  $Q_{IC\ 2} = 0 \frac{Kcal}{Hr}$ :

$$223.797,92 \frac{Kcal}{Hr} = \dot{m}_{Agua} * 1000 \frac{Kg}{Tn} * 0,9984 \frac{Kcal}{Kg.\ ^\circ C} * (30 - 20)^\circ C$$
$$\dot{m}_{Agua} = 22,42 \frac{Tn\ Agua}{Hr}$$

#### 4.7. Fermentación

Se reitera que, en esta operación, la glucosa y el agua se transformarán en bioetanol (compuesto por una cantidad de agua apreciable) y dióxido de carbono. Ingresando al reactor la corriente de reactivos a 32°C, llegando a una temperatura de 37°C durante la reacción, entonces, como en el caso de la hidrólisis, haremos uso de los calores de formación.

Para el cálculo de la energía calorífica involucrada en esta etapa, se debe tener en cuenta que tanto reactivos como productos darán su aporte, entonces:

- Glucosa:

$$Q_{Glucosa} = 9,80 \frac{Tn\ Glucosa}{Hr} * \frac{1000\ Kg}{1\ Tn} * [0,1530 \frac{Kcal}{Kg.\ ^\circ C} * (34 - 32)^\circ C + (- 1.683,6 \frac{Kcal}{Kg})]$$
$$Q_{Glucosa} = - 16.492.200,67 \frac{Kcal}{Hr}$$

- Agua:

$$Q_{Agua} = 49 \frac{Tn\ Agua}{Hr} * \frac{1000\ Kg}{1\ Tn} * [0,9984 \frac{Kcal}{Kg.\ ^\circ C} * (34 - 32)^\circ C + (- 3.794,84 \frac{Kcal}{Kg})]$$

$$Q_{\text{Agua}} = - 185.798.379,51 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}}$$

- Dióxido de Carbono:

$$Q_{\text{CO}_2} = 4,55 \frac{\text{Tn CO}_2}{\text{Hr}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Tn}} * [0,2032 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (37 - 34)^\circ\text{C} + (- 2.137,42 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}})]$$

$$Q_{\text{CO}_2} = - 9.716.850,72 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}}$$

- Bioetanol:

$$Q_{\text{Bioetanol}} = 4,41 \frac{\text{Tn Bioet}}{\text{Hr}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Tn}} * [0,5373 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (37 - 34)^\circ\text{C} + (- 1.442,3 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}})] + 49,24 \frac{\text{Tn Bioet}}{\text{Hr}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Tn}} * [0,9984 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (37 - 34)^\circ\text{C} + (- 3.794,79 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}})]$$

$$Q_{\text{Bioetanol}} = - 193.061.413,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}}$$

Se obtiene:

$$Q_{\text{Fermentación}} = Q_{\text{Bioetanol}} + Q_{\text{CO}_2} - (Q_{\text{Glucosa}} + Q_{\text{Agua}})$$

$$Q_{\text{Fermentación}} = - 193.061.413,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}} - 9.722.487,32 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}} - (- 16.496.281,2 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}} - 185.849.316,8 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}})$$

$$Q_{\text{Fermentación}} = - 487.684,20 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}}$$

#### 4.8. Destilación

Durante esta etapa se producirá un aumento de temperatura para lograr la separación del agua del bioetanol. Se obtendrá bioetanol al 95% a 78°C. Cabe destacar que a esta temperatura se lleva a cabo la ebullición del etanol, por lo tanto, en el balance energético debemos tener en cuenta el calor de vaporización de este compuesto:

- Bioetanol:

$$Q_{\text{Bioetanol}} = 4,82 \frac{\text{Tn Bioetanol}}{\text{Hr}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Tn}} * [0,5373 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (78 - 37)^\circ\text{C} + 200,6 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}]$$

$$Q_{\text{Bioetanol}} = 1.073.261,61 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}}$$

- Agua:

$$Q_{\text{Agua}} = 48,83 \frac{\text{Tn Agua}}{\text{Hr}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Tn}} * 0,9984 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (78 - 37)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Agua}} = 2.016.758,91 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}}$$

Entonces:

$$Q_{Destilación} = Q_{Bioetanol} + Q_{Agua}$$
$$Q_{Destilación} = 1.073.261,61 \frac{Kcal}{Hr} + 2.016.758,91 \frac{Kcal}{Hr}$$
$$Q_{Destilación} = 3.090.020,52 \frac{Kcal}{Hr}$$

#### 4.9. Condensador Sub-enfriador 2

Como último acondicionamiento del producto se necesita bajar la temperatura del bioetanol para poder cumplir con los requisitos de almacenamiento, al ser un compuesto con gran volatilidad se debe almacenar a 20°C. Análogamente al primer condensador presentado, se calcula:

- Bioetanol:

$$Q_{Bioetanol} = 4,60 \frac{Tn \text{ Bioetanol}}{Hr} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 Tn} * [0,5373 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C} * (20 - 78)^\circ C - 200,6 \frac{Kcal}{Kg}]$$
$$Q_{Bioetanol} = - 1.066.726,19 \frac{Kcal}{Hr}$$

Se obtiene la masa de líquido refrigerante necesaria para el intercambio:

$$Q_{Condens 2} = Q_{Bioetanol} + Q_{Agua} = 0 \frac{Kcal}{Hr}$$
$$1.066.726,19 \frac{Kcal}{Hr} = \dot{m}_{Agua} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 Tn} * 0,9984 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C} * (18 - 10)^\circ C$$
$$\dot{m}_{Agua} = 133,55 \frac{Kg}{Hr}$$

**Finalmente, se obtiene que para todo el proceso productivo del bioetanol, habrá una energía calorífica total de:**

$$Q_{TOTAL} = 19.858.618,74 \frac{Kcal}{Hr}$$

A modo de resumen se presenta el siguiente cuadro. En éste se especifica por operación cuáles son las corrientes que están involucradas, temperaturas de entrada y salida y la energía calorífica producida o consumida.

Etapa	Operación	Corriente	Temperatura de Entrada [°C]	Temperatura de Salida [°C]	Q total [Kcal/Hr]
Obtención de Celulosa	Pretratamiento	Cáscara de Arroz - Solventes	25	160	4.099.039,08
	Condensador Sub-Enfriador	Ácido Acético	118	95	0
		Agua	15	50	
	Recuperación de Solvente	Ácido Acético - Agua	95	100	5.973.955,14
	Enfriamiento	Celulosa	77	37	0
Agua		20	30		
Hidrólisis Enzimática	Hidrólisis	Celulosa - Glucosa - Agua	37	50	7.183.288,19
	Enfriamiento	Glucosa	50	32	0
		Agua	20	30	
Fermentación	Fermentación	Bioetanol - Glucosa - Agua - CO2	32	37	-487.684,20
Purificación	Destilación	Bioetanol - Agua	37	78	3.090.020,52
Almacenamiento	Condensador Sub-Enfriador	Bioetanol	78	20	0
		Agua	10	18	
					<b>19.858.618,73</b>

Tabla N°9: Calores de las corrientes de entrada y salida por operación

#### 4. Bibliografía

- Doran, P. M. (1998). *Principios de ingeniería de los bioprocesos* (F. J. García Labiano, Trans.). Acribia, Editorial, S.A.
- Fraleigh, S. P., Bungay, H. R., & Clesceri, L. S. (1990). *Aerobic formation of ethanol by Saccharomyces cerevisiae in a computerized pHauxostat*. Elsevier Science Publishers-Biomedical Division.
- Guigou, M. (2011). *Obtención de parámetros cinéticos para el crecimiento del microorganismo Saccharomyces cerevisiae en reactor CSTR*.
- Leksawasdi, N., Joachimsthal, E. L., & Rogers, P. L. (2001). *Mathematical modelling of ethanol production from glucose/xylose mixtures by recombinant Zymomonas mobilis* (Vol. 23). Biotechnology Letters.
- Mendoza, R., Paván, N., Pozo Aguilera, E., & Tulli, N. (2018). *Planta de producción de bioetanol*. Rinfí.
- Pérez Madroñal, R. Á. (2017). *Diseño de bioreactores para producir bioetanol a partir de residuos de piel de patata*. Universidad de Cádiz.
- Sandoval Agama, E. D. (2019). *Obtención de parámetros cinéticos para el crecimiento del microorganismo Saccharomyces cerevisiae en reactor CSTR*.



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo VII: Diseño y Selección de  
Equipos**

## Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>176</b>
<b>2. Molino.....</b>	<b>176</b>
2.1 Especificaciones Técnicas.....	176
<b>3. Reactor Pre-tratamiento.....</b>	<b>177</b>
3.1. Especificaciones técnicas del reactor de pretratamiento.....	179
<b>4. Centrífuga de tornillo helicoidal.....</b>	<b>179</b>
4.1. Especificaciones técnicas de la centrífuga.....	180
<b>5. Clasificador de tornillo.....</b>	<b>180</b>
5.1. Especificaciones técnicas del clasificador de tornillo.....	181
<b>6. Condensador Sub-enfriador 1.....</b>	<b>181</b>
6.1. Dimensionamiento.....	183
6.1.1. Diferencia media logarítmica de temperaturas.....	183
6.1.2. Coeficiente global de transferencia térmica.....	185
6.1.3. Área requerida y real del equipo.....	194
6.2. Especificación técnica del condensador sub - enfriador 1.....	196
<b>7. Torre de enfriamiento 1.....</b>	<b>197</b>
7.1. Especificaciones técnicas de la torre de enfriamiento.....	197
<b>8. Recuperación de solvente - Columna de fraccionamiento.....</b>	<b>197</b>
8.1 Especificaciones Técnicas.....	198
<b>9. Intercambiador de calor 1.....</b>	<b>198</b>
9.1. Especificaciones técnicas del intercambiador de calor 1.....	199
<b>10. Torre de enfriamiento 2.....</b>	<b>199</b>
10.1. Especificaciones técnicas de torre de enfriamiento.....	200
<b>11. Reactor de hidrólisis.....</b>	<b>200</b>
11.1. Especificaciones técnicas reactor hidrólisis.....	203
11.2. Bomba dosificadora de membrana.....	203
<b>12. Intercambiador de calor 2.....</b>	<b>204</b>
12.1. Especificaciones técnicas del intercambiador de calor 2.....	205
<b>13. Torre de enfriamiento 3.....</b>	<b>205</b>
13.1. Especificaciones técnicas de la torre de enfriamiento.....	206
<b>14. Reactor fermentativo madre.....</b>	<b>206</b>
14.1. Especificaciones técnicas reactor madre.....	207
<b>15. Reactor fermentativo.....</b>	<b>207</b>
15.1. Dimensiones del reactor.....	207
15.2. Parámetros de la camisa de calefacción.....	209
15.2.1. Cálculo de calor.....	209
15.2.2. Cálculo de caudal de agua.....	210
15.2.3. Cálculo del área efectiva de intercambio de la camisa.....	211

15.2.4. Cálculo de dimensiones de la camisa.....	211
15.3. Diseño del agitador.....	212
15.3.1. Sistema de agitación.....	212
15.3.2 Dimensionamiento del agitador.....	212
15.3.3. Potencia requerida.....	214
15.4. Diseño mecánico.....	216
15.4.1. Presión de diseño.....	216
15.4.2. Temperatura de diseño.....	217
15.4.3. Material de construcción.....	217
15.4.4. Tensión máxima admisible.....	218
15.4.5. Eficiencia de soldadura.....	218
15.4.6. Sobreespesor por corrosión.....	218
15.4.7. Cálculo de espesor de la envuelta.....	219
15.4.8. Cálculo de espesor mínimo de la camisa de media caña.....	219
15.4.9. Cálculo de espesor mínimo de los fondos.....	221
15.5. Especificaciones técnicas.....	222
<b>16. Captador de Dióxido de Carbono.....</b>	<b>222</b>
16.1. Especificaciones Técnicas:.....	223
<b>17. Torre de fraccionamiento.....</b>	<b>223</b>
17.1 Trazado de Platos.....	226
17.2 Dimensionamiento de torre.....	230
17.3 Eficiencia.....	238
17.4 Espesor de envuelta.....	240
17.5 Aislamiento.....	241
17.6 Especificaciones técnicas de la torre de destilación.....	242
<b>18. Tamices Moleculares.....</b>	<b>242</b>
18.1 Especificaciones Técnicas.....	243
<b>19. Condensador Sub-enfriador 2.....</b>	<b>243</b>
19.1. Especificaciones técnicas condensador sub-enfriador 2.....	244
<b>20. Torre de enfriamiento 4.....</b>	<b>244</b>
20.1. Especificaciones técnicas de la torre de enfriamiento.....	245
<b>21. Sistema de control.....</b>	<b>245</b>
21.1. Sistema de control de caudal.....	246
21.1.1. Marco teórico.....	246
21.1.2. Dimensionamiento de la línea.....	247
21.1.3. Dimensionamiento de la placa orificio.....	248
21.1.4. Especificaciones técnicas de la placa orificio y la línea.....	252
21.1.5. Elemento transmisor.....	252
21.1.6. Controlador.....	254

21.1.7. Elemento final de medición.....	256
<b>22. Almacenamiento.....</b>	<b>257</b>
22.1. Silos de almacenamiento.....	258
22.2. Tanques de Almacenamiento para ácido acético.....	259
22.3. Tanque de Almacenamiento para ácido clorhídrico.....	260
22.4. Piletas de Almacenamiento para agua.....	261
22.5. Tanques de Almacenamiento para bioetanol.....	263
22.6. Tanque Ecuilizador.....	263
<b>23. Módulo de tratamiento de efluentes.....</b>	<b>265</b>
<b>24. Transporte de materias primas y productos.....</b>	<b>266</b>
24.1. Transportador 1.....	266
24.1 Especificaciones técnicas del transportador de tornillo flexible.....	267
24.2. Transportador 2.....	267
24.3. Bombas transportadoras.....	268
<b>25. Bibliografía.....</b>	<b>269</b>

## Índice de Figuras

Figura Nº1: Molino ALPA de doble disco.....	176
Figura Nº 2: Reactor Caldería Teruel de 50 m3, exterior e interior con su sistema de agitado... 179	
Figura Nº3: Centrífuga DDI 8242.....	180
Figura Nº4: Clasificador de tornillo helicoidal marca Xinhai.....	181
Figura Nº5: Gráfico de la variación de temperaturas de los fluidos.....	183
Figura Nº6: Factor de corrección para equipos 2:4 (Ludwig, 1964, pág 60).....	185
Figura Nº7: Cantidad de tubos según diámetro de condensador. (Ludwing, 1964, pág 43). 186	
Figura Nº8: Torre de enfriamiento marca Yuyao Jiantai modelo BHX-30.....	197
Figura Nº9: Sistema de destilación marca Calstar, modelo A425Ex.....	198
Figura Nº10: Intercambiador de calor marca NYM modelo NYMHE190136.....	199
Figura Nº11: Torre de enfriamiento de flujo contrario HAIDA modelo SLJ-16.....	200
Figura Nº12: Interior reactor FCH-50m3 marca HXCHEM.....	202
Figura Nº13: Reactor FCH-50m3 marca HXCHEM.....	202
Figura Nº14: Bomba dosificadora de membrana ProMinent motor Sigma 3.....	204
Figura Nº 15: Intercambiador de calor marca NYM seleccionado.....	204
Figura Nº16: Torre de enfriamiento marca Yuyao Jiantai modelo JT-30T.....	205
Figura Nº17: Nomenclatura normalizada de un fermentador.....	208
Figura Nº18: Disco de hoja plana recta, tipo Rushton.....	212
Figura Nº19: Esquema de las proporciones estándar para fermentadores.....	212
Figura Nº20: Correlaciones de potencia de distintos deflectores.....	215

Figura N°21: Gráfico de factor K vs Diámetro y Espesor.....	220
Figura N°22: Dispositivo de extracción marca HT - NG500.....	223
Figura N°23: Diagrama de equilibrio etanol - agua.....	226
Figura N°24: Recta superior mínima de operación y recta de alimentación en diagrama de equilibrio.....	228
Figura N°25: Trazado de platos en diagrama de equilibrio.....	229
Figura N°26: Platos perforados.....	231
Figura N°27: Tensión superficial vs fracción molar de etanol.....	235
Figura N°28: Arrastre fraccionario.....	237
Figura N°29: Calor perdido vs espesor de aislante.....	241
Figura N°30: Equipo deshidratador marca JINTA.....	242
Figura N°31: Condensador sub - enfriador marca Penguin.....	243
Figura N°32: Torre de enfriamiento marca Tobel modelo TBL-175T.....	244
Figura N°33: Esquema de sistema de control en un reactor.....	245
Figura N°34: Funcionamiento de una placa orificio.....	246
Figura N°35: Comportamiento de la presión frente a una placa orificio.....	247
Figura N°36: Diferencia de presión neta vs diferencia de presión en la inmediación del orificio.....	251
Figura N°37: Placa orificio seleccionada y su corte transversal.....	251
Figura N°38: Transmisor de presión diferencial en una tubería.....	253
Figura N°39: Esquema de sistema de medición de caudal con elemento primario y secundario.....	253
Figura N°40: Transmisor Bürkert SE30.....	254
Figura N°41: Diagrama de bloques de un controlador proporcional.....	255
Figura N°42: Sistema de controlador de flujo digital Burkert 8030/SE30.....	255
Figura N°43: Válvula neumática con actuador de diafragma con acción directa/inversa.....	256
Figura N°44: Esquema de válvula de control SEITA tipo BR11.....	257
Figura N°45: Esquema del Silo de Almacenamiento para Cáscara de Arroz.....	259
Figura N°46: Tanque de almacenamiento para ácido acético.....	260
Figura N°47: Tanque de almacenamiento para ácido clorhídrico.....	261
Figura N°48: Piletas de almacenamiento para agua.....	262
Figura N°49: Tanque de almacenamiento para Bioetanol.....	263
Figura N°50: Tanque equalizador para efluentes.....	265
Figura N°51: Módulo de tratamiento de agua residual.....	266
Figura N°52: Transportador de tornillo flexible marca KARAT.....	267

## Índice de Tablas

Tabla N°1: Especificaciones técnicas de molino ALPA.....	176
Tabla N° 2: Especificaciones técnicas reactor Teruel.....	179

Tabla N°3: Especificaciones técnicas de la centrífuga.....	180
Tabla N°4: Especificaciones técnicas del clasificador de tornillo.....	181
Tabla N°5: Propiedades de los fluidos.....	182
Tabla N°6: Diseño propuesto.....	186
Tabla N°7: Cantidad de tubos según diseño elegido.....	186
Tabla N°8: Diámetro interno de tubos. (Kern, 1997, pág 948).....	187
Tabla N°9: Coeficientes de ensuciamiento de agua de diversos orígenes.....	192
Tabla N°10: Coeficientes de ensuciamiento de diversos líquidos.....	192
Tabla N°11: Disposición de tubos y valores para obtener f. (Cao, 2004).....	193
Tabla N°12: Especificaciones técnicas del Condensador Subenfriador 1.....	196
Tabla N°13: Especificaciones técnicas torre de enfriamiento BHX-30.....	197
Tabla N°14: Especificaciones técnicas del recuperador de solvente Calstar.....	198
Tabla N°15: Especificaciones técnicas del intercambiador de calor NYM.....	199
Tabla N°16: Especificaciones técnicas torre de enfriamiento SLJ-16.....	200
Tabla N°17: Especificaciones técnicas reactor FCH-50m3 marca HXCHEM.....	203
Tabla N°18: Especificaciones técnicas del intercambiador de calor NYM.....	205
Tabla N°19: Especificaciones técnicas torre de enfriamiento JT-30T.....	206
Tabla N°20: Especificaciones técnicas reactor Teruel.....	207
Tabla N°21: Razones recomendables para el diseño.....	208
Tabla N°22: Parámetros calculados de reactor.....	209
Tabla N°23: Relaciones geométricas estándar entre las dimensiones de la turbina.....	213
Tabla N°24: Densidad de soluciones según °BRIX.....	214
Tabla N°25: Propiedades físicas de acero inoxidable austenítico tipo 304L.....	218
Tabla N°26: Límite elástico y en función de la temperatura.....	218
Tabla N°27: Especificaciones técnicas.....	222
Tabla N°28: Especificaciones técnicas del extractor de dióxido de carbono.....	223
Tabla N°29: Caudal másico de corrientes principales en destilación.....	224
Tabla N°30: Concentraciones de corrientes principales en la destilación.....	225
Tabla N°31: Datos de equilibrio etanol - agua.....	225
Tabla N°32: Composición de etapas teóricas.....	230
Tabla N°33: Concentraciones en plato N°6.....	231
Tabla N°34: Dimensiones recomendadas para torres de platos perforados (Treybal, 1980).....	233
Tabla N°35: Constante de inundación.....	234
Tabla N°36: Longitud del derramadero para derramaderos rectos.....	236
Tabla N°37: Coeficientes de Antoine.....	239
Tabla N°38: Especificaciones técnicas de la torre de destilación.....	242
Tabla N°39: Especificaciones técnicas de equipo deshidratador.....	243
Tabla N°40: Especificaciones técnicas del condensador sub-enfriador Penguin.....	244
Tabla N°41: Especificaciones técnicas torre de enfriamiento TBL-175T.....	245

Tabla N°42: Parámetros de la línea conexión del reactor.....	248
Tabla N°43: Características del fluido que circula por la placa orificio.....	248
Tabla N°44: Especificaciones técnicas de la placa orificio y la línea.....	252
Tabla N°45: Tanques de almacenamiento del proceso.....	258
Tabla N°46: Especificaciones técnicas de los Silos de Almacenamiento.....	259
Tabla N°47: Especificación de tanque de almacenamiento para ácido acético.....	260
Tabla N°48: Especificación Tanque de Almacenamiento para ácido clorhídrico.....	261
Tabla N°51: Especificación tanque de almacenamiento para bioetanol.....	263
Tabla N°52: Especificación tanque ecualizador.....	264
Tabla N°53: Especificaciones técnicas del transportador KARAT.....	267
Tabla N°54: Bombas transportadoras.....	268

## 1. Objetivo

En el presente capítulo se realizará el diseño, dimensionamiento y selección de todos los equipos a utilizar en nuestra planta de producción de bioetanol. También se diseñará un sistema de control de caudal, se detallarán las dimensiones y cantidades de los tanques de almacenamiento y, por último, se seleccionarán los equipos transportadores de materias primas y/o productos.

Para el diseño y selección de dichos equipos se hará uso de los valores obtenidos en el Capítulo VI - Balance de masa y energía.

## 2. Molino

El caudal de materia prima, cascarilla de arroz, que ingresa consta de un total de 16,78 Tn/h, por lo tanto elegimos el molino de disco doble ALPA que puede trabajar con un caudal de hasta 10 Tn/h; por lo que serán necesarios 2 molinos de este tipo.

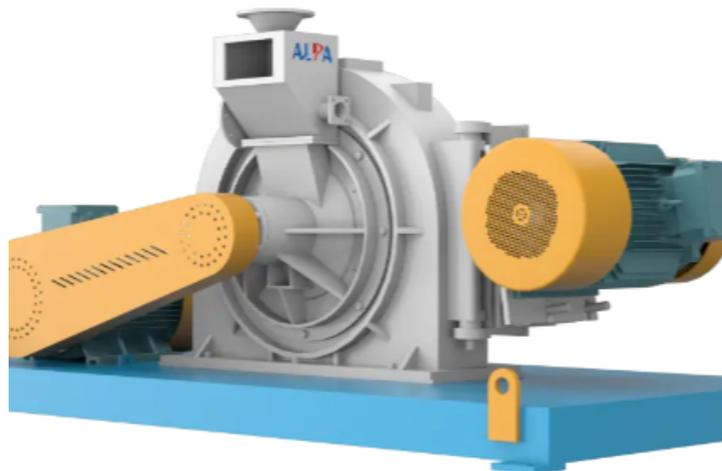


Figura N°1: Molino ALPA de doble disco

### 2.1 Especificaciones Técnicas

Molino de Discos	
Marca	ALPA
Modelo	Pin Mill
Capacidad [Tn/h]	1 - 10
Tamaño de entrada [mm]	1 - 10.000
Tamaño de salida [Malla]	20 - 325
Peso [Kg]	1000
Velocidad [rpm]	2.800
Dimensión (L*W*H) [mm]	4000 x 3200 x 1800
Motor [kW]	50 - 75

Tabla N°1: Especificaciones técnicas de molino ALPA

### 3. Reactor Pre-tratamiento

En este reactor se tendrá un caudal total de 51 Tn/h, el cual tendrá un tiempo de residencia de 60 minutos.

Como se mencionó en el capítulo de la descripción del proceso, el componente que se encuentra en mayor proporción en esta operación es el Ácido Acético por lo que será su densidad la que se use para calcular el caudal volumétrico.

$$Q_{vol} = \frac{Q_{m\acute{a}sico}}{\delta_{\acute{a}cido}} = \frac{51.000 \text{ Kg/h}}{1.049 \text{ Kg/m}^3} = 48,62 \text{ m}^3/\text{h}$$

Una vez obtenido el caudal volumétrico se calcula el volúmen que este representa, utilizando el tiempo de residencia ya mencionado.

$$V = Q_{vol} * t_{residencia}$$

$$V = 48,62 \text{ m}^3/\text{h} * 1 \text{ h} = 48,62 \text{ m}^3$$

Ahora con estos datos, se selecciona un reactor de 50 m<sup>3</sup> para poder cubrir la cantidad mencionada.

Usando las figuras y tablas de la sección [Reactor fermentativo](#) se seleccionan las siguientes relaciones y se calculan altura y diámetro, entre otros parámetros.

$$H_l/T = 2.$$

A partir del valor elegido se puede determinar el diámetro interno del reactor.

Ecuaciones:

$$V_l = \pi. \left(\frac{T}{2}\right)^2. H_l$$

$$V_l = \pi. \left(\frac{T}{2}\right)^2. 2T$$

$$T = \sqrt[3]{\frac{2.V_l}{\pi}} = 3,16 \text{ m}$$

Altura final:

$$H = H_l + H_a$$

Otra forma de escribir el volúmen teniendo en cuenta la sobredimensión sería:

$$Vsd = \pi. \frac{T^2}{4}. H_a$$

Sabiendo que  $V_{sd} = 0,25 * V_l$  despejamos la altura de sobredimensión también:

$$H_a = 0,25 \cdot V_l \cdot \frac{4}{T^2 \cdot \pi} = 1,6 \text{ m}$$

$$H_l = 6,32 \text{ m}$$

$$H = 7,92 \text{ m}$$

Distancia entre fondo y paletas:

$$C = \frac{T}{3}, \text{ entonces } C = 1,05 \text{ m.}$$

Según todo lo mencionado se decide seleccionar un reactor de acero inoxidable 316L, con sistema de calentamiento de media caña de la empresa Caldería Teruel.

Este reactor cuenta con las siguientes características que lo hacen acorde a los requerimientos de producción:

- Cuerpo del equipo diseñado y legalizado para trabajar a una presión de -1 / 3 bar(g) y una temperatura de 170 °C.
- Media caña en cuerpo y fondo inferior diseñada para trabajar a una presión de 10 bar(g) y una temperatura de 200 °C.
- Está provisto de sistema de agitación tipo ancora, con estanqueidad mediante cierre mecánico.
- Acabado interior pulido espejo con una rugosidad inferior a 0,5  $\mu\text{m}$ .

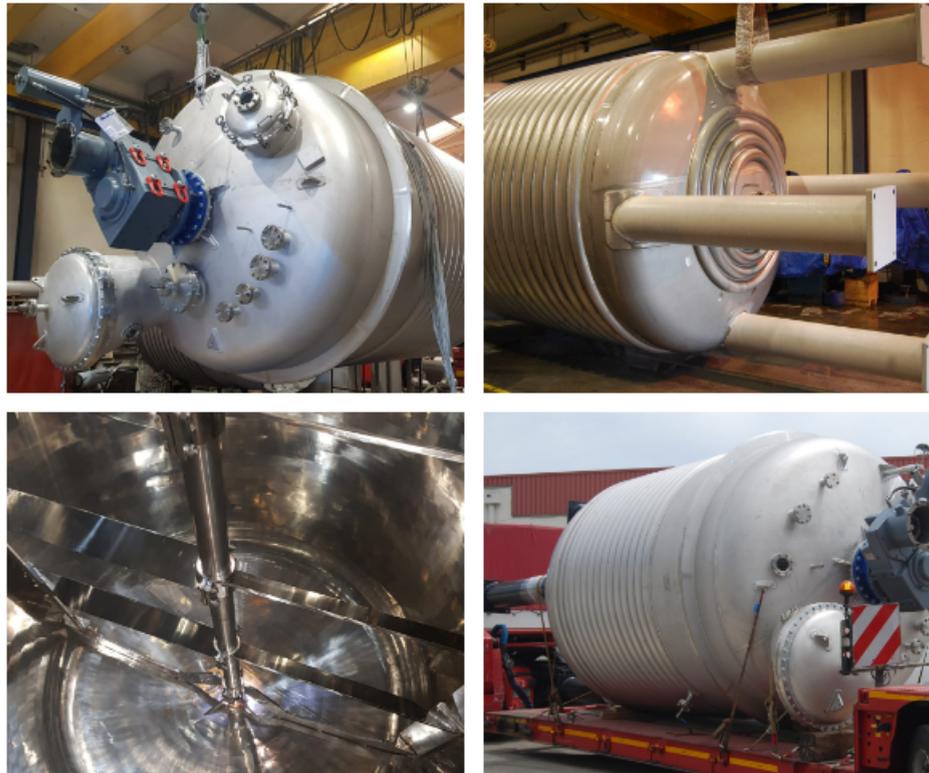


Figura Nº 2: Reactor Caldería Teruel de 50 m<sup>3</sup>, exterior e interior con su sistema de agitado.

### 3.1. Especificaciones técnicas del reactor de pretratamiento

Reactor pre-tratamiento	
Altura [m]	7,92
Diámetro [m]	3,16
Volúmen [m <sup>3</sup> ]	50
Presión de diseño [bar (g)]	-1/3
Temperatura diseño [°C]	170
Material	Acero inoxidable 316L
Fondos	Semielíptico
Velocidad de agitación [rpm]	110
Distancia de agitador y el fondo [m]	1,05
Sistema de calefacción	Camisa de 1/2 caña

Tabla Nº 2: Especificaciones técnicas reactor Teruel

### 4. Centrífuga de tornillo helicoidal

Al finalizar el pretratamiento se obtendrán dos fases, una líquida, compuesta por hemicelulosa, lignina y el disolvente del pre-tratamiento, y una sólida que consta de celulosa y cenizas. Como se detalló en el capítulo IV - Descripción de proceso, se utilizará una centrífuga de tornillo helicoidal modelo Decanter para separar las fases mencionadas.

El equipo a emplear será obtenido en la compañía HAUS, una empresa dedicada a la fabricación de equipos centrífugos. Se hará uso del modelo “DDI 8242” de dos fases, ya que

se tiene un gran caudal a tratar - 50,31 Tn/h - y éste permite el tratamiento de hasta 100 Tn/h de material.



Figura N°3: Centrífuga DDI 8242

#### 4.1. Especificaciones técnicas de la centrífuga

Centrífuga DDI 8242	
Potencia de motor [kW]	197
Diámetro del tornillo [mm]	820
Rotación [rpm]	2500
Dimensiones (L*W*H) [mm]	15.000 x 5.000 x 3.000
Peso [Kg]	15.000

Tabla N°3: Especificaciones técnicas de la centrífuga

### 5. Clasificador de tornillo

Para llevar a cabo la separación de la celulosa y las cenizas, se utilizará un clasificador de tornillo; el equipo pertenece a la compañía Xinhai, el modelo FLG 300. Este modelo posibilita la separación de sólidos de tamaño de 0,15 mm a 0,05 mm, lo que lo hace apto para separar los sólidos que disponemos.

Ya que se requiere separar 9,8 Tn/h de celulosa y 3,77 Tn/h de cenizas, se elige este modelo que es el de menores dimensiones. Éste tiene una capacidad tal, que permite separar por rebalse (las cenizas) de 2 a 15 Tn/h y por retorno (la celulosa) de 10 a 40 Tn/h.



Figura N°4: Clasificador de tornillo helicoidal marca Xinhai

### 5.1. Especificaciones técnicas del clasificador de tornillo

A continuación, la tabla de especificaciones del equipo a utilizar:

Clasificador FLG-300	
Velocidad de rotación	7,7 rpm
Capacidad de retorno	10 - 40 Tn/hr
Capacidad de rebose	2 - 15 Tn/hr
Diámetro de hélice	300 mm
Longitud de hélice	3900 mm
Pendiente	14 - 18 °
Motor	Y100L1-4
Potencia	2,2 kW
Peso	668 kg

Tabla N°4: Especificaciones técnicas del clasificador de tornillo

## 6. Condensador Sub-enfriador 1

Como se mencionó en capítulos anteriores, se requiere de diferentes intercambiadores de calor y condensadores para alcanzar las temperaturas y estados de la materia necesarios en diversas operaciones. En este caso, se realizará el diseño del primer condensador subenfriador requerido en el proceso, el cual se aplica previo a la recuperación de solvente y trata la corriente de la mezcla de ácido acético y agua, con mucha mayor proporción del primero.

Para el diseño de este condensador se utilizará el método detallado en el libro "Procesos de transferencia de calor" de Donald Q. Kern.

En los condensadores de casco y tubo de flujo a contracorriente, como es este caso, se puede obtener el calor intercambiado utilizando la siguiente expresión:

$$Q = A * U * \Delta TML \quad (1)$$

Siendo:

- A: Área de transferencia de intercambiador
- U: Coeficiente global de transmisión de calor
- $\Delta T_{ML}$ : Diferencia media logarítmica de temperatura

Como el calor intercambiado dentro del equipo ya fue calculado, se utiliza esta expresión para obtener el área requerida para producir la transferencia de calor.

A lo largo de este diseño, se obtendrán los diferentes parámetros de la expresión, para obtener finalmente el área requerida para producir la condensación y posterior reducción de temperatura del ácido acético.

En primera instancia, se obtienen las propiedades del fluido a condensar y enfriar (mezcla de ácido acético y agua) y el fluido refrigerante (agua) las cuales serán utilizadas en diversas etapas del diseño.

Cabe aclarar que en el caso del fluido a enfriar, se utilizarán las propiedades del ácido acético ya que está en mucha mayor proporción. Además, todas las propiedades se buscaron a una temperatura media entre las temperaturas iniciales y finales de cada fluido.

A continuación, se presentan las propiedades de los fluidos:

Ácido Acético		
Caudal [kg/s]	9,31	
T entrada [°C]	118	
T salida [°C]	95	
Calor vaporización [j/kg]	402189	
Propiedades para:	<b>Líquido</b>	<b>Vapor</b>
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1049	2,07
Viscosidad [kg/m.s]	0,00064	1,00E-05
K[w/m.k]	0,20	0,0809
Cp [j/kg.k]	2302	1368,2
Pr	7,366	1,69E-01

Agua	
Caudal [kg/s]	27,58
T entrada [°C]	15
T salida [°C]	50
T media [°C]	32,5
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	995
Viscosidad [kg/m.s]	0,001
Cp [j/kg.k]	4183

Tabla N°5: Propiedades de los fluidos

De la sección [4.2 Condensador Sub-enfriador 1](#) del Capítulo VI - “Balance de Masa Energía” - se obtuvo el calor intercambiado total, teniendo en cuenta el calor latente para la etapa de condensación, y el calor sensible para la etapa de enfriamiento. Además del caudal de agua requerido para las diversas etapas.

$$Q_{Latente} = 3.744.379,59 \frac{j}{s}$$

$$Q_{Sensible} = 292.972,67 \frac{j}{s}$$

$$Q_{Total} = 4.037.352,26 \frac{j}{s}$$

$$W_{Agua} = 27,57 \frac{kg}{s}$$

## 6.1. Dimensionamiento

### 6.1.1. Diferencia media logarítmica de temperaturas

Ya que la diferencia de temperatura dentro de un condensador a medida que el fluido avanza dentro del equipo, se debe calcular la diferencia media logarítmica de temperatura. Para poder realizar esto, primero se debe obtener  $t_3$  que corresponde a la temperatura del agua al finalizar la condensación del ácido acético.

$$Q_L = W_{agua} * C_{p_{agua}} * (t_2 - t_3)$$

$$t_3 = t_2 - \frac{Q_L}{W_{agua} * C_{p_{agua}}}$$

$$t_3 = 323,15 K - \frac{3.744.379,59 \frac{j}{s}}{27,57 \frac{kg}{s} * 4183 \frac{j}{kg.k}}$$

$$t_3 = 290,69 K$$

El diagrama de temperaturas finalmente queda:

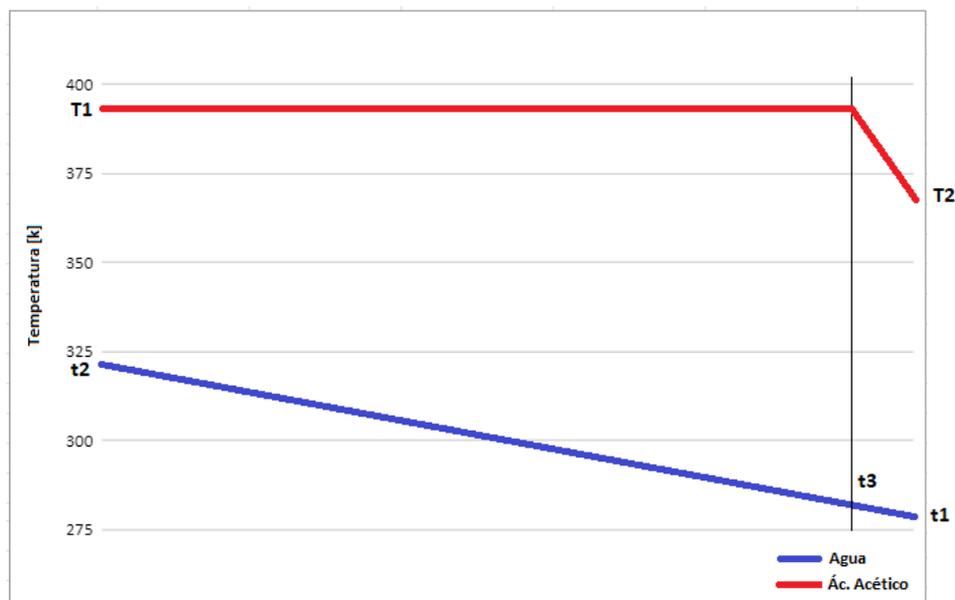


Figura Nº5: Gráfico de la variación de temperaturas de los fluidos

Ahora, se calcula la diferencia media logarítmica para las diferentes zonas:

Zona calor latente:

$$\Delta TML_L = \frac{(T_1 - t_2) - (T_1 - t_3)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_1 - t_3)}} \quad (2)$$

Zona calor sensible:

$$\Delta TML_s = \frac{(T_1 - t_3) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_3)}{(T_2 - t_1)}} \quad (3)$$

Siendo:

$T_1$  y  $T_2$  : Temperaturas del fluido caliente

$t_1$ ,  $t_2$  y  $t_3$  : Temperaturas del fluido frío

Reemplazando valores en la expresión (2) y (3):

$$\Delta TML_L = 374.87 \text{ K}$$

$$\Delta TML_s = 345.78 \text{ K}$$

A estos valores obtenidos, se les debe aplicar un factor de corrección (Ft) ya que se utilizará un equipo con más de un paso por tubos y no será constante la temperatura en la sección transversal del equipo.

El Ft se calculará en función de dos parámetros adimensionales:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{391,15k - 368,15k}{323,15k - 288,15k} = 0,65$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{323,15k - 288,15k}{391,15k - 288,15k} = 0,51$$

Con estos dos parámetros, y suponiendo un equipo de 2 corazas y 4 pasos por tubos (2:4), utilizando el siguiente gráfico, se obtiene el factor de corrección.

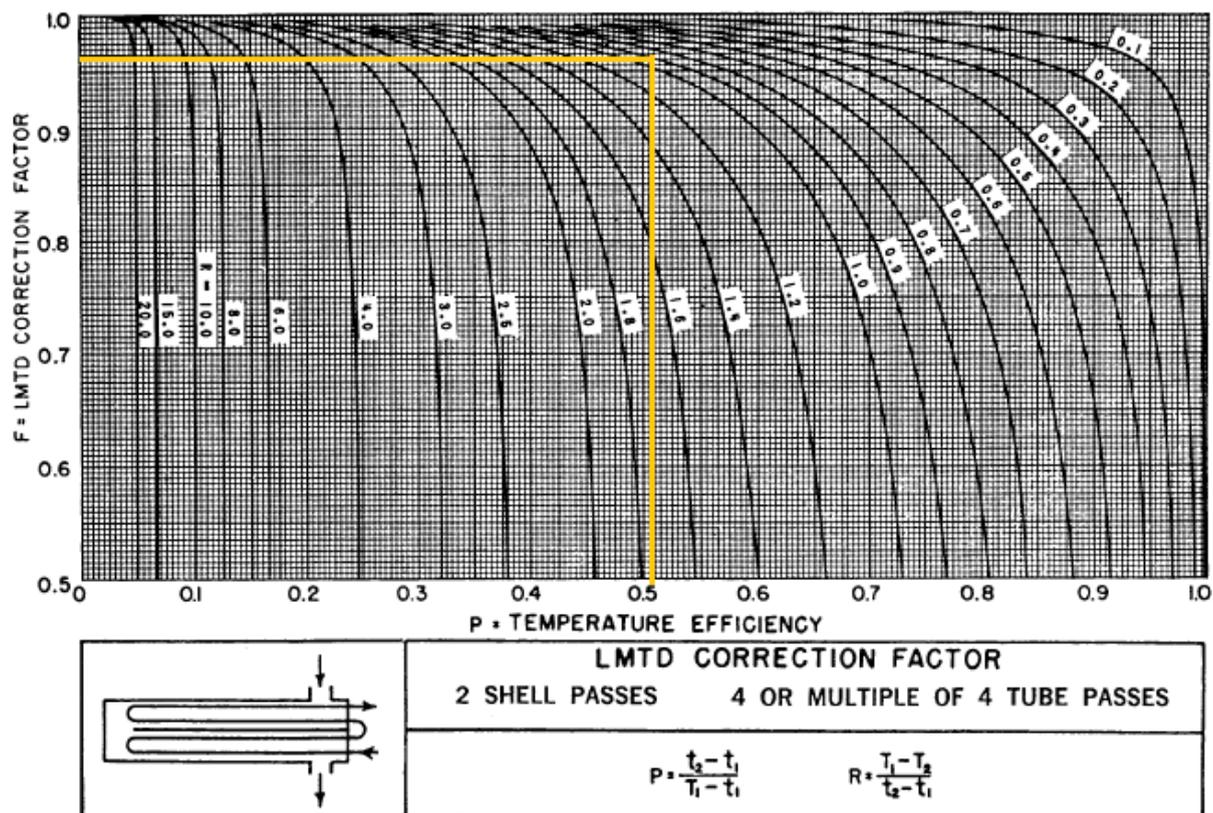


Figura N°6: Factor de corrección para equipos 2:4 (Ludwig, 1964, pág 60)

De esta manera, se obtiene que el factor de corrección es 0,96.

Aplicándolo al valor de las diferencias media logarítmicas de temperaturas:

$$\Delta TML_{L \text{ Corregido}} = 374.87 \text{ K} * 0,96$$

$$\Delta TML_{L \text{ Corregido}} = 359,88 \text{ K}$$

$$\Delta TML_{S \text{ Corregido}} = 345.78 \text{ K} * 0,96$$

$$\Delta TML_{S \text{ Corregido}} = 331,95 \text{ K}$$

### 6.1.2. Coeficiente global de transferencia térmica

Para la obtención del coeficiente global de transferencia térmica, primero se hallarán los coeficientes peliculares. Para los cálculos, se seleccionarán las dimensiones de un posible condensador, con la cantidad de tubos y el tipo de arreglo. Finalmente, cuando se obtenga el área del intercambiador propuesto, se verificará si cumple con el área teórica requerida.

Se propone el siguiente intercambiador de calor:

Equipo 2:4	
Diámetro de coraza (Ds)	22"
Diámetro de Tubos (Do)	3/4"
Tipo de Tubos	BWG 10
Separación de Tubos (Pt)	15/16"
Arreglo de Tubos	Triangular
Longitud de Tubos	55"
Distancia entre Baffles (B)	15"

Tabla N°6: Diseño propuesto

A partir de la siguiente figura, se obtendrá el número de tubos total (Nt) para las dimensiones del condensador propuesto.

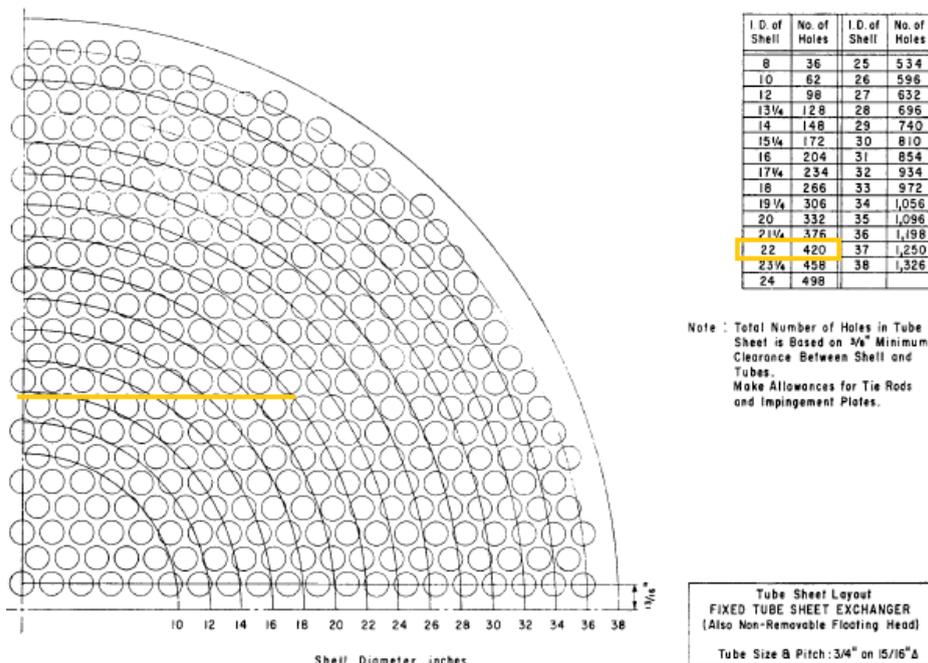


Figura N°7: Cantidad de tubos según diámetro de condensador. (Ludwing, 1964, pág 43)

De esta manera, se tiene:

Tubos	
Numero total de tubos	420
Número de tubos en el centro	23
Número de filas por ventana	5
Número de tubos en la ventana	72

Tabla N°7: Cantidad de tubos según diseño elegido

Por último, en cuanto a la obtención de las dimensiones del intercambiador, se averigua el diámetro interno de los tubos con la siguiente tabla:

**TABLA 10. DATOS DE TUBOS PARA CONDENSADORES E INTERCAMBIADORES DE CALOR**

Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared,	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg <sup>2</sup>	Superficie por pie lin. pies <sup>2</sup>		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
½	12	0.109	0.282	0.0625	0.1309	0.0748	0.493
	14	0.083	0.334	0.0876		0.0874	0.403
	16	0.065	0.370	0.1076		0.0969	0.329
	18	0.049	0.402	0.127		0.1052	0.258
	20	0.035	0.430	0.145		0.1125	0.190
¾	10	0.134	0.482	0.182	0.1963	0.1263	0.965
	11	0.120	0.510	0.204		0.1335	0.884
	12	0.109	0.532	0.223		0.1393	0.817
	13	0.095	0.560	0.247		0.1466	0.727
	14	0.083	0.584	0.268		0.1529	0.647
	15	0.072	0.606	0.289		0.1587	0.571
	16	0.065	0.620	0.302		0.1623	0.520
	17	0.058	0.634	0.314		0.1660	0.469
	18	0.049	0.652	0.334		0.1707	0.401

Tabla Nº8: Diámetro interno de tubos. (Kern, 1997, pág 948)

Como se ve en la tabla, el diámetro interno (Di) de tubos para un tubo de diámetro externo de ¾" del tipo BWG 1, es 0,482".

### Zona Tubos

Ahora, con las dimensiones del condensador seleccionadas, se comienza calculando para la zona de tubos, el coeficiente pelicular interior (hi). Cabe aclarar que por el lado de los tubos, se decidió que el agua pase por esta zona por una cuestión de limpieza. El agua al poseer más sales, tiene tendencia a producir obstrucciones, y la limpieza por los tubos es más simple que la limpieza que se realiza por la carcasa.

La velocidad admisible dentro de tubos se encuentra entre  $1 \frac{m}{s}$  y  $3 \frac{m}{s}$ . Por esto, primero se verificará que este valor se cumpla. Para ello, primero se calcula el área de flujo de tubos de la siguiente manera:

$$A_{ft} = \frac{N_t * \pi * D_i^2}{4 * n}$$

Donde:

n: número de pasos por tubo

$$A_{ft} = \frac{420 * \pi * (0,0120 m)^2}{4 * 4} = 0,012 m^2$$

Una vez obtenida el área de flujo de tubos, se obtiene la velocidad másica de flujo (Gt):

$$Gt = \frac{\dot{m}_{\text{Agua}}}{A_{ft}}$$

$$Gt = \frac{27,57 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{0,012 \text{ m}^2} = 2249,62 \frac{\text{Kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$

Finalmente, se puede calcular la velocidad dentro de tubos:

$$V = \frac{Gt}{\rho}$$

$$V = \frac{2249,62 \frac{\text{Kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}}{995 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 2,26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se corrobora que la velocidad está dentro de los parámetros admisibles, por lo que se puede continuar con el diseño.

Para la obtención del coeficiente pelicular, como el fluido es agua, se puede aplicar la correlación de Furman. Para hacer uso de esta correlación, el fluido debe poseer régimen turbulento (con un Reynolds mayor a 10.000) y cumplir los siguientes límites de aplicación:

$$0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} < V < 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$5^\circ\text{C} < t < 95^\circ\text{C}$$

$$0,01 \text{ m} < D < 0,05 \text{ m}$$

Como los límites de aplicación se cumplen, corroboramos que el régimen sea turbulento:

$$Re = \frac{Di * Gt}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,012 \text{ m} * 2249,62 \frac{\text{Kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}}{0,001 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 27.427,47$$

Se verifica que se puede utilizar la correlación de Furman:

$$hi = 1.423 * (1 + 0,0146 * t_{(^\circ\text{C})}) \frac{Vel^{0,8}}{Di^{0,2}}$$

$$hi = 1.423 * (1 + 0,0146 * 32,5^\circ\text{C}) \frac{(2,26 \frac{\text{m}}{\text{s}})^{0,8}}{(0,012 \text{ m})^{0,2}}$$

$$hi = 9.728,91 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{k}}$$

Expresando este coeficiente pelicular interior respecto del exterior se obtiene:

$$h_{io} = h_i * \frac{D_i}{D_o}$$

$$h_{io} = 9.728,91 \frac{W}{m^2 \cdot k} * \frac{0,012 m}{0,019 m}$$

$$h_{io} = 6.226,5 \frac{W}{m^2 \cdot k} = 6,23 \frac{Kj}{m^2 \cdot s \cdot k}$$

De esta manera, se obtuvo para el lado tubos el coeficiente pelicular.

Ahora, se corroborará que la caída de presión en esta zona no sea superior a  $90.000 \frac{N}{m^2}$ , de esta manera, no se perderá energía innecesariamente (como la energía de las bombas que impulsan los fluidos), evitando pérdidas económicas.

Se hará el cálculo para la zona de tubos y cabezales con la ecuación de Fanning:

$$\Delta P_{Tubos} = \frac{4 * f * n * L * Gt^2}{Di * 2 * \rho} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-0,14} + \frac{4 * n * L * Gt^2}{2 * \rho} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-0,14} \quad (4)$$

Las viscosidades a la temperatura media y a la temperatura de pared no presentan grandes diferencias, por lo que se consideran constantes las propiedades físicas de los fluidos, generando que el término  $\frac{\mu}{\mu_w}$  sea unitario.

En cuanto al término f, el factor de fricción, se obtiene con la siguiente expresión para régimen turbulento:

$$f = 0,0014 + 0,125 * Re^{-0,32}$$

$$f = 0,0014 + 0,125 * (27.427,47)^{-0,32}$$

$$f = 0,01$$

Reemplazando los valores en la expresión (4):

$$\Delta P_{Tubos} = \frac{4 * 0,01 * 4 * 1,397 m * (2.249,62 \frac{Kg}{s \cdot m^2})^2}{0,012 m * 2 * 995 \frac{Kg}{m^3}} * (1)^{-0,14} + \frac{4 * 4 * 1,397 m * (2.249,62 \frac{Kg}{s \cdot m^2})^2}{2 * 995 \frac{Kg}{m^3}} * (1)^{-0,14}$$

$$\Delta P_{Tubos} = 85.517,43 \frac{N}{m^2}$$

Como la caída de presión obtenida es menor a la máxima permisible, se considera que el diseño para el lado de tubos es aceptable. Además, al tener un valor cercano a la máxima permitida, se puede concluir que se aprovecha al máximo esta caída de presión.

## Zona Carcasa

Se realizarán los cálculos para obtener el coeficiente pelicular del lado carcasa, para esto, obtendremos primero el área de flujo cruzado, el valor del Reynolds, la velocidad másica y el Prandtl ya que serán utilizados en los cálculos posteriores.

Área de flujo de la carcasa ( $a_s$ ):

$$a_s = D_s * C * \frac{B}{P_t}$$

$$C = P_t - D_o$$

Donde  $P_t$  es el paso entre tubos, C es la distancia entre tubos y  $D_o$  el diámetro externo de los tubos.

$$a_s = 0,559 \text{ m} * 0,005 \text{ m} * \frac{0,381 \text{ m}}{0,024 \text{ m}}$$

$$a_s = 0,043 \text{ m}^2$$

El caudal de vapor de ácido acético a la entrada es de 9,31 kg/s, a la salida el caudal de vapor será 0 porque condensa completamente, por esto es que se toma un caudal medio ( $W/2$ ):

Velocidad másica (Gm):

$$Gm = \frac{W}{a_s}$$

$$Gm = \frac{4,655 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{0,0043 \text{ m}^2}$$

$$Gm = 109,322 \frac{\text{Kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$

Reynolds:

$$Re = \frac{D_o * G_s * \delta_L}{\delta_v * \mu_L}$$

$$Re = \frac{0,019 \text{ m} * 109,322 \frac{\text{Kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} * 1,049 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2,07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,00064 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re = 1.649.026,4$$

Se obtiene el coeficiente R:

$$R = \frac{\delta_l * \mu_L}{\delta_v * \mu_v}$$

$$R = \frac{1.049 \frac{kg}{m^3} * 0,00064 \frac{Kg}{m.s}}{2,07 \frac{kg}{m^3} * 1,00x10^{-05} \frac{Kg}{m.s}} = 32.432,9$$

Se obtiene el valor de H y se lo calcula con una Tw supuesta de 100°C:

$$H = \frac{Cp_L(T-T_w)}{Pr_L * \lambda} = \frac{2.302 \frac{j}{kg.k} * (118^\circ C - 100^\circ C)}{7,366 * 402.189 \frac{j}{kg}} = 0,014$$

$$X = 0,9 * \left(1 + \frac{1}{R.H}\right)^{0,33} = 0,901$$

El cálculo de la zona carcasa se hará en base a un condensador horizontal debido a que presenta una mayor eficiencia, ya que al tener los tubos horizontales la condensación de los tubos superiores cae y rompe la película que se está formando en los tubos inferiores. Esto lleva a tener un coeficiente pelicular mayor que si se tuviera un condensador de otro estilo.

Coficiente debido a la resistencia de la película de condensado (hf):

$$hf \left( \frac{\mu^2}{k^3 * \delta^2 * g} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,5 * \left( \frac{G''}{\mu} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Se obtiene G'':

$$G'' = \frac{W}{L.N_t^{\frac{2}{3}}} = \frac{9,31 \frac{kg}{s}}{1,397 m * 4,20^{\frac{2}{3}}} = 0,119 \frac{kg}{m.s}$$

Reemplazando:

$$hf \left( \frac{(0,00064 \frac{kg}{m.s})^2}{(0,20 \frac{w}{m.k})^3 * (1,049 \frac{kg}{m^3})^2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,5 * \left( \frac{0,119 \frac{kg}{m.s}}{0,00064 \frac{kg}{m.s}} \right)^{\frac{1}{3}} = 985,5 \frac{w}{m^2.k}$$

Se aplican correcciones para obtener el coeficiente pelicular del lado carcasa:

$$nuf = hf . D_o / k_L = 93,9$$

$$nu = (X^4 * Re + nuf^4)^{\frac{1}{4}} = 1.156,6$$

$$ho = \frac{Nu * k}{D_o} = 12.142,6 \frac{w}{m^2.k}$$

Finalmente se obtiene el U total latente:

$$U = \left( \frac{1}{h_{io}} + \frac{1}{h_o} + Rf \right)^{-1}$$

Cabe aclarar que el valor de la resistencia total de ensuciamiento (Rf) se definió realizando un promedio de los coeficientes de ensuciamiento de los dos fluidos que intervienen en la operación (agua y ácido acético).

COOLING WATER - Fouling Factors in [m <sup>2</sup> K/W]		
<b>Conditions</b>	cooling water < 50 ° C cooled fluid < 120 ° C	
<b>Water velocity</b>	v < 1 m/s	v > 1 m/s
<b>Type of Water</b>		
Sea	0.00009	0.00009
Brackish	0.00035	0.00018
Cooling tower with inhibitor	0.00018	0.00018
Cooling tower without inhibitor	0.00053	0.00053
City grid	0.00018	0.00018
River minimum	0.00018	0.00018
River average	0.00053	0.00035
Engine jacket	0.00018	0.00018
Demineralized or distilled	0.00009	0.00009
Treated Boiler Feedwater	0.00018	0.00009
Boiler blowdown	0.00035	0.00035

Tabla N°9: Coeficientes de ensuciamiento de agua de diversos orígenes

SEVERAL FLUIDS - Fouling Factors in [m <sup>2</sup> K/W]		
Group	Fluid	Fouling Factor
<b>Liquid</b>	Cooling Fluid	0.00018
	Organic heat transfer fluids	0.00018
	Salts	0.00009
	LPG, LNG	0.00018
	MEA and DEA (Amines) solutions	0.00035
	DEG and TEG (Glycols) solutions	0.00035
	Stable side products	0.00018
	Stable bottom products	0.00018
	Caustics	0.00035

Tabla N°10: Coeficientes de ensuciamiento de diversos líquidos

Reemplazando:

$$U_L = \left( \frac{1}{6.226,50 \frac{w}{m^2.k}} + \frac{1}{12.142,6 \frac{w}{m^2.k}} + 3,5 \times 10^{-4} \frac{m^2.K}{W} \right)^{-1} = 1.686,5 \frac{w}{m^2.k}$$

Para obtener el coeficiente global de transferencia de calor para la zona de calor sensible:

A continuación se calcula el diámetro equivalente:

$$D_{eq} = 4 * \frac{\left( Pt^2 - \frac{\pi * Do^2}{4} \right)}{\pi * Do} = 4 * \frac{\left( (0,024m)^2 - \frac{\pi * (0,019m)^2}{4} \right)}{\pi * 0,019m} = 0,0188 m$$

Con este, el número de Reynolds teniendo en cuenta la viscosidad del ácido acético líquido, ya que en esta instancia se busca enfriar el acético ya condensado.

$$Re = \frac{Deq * W}{as * \mu} = \frac{0,0188 m * 9,31 \frac{Kg}{s}}{0,043 m^2 * 0,00064 \frac{Kg}{s.m}} = 6439,33$$

Siguiendo con el cálculo del coeficiente pelicular para lado carcasa:

$$h_{oc} = 0,36 * \left(\frac{k}{Deq}\right) * Re^{0,55} * Pr^{0,33}$$

$$h_{oc} = 0,36 * \left(\frac{0,2 \frac{W}{m.K}}{0,0188 m}\right) * 6439,33^{0,55} * 7,37^{0,33} = 918,55 \frac{W}{m^2.K}$$

Al disponer de los coeficientes peliculares, se puede hallar el coeficiente de transferencia de energía térmica con efecto de calor sensible reemplazando en:

$$U_S = \left(\frac{1}{h_{oc}} + \frac{1}{h_{io}} + Rf\right)^{-1}$$

Donde el coeficiente de ensuciamiento se calcula de igual manera vista anteriormente.

Reemplazando los valores:

$$U_S = \left(\frac{1}{918,55 \frac{W}{m^2.K}} + \frac{1}{6226,5 \frac{W}{m^2.K}} + 3,5 \cdot 10^{-4} \frac{m^2.K}{W}\right)^{-1}$$

$$U_S = 625,29 \frac{W}{m^2.K}$$

Con el coeficiente de transmisión obtenido veremos más adelante cuál será el área requerida para este efecto.

Por último se puede obtener la pérdida de carga del lado coraza mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P_{Carcasa} = \frac{f * (Nb+1) * Ds * Gs^2}{Deq * 2 * \rho}$$

Ahora, para el factor de fricción se dispone de la siguiente tabla:

**CORRELACION PARA EL CALCULO DEL FACTOR f EN LA CARCASA**  
(Regresión de los valores de la figura de la página 82)

$$f = (2\rho \Delta p / 4 Nc G_m^2) (\mu/\mu_w)^m$$

(Ver definición de variables en el texto)

$$\ln f = a + b \ln Re_m + c (\ln Re_m)^2 + d (\ln Re_m)^3$$

INTERVALO	$Re_m < 100$				$100 < Re_m < 1300$				$1300 < Re_m < 3000$				$Re_m > 3000$			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
→ Δ 1,25	4,376	-1,025	0	0	5,293	-1,864	0,1584	-0,00472	5,293	-1,864	0,1584	-0,00472	5,293	-1,864	0,1584	-0,00472
→ □ 1,25	3,923	-0,984	0	0	3,871	-0,498	-0,2052	0,0221	3,871	-0,498	-0,2052	0,0221	-7,907	1,774	-0,160	0,00407
→ ◇ 1,25	3,923	-0,984	0	0	6,30	-2,403	0,226	-0,00721	6,30	-2,403	0,226	-0,0721	6,30	-2,403	0,226	-0,0721
→ Δ 1,5	3,196	-1,176	0,0557	0	3,472	-1,547	0,1425	-0,00454	3,472	-1,547	0,1425	-0,00454	3,472	-1,547	0,1425	-0,00454
→ □ 1,5	3,04	-1,13	0,031	0	-8,015	5,152	-1,166	0,0771	-8,666	1,152	-0,0981	0,00237	-8,666	1,152	-0,0981	0,00237

Tabla N°11: Disposición de tubos y valores para obtener f. (Cao, 2004)

Teniendo en cuenta el arreglo de tubos y el Re calculado, se aplica la siguiente expresión:

$$\ln f = a + b * \ln(Re) + c * (\ln(Re))^2 + d * (\ln(Re))^3$$

Siendo:

$$a = 5,293$$

$$b = -1,864$$

$$c = 0,1584$$

$$d = -0,00412$$

Reemplazando los valores:

$$\ln f = 5,293 - 1,864 * \ln(6439,33) + 0,1584 * (\ln(6439,33))^2 - 0,00412(\ln(6439,33))^3$$

$$f = 0,087$$

Reemplazando los valores para en la expresión de pérdida de carga:

$$\Delta P_{Carcasa} = \frac{0,087 * (2,67 + 1) * 0,56 \text{ m} * (109,32 \frac{\text{Kg}}{\text{s.m}^2})^2}{0,0188 \text{ m} * 2 * 2,07 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\Delta P_{Carcasa} = 27.360,9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Teniendo en cuenta que se disponen de 2 carcasas, la pérdida de carga total queda:

$$\Delta P_{Carcasa} = 54.721,80 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Con este valor de pérdida de carga, se observa que el equipo es apto para los requerimientos de presión propuestos para la zona de carcasa, siendo menor al permitido de  $60.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ .

### 6.1.3. Área requerida y real del equipo

A continuación se procede a la verificación de las áreas. Para ello, primero se deben conocer las áreas requeridas por cada efecto (latente y sensible) y, a su vez, para ello es necesario calcular las temperaturas medias logarítmicas para cada caso.

Con los valores de los coeficientes globales de transferencia para la zona de calor sensible y calor latente ya calculados se obtiene el área requerida con las expresiones.

$$A_{Req} = A_{Req Lat} + A_{Req Sens}$$

$$A_{Req Lat} = \frac{Q_L}{U_L * \Delta TML_L} \qquad A_{Req Sens} = \frac{Q_S}{U_S * \Delta TML_S}$$

$$A_{Req Lat} = \frac{3.744,38 \frac{Kj}{s}}{1686,5 \frac{W}{m^2.K} * 92 K} \qquad A_{Req Sens} = \frac{292,97 \frac{Kj}{s}}{625,29 \frac{W}{m^2.K} * 65,36 K}$$

$$A_{Req} = 24,25 m^2 + 7,17 m^2 = 31,42 m^2$$

Ahora, se calcula el área de intercambio que ofrece el equipo diseñado:

$$A_{Real} = \pi * Do * N * L = \pi * 0,019 m * 420 * 1,4 m$$

$$A_{Real} = 35,11 m^2$$

Para verificar si las áreas coinciden dentro de un margen aceptable se recurre a calcular el exceso de la siguiente manera:

$$\% \text{ Área exceso} = \frac{A_{real} - A_{Req}}{A_{Req}} * 100\%$$

$$\% \text{ Área exceso} = \frac{35,11 m^2 - 31,42 m^2}{31,42 m^2} * 100\%$$

$$\% \text{ Área exceso} = 11,7\%$$

El condensador subenfriador posee un área 11,7% mayor al área requerida; además, como se mencionó anteriormente, las pérdidas de carga están dentro de los valores propuestos para evitar imperfectos en el equipo, por lo que se demuestra que el equipo es apto para llevar a cabo la condensación.

## 6.2. Especificación técnica del condensador sub - enfriador 1

A continuación se presenta la tabla de especificaciones del equipo diseñado:

<b>Condensador Sub-enfriador</b>		
<b>Datos</b>	<b>Carcasa</b>	<b>Tubos</b>
Fluido	Ácido Acético	Agua
Estado	Gaseoso/Líquido	Líquido
Temperatura de entrada [°C]	118	15
Temperatura de Salida [°C]	95	50
Caudal total [Kg/s]	9,31	27,58
Número de Pasos	2	4
Presión de Operación [N/m <sup>2</sup> ]	180000	180000
Caida de Presion calculada [N/m <sup>2</sup> ]	54721,8	85517,43
Caida de Presión admisible [N/m <sup>2</sup> ]	60000	90000
Presión de Diseño [N/m <sup>2</sup> ]	190000	190000
Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	1049	1000
Calor específico [Kj/Kg.K]	2,009	4,181
Viscosidad [Kg/m.seg]	0,00064	0,001
Calor Intercambiado [Kj/seg]	4037,35	
Coeficiente de transmisión de calor [Kj/m <sup>2</sup> .seg.K]	12,14	6,23

<b>Datos del Diseño</b>	
Tipo	B.E.W.
Diámetro coraza	22"
Longitud coraza	75"
Material coraza	Acero
Diámetro exterior tubos	3/4"
Características	BWG 10
Diámetro interior tubos	0,48"
Arreglo de tubos	Triangular
Cantidad total de tubos	420
Longitud de tubos	55"
Paso entre tubos	15/16"
Material tubos	Acero
Distancia entre baffles	15"
Número de baffles	4
Diámetro de baffles	21,9"
% ventana	25%
Diámetro agujeros baffles	0,78
Ensuciamiento [seg.m <sup>2</sup> .K/J]	0,00035

Tabla Nº12: Especificaciones técnicas del Condensador Subenfriador 1

## 7. Torre de enfriamiento 1

En la operación anterior, donde se utiliza agua para condensar y enfriar el fluido saliente de la centrífuga, es necesario un caudal alto de agua, por lo que se opta por enfriarlo con una torre de enfriamiento para poder reutilizarla. Este caudal de agua es de  $25,24 \text{ m}^3/\text{h}$  con un calor a extraer de  $886.086,83 \text{ kcal/h}$ , lo que equivale a 300 Toneladas de refrigeración y se debe seleccionar una torre con dicha capacidad mínima.

La torre seleccionada es de la Weifang Haofeng modelo BHX-30.



Figura N°8: Torre de enfriamiento marca Yuyao Jiantai modelo BHX-30

### 7.1. Especificaciones técnicas de la torre de enfriamiento

Torre de enfriamiento 1	
Dimensión [L*H]	2700*2250mm
Tipo de flujo	Contrario
Caudal [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	50
Material	Acero galvanizado
Potencia [kW]	1,1
Modelo	BHX-30
T entrada [°C]	50
T salida [°C]	20

Tabla N°13: Especificaciones técnicas torre de enfriamiento BHX-30

## 8. Recuperación de solvente - Columna de fraccionamiento

Se busca recuperar parte del solvente utilizado durante el pretratamiento mediante un sistema de destilación, donde existe un aumento de temperatura de  $95^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$ . Para ello, se utiliza la máquina de recuperación de solventes Calstar - A425Ex visto en la siguiente figura.



Figura N°9: Sistema de destilación marca Calstar, modelo A425Ex

### 8.1 Especificaciones Técnicas

Recuperador de Solvente	
Marca	Calstar
Modelo	A425Ex
Modo de funcionamiento	Semi - automática
Energía [kW]	20 - 30
Caudal [Lt/h]	40
Peso [Kg]	860
Dimensión (L*W*H) [mm]	1100 x 1000 x 1500
Temperatura de operación [°C]	50 - 190
Material	Acero al carbono

Tabla N°14: Especificaciones técnicas del recuperador de solvente Calstar.

### 9. Intercambiador de calor 1

Se hará uso de un intercambiador de calor para adecuar la temperatura de la corriente previo a la hidrólisis. La idea de este equipo es llevar la temperatura de la celulosa obtenida desde 77°C, hasta los 37°C óptimos para la hidrólisis enzimática.

Para ello elegimos el equipo marca NYM modelo NYMHE190136 y debajo se adjuntan imágenes del mismo.



Figura N°10: Intercambiador de calor marca NYM modelo NYMHE190136

### 9.1. Especificaciones técnicas del intercambiador de calor 1

Intercambiador de calor 1	
Tipo de equipo	De casco y tubo
Caudal a enfriar [m <sup>3</sup> /h]	9,8
Caudal refrigerante [m <sup>3</sup> /h]	13,3
Material carcasa	Acero inoxidable 304
Material tubos	Acero inoxidable 304
Dimensión [L*W*H]	200*800*600
Potencia [kW]	7,5
Modelo	NYMHE190136
T entrada [°C]	77
T salida [°C]	37

Tabla N°15: Especificaciones técnicas del intercambiador de calor NYM

## 10. Torre de enfriamiento 2

Esta torre de enfriamiento va a ser la encargada de reducir la temperatura del agua proveniente del Intercambiador de calor 1 para poder recircularla y utilizarla en el mismo proceso de enfriamiento y así poder ahorrar en su consumo.

El caudal a enfriar será de  $13 \text{ m}^3/\text{h}$ , con un calor a extraer de  $131.000 \text{ kcal/h}$ , lo que equivale a 43 Toneladas de refrigeración, entrando a la torre a la temperatura de  $30^\circ\text{C}$  y saliendo a  $20^\circ\text{C}$ .

Para ello se elige la torre HAIDA modelo SLJ-16.



Figura N°11: Torre de enfriamiento de flujo contrario HAIDA modelo SLJ-16

### 10.1. Especificaciones técnicas de torre de enfriamiento

Torre de enfriamiento 2	
Dimensión [L*H]	1900*1400mm
Tipo de flujo	Contrario
Caudal [m³/h]	16
Material	Metal
Potencia [kW]	0,37
Modelo	SLJ-16
T entrada [°C]	30
T salida [°C]	20

Tabla N°16: Especificaciones técnicas torre de enfriamiento SLJ-16

## 11. Reactor de hidrólisis

En este reactor tendremos un caudal total de 11 Tn/h, el cuál tendrá un tiempo de residencia mayor al reactor de pretratamiento, siendo este de 48 hs.

En cuanto a la composición de entrada tenemos una diferencia muy marcada ya que la celulosa estará en mucha mayor proporción que el agua, y eso influye en la densidad de la solución que servirá para calcular el caudal volumétrico y a partir de este, calcularemos el volúmen del reactor y sus características.

$$Q_{vol} = \frac{Q_{masico}}{\delta_{celulosa}} = \frac{11.000 \text{ Kg/h}}{1.500 \text{ Kg/m}^3} \simeq 7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Una vez obtenido el caudal volumétrico calcularemos el volúmen que este representa, utilizando el tiempo de residencia ya mencionado.

$$V = Q_{vol} * t_{residencia}$$

$$V = 7 m^3/h * 48 h = 336 m^3$$

Por los cálculos vemos que será necesaria una cantidad muy alta de reactores para cubrir la producción deseada.

Debemos recordar del capítulo de descripción de procesos, que se ha mencionado el uso de un soporte inmovilizador de enzimas, y el seleccionado para esta operación será el soporte Zeolitic imidazolate framework-8 (ZIF-8).

Se decide utilizar 8 reactores de  $50 m^3$  cada uno, donde cada unidad seleccionada cuenta con un pequeño sobrevolumen de seguridad incluido.

Nuevamente usando las figuras y tablas de la sección [15. Reactor fermentativo](#) se seleccionan las siguientes relaciones y se calculan altura y diámetro, entre otros parámetros.

$$H_l/T = 2.$$

A partir del valor elegido podemos determinar el diámetro interno del reactor.

Ecuaciones:

$$V_l = \pi. \left(\frac{T}{2}\right)^2. H_l$$

$$V_l = \pi. \left(\frac{T}{2}\right)^2. 2T$$

$$T = \sqrt[3]{\frac{2.V_l}{\pi}} = 3 m$$

Altura final:

$$H = H_l + H_a$$

Otra forma de escribir el volúmen teniendo en cuenta la sobredimensión sería:

$$Vsd = \pi. \frac{T^2}{4}. H_a$$

Sabiendo que  $Vsd = 8 m^3$  despejamos la altura de sobredimensión también:

$$H_a = 8m^3 \cdot \frac{4}{T^2 \cdot \pi} = 1,13 m$$

$$H_l = 6 m$$

$$H = 6,13 m$$

Distancia entre fondo y paletas:

$$C = \frac{T}{3}, \text{ entonces } C = 1 \text{ m.}$$

Según todo lo mencionado se decide seleccionar un reactor de acero inoxidable SS316L modelo FCH-50m<sup>3</sup> marca HXCHEM, con sistema de calentamiento de media caña.

Algunas de las características de este equipo son:

- Cuerpo del equipo diseñado y legalizado para trabajar a una presión de -1 / 200 bar y una temperatura que puede ir desde 0 a 350°C.
- Media caña en cuerpo y fondo inferior diseñada para trabajar a una presión de 1 bar y una temperatura de 50°C.
- Sistema de agitación tipo hélice a 110 rpm



Figura N°12: Interior reactor FCH-50m<sup>3</sup> marca HXCHEM



Figura N°13: Reactor FCH-50m<sup>3</sup> marca HXCHEM

### 11.1. Especificaciones técnicas reactor hidrólisis

Reactor hidrólisis	
Modelo	FCH-50 m <sup>3</sup> Marca HXCHEM
Altura [m]	6,13
Diámetro [m]	3
Volúmen [m <sup>3</sup> ]	50
Presión de diseño [bar]	-1/200
Temperatura diseño [°C]	50
Material	Acero inoxidable 316L
Fondos	Semielíptico
Velocidad de agitación [rpm]	110
Distancia de agitador y el fondo [m]	1
Sistema de calefacción	Camisa de 1/2 caña

Tabla N°17: Especificaciones técnicas reactor FCH-50m<sup>3</sup> marca HXCHEM

### 11.2. Bomba dosificadora de membrana

Como se ha mencionado ya en el capítulo correspondiente, vamos a necesitar de un equipo con membrana que sea capaz de recircular el medio de la hidrólisis y retenga las enzimas dentro del reactor, por lo cuál haremos uso de la bomba dosificadora de membrana de motor Sigma 3 de la marca ProMinent.

Esta bomba es seleccionada debido a que puede cubrir la capacidad de 17 a 1.030 L/h, siendo nuestro caudal por reactor de 875 L/h, siendo necesarias 8 bombas.

Se mencionan algunas de sus características principales a continuación:

- Materiales en contacto con el medio: acero inoxidable 1.4571/1.4404
- Membrana de seguridad multicapa patentada con indicación de rotura de membrana óptica
- Válvula hidráulica para purga de aire y rebose integrada
- Múltiples opciones de accionamiento: Motor trifásico normalizado, motor de corriente alterna monofásico, motores para el uso en zonas Exe y Exde, diferentes modelos de brida para el empleo de motores específicos del cliente
- Carcasa de plástico reforzado con fibra de vidrio con una alta resistencia a los químicos



Figura N°14: Bomba dosificadora de membrana ProMinent motor Sigma 3

## 12. Intercambiador de calor 2

En este caso, es necesario realizar un descenso de temperatura de la glucosa líquida proveniente de la hidrólisis. Este descenso será desde los 50°C hasta 32°C, siendo esta última la temperatura óptima para la fermentación.

Para ello elegimos el equipo marca NYM modelo NYMHE190928226 del cuál se adjunta imagen a continuación.



Figura N° 15: Intercambiador de calor marca NYM seleccionado.

### 12.1. Especificaciones técnicas del intercambiador de calor 2

Intercambiador de calor 2	
Tipo de equipo	De casco y tubo
Caudal a enfriar [m <sup>3</sup> /h]	21,6
Caudal refrigerante [m <sup>3</sup> /h]	22,42
Material carcasa	Acero bajo en carbono A516
Material tubos	Acero al carbono 106
Dimensión [L*W*H]	205*1300*1100
Modelo	NYMHE190928226
T entrada [°C]	50
T salida [°C]	32

Tabla N°18: Especificaciones técnicas del intercambiador de calor NYM

### 13. Torre de enfriamiento 3

Como ya se ha mencionado, en la operación de intercambio de calor se hará uso de un caudal de agua importante por lo que serán necesarios equipos de enfriamiento para poder reutilizar el agua que sale de los mismos.

En este caso el caudal de agua es de 22,42 m<sup>3</sup>, con un calor a extraer de 224.000 kcal/h y se selecciona la torre de enfriamiento marca Yuyao Jiantai modelo JT-80T, la cuál tiene una capacidad de refrigeración de 80 Toneladas.



Figura N°16: Torre de enfriamiento marca Yuyao Jiantai modelo JT-30T

### 13.1. Especificaciones técnicas de la torre de enfriamiento

Torre de enfriamiento 3	
Dimensión [L*H]	1400*2050mm
Tipo de flujo	Contrario
Caudal [m <sup>3</sup> /h]	25
Material	Acero galvanizado
Potencia [kW]	0,55
Modelo	JT-80T
T entrada [°C]	30
T salida [°C]	20

Tabla Nº19: Especificaciones técnicas torre de enfriamiento JT-30T

### 14. Reactor fermentativo madre

Como se detalló en el capítulo de balance de masa, para la operación de fermentación se utilizarán un total de 17 reactores, un reactor madre y 16 reactores continuos.

A continuación los cálculos del reactor madre.

$$V_{\text{liquido}} = 25 \text{ m}^3$$

Nuevamente usando las figuras y tablas de la sección [15. Reactor fermentativo](#) se seleccionan las siguientes relaciones y se calculan altura y diámetro, entre otros parámetros.

$$H_l/T = 2.$$

A partir del valor elegido se puede determinar el diámetro interno del reactor.

Ecuaciones:

$$V_l = \pi \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot H_l$$

$$V_l = \pi \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot 2T$$

$$T = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot V_l}{\pi}} = 2,51 \text{ m}$$

Altura:

$$H = 2 * T = 5,02 \text{ m}$$

Distancia entre fondo y paletas:

$$C = \frac{T}{3}, \text{ entonces } C = 0,84 \text{ m.}$$

El reactor seleccionado para este caso será el mismo seleccionado para el pretratamiento por lo que a continuación se presenta una tabla con sus datos.

#### 14.1. Especificaciones técnicas reactor madre

Reactor madre	
Altura [m]	5,02
Diámetro [m]	2,51
Volúmen [m <sup>3</sup> ]	25
Presión de diseño [bar (g)]	-1/3
Temperatura diseño [°C]	170
Material	Acero inoxidable 316L
Fondos	Semielíptico
Velocidad de agitación [rpm]	110
Distancia de agitador y el fondo [m]	0,84
Sistema de calefacción	Camisa de 1/2 caña

Tabla Nº20: Especificaciones técnicas reactor Teruel

### 15. Reactor fermentativo

A continuación se desarrollará el diseño de uno de los 16 reactores continuos.

#### 15.1. Dimensiones del reactor

Según lo mencionado anteriormente, el reactor tendrá un volúmen de líquido de  $50 \text{ m}^3$ , siguiendo la bibliografía se opta por sobredimensionar el equipo por cuestiones de seguridad en un 25%, por lo que el volúmen del reactor será:

$$V_{\text{reactor}} = 1,25 * 50 \text{ m}^3 = 62,5 \text{ m}^3$$

Para seguir avanzando se debe hacer la consideración de la forma geométrica del reactor para la determinación de su diámetro interno, asumiendo que el mismo es un cilindro perfecto. Cabe aclarar que este diseño se realiza siguiendo la bibliografía (Acevedo, 2004) en donde se tiene la siguiente nomenclatura:

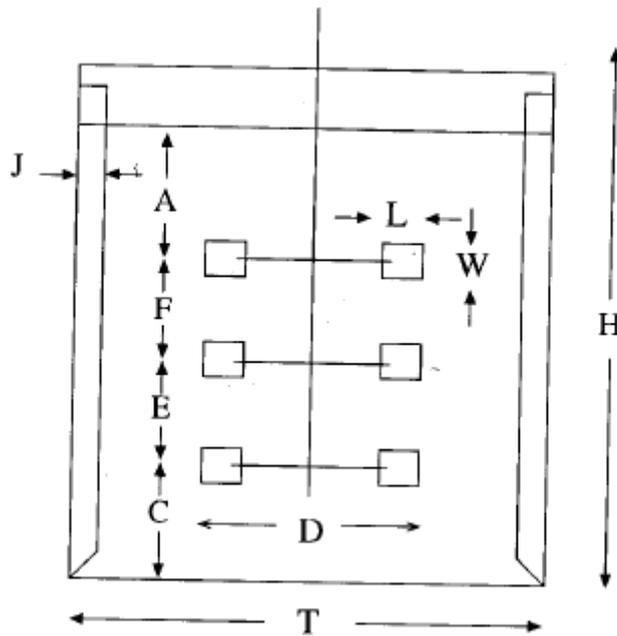


Figura N°17: Nomenclatura normalizada de un fermentador

Razón	Valor
$H_l/T$	1.0 - 3.0
$D/T$	0.3 - 0.6
$A/D$	0.5 - 3.0
$E/D, F/D$	1.0 - 2.0
$J/T$	0.08 - 0.1

Tabla N°21: Razones recomendables para el diseño

Según lo observado en la Tabla N°23, se ve que la relación  $H_l/T$  puede tomar un valor entre 1 y 3, por lo que por una cuestión de comodidad se elige la relación mayor, entonces  $H_l/T = 3$ .

A partir del valor elegido se puede determinar el diámetro interno del reactor.

Ecuaciones:

$$V_l = \pi \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot H_l$$

$$V_l = \pi \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot 3T$$

$$T = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_l}{3 \cdot \pi}} = 2,77m$$

Ahora con el diámetro interno del reactor ya se puede calcular la altura final del mismo, sin olvidar que se decidió en un comienzo sobredimensionar el equipo.

$$H = H_l + H_a$$

Otra forma de escribir el volúmen teniendo en cuenta la sobredimensión sería:

$$Vsd = \pi \cdot \frac{T^2}{4} \cdot H_a$$

Sabiendo que  $Vsd = 0,25 * V_l$ , se despeja la altura de sobredimensión también:

$$H_a = 0,25 \cdot V_l \cdot \frac{4}{T^2 \cdot \pi} = 2,074 \text{ m}$$

Otro aspecto a tener en cuenta es la distancia (C) necesaria para que las paletas del agitador no toquen el fondo del tanque, que según la bibliografía será regida por la relación de  $C = \frac{T}{3}$ , entonces  $C = 0,92 \text{ m}$ .

Una vez obtenidos estos valores, se pueden hallar los faltantes mencionados en la Figura N°17, para ello se eligen las relaciones faltantes de  $D/T = 0,4$  y  $J/T = 0,09$ .

$V_l [m^3]$	50	$T [m]$	2,77
$H [m]$	10,38	$C [m]$	0,92
$H_l [m]$	8,31	$D [m]$	1,11
$H_a [m]$	2,074	$J [m]$	0,25

Tabla N°22: Parámetros calculados de reactor

## 15.2. Parámetros de la camisa de calefacción

### 15.2.1. Cálculo de calor

Se parte de un pequeño balance de energía para poder realizar una determinación de parámetros más certeros de este auxiliar del proceso fermentativo.

Para ellos se realizan las siguientes salvedades:

$$Q_{acumulado} = Q_{metabólico} + Q_{agitador} + Q_{aire} - Q_{camisa} - Q_{evap} - Q_{sensible}$$

donde se tiene que el calor acumulado dentro del reactor -nulo, ya que se mantiene la temperatura constante- será igual al calor metabólico producido en el proceso, más el calor generado a partir del movimiento mecánico de la agitación, sumado al calor que se genera al momento del ingreso de aire en el sistema (cantidad de aire despreciable), menos el calor que se intercambia con el exterior que en el presente caso está representado por la camisa,

también se debe restarle el calor que se pierde por la evaporación de  $CO_2$ , y por último se resta el calor sensible que se produce al momento del ingreso y egreso de las corrientes.

Ahora, el único calor que tendrá algún sentido calcular para este trabajo será el calor de la camisa y el calor metabólico del proceso, ya que los demás serán despreciables y en algunos casos nulos.

Finalmente queda:

$$Q_{metabólico} = Q_{camisa}$$

Ahora este último calor se lo calcula de la siguiente manera:

$$Q_{camisa} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Siendo A el área de la camisa expresada en  $m^2$ , U el coeficiente global de transmisión de calor, expresado en  $W/m^2K$  y por último el  $\Delta T$  como la diferencia de temperaturas.

A su vez,  $Q_{camisa} = m_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot \Delta T$ , que es un poco más sencillo de calcular.

El calor metabólico se obtiene por balance de energía realizado detallado en el correspondiente capítulo.

Para la operación de fermentación, el valor es de 1.844.663 kJ/h.

$$Q_{metabólico} = 1.844.663 \frac{Kj}{h}$$

### 15.2.2. Cálculo de caudal de agua

Ahora se procede a calcular el caudal de agua que debe circular por dentro de la camisa para mantener el reactor a 37°C.

Esta agua entrará al circuito a una temperatura de 150°C, y el calor sensible lo cederá al interior del reactor, saliendo del mismo a 110°C.

$$Cp_{agua} = 4,35 \frac{Kj}{kg \cdot ^\circ C}$$

$$m_{agua} = \frac{1.844.663 \frac{Kj}{h}}{4,35 \frac{Kj}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (150^\circ C - 110^\circ C)}$$

$$m_{agua} = 10.601,5 \frac{Kg}{h}$$

### 15.2.3. Cálculo del área efectiva de intercambio de la camisa

Para realizar este cálculo se hará uso de la ecuación ya mencionada  $Q_{camisa} = U \cdot A \cdot \Delta T$ , donde la variación de la temperatura será la diferencia entre la temperatura que el agua dentro del reactor tiene (37°C) y la temperatura del agua dentro de la camisa (150°C).

El coeficiente U se obtiene de bibliografía con el valor de  $U = 200 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Ahora sí, se puede calcular el área efectiva de transferencia de calor de la camisa:

$$A = \frac{Q_{camisa}}{U \cdot \Delta T}$$

$$A = \frac{567.176,48 \text{ W}}{200 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot (150^\circ\text{C} - 37^\circ\text{C})} = 25 \text{ m}^2$$

### 15.2.4. Cálculo de dimensiones de la camisa

- Dimensiones propuestas

$$D_{tubo} = 0,0508 \text{ m}$$

$$D_{mcaña} = 2,82 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de media caña} = 523 \text{ m}$$

- Dimensiones calculadas

$$N^\circ_{vueltas} = \frac{L}{\pi \cdot D_{mcaña}} = \frac{523 \text{ m}}{\pi \cdot 2,82 \text{ m}} = 59 \text{ vueltas}$$

$$\text{Separación entre las vueltas} = \frac{H - N \cdot D_{tubo}}{N - 1} = \frac{10,38 \text{ m} - 59 \cdot 0,0508 \text{ m}}{59 - 1} = 12 \text{ cm}$$

### 15.3. Diseño del agitador

#### 15.3.1. Sistema de agitación

Siguiendo la bibliografía (Pérez Madroñal, 2017) se sugiere la utilización de un sistema de agitación con 4 placas deflectoras que estarán ubicadas regularmente a  $90^\circ$  para así evitar formación de vórtices dentro del reactor. Para esta operación se elige una turbina de discos del tipo Rushton.



Figura N°18: Disco de hoja plana recta, tipo Rushton

#### 15.3.2 Dimensionamiento del agitador

Como se mencionó en el ítem [15.1. Dimensiones del reactor](#), el agitador estará a 0,92 m de distancia del fondo del reactor, y a continuación haciendo uso de la bibliografía se hallarán las dimensiones de la turbina propiamente dicha.

Aquí debajo se puede ver en la Figura N°19 la nomenclatura de las dimensiones de la turbina según la bibliografía y en la Tabla N°23 las relaciones entre ellas para calcular los parámetros faltantes.

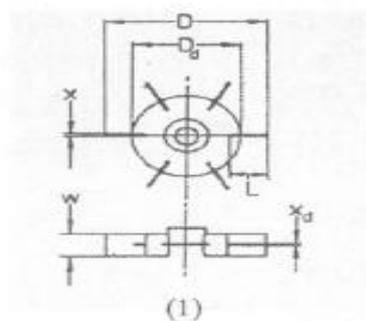


Figura N°19: Esquema de las proporciones estándar para fermentadores

	nb	Wb	Sb	D	C	S	H	n	W	L
(1) Turbina de disco	4	T/12	T/60	T/3	T/3	2T/3	T	6	D/5	D/4
(2) Turbina de palas planas	4	T/12	T/60	T/3	T/3	2T/3	T	6	D/5	-
(3) Hélice	4	T/10	0	T/3	T/3	2T/3	T	3	-	-

Tabla N°23: Relaciones geométricas estándar entre las dimensiones de la turbina

A raíz de esto, y sabiendo que la dimensión D es la calculada en un principio ( $D=1,11$  m), se hallan L y W.

$$L = 0,28 \text{ m}$$

$$W = 0,22 \text{ m}$$

Resta por definir diámetro del eje principal ( $p_e$ ), los espesores de las placas ( $x$ ), así como el diámetro del componente circular ( $D_d$ ) y su espesor ( $x_d$ ).

Para ello, se hace uso de los valores detallados en la bibliografía consultada donde se dimensiona un reactor de similares características y se lo afecta por un factor de 1,14 que es la relación entre las dimensiones del presente trabajo y el mencionado (Pérez Madroñal, 2017):

$$x = 0,055 \text{ m}$$

$$D_d = 0,70 \text{ m}$$

$$x_d = 0,051 \text{ m}$$

$$p_e = 0,276 \text{ m}$$

El último paso es la estimación del volúmen del eje del agitador. Para ello, se calcula la altura del eje sumergido que se registrá por resta de la altura total del líquido dentro del reactor y la distancia entre el fondo del reactor y las paletas del agitador.

$$H_e = H_l - C$$

$$H_e = 8,31 \text{ m} - 0,92 \text{ m} = 7,39 \text{ m}$$

Ahora sí, se procede al cálculo del volúmen del agitador:

$$V_{agitador} = V_{turbina} + V_{eje} = 6 \cdot W \cdot L \cdot x + \pi \cdot \frac{D_d^2}{4} \cdot x_d + \pi \cdot \frac{p_e^2}{4} \cdot h_e$$

Rellenando con los datos ya obtenidos:

$$V_{\text{agitador}} = 0,48 \text{ m}^3$$

### 15.3.3. Potencia requerida

Al tener un proceso donde no habrá aireación, se puede calcular la potencia requerida a través de la siguiente ecuación:

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5$$

Donde  $N_p$  es el número de potencia,  $\rho$  la densidad del medio expresada en  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,  $N$  es el número de revoluciones por segundo del agitador y  $D$  representa al diámetro de la turbina.

Para hallar la densidad, se usa la Tabla N°24 que relaciona los °BRIX con la densidad, siendo la solución de glucosa en agua una solución con 15°BRIX.

°Bx	
Grado Brix	Densidad
15,6	1,0637
15,4	1,0628
15,2	1,0620
15,0	1,0611
14,8	1,0603
14,6	1,0594
14,4	1,0586
14,2	1,0577
14,0	1,0568
13,8	1,0560
13,6	1,0551
13,4	1,0543
13,2	1,0534
13,0	1,0526
12,8	1,0518

Tabla N°24: Densidad de soluciones según °BRIX

$$\rho = 1.061 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$N = 110 \text{ rpm} = 1,83 \text{ rps}$$

$$D = 1,11 \text{ m}$$

$$N_p = ?$$

El número de potencia se relaciona con el número de Reynolds mediante la siguiente correlación:

$$N_p = b \cdot Re^x$$

Donde b es una constante que depende de la geometría del tanque, y x depende del régimen de flujo y del tipo de impulsor. Para la estimación de los mismos, se hará uso de la siguiente gráfica que relaciona el número de Reynolds con el Número de potencia:

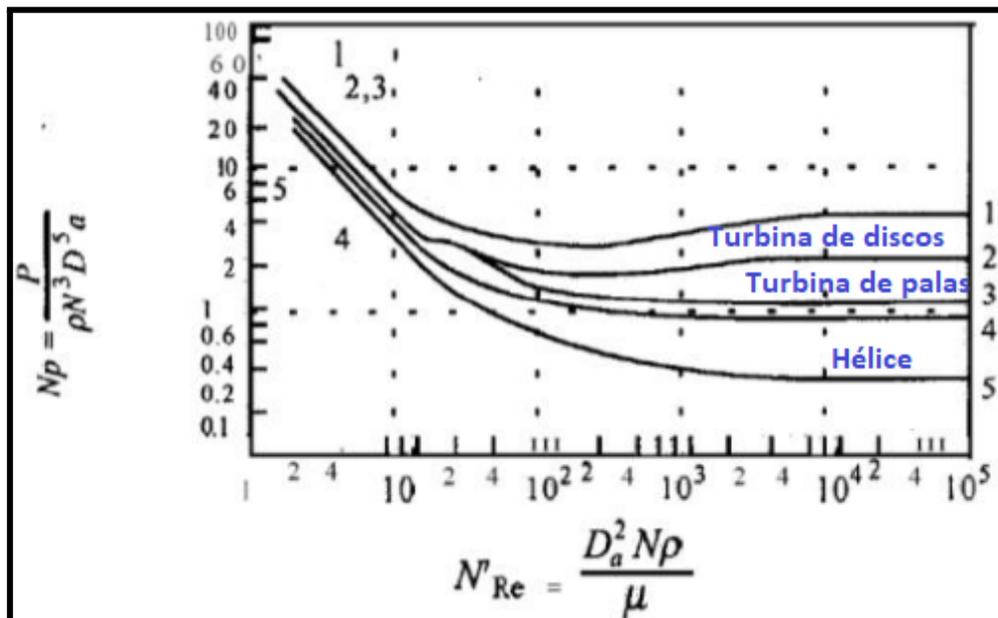


Figura N°20: Correlaciones de potencia de distintos deflectores

El número de Reynolds se calcula de la siguiente manera:

$Re = \frac{D^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}$ , donde la viscosidad se estimará con la viscosidad del agua como:

$$\mu = 0,000789 \frac{kg}{m \cdot s}$$

Finalmente:

$$Re = 3 \times 10^6$$

Entonces se tiene un flujo turbulento, que proporcionará mezclado muy efectivo.

En el gráfico se puede observar que para cualquier tipo de mezclador a partir de  $Re = 1000$  se tendrá  $N_p$  constantes, y en este caso vale 3.

Para finalizar, se procede al cálculo de la potencia necesaria del agitador:

$$\rho = 1.061 \frac{kg}{m^3}$$

$$N = 110 \text{ rpm} = 1,83 \text{ s}^{-1}$$

$$D = 1,11 \text{ m}$$

$$N_p = 3$$

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 = 31,6 \text{ kW}$$

#### 15.4. Diseño mecánico

Para el diseño mecánico del reactor se lo tomará como un recipiente totalmente cerrado y a presión, por lo que para un correcto diseño del mismo se basará en los códigos ASME.

##### 15.4.1. Presión de diseño

En el caso de la presión de diseño, siempre se elige una presión tal que en caso de accidente, quede un margen de cuidado; entonces será una presión mayor a la presión mayor que se alcanzará en el proceso.

Para calcular la presión máxima del proceso, se hace una mención del principio fundamental de la hidrostática donde se sabe que la presión que aplicará un fluido, será proporcional a la altura del líquido, su densidad y la gravedad.

$P_{mp} = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot H_l$ , donde la altura será la altura del recipiente calculada al principio del capítulo.

Entonces:

$$P_{atm} = 101.325 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1.061 \frac{kg}{m^3}$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$H_l = 8,31 \text{ m}$$

$$P_{mp} = 187.730,7 \text{ Pa} = 27,23 \frac{lb}{in^2}$$

Según los códigos ya mencionados, al ser la presión máxima calculada menor a  $300 \frac{lb}{in^2}$ , la presión de diseño será:

$$P_d = P_{mp} + 30 \frac{lb}{in^2}$$

Finalmente:

$$P_d = 57,23 \frac{lb}{in^2} = 394.558,5 Pa$$

#### 15.4.2. Temperatura de diseño

En el caso de la temperatura, se seguirá la misma idea de la presión; donde la temperatura de diseño debe ser mayor a la temperatura máxima que se alcanzará dentro del reactor, siendo esta mayor por  $20^\circ C$ .

Entonces:

$$T_d = T_{mp} + 20^\circ C$$

$$T_d = 37^\circ C + 20^\circ C = 57^\circ C$$

#### 15.4.3. Material de construcción

Como material de construcción del mencionado recipiente, se elige acero inoxidable austenítico tipo 304L, según las especificaciones estándar ASME SA 240.

Se lo elige por sus características:

- Buena resistencia general a la corrosión.
- Facilidad de limpieza
- Excelente resistencia y tenacidad a temperaturas criogénicas
- Buena formabilidad
- Buena soldabilidad
- Posibilidad de pulido espejo en el interior

Además de ser uno de los materiales más utilizados para procesos donde habrá intercambios de calor y ser de los más producidos a nivel industrial.

A continuación se presentan algunas propiedades físicas de este material:

Density: 0.285 lb/in<sup>3</sup> Melting Range: 2550-2590°F Poisson's Ratio: 0.3 Electrical Resistivity: 433 Ohm-circ mil/ft

Temperature, °F	70	212	932
Coefficient* of Thermal Expansion, in/in°F x 10 <sup>4</sup>	–	9.2	–
Thermal Conductivity Btu • ft/ft <sup>2</sup> • hr • °F	–	9.4	12.4
Modulus of Elasticity Dynamic, psi x 10 <sup>4</sup>	29	–	–

Tabla N°25: Propiedades físicas de acero inoxidable austenítico tipo 304L

#### 15.4.4. Tensión máxima admisible

Para el cálculo de la tensión máxima admisible de trabajo, se debe tener en cuenta que esta misma debe ser menor que la tensión admisible del material.

Se hace uso de las relaciones otorgadas por el código ASME:

$S = \frac{5}{8} Y$ , donde Y -expresado en  $\frac{kg}{cm^2}$ - es sacado de bibliografía y representa la carga que produce una deformación permanente del 0,2% a la temperatura de diseño, que en este caso es 57°C.

#### Typical Tensile and Impact Properties

Temperature, °F	-425	-320	-100	70	400	800	1200	1500
Ultimate Tensile Strength, ksi	250	230	150	90	70	66	48	23
0.2 % Yield Strength, ksi	100	70	50	35	23	19	15.5	13
Charpy Impact V-notch, ft-lbs	85	85	–	150	–	–	–	–

Tabla N°26: Límite elástico y en función de la temperatura

$$S = \frac{5}{8} \cdot 2460 \frac{kg}{cm^2} = 1537,5 \frac{kg}{cm^2}$$

#### 15.4.5. Eficiencia de soldadura

Siguiendo el código ASME, se debe seleccionar un tipo de soldadura de entre los 8 posibles, para así reducir la tensión en el reactor.

En este caso, se elige una de las más solicitadas que es la soldadura TIPO 1 radiografiada por zonas, con una eficiencia E de 0,85.

#### 15.4.6. Sobreespesor por corrosión

El sobreespesor por corrosión es un espesor que se agrega al calculado originalmente para compensar la pérdida que se pueda tener gracias al efecto de la corrosión dentro del equipo.

Este va a depender principalmente del material que será construido el reactor.

El acero inoxidable elegido para el tanque presenta un rango de valores entre 0,8 y 1,5 mm. En el presente caso se elige el valor de 1,2 mm.

#### 15.4.7. Cálculo de espesor de la envuelta

Para este cálculo se empleará el código ASME nuevamente, por lo que se hará uso de la regla UG-27 con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{P_d \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d} + c$$

Donde las letras utilizadas son:

$$P_d = \text{presión de diseño} \rightarrow 4,024 \frac{kg}{cm^2}$$

$$R = \text{radio interno del reactor} \rightarrow 138,5 \text{ cm}$$

$$S = \text{tensión admisible del material} \rightarrow 1537,5 \frac{kg}{cm^2}$$

$$E = \text{eficiencia de soldadura} \rightarrow 0,85$$

$$C = \text{sobreespesor por corrosión} \rightarrow 0,12 \text{ cm}$$

Para poder utilizar esta ecuación, se debe comprobar que la presión de diseño cumpla la condición:

$$P_d < 0,385 \cdot S \cdot E \rightarrow P_d < 503,15 \frac{kg}{cm^2}, \text{ y en este caso claramente se verifica.}$$

Entonces:

$$t = 5,47 \text{ mm}$$

Sabiendo que el espesor de las chapas se rige por una normalización, la chapa será de un espesor de 6 mm. Una vez obtenido el espesor de la envuelta, se puede calcular el diámetro externo del reactor:

$$D_{ext} = D_{int} + 2 \cdot t = 2,782 \text{ m}$$

#### 15.4.8. Cálculo de espesor mínimo de la camisa de media caña

Se debe tener en cuenta también que el sistema de calentamiento, que está compuesto por una camisa de media caña por la que circula agua a una presión de 506.625 Pa, y su material es Acero al carbono, tiene su propio espesor y se debe calcular. Cuyas características son:

$$P_c = 5,16 \frac{kg}{cm^2}$$

$$S_c = 790,95 \frac{kg}{cm^2}$$

$$D_{nominal} = 2 \text{ pulg}$$

### Schedule 40

Para poder realizar el cálculo del espesor mínimo de la camisa de media caña, primero se debe calcular la máxima presión interna que tendrá la misma, la cual debe ser mayor que la presión máxima alcanzada durante la operación.

Máxima presión interna admisible [P']:

$$P' = F/K; \text{ donde } F = 1,5.S - S',$$

S = Tensión máxima admisible a la temperatura de diseño del recipiente,

S' = Tensión longitudinal real en la cubierta debido a la presión interna y otras fuerzas axiales, por último K que será un factor que obtendremos de gráficos.

$$S' = \frac{P.R}{2.t} = \frac{4,024 \frac{kg}{cm^2} \cdot 138,5 \text{ cm}}{2,0547 \text{ cm}}$$

$$S' = 509,44 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F = 1,5 \cdot 1537,5 \frac{kg}{cm^2} - 509,44 \frac{kg}{cm^2} = 1796,81 \frac{kg}{cm^2}$$

Ahora utilizando los gráficos NPS para una cañería de 2 pulgadas, 0,215 pulgadas de espesor y un diámetro de 109 pulgadas como se detalló, se halla el valor de K.

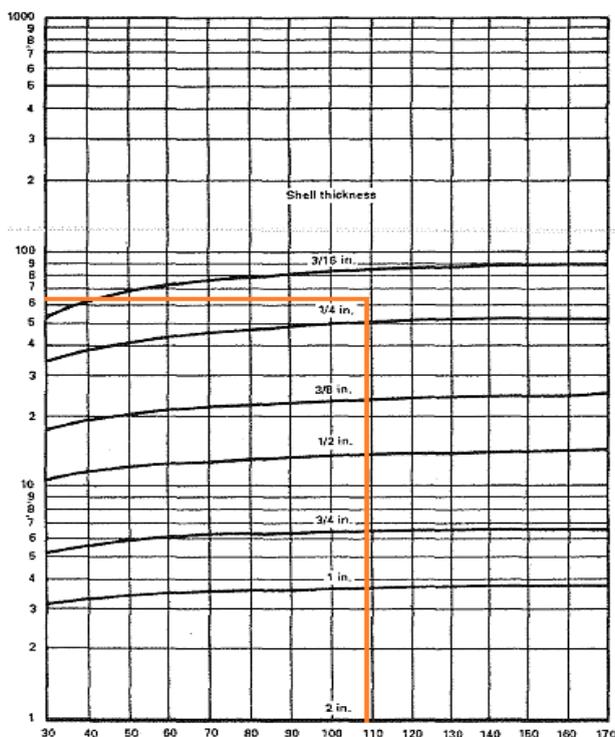


Figura N°21: Gráfico de factor K vs Diámetro y Espesor

Entonces  $K = 65$ .

Una vez que se obtuvieron todos los parámetros para el cálculo de presión máxima admisible:

$$P' = \frac{1796,81 \frac{kg}{cm^2}}{65} = 27,64 \frac{kg}{cm^2} > 5,16 \frac{kg}{cm^2}$$

Cumple la condición de la presión máxima admisible ser mayor que la presión de operación. Y ahora sí, es posible calcular el espesor mínimo de la camisa de media caña.

$$t = \frac{P' \cdot r_i}{0,85 \cdot S_c - 0,6 \cdot P'}$$

$$t = \frac{5,16 \frac{kg}{cm^2} \cdot 2,63 \text{ cm}}{0,85 \cdot 790,95 \frac{kg}{cm^2} - 0,6 \cdot 5,16 \frac{kg}{cm^2}} = 0,20 \text{ mm}$$

El espesor mínimo calculado es menor que 3,91 mm que es el valor que corresponde al Schedule 40 seleccionado en un principio.

#### 15.4.9. Cálculo de espesor mínimo de los fondos

Se ha decidido, en base a su valor económico y por ser los más utilizados en la industria, emplear fondos semielípticos. El presente equipo constará de fondos semielípticos que serán conformados en frío, con una relación entre ejes de 2:1, y el espesor mínimo de estos fondos se obtendrá utilizando la fórmula obtenida en el código ASME, teniendo en cuenta ambos diámetros: el interno y el externo.

$$t = \frac{P_d \cdot D_{int}}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_d} + c \qquad t = \frac{P_d \cdot D_{ext}}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_d} + c$$

$$t = \frac{4,024 \frac{kg}{cm^2} \cdot 277 \text{ cm}}{2 \cdot 1537,5 \frac{kg}{cm^2} \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 4,024 \frac{kg}{cm^2}} + 0,12 \text{ cm} \qquad t = \frac{4,024 \frac{kg}{cm^2} \cdot 278,2 \text{ cm}}{2 \cdot 1537,5 \frac{kg}{cm^2} \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 4,024 \frac{kg}{cm^2}} + 0,12 \text{ cm}$$

$$t = 5,5 \text{ mm}$$

Como se mencionó en el apartado anterior, las chapas al venir ya normalizadas deben elegirse de un espesor determinado por lo que nuestros fondos tendrán chapas de 6 mm normalizadas.

Este tipo de fondos requiere de un refuerzo ya que al unirse se generan tensiones que podrían llegar a ocasionar problemas, por lo que se calcula la altura que debe tener este refuerzo llamado "pestaña":

$$h_{pestaña} = 0,3 \cdot \sqrt{D_{ext}} \cdot t = 37,1 \text{ mm}$$

## 15.5. Especificaciones técnicas

Reactor	
Altura [m]	10,38
Diámetro [m]	2,77
Volúmen [m³]	62,5
Presión de diseño [kg/cm²]	4,023
Material	Acero inoxidable austenítico
Espesor de la envuelta [mm]	6
Fondos	Semielíptico
Espesor del los fondos [mm]	6
Altura de pestaña refuerzo [mm]	37,1
Sobreespesor por corrosión [mm]	1,2
Sistema de agitación	
Tipo	Turbina de discos del tipo Rushton
Material	Acero inoxidable austenítico tipo 304L
Cantidad de deflectores	4
Diámetro del agitador [m]	1,11
Ancho del deflector [m]	0,25
Distancia entre el fondo y el agitador [m]	0,92
Ancho de palas del agitador [m]	0,22
Longitud de las palas del agitador [m]	0,28
Velocidad de agitación [rpm]	110
Potencia del motor [kW]	35
Camisa de calefacción	
Tipo	Camisa de media caña
Fluido térmico	Agua saturada
Caudal [kg/h]	10.601
Diámetro del tubo [m]	0,0508
Área efectiva de transferencia [m²]	25
Longitud [m]	300
Cantidad de vueltas	34
Separación entre vueltas [cm]	11

Tabla N°27: Especificaciones técnicas

## 16. Captador de Dióxido de Carbono

El gas a extraer proviene de la reacción que ocurre durante la fermentación. Mediante una serie de ductos que unifican los reactores fermentadores desde la parte superior, la cantidad de dióxido de carbono total que será captado consta de 4,55 Tn/h. El dispositivo utilizado es el extractor HT - NG500 mostrado a continuación.



Figura N°22: Dispositivo de extracción marca HT - NG500

### 16.1. Especificaciones Técnicas:

Dispositivo de extracción de CO2	
Modelo	HT - NG500
Caudal [Kg/h]	50 - 6000
Peso [Kg]	50
Largo, L [mm]	520
Altura, H [mm]	400
Ancho, W [mm]	280
Voltaje [V]	380

Tabla N°28: Especificaciones técnicas del extractor de dióxido de carbono

## 17. Torre de fraccionamiento

En esta sección se realizará el diseño de la torre de destilación, operación que forma parte de la etapa final del proceso, correspondiente a la purificación de la corriente etanol - agua obtenida durante la fermentación. La torre puede contar con una serie de platos (contacto discontinuo) o relleno (contacto continuo) para lograr que el contacto entre ambas corrientes sea máxima. Se decidió utilizar la primer opción ya que los platos son más accesibles para el mantenimiento, evitamos correr el riesgo de una mala disposición del relleno que provocaría un contacto deficiente, el control de los parámetros de operación es más sencillo, además la construcción de las torres de platos no sólo es más práctica, sino que se destina un menor costo a la instalación.

Para el futuro trazado de platos gráficos, es necesario conocer las composiciones de la corriente de alimentación. Esta, junto con la obtenida como destilado y residuo, fueron ya calculados en el Capítulo VI: Balance de Masa y Energía, a modo de resumen:

	Tn/h
F	53,64
D	4,82
W	48,83

Tabla N°29: Caudal másico de corrientes principales en destilación

Partiendo de dichos resultados, se calculan las composiciones molares de cada corriente, empezando con la alimentación:

$$m_{EtOH} = 53,64 \frac{Tn}{h} * 0,085 = 4,575 \frac{Tn EtOH}{h} * \frac{Kmol EtOH}{0,04607 Tn EtOH} = 99,32 \frac{Kmol EtOH}{h}$$

$$m_{Agua} = 53,64 \frac{Tn}{h} - 4,575 \frac{Tn EtOH}{h} = 49,065 \frac{Tn Agua}{h} * \frac{Kmol Agua}{0,018 Tn Et Agua} = 2725,81 \frac{Kmol Agua}{h}$$

$$F = 2725,81 \frac{Kmol Agua}{h} + 99,32 \frac{Kmol EtOH}{h} = 2825,12 \frac{Kmol}{h}$$

$$x_F^{EtOH} = \frac{99,32 \frac{Kmol EtOH}{h}}{2825,12 \frac{Kmol}{h}} = 0,0352$$

$$x_F^{Agua} = \frac{2725,81 \frac{Kmol Agua}{h}}{2825,12 \frac{Kmol}{h}} = 0,965$$

Para obtener los caudales molares de destilado (D) y residuo (W), planteamos:

$$F = D + W$$

Con respecto al etanol:

$$F \cdot x_F = D \cdot x_D + W \cdot x_W$$

$$F \cdot x_F = (F - W) \cdot x_D + W \cdot x_W = F \cdot x_D - W \cdot x_D + W \cdot x_W$$

$$W = F * \frac{(x_F - x_D)}{(x_W - x_D)}$$

Entonces, reemplazando valores:

$$W = 2825,12 \frac{Kmol}{h} * \frac{(0,0352 - 0,95)}{(0,01 - 0,95)} = 2749,52 \frac{Kmol}{h}$$

$$D = 2825,12 \frac{Kmol}{h} - 2749,52 \frac{Kmol}{h} = 75,60 \frac{Kmol}{h}$$

En el Capítulo V - Descripción de Proceso se obtuvo una composición 95% v/v de etanol en la corriente superior, mientras que la de la parte inferior está compuesto por un 1% v/v de etanol. Suponemos %v/v = mol/mol, por lo tanto:

$$x_F^{EtOH} = 0,95 \qquad x_D^{EtOH} = 0,01$$

A modo de resumen:

	kmol/h	x
<b>F</b>	2825,14	
Etanol	99,31	0,0352
Agua	2725,83	0,965
<b>D</b>	75,59	
Etanol	71,81	0,95
Agua	3,78	0,05
<b>W</b>	2749,55	
Etanol	27,5	0,01
Agua	2722,05	0,99

Tabla Nº30: Concentraciones de corrientes principales en la destilación

A continuación, son necesarios datos acerca del comportamiento de la mezcla etanol - agua, a distintas composiciones, en el equilibrio. Así obtener el diagrama de equilibrio con el cual trazaremos los platos teóricos requeridos para la separación. Los siguientes datos fueron obtenidos del material bibliográfico dado por la cátedra de Operaciones Unitarias II.

x	y
0	0
0,005	0,045
0,012	0,105
0,035	0,2
0,045	0,25
0,058	0,3
0,092	0,4
0,132	0,5
0,19	0,6
0,23	0,65
0,285	0,7
0,39	0,75
0,55	0,8
0,73	0,85
0,8	0,9
0,915	0,95
1	1

Tabla Nº31: Datos de equilibrio etanol - agua

Finalmente, obtenemos el diagrama mencionado:

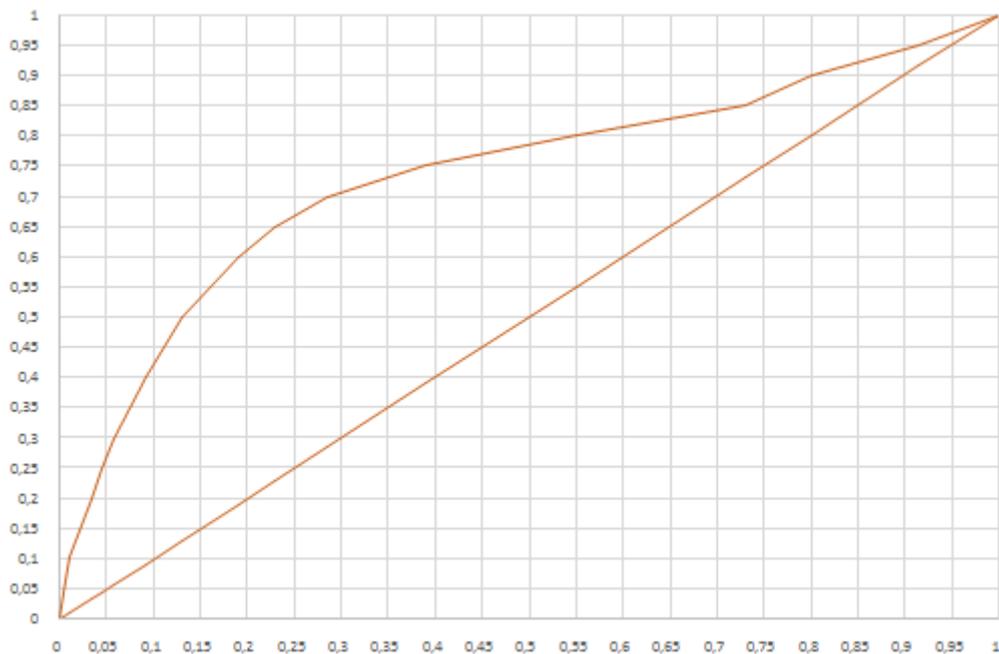


Figura N°23: Diagrama de equilibrio etanol - agua

### 17.1 Trazado de Platos

Por un tema de practicidad, decidimos basarnos en el método de McCabe - Thiele para el diseño ya que no requiere datos de entalpía como en el caso de Ponchon - Savarit, pero presenta la misma aproximación a la realidad. Incluso, en ciertos casos, cuando se cuenta con información fragmentada Ponchon - Savarit pierde su conocida exactitud, siendo McCabe - Thiele el candidato por excelencia para reemplazarlo.

Cabe destacar que se adoptaron tres condiciones de operación para poder utilizar el método de McCabe - Thiele. En primer lugar, las pérdidas de calor son mínimas, por lo tanto se considera que nos encontramos ante un sistema adiabático; Luego, teniendo en cuenta que en la mayoría de mezclas binarias los calores latentes molales de las sustancias son prácticamente iguales, se toma que el calor de vaporización molar de la mezcla es constante; Además, se toma que el calor de mezcla es equivalente a cero por ser la magnitud de los calores sensibles insignificantes con respecto a los latentes.

Debido a estas suposiciones, las curvas de operación para la zona de rectificación y agotamiento adoptan la forma de rectas. Cuyos puntos de origen y finalización se encuentran marcados en el diagrama de equilibrio por las composiciones de etanol en cada corriente (líneas punteadas).

Para poder trazar dichas rectas, primeramente se encuentra el valor del reflujo mínimo necesario para poder llevar a cabo la destilación. En el diagrama se marca con una recta, correspondiente a la unión entre la composición de la corriente de destilado ( $x_D$ ) y la recta

de alimentación tocando la curva de equilibrio. A continuación, se calcula la pendiente de esta última, aunque como nuestra mezcla etanol - agua se encuentra en estado líquido y a una temperatura menor a la de su punto de ebullición, es posible adelantar que nos encontraremos con un valor de  $q > 1$ :

$$y = \frac{q}{q-1} \cdot x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$q = 1 + \frac{Cp \cdot (T_V - T_F)}{\lambda}$$

Siendo  $Cp$  el calor específico de la corriente de alimentación,  $T_V$  la temperatura del punto de ebullición,  $T_F$  la temperatura de alimentación, y  $\lambda$  el calor de vaporización de la mezcla.

Entonces, se calcula calor específico y calor de vaporización teniendo en cuenta el aporte de cada compuesto:

$$Cp = 0,0352 * 111,49 \frac{Kj}{kmol.K} + 0,9648 * 75,24 \frac{Kj}{kmol.K} = 76,51 \frac{Kj}{kmol.K}$$

$$\lambda = 0,0352 * 38.667,01 \frac{Kj}{kmol} + 0,9648 * 40,68 \frac{Kj}{kmol} = 1.398,57 \frac{Kj}{kmol.K}$$

Reemplazando:

$$q = 1 + \frac{76,51 \frac{Kj}{kmol.K} * (351,15 - 310,15) K}{1.398,57 \frac{Kj}{kmol.K}} = 3,24$$

Quedando la expresión de la recta de alimentación:

$$y = 1,45x - 0,016$$

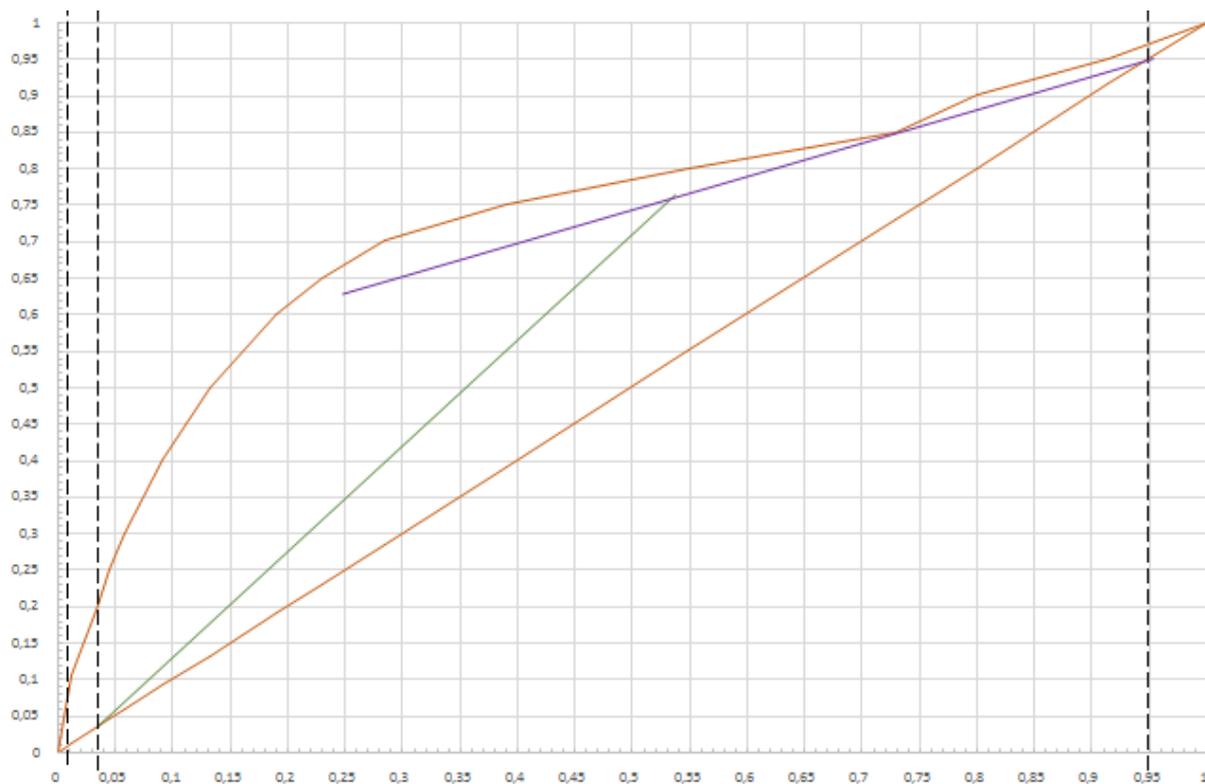


Figura N°24: Recta superior mínima de operación y recta de alimentación en diagrama de equilibrio

Viendo el diagrama y relacionando valores en la ecuación que describe a la recta de operación superior, se obtiene el valor del reflujo mínimo:

$$R. O. S.: \quad y_{n+1} = \frac{R}{R+1} \cdot x_n + \frac{1}{R+1} \cdot x_D$$

$$m_{\min} = \frac{R}{R+1} = 0,455 \quad \rightarrow \quad R_{\min} = 0,83$$

Para hallar la relación entre el reflujo mínimo y óptimo adecuado se acudió a la bibliografía, nos indica que el óptimo se encuentra en un rango de entre 1,2 a 1,5 veces el mínimo. Para tomar una decisión se debe tener en cuenta el efecto del reflujo en los distintos componentes de la torre. Por un lado, se tiene que un aumento del reflujo genera un destilado de mayor concentración en el compuesto deseado (etanol), lo cual es favorable, sin embargo no hay que pasar por alto que esto desembocaría en un mayor número de platos ya que de ellos depende la concentración obtenida. Por otro lado, también hay que analizar el gasto energético involucrado, el valor de reflujo hacia la torre está relacionado con la cantidad de flujo a condensar (D), por lo tanto el condensador consumirá mayor energía si este aumenta. Finalmente, se adoptó un valor de 1,4 veces el reflujo mínimo al considerar los factores mencionados, entonces se obtiene:

$$R = 1,4 * R_{\min} = 1,167$$

Se halla la expresión final que representa la recta de operación superior:

$$y_{n+1} = 0,54 x_n + 0,44$$

Para hallar la recta de operación inferior simplemente se une el punto (0,0352; 0,54) de la recta superior con el correspondiente a la concentración de etanol en la corriente de residuo ( $x_w$ ). Una vez hecho, se empieza con el trazado de las etapas teóricas.

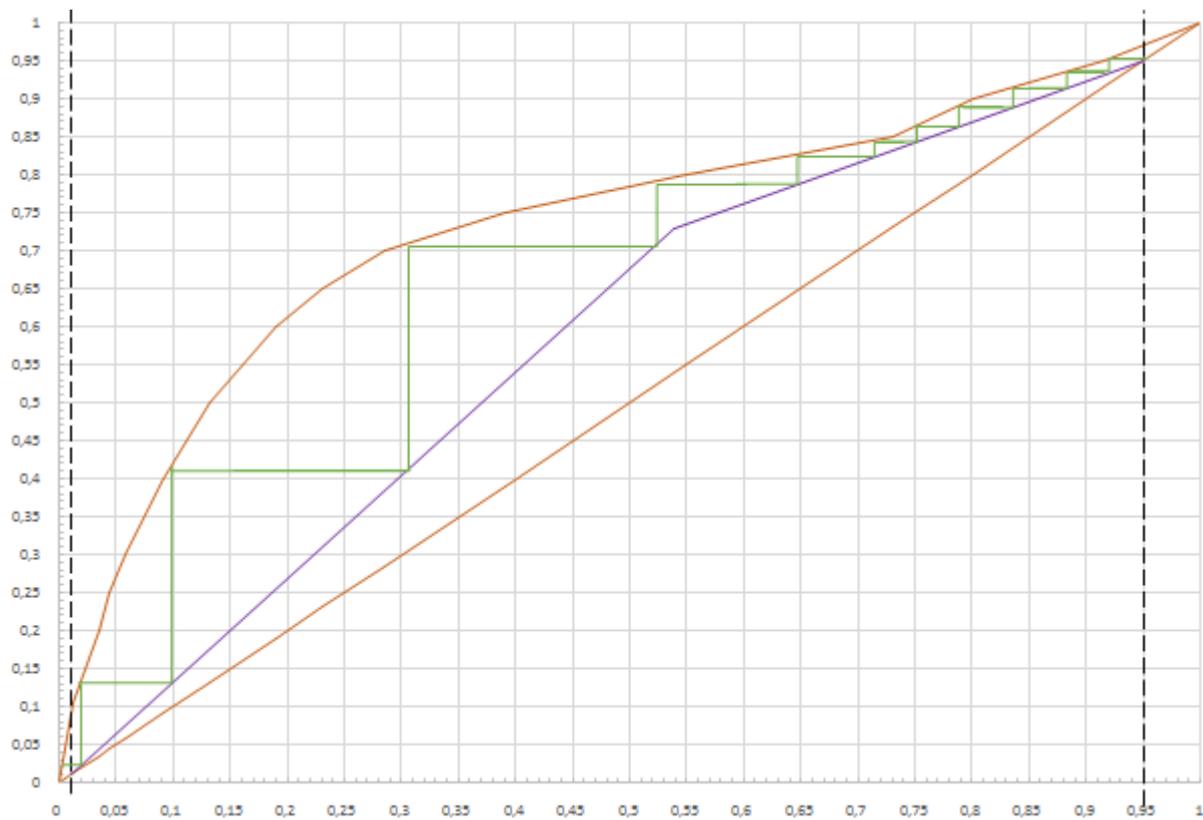


Figura N°25: Trazado de platos en diagrama de equilibrio

En la tabla siguiente están plasmadas las concentraciones de salida de cada etapa a lo largo de la torre:

Nº Etapa	x	y
1	0,95	0,95
2	0,88	0,935
3	0,835	0,914
4	0,79	0,89
5	0,752	0,863
6	0,712	0,842
7	0,649	0,825
8	0,522	0,79
9	0,308	0,71
10	0,1	0,412
11	0,02	0,13
11,6	0,01	0,025

Tabla Nº32: Composición de etapas teóricas

Si bien se tiene un total de, aproximadamente, 12 etapas teóricas no debemos olvidar que una de ellas se debe a la existencia de un rehervidor en la parte inferior de la torre, y otra etapa se debe al condensador parcial a utilizar. Este último fue la opción más conveniente teniendo en cuenta que en la próxima operación (deshidratación por tamices moleculares) el etanol impuro ingresa de forma gaseosa.

## 17.2 Dimensionamiento de torre

El diseño de los platos es una parte muy importante ya que son el medio por el cual ocurre la transferencia de masa y energía entre los fluidos, es importante asegurar que el plato elegido proporcione un contacto íntimo durante un tiempo adecuado que permita la difusión interfacial, además de asegurar que la superficie interfacial sea lo suficientemente grande para agilizar la transferencia.

Para que se cumplan esas condiciones deben ocurrir dos fenómenos: velocidad del gas elevada y que los platos tengan una laguna profunda de líquido, aunque sin llegar a extremos que generarían graves consecuencias, tal como inundaciones o arrastres. La velocidad del gas está relacionada con la turbulencia, mayor sea ésta mayores coeficientes de transferencia de masa se obtienen; mientras que la profundidad del líquido determina el tiempo de contacto dado por la ascendencia de las burbujas del gas a través del líquido, mayor sea esta la superficie interfacial por unidad de volumen del gas es mayor.

Existe una amplia variedad de opciones de platos a elegir. Si bien por muchos años el tipo elegido por excelencia fueron los platos de capucha o campanas de barboteo/burbujeo, en la actualidad la mayoría de las instalaciones emplean platos de válvula o platos perforados. Estos últimos resultan ser una opción más económica y de construcción más sencilla, sin sacrificar su buen rendimiento, por lo tanto serán los elegidos para nuestro diseño. Para evitar perturbaciones en la posición de los platos, suelen utilizarse anillos para soportar los platos. Seguidamente, se ve el sistema esquematizado.

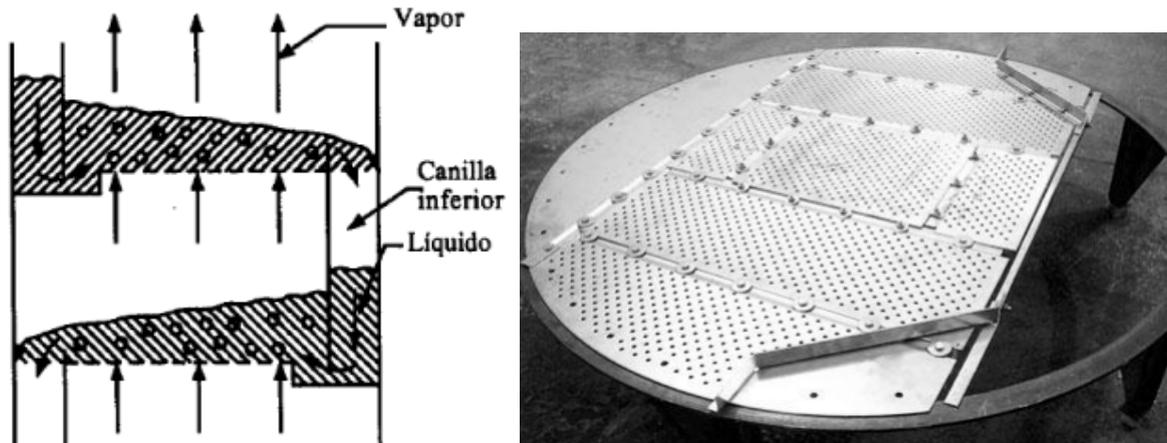


Figura N°26: Platos perforados

En cada plato existe un flujo cruzado ya que el líquido atraviesa el plato de manera transversal, pasando por un vertedero hasta un conducto de descenso que desemboca en el plato inferior, mientras que la corriente gaseosa asciende pasando a través del líquido. Aún así, desde un punto de vista general, se considera que la torre opera con flujo a contracorriente.

Con respecto al material de la torre propiamente dicha, la cubierta, según las características de los compuestos pueden fabricarse a partir de diferentes materiales, como pueden ser plástico, madera, vidrio, acero inoxidable. Es posible adelantar que este último no solo es el más utilizado sino también el de mayor costo, para minimizar su gasto se recomienda que las torres presenten sección cilíndrica.

A continuación, se procede con el diseño de los platos basándonos en la bibliografía consultada (Treybal, 1980,). Los cálculos se realizan con respecto al plato N°6 (Etapa N°7).

Plato N° 6	
x	y
0,649	0,825

Tabla N°33: Concentraciones en plato N°6

Primeramente se debe conocer el resto de las corrientes involucradas dentro de la operación, la cantidad de líquido y vapor que recorren la torre:

$$R = \frac{L}{D} \quad \rightarrow \quad L = 1,167 * 75,60 \frac{Kmol}{h} = 88,2 \frac{Kmol}{h}$$

$$q = \frac{L'-L}{F} \quad \rightarrow \quad L' = qF + L = 3,24 * 2.825,12 \frac{Kmol}{h} + 88,2 \frac{Kmol}{h} = 9.250,25 \frac{Kmol}{h}$$

$$L' = V' + W \quad \rightarrow \quad V' = 9.250,25 \frac{Kmol}{h} - 2.749,52 \frac{Kmol}{h} = 6.500,73 \frac{Kmol}{h}$$

$$V = D + L \quad \rightarrow \quad V = 75,60 \frac{Kmol}{h} + 88,2 \frac{Kmol}{h} = 163,80 \frac{Kmol}{h}$$

Vapor:

$$V = 163,80 \frac{\text{Kmol}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} = 0,046 \frac{\text{Kmol}}{\text{seg}}$$

$$PM_{\text{Vapor}} = y_{\text{EtOH}} * PM_{\text{EtOH}} + y_{\text{Agua}} * PM_{\text{Agua}}$$

$$PM_{\text{Vapor}} = 0,825 * 46,07 \frac{\text{Kg}}{\text{kmol EtOH}} + 0,175 * 18 \frac{\text{Kg}}{\text{kmol Agua}} = 41,16 \frac{\text{Kg}}{\text{kmol}}$$

Teniendo en cuenta la temperatura de alimentación y la alcanzada por el producto de interés tomamos la temperatura promedio entre ambas como la temperatura de operación:

$$T_{\text{Operación}} = \frac{78^{\circ}\text{C} + 37^{\circ}\text{C}}{2} = 57,5^{\circ}\text{C} = 330,65 \text{ K}$$

Con estos valores, se obtiene la densidad de la corriente gaseosa:

$$\rho_{\text{Vapor}} = \frac{PM_{\text{Vapor}} * 273 \text{ K}}{22,41 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} * T_{\text{op}}} = \frac{41,16 \frac{\text{Kg}}{\text{kmol}} * 273 \text{ K}}{22,41 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} * 330,65 \text{ K}} = 1,52 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q_{\text{Vapor}} = \frac{0,046 \frac{\text{Kmol}}{\text{seg}} * PM_{\text{Vapor}}}{\rho_{\text{Vapor}}} = \frac{0,046 \frac{\text{Kmol}}{\text{seg}} * 41,16 \frac{\text{Kg}}{\text{kmol}}}{1,52 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,23 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Líquido:

De manera análoga, se calculan los datos para la corriente líquida:

$$L = 88,20 \frac{\text{Kmol}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} = 0,025 \frac{\text{Kmol}}{\text{seg}}$$

$$PM_{\text{Líquido}} = 0,649 * 46,07 \frac{\text{Kg}}{\text{kmol EtOH}} + 0,351 * 18 \frac{\text{Kg}}{\text{kmol Agua}} = 36,22 \frac{\text{Kg}}{\text{kmol}}$$

Entonces:

$$L = 88,20 \frac{\text{Kmol}}{\text{h}} * 36,22 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} = 3.194,42 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Para conocer la densidad de la corriente líquida, al ser una propiedad de base másica, se debe conocer las fracciones másicas del etanol y agua en el plato contemplado para, a partir de estas, encontrar la densidad de la mezcla:

- Etanol:

$$m_{\text{EtOH}} = 0,649 \frac{\text{Kmol EtOH}}{\text{Kmol Total}} * 88,20 \frac{\text{Kmol Total}}{\text{h}} * 46,07 \frac{\text{Kg EtOH}}{\text{kmol EtOH}} = 2.637,16 \frac{\text{Kg EtOH}}{\text{h}}$$

$$x_{\text{EtOH}} \text{ p/p} = \frac{2.637,16 \frac{\text{Kg EtOH}}{\text{h}}}{3.194,42 \frac{\text{Kg Total}}{\text{h}}} = 0,83$$

- Agua:

$$m_{\text{Agua}} = 0,351 \frac{\text{Kmol Agua}}{\text{Kmol Total}} * 88,20 \frac{\text{Kmol Total}}{\text{h}} * 18 \frac{\text{Kg Agua}}{\text{kmol Agua}} = 557,25 \frac{\text{Kg Agua}}{\text{h}}$$

$$x_{\text{Agua}} \text{ p/p} = \frac{557,25 \frac{\text{Kg Agua}}{\text{h}}}{3.194,42 \frac{\text{Kg Total}}{\text{h}}} = 0,17$$

Por lo tanto,

$$\rho_{\text{Líquido}} = 0,83 * 789 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 0,17 * 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 825,28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q_{\text{Líquido}} = \frac{0,025 \frac{\text{Kmol}}{\text{seg}} * 36,22 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}}{825,28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,001075 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Normalmente se utilizan diámetros de orificios de 3 a 12 mm, y con más frecuencia de 4,5 mm, por lo tanto se decide adoptar el diámetro recomendado de 4,5 mm. Además, los platos serán de un solo paso y los orificios se ubican en los vértices de triángulos equiláteros con una distancia de 12 mm entre los centros. Por medio de la siguiente tabla, se toman como espesor de la hoja metálica 2 mm.

Diámetro del orificio		Espesor del plato/diam.orif.		
m m	in	Acero	inoxidable	acero al carbón
3.0	$\frac{1}{8}$	0.65		
4.5	$\frac{1}{16}$	0.43		
6.0	$\frac{1}{4}$	0.32		
9.0	$\frac{3}{8}$	0.22		0.5
12.0	$\frac{1}{2}$	0.16		0.38
15.0	$\frac{5}{8}$	0.17		0.3
18.0	$\frac{3}{4}$	0.11		0.25

Tabla N°34: Dimensiones recomendadas para torres de platos perforados (Treybal, 1980)

Como la zona de entrada del líquido, los soportes periféricos y radiales de los platos ocupan cierto porcentaje del área de la sección transversal de la torre, se debe conocer la relación entre el área activa y el área del orificio.

$$\frac{A_o}{A_a} = 0,907 * \left( \frac{d_o}{p'} \right)^2 = 0,907 * \left( \frac{4,5 \text{ mm}}{12 \text{ mm}} \right)^2 = \frac{A_o}{A_a} = 0,128$$

Para conocer la velocidad superficial del gas durante la inundación se debe contar con la constante de inundación:

$$C_F = \left[ \alpha \cdot \log \left( \frac{1}{\left( \frac{L'}{V} \right) \left( \frac{\rho_{Vapor}}{\rho_{Liquido}} \right)^{0,5}} \right) + \beta \right] \left( \frac{\sigma}{0,02} \right)^{0,2}$$

$$C_F = \left[ \alpha \cdot \log \left( \frac{1}{\left( \frac{q}{Q} \right) \left( \frac{\rho_{Liquido}}{\rho_{Vapor}} \right)^{0,5}} \right) + \beta \right] \left( \frac{\sigma}{0,02} \right)^{0,2}$$

Donde q y Q son los caudales volumétricos de la corriente gaseosa y líquida, respectivamente, ρ densidad, σ tensión superficial del líquido, y α, β son parámetros dependientes de las corrientes y su valor se obtiene mediante la Tabla N°37. Para ingresar a la tabla hay que hallar el siguiente valor:

$$\left( \frac{q}{Q} \right) \left( \frac{\rho_{Liquido}}{\rho_{Vapor}} \right)^{0,5} = \left( \frac{0,001705 \frac{m^3}{seg}}{1,23 \frac{m^3}{seg}} \right) \left( \frac{825,28 \frac{kg}{m^3}}{1,52 \frac{kg}{m^3}} \right)^{0,5} = 0,0203$$

Cabe destacar que como dicho valor es mucho menor al 0,1 indicado en la tabla, se utilizará en los cálculos posteriores el valor de 0,1 para este término.

1. Constantes de inundación  $C_F$  [Eqs. (6.29) and (6.30)],  $d_o < 6 \text{ mm}$  ( $\frac{1}{4} \text{ in}$ )

Rango de $\frac{A_o}{A_a}$	Rango de $\frac{L'}{G'} \left( \frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0,5}$	Unidades de t	Unidades de o	Unidades de $V_f$	Unidades $\alpha, \beta$
> 0.1	0.01–0.1, utilizar valores en 0.1	m	N/m	m/s	$\alpha = 0.0744t + 0.01173$ $\beta = 0.0304t + 0.015$
	0.1–1.0	en	dinas/cm X 10 <sup>-3</sup>	ft/s	$\alpha = 0.0062t + 0.0385$ $\beta = 0.00253t + 0.050$

< 0.1 Multiplicara y β por  $5A_o/A_a + 0.5$

Tabla N°35: Constante de inundación

Entonces por tabla:

$$\alpha = 0,0744 t + 0,01173$$

$$\beta = 0,0304 t + 0,015$$

Donde  $t$  es la separación entre platos, y según su valor pueden existir inundaciones o arrastres por las velocidades del flujo, por lo tanto se utilizará un valor de 0,2 m como prueba para luego comprobar que nada de lo mencionado ocurra.

$$\alpha = 0,0744 * (0,2) + 0,01173 = 0,02661$$

$$\beta = 0,0304 * (0,2) + 0,015 = 0,02108$$

Para encontrar la tensión superficial de la mezcla líquida se recurre a [\(Chemica, n.d.\)](#), donde se muestra la variación de la tensión superficial según la concentración de etanol en una mezcla etanol - agua.

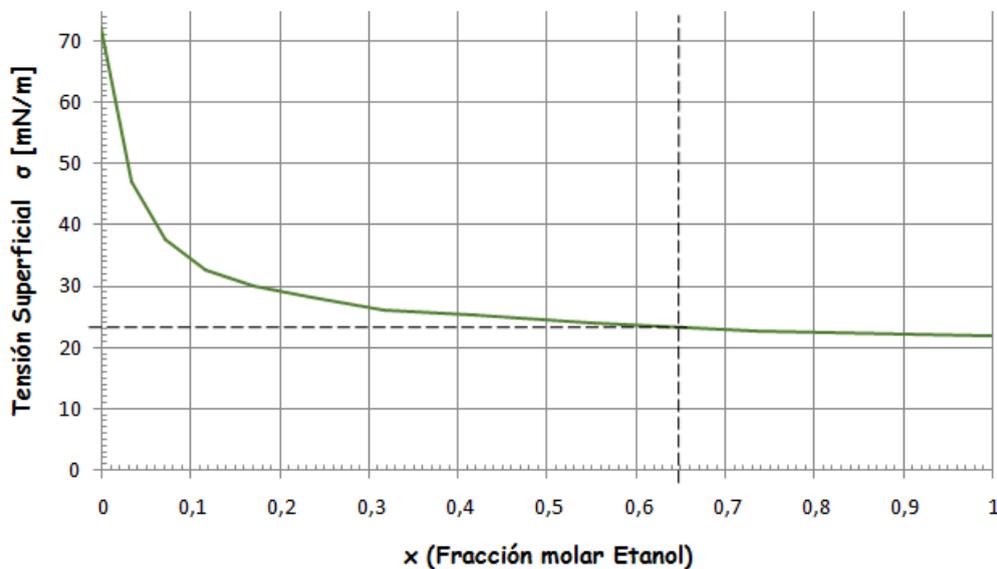


Figura N°27: Tensión superficial vs fracción molar de etanol

Con el valor de la fracción molar es 0,649, la tensión superficial de la corriente líquida será de 23,4 mN/m o 0,0234 N/m.

Reemplazando en la expresión del coeficiente de inundación queda:

$$C_F = \left[ 0,02661 \cdot \log\left(\frac{1}{0,1}\right) + 0,02108 \right] \left( \frac{0,0234}{0,02} \right)^{0,2} = 0,049$$

$$C_F = 0,049$$

Con dicho valor se procede a calcular la velocidad superficial del gas durante la inundación, lo cual representa una de las situaciones límites para la operación.

$$V = 0,6 * V_F = 0,6 * C_F * \left( \frac{\rho_{Líquido} - \rho_{Vapor}}{\rho_{Líquido}} \right)^{0,5} = 0,6 * 0,049 * \left( \frac{825,28 \frac{kg}{m^3} - 1,52 \frac{kg}{m^3}}{825,28 \frac{kg}{m^3}} \right)^{0,5}$$

$$V = 1,147 \frac{m}{seg}$$

A continuación, se considera que la velocidad del gas de operación es un 60% de dicha velocidad en la inundación, entonces:

$$V = 0,6 * V_F = 0,6 * 1,147 \frac{m}{seg} = V = 0,69 \frac{m}{seg}$$

Se procede a calcular el área neta de flujo:

$$A_n = \frac{Q_{Vapor}}{V} = \frac{1,23 \frac{m^3}{seg}}{0,69 \frac{m}{seg}} = 1,795 m^2$$

No obstante, para conocer cuánto es el área total se debe considerar el espacio que ocupa el vertedero. Por lo tanto, se recurre a la siguiente tabla que indica qué porcentaje del área total es utilizada por el vertedero. Se usa el valor típico recomendable 0,7 T para la longitud del derramadero.

4. Longitud del derramadero para derramaderos rectangulares rectos, **platos de flujo transversal, 0.6T a 0.8T, 0.7T típica**

Longitud del derramadero <i>W</i>	Distancia desde centro de la torre	Porcentaje del brea de la torre utilizada por un vertedero %
0.55 <i>T</i>	<b>0.4181 <i>T</i></b>	3.877
<b>0.60 <i>T</i></b>	0.3993 <i>T</i>	5.257
<b>0.65 <i>T</i></b>	0.25167	<b>6.899</b>
<b>0.70 <i>T</i></b>	0.3562 <i>T</i>	<b>8.808</b>
0.75 <i>T</i>	0.32% <i>T</i>	11.255
<b>0.80 <i>T</i></b>	0.1991 <i>T</i>	14.145

Tabla N°36: Longitud del derramadero para derramaderos rectos

Finalmente el área total es:

$$A = \frac{A_n}{1-\%} = \frac{1,795 m^2}{1-0,08808} = 1,97 m^2$$

Siendo T el diámetro de la torre:

$$A = \pi \frac{T^2}{4} \rightarrow T = \left( \frac{4 * 1,97 m^2}{\pi} \right)^{0,5} = 1,58 m$$

Por otro lado, la sección transversal y longitud del vertedero quedan:

$$A_d = 1,97 m^2 * 0,08808 = 0,17 m^2$$

$$W = 0,7 * T = 0,7 * 1,58 m = 1,11 m$$

## 2. Flujo del líquido

**a.** No superior a  $0.015 \frac{\text{m}^3}{(\text{m diam}) \cdot \text{s}}$  ( $0.165 \frac{\text{ft}^3}{\text{ft} \cdot \text{s}}$ ) para platos de flujo transversal de un solo paso

**b.** No superior a  $0.032 \frac{\text{m}^3}{\text{longitud de derramadero}}$  ( $0.35 \frac{\text{ft}^3}{\text{ft} \cdot \text{s}}$ ) para otros.

$$0,015 \frac{\text{m}^3}{(\text{m diametro}) \text{seg}} * 1,58 \text{ m} = 0,024 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Cómo el flujo del líquido es  $0,001075 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$ , o sea, menor al flujo límite se puede asegurar que la torre no presentará una situación alarmante debido al fenómeno de inundación.

Con respecto al arrastre, es necesario conocer el grado de arrastre que se generará durante la operación, por lo tanto se determina el arrastre fraccional, el cual representa la fracción de corriente líquida que será arrastrada hacia el plato posterior. Para ello, se utilizará el siguiente gráfico específico para platos perforados:

$$\left(\frac{L'}{V'}\right) \left(\frac{\rho_{\text{Vapor}}}{\rho_{\text{Líquido}}}\right)^{0,5} = 0,0203 \quad \text{y} \quad \frac{V}{V_F} = 0,6$$

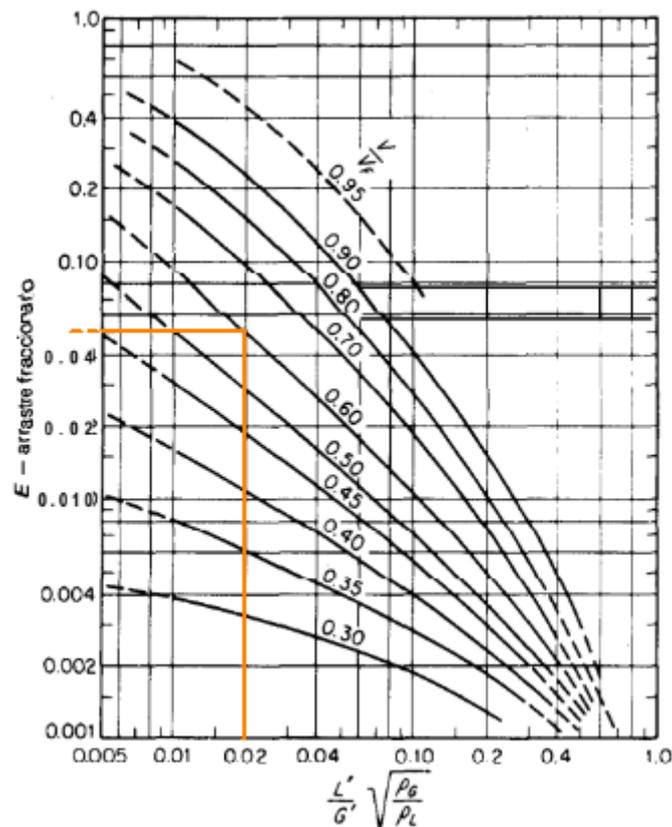


Figura N°28: Arrastre fraccionario

Se obtiene un arrastre fraccionario de 0,052 aproximadamente, el cual se considera despreciable.

### 17.3 Eficiencia

Por último se calcula la eficiencia global que resulta de las selecciones y dimensiones que se tomaron a lo largo del diseño, así se sabrá la verdadera cantidad de platos reales necesarios para lograr el grado de purificación del etanol deseado.

Siguiendo la bibliografía consultada, existen dos maneras de proseguir: por medio de una variedad de ecuaciones empíricas que nos permite calcular la eficiencia global de la torre, o calculando la eficiencia de cada plato para luego tomar la global como un promedio de estas. Por una cuestión de simplificación, se utiliza la correlación O' Connell, la cual es parte del primer método mencionado y se expresa como:

$$Eo = 49,2 * (\mu * \alpha)^{-0,245}$$

Dicha expresión es aplicable en los casos donde la viscosidad se encuentra entre los 0,1 y 1 cP. Siendo  $\mu$  la viscosidad de la mezcla etanol - agua ingresante en centipoise y  $\alpha$  la volatilidad relativa, ambas tomadas a la temperatura media de operación de la torre.

La volatilidad se representa mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{P_A/x_A}{P_B/x_B}$$

Donde  $P_A$  es la presión parcial del componente A, y  $x_A$  es la fracción molar del mismo componente. Igualmente ocurre con el componente B. Luego, por la ley de Dalton se relaciona la presión parcial de un componente con su presión de vapor.

$$P_A = x_A * Pv_A$$

Entonces, reemplazando en la expresión anterior queda:

$$\alpha = \frac{Pv_A}{Pv_B}$$

Para conocer las presiones de vapor de los componentes recurrimos a la ecuación de Antoine, la cual relaciona la presión de vapor y temperatura mediante una serie de coeficientes específicos para cada compuesto.

$$\text{Log } Pv = A - \frac{B}{C+T}$$

Como es necesario encontrar la volatilidad evaluada a las condiciones medias de operación, se reemplaza en la ecuación de Antoine  $T = 57,5^\circ\text{C}$ .

	Agua	Etanol
A	8,071	8,112
B	1730,630	1592,864
C	233,426	226,184
Pv [mmHg]	132,619	314,251

Tabla N°37: Coeficientes de Antoine

Por lo tanto, se obtiene:

$$\alpha = \frac{314,251 \text{ mmHg}}{132,619 \text{ mmHg}}$$

$$\alpha = 2,37$$

En el caso de la viscosidad, se cuenta con la siguiente ecuación que proviene del paper: (Ones et al., 2010) y es específica para temperaturas entre 25°C y 70°C:

$$\mu_{mezL} = 1,9045 - 0,0469 T + 6,107 x + 0,0004 T^2 - 5,979 x^2 - 0,0729 Tx + 0,0725 x^2$$

Reemplazando con T = 57,5°C (temperatura de evaluación) y x = 0,0853 (fracción másica de etanol en la alimentación):

$$\mu_{mezL} = 0,7164 \text{ cP}$$

Con ambos valores ya conocidos, se halla la eficiencia global de la torre:

$$Eo = 49,2 * (0,7164 * 2,37)^{-0,245} = 43,22$$

A continuación, se calcula cuántos platos reales son necesarios para la separación.

$$\eta = Eo = \frac{\text{Platos teóricos}}{\text{Platos reales}}$$

$$0,4322 = \frac{9,6}{\text{Platos reales}} \quad \rightarrow \quad 23 \text{ Platos Reales}$$

Con este dato se halla la altura total de la torre (L). Teniendo en cuenta la separación entre los platos (t) y la distancia que separa al primer y último plato del tope y fondo de la instalación. Se decide que este último será el doble de la separación existente entre los platos.

$$L = \text{Platos reales} * t + 2 * t$$

$$L = 23 \text{ Platos} * 0,2 \text{ m} + 2 * 0,2 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

#### 17.4 Espesor de envuelta

Como se adelantó al comienzo de esta sección del diseño, se utilizarán chapas o planchuelas de acero inoxidable para la construcción de la torre. Si bien en el mercado se encuentra una gran variedad, como pueden ser los aceros AISI 304, 310, 316, 316L, 410, 420, se utilizará el acero 304 ya que ofrece una baja conductividad eléctrica y térmica, con una gran resistencia a la corrosión (incluso mayor a otras aleaciones de acero inoxidable), además de tener una alta eficiencia de soldadura independientemente del tipo de soldadura que se aplique.

Por estas razones, el acero 304 resulta ser una de las mejores opciones si nos encontramos en un entorno corrosivo o una zona afectada por el calor, tal como dispositivos de filtración de agua, equipos de procesamiento de alimentos, contenedores de productos químicos, intercambiadores de calor.

Según la bibliografía consultada, la torre de destilación será tratada como un recipiente a presión, entonces el espesor de la envolvente será calculado teniendo en cuenta las especificaciones del código ASME VIII - División 2, dada por la siguiente expresión:

$$t = \frac{R * P}{S * E - 0,6 * P}$$

Siendo R el radio de la columna, t el espesor, P la presión de diseño, S la tensión de diseño, E la eficiencia de la soldadura. Como estos últimos tres parámetros son propios del material elegido, se obtienen los valores de manera análoga a la sección [15.4](#) de este capítulo.

Con respecto a la eficiencia, tomamos un valor del 85% correspondiente a una soldadura del Tipo 1 radiografiada por zonas.

Por otro lado, por cuestiones de seguridad, se toma como tensión de diseño un 30% recomendado de la máxima admisible por el material con el fin de obtener un espesor correspondiente a un material más débil. Siendo la tensión de diseño  $461,25 \frac{kg}{cm^2}$  y el radio de la torre un dato ya calculado, tenemos:

$$t = \frac{79,15 \text{ cm} * 3,35 \frac{kg}{cm^2}}{461,25 \frac{kg}{cm^2} * 0,85 - 0,6 * 3,35 \frac{kg}{cm^2}} \quad \rightarrow \quad t = 0,68 \text{ cm}$$

Teniendo en cuenta un espesor normalizado de 0,2813 pulg (1/35" o 7,15 mm), se calcula el verdadero diámetro exterior de la torre:

$$D_{Ext} = D_{Int} + 2 * t$$

$$D_{Ext} = 158,3 \text{ cm} + 2 * 7,15 \text{ cm} = 172,6 \text{ cm} = 1,73 \text{ m}$$

La torre presenta 5 m de altura y 5 m de perímetro, por lo tanto se necesitaría, aproximadamente, 8 chapas de 2000 x 1000 x 7,15 mm - Acero inoxidable 304.

## 17.5 Aislamiento

Se decide utilizar fibra de vidrio por ser el material aislante más económico que cumple con los requisitos de la operación, además de ser el material más ligero.

$$Q = 2\pi * L * k * \frac{\Delta T}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Donde Q es el calor perdido, k es la conductividad térmica del aislante, L es la longitud o altura de la torre,  $\Delta T$  la diferencia de temperaturas entre la superficie externa e interna de la torre,  $r_2$  y  $r_1$  son los radios de dichas superficies, siendo la interior  $r_1$ .

Se tiene un valor de  $0,037 \frac{W}{m.K}$  para la conductividad dado por bibliografía, la temperatura interna de la torre corresponde a la temperatura de operación, mientras que para la exterior se tiene en cuenta que a partir de los  $44^\circ\text{C}$  la piel comienza a sufrir alteraciones al entrar en contacto directo, por lo cual se decide usar una temperatura exterior de  $35^\circ\text{C}$ . En cuanto a los radios, el interno corresponde a la calculada en la sección [17.4](#), mientras que el externo será la suma del interno más el espesor del aislante cuyo valor estamos por averiguar.

$$Q = 2\pi * 0,037 \frac{W}{m.K} * 5 m * \frac{(330,65 - 308,15) K}{\ln\left(\frac{0,865 m + e}{0,865 m}\right)}$$

Para obtener el espesor óptimo se analiza cómo afecta el espesor de la lana de vidrio a la transferencia de calor, adoptando distintos valores se obtiene el siguiente gráfico.

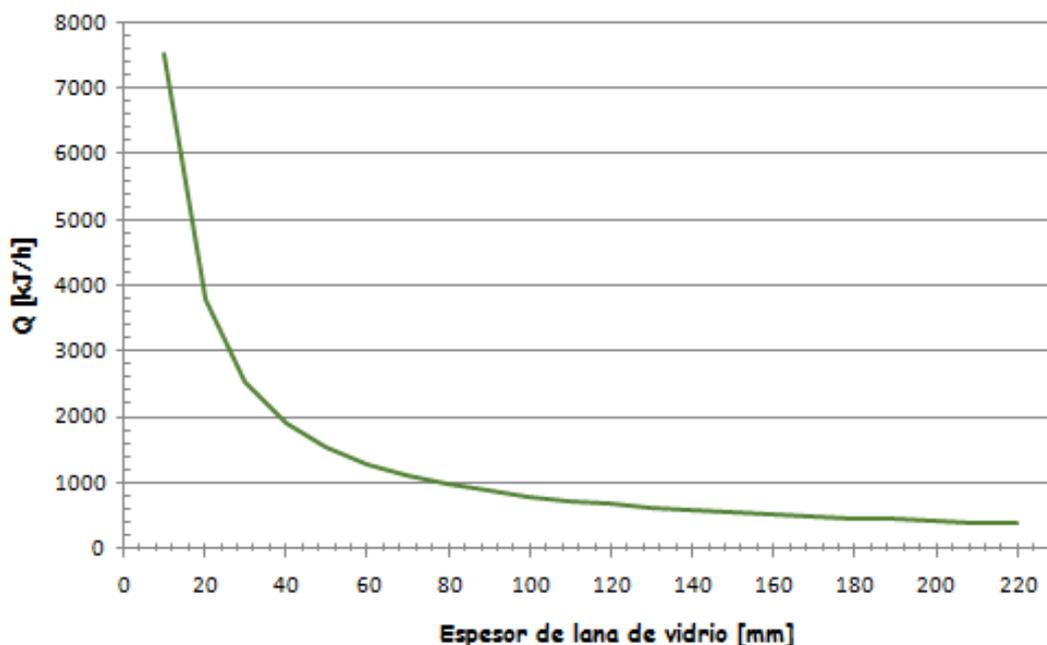


Figura N°29: Calor perdido vs espesor de aislante

Como se ve, a partir de los 120 mm comienza a perder calor en mucho menor medida que al comienzo de la curva, por lo tanto se elige un valor de 150 mm como espesor del aislante lana de vidrio.

### 17.6 Especificaciones técnicas de la torre de destilación

A continuación se presenta una tabla con todos los valores calculados del diseño en esta sección:

Torre de Destilación	
Altura [m]	5
Diámetro interior [m]	1,58
Diámetro exterior [m]	1,73
N° Platos	23
Diámetro de perforaciones [mm]	4,5
Separación entre platos [m]	0,2
Distribución de perforaciones	Triangular
Separación entre perforaciones [mm]	12
Longitud de derramadero [m]	1,11
Área de derramadero [m <sup>2</sup> ]	0,17
Área total [m <sup>2</sup> ]	1,97
Área neta [m <sup>2</sup> ]	1,8
Eficiencia, %	44
Material	Acero Inoxidable 304
Aislante	Lana de vidrio

Tabla N°38: Especificaciones técnicas de la torre de destilación

### 18. Tamices Moleculares

El objetivo es concentrar el etanol que se obtiene como producto, absorbiendo las partículas de agua mediante estos tamices moleculares de zeolita que forman parte de todo un equipo de deshidratación.



Figura N°30: Equipo deshidratador marca JINTA

## 18.1 Especificaciones Técnicas

Equipo Deshidratador	
Marca	JINTA
Modelo	JT800
Capacidad [Tn/año]	5.000 - 60.000
Voltaje [V]	380
Pureza Etanol conseguida [%]	Máx. 99,9
Tamices Moleculares	
Forma	Esférica
Tipo	3A
Diámetro [mm]	3 - 5
Adsorción de agua [%]	> 21
Densidad a granel [g/ml]	> 0,70

Tabla N°39: Especificaciones técnicas de equipo deshidratador

## 19. Condensador Sub-enfriador 2

El bioetanol producido necesita tener una temperatura de 20°C para poder ser almacenado y comercializado de manera segura, por lo que haremos uso de un condensador sub-enfriador que se encargará de llevar el producto al estado líquido y su temperatura a la deseada.

El equipo elegido es de la marca Penguin y debajo se inserta una imagen del mismo.



Figura N°31: Condensador sub - enfriador marca Penguin

### 19.1. Especificaciones técnicas condensador sub-enfriador 2

Condensador sub-enfriador	
Tipo de equipo	De casco y tubo
Caudal a condensar [m <sup>3</sup> /h]	4,6
Caudal refrigerante [m <sup>3</sup> /h]	133,8
Material carcasa	Acero inoxidable
Material tubos	Cobre
Potencia [kW]	5
Marca	Penguin
T entrada [°C]	78
T salida [°C]	20

Tabla N°40: Especificaciones técnicas del condensador sub-enfriador Penguin

### 20. Torre de enfriamiento 4

Durante la operación de condensación se hará uso de una gran cantidad de agua y siguiendo el lineamiento de este trabajo será enfriada para recircularla nuevamente.

En este caso el caudal de agua es de 133,59 m<sup>3</sup>/h y se selecciona la torre de enfriamiento marca Tobel modelo TBL-175T.



Figura N°32: Torre de enfriamiento marca Tobel modelo TBL-175T

## 20.1. Especificaciones técnicas de la torre de enfriamiento

Torre de enfriamiento 4	
Dimensión [L*H]	2850*3110mm
Tipo de flujo	Contrario
Caudal [m <sup>3</sup> /h]	136,8
Material	Poliméricos Reforzados con Fibras
Potencia [kW]	4
Modelo	TBL-175T
T entrada [°C]	18
T salida [°C]	10

Tabla N°41: Especificaciones técnicas torre de enfriamiento TBL-175T

## 21. Sistema de control

Se utilizarán diversos sistemas de control con el fin de gestionar y manejar el comportamiento de diversas variables, logrando evitar ciertas fallas o que el proceso no ocurra de la manera en que se requiere.

Un sistema de control está conformado por diversos dispositivos en un cierto orden, pudiendo ser estos del tipo neumático, eléctrico, mecánico, entre otros.

A continuación, a modo ilustrativo, se muestran los diferentes sistemas de control que se utilizarán en todos los reactores fermentativos, éstos mantendrán estables los parámetros de temperatura y caudal.

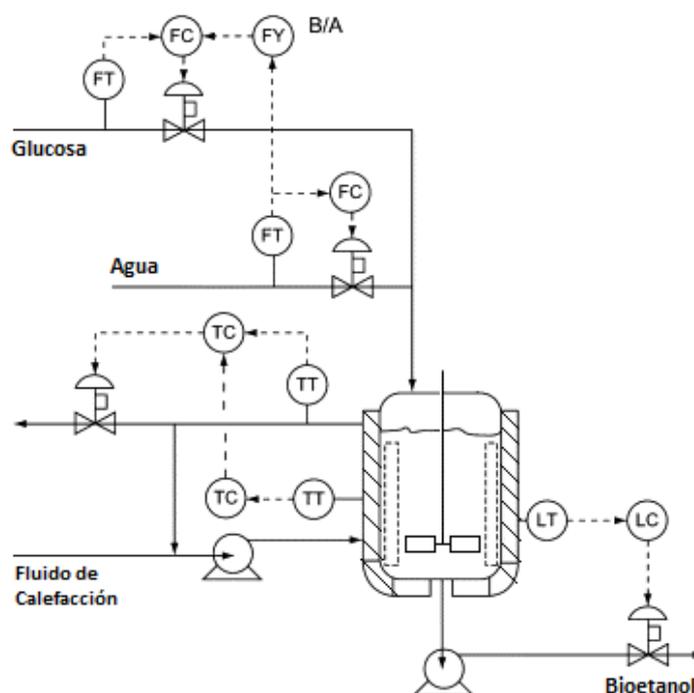


Figura N°33: Esquema de sistema de control en un reactor

A lo largo del proceso productivo de bioetanol desarrollado en el presente trabajo, se necesitará de estos sistemas de control para las temperaturas, presiones, caudales y pH que se usarán en las diversas operaciones unitarias; en este apartado se hará foco en la selección de un sistema de control de caudal para la corriente de agua que ingresa al reactor diseñado en [15. Reactor fermentativo](#).

## 21.1. Sistema de control de caudal

### 21.1.1. Marco teórico

Para poder realizar un sistema de control de caudal, se necesita hacer uso de ciertos elementos y en este caso se selecciona una placa orificio. Esta placa es un dispositivo utilizado para medir el caudal de un fluido que pasa por el interior de una tubería y por ende que ingresa a un recipiente. En la industria, son utilizadas para controlar el caudal, ya que es una variable crítica a la hora de mantener las condiciones de operación estables y la calidad de los productos.

La manera en la que funciona está basada en una caída de presión en la línea de flujo debida a que un elemento se interpone en el camino del fluido. Al chocarse con la placa orificio, el fluido pasa de tener su presión máxima a tener la mínima presión posible; luego de esta disminución el fluido vuelve a aumentar la presión pero no logra llegar a la presión que traía al principio, y de manera indirecta se controla el caudal que es lo que se necesita.

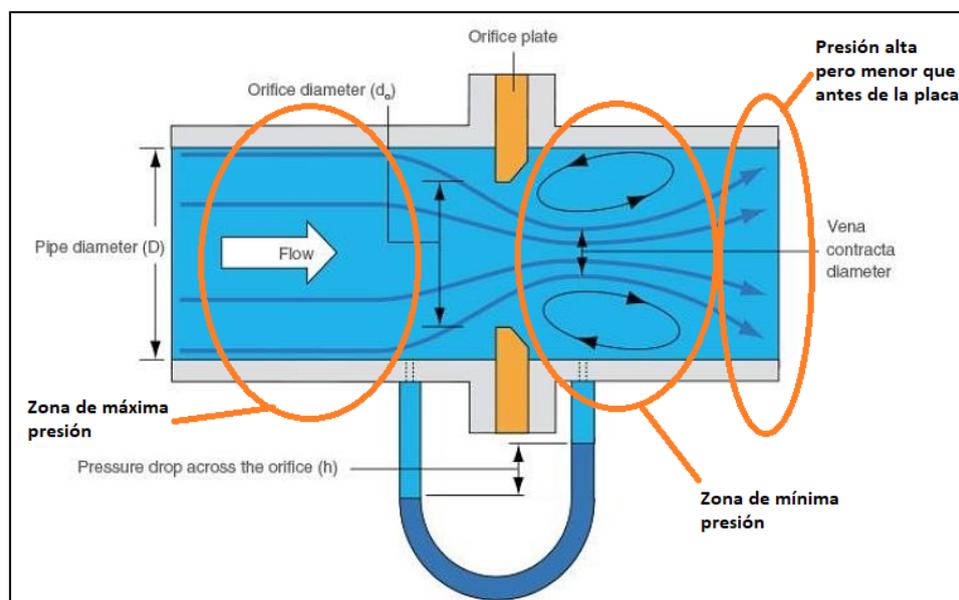


Figura N°34: Funcionamiento de una placa orificio

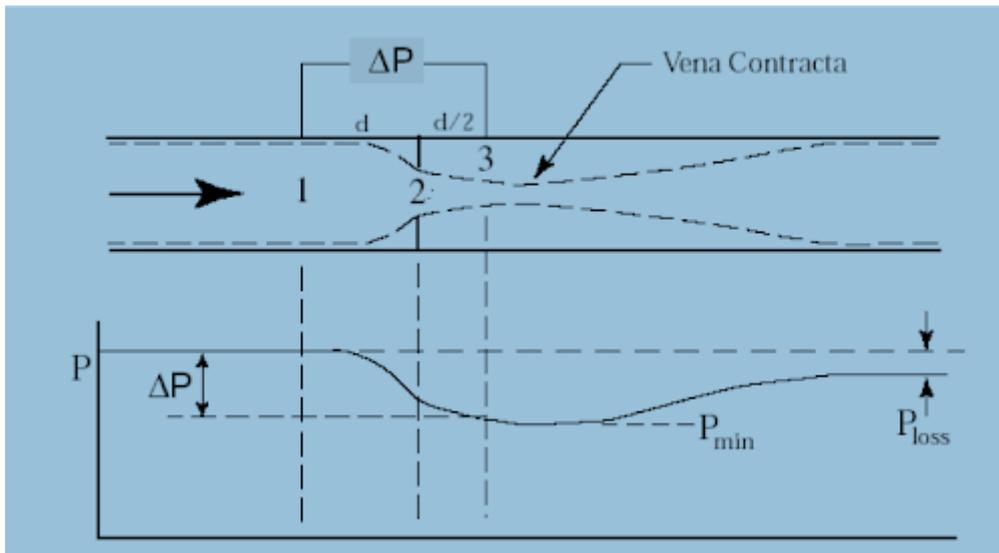


Figura N°35: Comportamiento de la presión frente a una placa orificio

Este instrumento consiste en una chapa que posee en el centro un orificio, debe instalarse de manera perpendicular al flujo y al disminuirse la sección de paso se provoca la caída de presión descrita anteriormente, la cuál podemos medir con cualquier instrumento que mida presión diferencial.

Para poder realizar este diseño se hará referencia a la Norma ISO 5167.

La forma matemática que relaciona el caudal con la caída de presión en distintos sistemas, como puede ser uno adiabático, incompresible y sin fricción es la siguiente:

$$Q = \left[ \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \right] * \left[ \sqrt{\frac{2 * (P_1 - P_2)}{\rho}} \right]$$

Donde los subíndices 1 representan área y presión antes de la placa orificio, y los subíndices 2 representan área y presión luego de la interposición; además de que  $\rho$  representa la densidad del fluido.

Este tipo de instrumento es seleccionado por su versatilidad, por su gran abanico de aplicaciones en cuanto fluidos, por ser muy económico y por ser de fácil acceso a su información.

#### 21.1.2. Dimensionamiento de la línea

La línea donde se ubicará la placa orificio descrita es la que nos marcará las dimensiones y parámetros de nuestro instrumento, por lo que debemos enumerar sus características previamente.

Haciendo uso de los valores calculados en el Capítulo VI - "Balance de masa y energía" y utilizando la bibliografía se obtienen los siguientes valores:

Parámetros línea	
Diámetro [pulg]	2 ½
Schedule	40
Serie	150
Material	Acero al carbono
Largo [m]	3
Pérdida de carga [m]	0,0053
$\Delta P$ [bar]	0,001048
Velocidad [m/s]	0,3

Tabla N°42: Parámetros de la línea conexión del reactor

### 21.1.3. Dimensionamiento de la placa orificio

Una vez completa la tabla anterior, podemos calcular los parámetros característicos de la placa orificio a insertar.

Parámetros placa orificio	
Fluido	Agua
Estado	Líquido
Temperatura de operación [°C]	37
Presión de operación [bar]	1,01
Densidad [kg/m³]	1000
Caudal [m³/h]	3,1
Viscosidad [cP]	0,692
Diámetro de línea [pulg]	2 ½

Tabla N°43: Características del fluido que circula por la placa orificio

Sabiendo que existen diversos tipos de placas orificio y cada uno de ellos está especialmente desarrollado para un tipo de fluido, se seleccionará la nuestra basándonos en el hecho de que el agua que circulará por las cañerías será un fluido limpio y turbulento ( $Re = 19.050$ ). El tipo elegido es una “placa orificio concéntrica cónica”, lo destacable de esta placa es que el diámetro de la misma se va reduciendo a medida que el fluido circula pudiendo así controlar la turbulencia que trae.

- Determinación de parámetros geométricos de la placa orificio

Siguiendo la bibliografía, nos encontramos con el parámetro  $\beta$ , que relaciona el diámetro de la placa con el diámetro de la línea.

Donde:

$$0,10 < \beta < 0,75 ; \beta = \frac{d}{D}$$

$d$  = diámetro de orificio de placa

$D$  = diámetro de la línea

Además, se debe tener en cuenta que para que las estimaciones sean correctas la Norma ISO 5167 establece que  $d \geq 12,5 \text{ mm}$ .

Antes de hacer una elección de parámetros y comenzar los cálculos se mencionan aquí debajo todas las ecuaciones y expresiones que serán útiles para el dimensionamiento de la placa orificio:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta P}$$

$$Q_m = \frac{C_d}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho}$$

Donde:

$C_d$ : *coeficiente de descarga (adimensional)*

$\beta$ : *relación de diámetros*

$\Delta P$ : *diferencia de presión antes y después de la placa*

$\rho$ : *densidad del fluido*

Escribiendo el caudal volumétrico de la siguiente manera:

$$Q_m = Q_v \cdot \rho$$

Podemos reescribir la ecuación:

$$Q_v \cdot \rho = \frac{C_d}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho}$$

Teniendo en cuenta que las pérdidas de carga en el orificio de la placa son proporcionales al cuadrado del caudal:

$$\Delta P = k \cdot Q_v^2$$

$$Q_v \cdot \rho = \frac{C_d}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot k \cdot Q_v^2}$$

$$1 = \frac{C_d}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \beta^2 D^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot k}{\gamma}}$$

Teniendo:

- $k$ : *pérdida de carga en el orificio de la placa*
- $\gamma$ : *peso específico del fluido*

El coeficiente de descarga lo calcularemos usando la ecuación de Reader-Harris/Gallagher:

$$C_d = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,000521\left(\frac{10^6\beta}{Re}\right)^{0,17} +$$

$$(0,0188 + 0,0063 * A)\beta^{3,5}\left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0,3} + (0,043 + 0,08e^{-0,10L_1} - 0,123e^{-7L_2}) *$$

$$(1 - 0,11A)\left(\frac{\beta^4}{1-\beta^4}\right) - 0,31(M_2 - 0,8M_2^{1,1})\beta^{\frac{1}{3}} + 0,11(0,75 - \beta) \cdot (2,8 - \frac{D}{25,4})$$

Además tenemos las siguientes relaciones:

$$A = \left(\frac{190000\beta}{Re}\right)^{0,8}$$

$$M_2 = \frac{2L_2}{1-\beta}$$

En el caso de este diseño,  $L_2 = L_1 = 0$ , nos queda la ecuación de la siguiente manera:

$$C_d = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,000521\left(\frac{10^6\beta}{Re}\right)^{0,17} + (0,0188 + 0,0063 * \left(\frac{190000\beta}{Re}\right)^{0,8})\beta^{3,5}\left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0,3} + 0,11(0,75 - \beta) \cdot (2,8 - \frac{D}{25,4})$$

Una vez presentadas todas las ecuaciones, se seleccionan los diámetros y su relación según las condiciones ya mencionadas:

$$d = 14 \text{ mm}$$

$$\beta = 0,2$$

$$D = 70 \text{ mm}$$

$$Re = 19.050$$

Utilizando estos valores podemos calcular el coeficiente de descarga:

$$C_d = 0,6039$$

Según las relaciones mencionadas podemos calcular ahora la diferencia de presión antes y luego del orificio:

$$\left(\frac{Q_m}{C_d} \cdot \sqrt{1 - \beta^4} \cdot \frac{4}{\pi \cdot d^2}\right)^2 \frac{1}{2 \cdot \rho} = \Delta P$$

$$\Delta P = \left(\frac{3.100 \text{ kg/h}}{0,6039} \cdot \sqrt{1 - 0,2^4} \cdot \frac{4}{\pi \cdot (0,014 \text{ m})^2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$\Delta P = 0,43 \text{ Bar}$$

Una vez obtenida la diferencia de presión, podemos calcular la diferencia NETA de presión. La diferencia entre una y otra, es que la primera es la que se produce entre un lado y otro

del orificio de la placa, mientras que la segunda refleja lo real ya que hay algún tipo de recupero pasado tiempo.

$$\Delta P_{neto} = \Delta P \cdot \frac{\sqrt{1-\beta^4 \cdot (1-C_d^2)} - C_d \cdot \beta^2}{\sqrt{1-\beta^4 \cdot (1-C_d^2)} + C_d \cdot \beta^2}$$

$$\Delta P_{neto} = 0,43 \text{ bar} \cdot 0,9528$$

$$\Delta P_{neto} = 0,4097 \text{ bar}$$

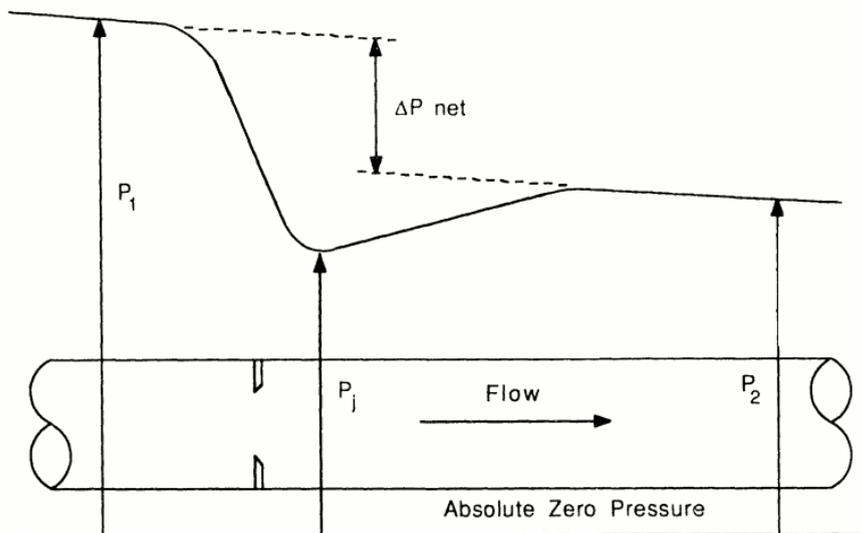


Figura N°36: Diferencia de presión neta vs diferencia de presión en la inmediación del orificio

Luego de esto, se procedió al cálculo del requisito de tramos rectos aguas arriba y abajo de la placa orificio según la norma ISO 5167-2. Estos son de suma necesidad para la correcta operación de la misma. Se definieron en función del valor de  $\beta$  calculado, la manera en que las cañerías y los accesorios de la placa están distribuidos. Para determinar los tramos rectos se consideró el caso de una cañería con dos codos de 90° en el mismo plano.

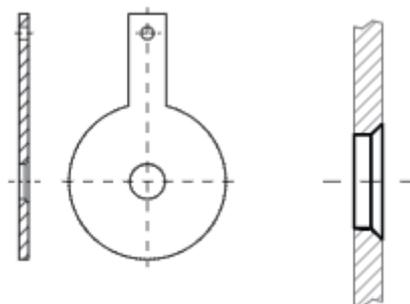


Figura N°37: Placa orificio seleccionada y su corte transversal

#### 21.1.4. Especificaciones técnicas de la placa orificio y la línea

Aquí se adjunta una tabla con un resumen de las características seleccionadas y calculadas anteriormente:

Características de la placa	
Modelo	FLC-OP
Material	Acero inoxidable 304L
Diámetro nominal [pulg]	2,5
Espesor de placa orificio [mm]	3
$\beta$ (d/D)	0,2
Diámetro de orificio (d) [mm]	14
Tramo anterior a la placa ( $10\phi$ ) [m]	0,64
Tramo posterior a la placa ( $5\phi$ ) [m]	0,32
Tramo rectos totales [m]	0,96

Tabla N°44: Especificaciones técnicas de la placa orificio y la línea

#### 21.1.5. Elemento transmisor

En los ítems anteriores se determinó el elemento medidor del sistema, que será el encargado de afectar el caudal mediante la presión; ahora se debe seleccionar un elemento que capte dicha variable y la transmita a distancia al controlador (siguiente elemento), transformando la señal recibida en una señal del tipo eléctrica. Este otro instrumento será un transmisor de presión diferencial.

Este elemento está compuesto de un sistema de medición mecánico, un elemento de presión elástico, un sensor dependiente del campo magnético con un cuadro de procesamiento de señales y una caja con las partes de conexión. También contará con un electroimán que estará acoplado al sensor HALL.

Se tendrá un cuadro de procesamiento de señales encargado de amplificar la señal de salida. Una de las ventajas de este sensor es que posee potenciómetros muy accesibles y que son los encargados de la calibración de los mismos.

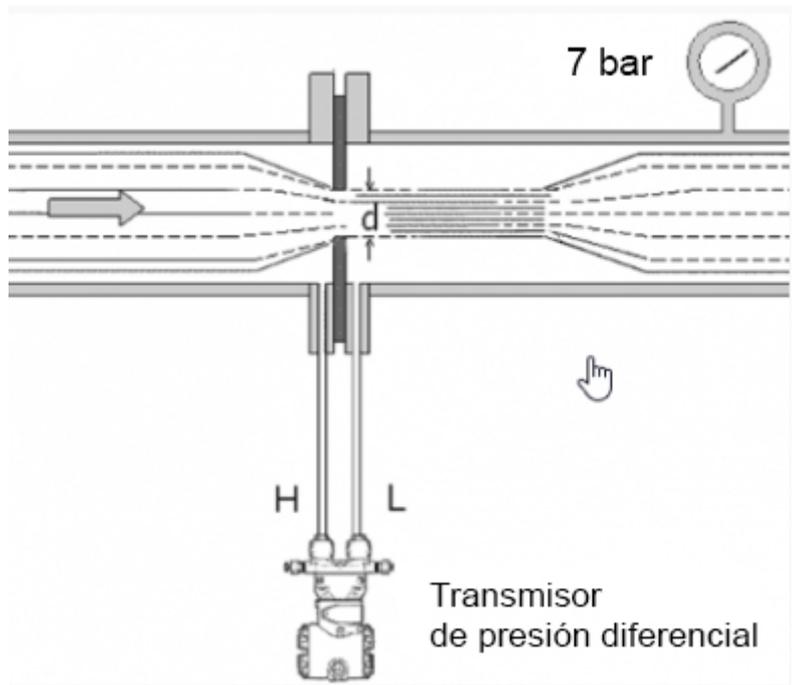


Figura N°38: Transmisor de presión diferencial en una tubería

Como resultado se tendrá una señal de salida eléctrica que estará dentro del rango de 4-20 mA y de 0-10 V, con un tiempo de respuesta de aproximadamente 90 milisegundos.

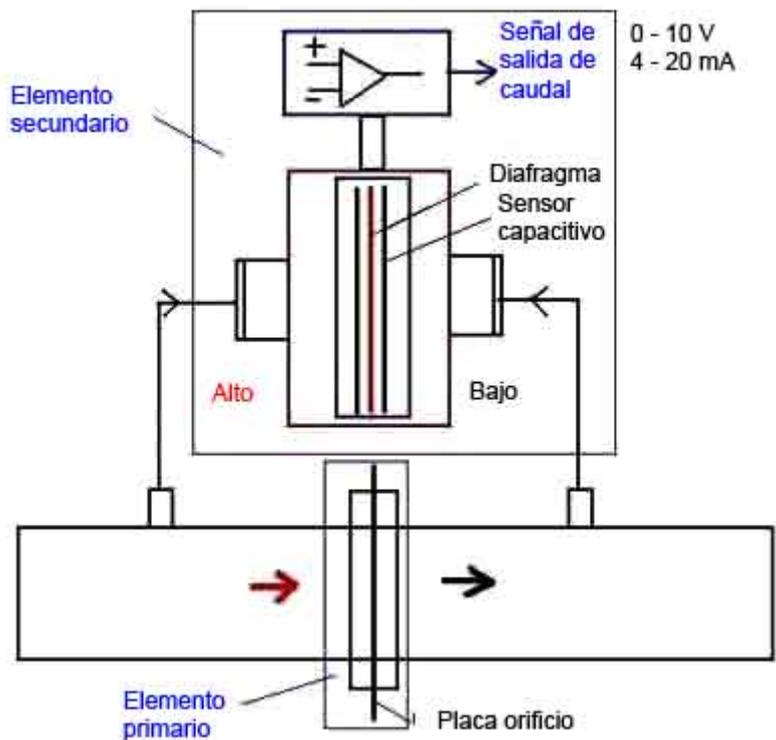


Figura N°39: Esquema de sistema de medición de caudal con elemento primario y secundario



Figura N°40: Transmisor Bürkert SE30

#### 21.1.6. Controlador

Una vez que el controlador recibe la señal, ésta se transforma en una señal del tipo neumática para así ser captada por el elemento final de control.

El fin principal de este controlador será mantener el valor del caudal en el set point necesario, que será de  $3,1 \text{ m}^3/\text{h}$  según lo detallado en el capítulo “Balance de masa y energía”.

Como es de esperarse, el proceso irá sufriendo variaciones a lo largo de la operación y el controlador actuará a través de una válvula de control que aumentará o disminuirá el ingreso de caudal de agua según las señales recibidas, logrando que el set point se mantenga en el valor deseado.

Este sistema tendrá una señal con ruido asociado ya que al entrar la corriente de agua, deberá juntarse con las corrientes de biomasa y de glucosa para poder realizar la fermentación, lo que puede en algún punto afectar los niveles de líquido dentro del reactor. Debido a lo detallado, se deberá elegir un controlador proporcional sin acciones derivativas e integrales. Esta elección se basa en que la función de la acción derivativa es amplificar las señales que varían de manera rápida (amplifica los ruidos, sin dar tiempo a la estabilización) y predecir el siguiente movimiento del sistema usando la última señal recibida, por lo que tendrá un error muy grande; y la acción integral dará mediciones incorrectas sobre el error al tener memoria y acumularlos entre todas las mediciones, aportando sólo inestabilidad en el proceso y poca confiabilidad.

Aquí se colocan las ecuaciones que representan cada uno de los controladores mencionados arriba, donde se verifica el efecto que tendrán los errores en cada tipo.

Proporcional:

$$u(t) = K_p \cdot e(t)$$

Proporcional-Derivativo:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

Proporcional-Integral:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau$$

El diagrama de bloques

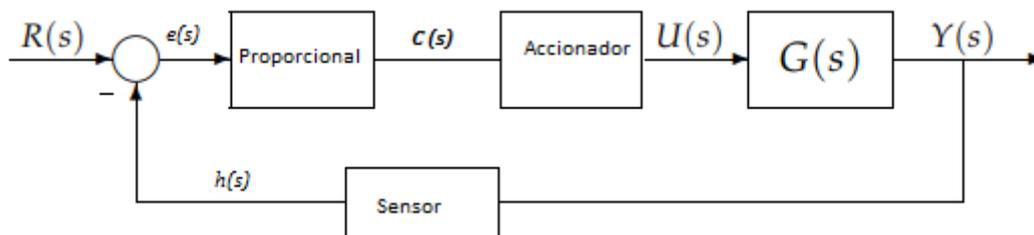


Figura N°41: Diagrama de bloques de un controlador proporcional

La señal  $R(s)$  es la que corresponde al set point, la señal  $e(s)$  es la señal de error que es básicamente la diferencia que hay entre el valor del set point con la señal que realmente se lee en el proceso  $Y(s)$ .  $C(s)$  es la señal que va a recibir el elemento final de control, la que enviará el controlador proporcional como bien puede observarse en el diagrama y, en último lugar, se tiene a  $u(s)$  que es la señal neumática que está encargada de accionar la válvula según sea necesario.

Unos párrafos antes, se colocó la ecuación de la acción proporcional elegida y se puede observar que habrá una constante que multiplica al error, osea que como su nombre indica, la acción de este controlador será proporcional al error. Esto significa que mientras más grande sea el error, mayor será la acción del controlador y viceversa, logrando que este tenga el menor impacto posible en nuestro sistema.

De todas formas, esto no es tan lineal como que aumentar  $K_p$  lo más posible hará que el sistema funcione mejor, ya que al aumentarlo demasiado comienza a traer efectos negativos, por lo que es importante encontrar el equilibrio donde se tenga una rápida respuesta, menor error y mayor estabilidad también.



Figura N°42: Sistema de controlador de flujo digital Burkert 8030/SE30

Se adjuntó una imagen de controlador seleccionado, elegido especialmente para el caudal que el sistema tendrá, además de que es apto para el tipo de válvula que se tendrá como elemento final de medición y para trabajar a los voltajes detallados anteriormente.

Antes de la válvula neumática - elemento final de control - se instalará un posicionador, que será el encargado de medir la señal del controlador y también es capaz de medir la posición del vástago de la válvula. Lo que logrará una correcta sincronización entre los dos elementos de control mencionados.

El tipo elegido para este sistema de control será un posicionador electroneumático, para poder conectarse a la válvula neumática y al controlador que será del tipo eléctrico.

#### 21.1.7. Elemento final de medición

Este elemento final de control será una válvula con actuador neumático de diafragma que regulará el paso de caudal en función de la señal recibida. Se elige esta válvula debido a que se necesita la mayor precisión posible a la hora del control del paso del fluido, ya que una diferencia en este puede ocasionar acciones indeseadas en el proceso de fermentación. Al ser necesario un caudal discontinuo - al llegar a un cierto nivel debe cerrarse para que suceda la fermentación -, y de no ocurrir esto, puede traer las diluciones excesivas además de no respetarse la relación agua/biomasa óptimas del proceso, se opta por una válvula del tipo falla cierra.

Estas válvulas pueden tener dos tipos de actuadores, actuador de acción directa y actuador de acción reversa, variando entre ellos el sentido en el que el aire empuje el sistema compuesto por el diafragma, el resorte y el vástago, como puede verse en la figura debajo.

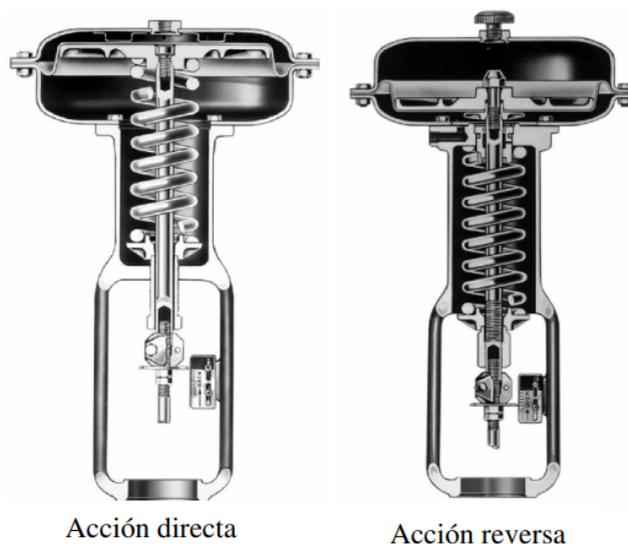


Figura N°43: Válvula neumática con actuador de diafragma con acción directa/inversa

Cuando tenemos el actuador de la izquierda con “acción directa”, lo que sucederá será que al aumentar la presión de aire, el diafragma va a bajar y el vástago se irá extendiendo. En el

caso contrario, cuando tenemos el actuador de la derecha con “acción reversa”, sucederá que al aumentar la presión de aire, el diafragma sube, logrando que el vástago se vaya retrayendo. En el caso de este trabajo, al haber elegido una válvula del tipo falla cierra, tendremos que utilizar el actuador del tipo acción reversa.

Por último se debe calcular el CV de la válvula, para ello se hace uso de una calculadora online de la página Swagelok perteneciente a una empresa especialista, llegando al valor de CV= 4,95.

La válvula elegida es la válvula neumática marca SEITA tipo BR11 con función 2/2 vías y cumple con actuador de acción tipo reversa.

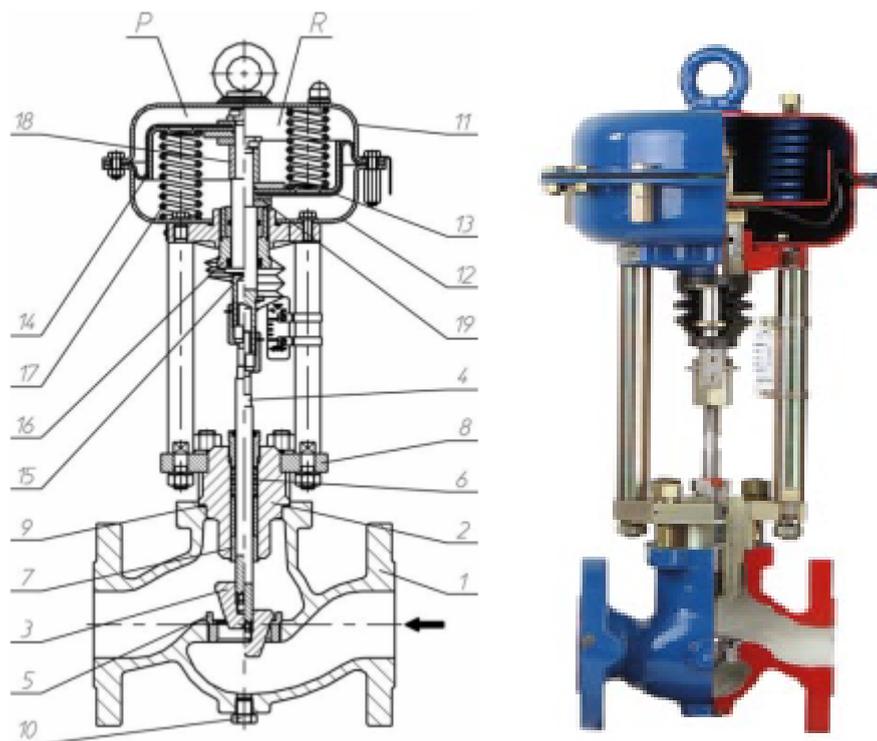


Figura N°44: Esquema de válvula de control SEITA tipo BR11

(1) Cuerpo, (2) bonete, (3) obturador, (4) vástago, (5) asiento de la válvula, (6) caja de empaquetado de vástago de válvula, (7) guía del vástago, (8) placa de conexión, (9) junta del cuerpo, (10) tapón de drenaje, (11) y (12) carcasa, (13) diafragma, (14) placa de diafragma, (15) vástago del actuador, (16) caja de empaquetado del actuador, (17) resortes, (18) mango y (19) piezas espaciadoras.

## 22. Almacenamiento

Se requerirá almacenar desde diversas materias primas hasta producto terminado y efluentes, por lo que en esta sección se detallarán las dimensiones y materiales que utilizaremos según sea necesario para cada silo y/o tanque de almacenamiento.

A continuación se presenta una tabla con los tanques/silos a utilizar con su codificación:

Equipo	Sustancia	Cantidad	Codificación
Silos de Almacenamiento	Cáscara de Arroz	4	D-S-01/04
Piletas de Almacenamiento	Agua	2	D-P-01/02
Tanque de Almacenamiento	Ácido Acético	3	D-TK-01/03
Tanque de Almacenamiento	Ácido Clorhídrico	1	D-TK-04
Tanque de Almacenamiento	Bioetanol	4	D-TK-05/08
Tanque Ecuilizador	Efluentes	1	D-TK-09

Tabla N°45: Tanques de almacenamiento del proceso

### 22.1. Silos de almacenamiento

Se almacenará la principal materia prima, la cáscara de arroz, permitiendo disponer de stock hasta por 7 días. No se extenderá el almacenaje de ésta para conservar las propiedades que requerimos para el proceso; de esta manera se evitarán, por ejemplo, variaciones de humedad o proliferación de microorganismos que podrían impactar en el proceso.

$$\text{Stock cáscara de arroz} = 16,78 \frac{\text{Tn Cáscara}}{\text{Hr}} * 24 \frac{\text{Hr}}{\text{Día}} * 7 \text{ Días}$$

$$\text{Stock Cáscara de arroz} = 2820 \text{ Tn}$$

Sabiendo que la densidad de la cáscara de arroz es en promedio  $1,58 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^3}$ , se obtiene que el volumen requerido es:

$$\text{Volumen Cáscara de arroz} = \frac{2820 \text{ Tn}}{1,58 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^3}} = 1785 \text{ m}^3$$

Se estima un volumen sobredimensionado del 15%, necesitando finalmente:

$$\text{Volumen Cáscara de arroz} = 1785 \text{ m}^3 * 1,15 = 2052 \text{ m}^3$$

De esta manera, se decide utilizar 4 silos de  $515 \text{ m}^3$ . Éstos serán adquiridos en la empresa Silos Córdoba, que presenta el modelo 6.11/14; éste es del tipo elevado, para aislarlo del suelo, evitando la humedad y cuenta con una descarga a tierra para así evitar la combustión espontánea.

A continuación, un esquema del silo seleccionado:



Figura N°45: Esquema del Silo de Almacenamiento para Cáscara de Arroz

La especificación técnica de los silos a utilizar es la siguiente:

<b>Silos de Almacenamiento</b>	
Cantidad de Silos	4
Cantidad a Almacenar	2820 Tn
Volumen	1785 m <sup>3</sup>
Volumen Sobredimensionado	2052 m <sup>3</sup>
Modelo	6.11/14
Tipo	Elevado
Volumen de cada Silo	515 m <sup>3</sup>
Diámetro	10,90 m
Altura Total	22,20 m
Altura de Patas	7,32 m
Ángulo de Fondo	45°
Material	Acero Galvanizado S350GD

Tabla N°46: Especificaciones técnicas de los Silos de Almacenamiento

## 22.2. Tanques de Almacenamiento para ácido acético

En este tanque se almacenará el ácido acético para realizar el pre-tratamiento de la cáscara de arroz. Se requieren 28,14 Tn/día de esta solución y, ya que el 95% del ácido acético

utilizado será recirculado instantáneamente luego de su recuperación en la torre de destilación, se diseñarán las dimensiones de estos tanques, planificando stock para almacenar lo requerido para un día de producción, el cual, al solo requerir por día la utilización del 5% de su contenido, permitirá el almacenamiento para producir por 15 días.

A partir de la densidad, y con un sobredimensionamiento del 10%, se obtiene el volumen a almacenar:

$$Volumen \text{ Ác. Acético} = \frac{28,14 \frac{Tn}{día}}{1,051 \frac{Tn}{m^3}} * 1,10 * 15 = 442 m^3$$

Para almacenar este volumen, se utilizarán 3 tanques de  $150 m^3$  de FRP, con un recubrimiento interior anticorrosivo. Éstos, serán comprados a la empresa China Yantai Hauson y presentan las siguientes características:

Tanque de Almacenamiento Ácido Acético	
Diámetro [m]	4
Altura [m]	12,31
Capacidad [m3]	150
Material	FRP
Cantidad de Tanques	3
Capacidad total [m3]	450

Tabla N°47: Especificación de tanque de almacenamiento para ácido acético



Figura N°46: Tanque de almacenamiento para ácido acético

### 22.3. Tanque de Almacenamiento para ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico también es utilizado para el tratamiento de la cáscara de arroz y se almacenará un volumen equivalente para 15 días de producción.

Obtenemos el volumen a almacenar:

$$\text{Volumen \u00c1c. Clorh\u00eddrico} = \frac{0,8 \frac{Tn}{\text{d\u00eda}}}{1,15 \frac{Tn}{m^3}} * 15 \text{ d\u00edas} = 10,4 m^3$$

Se sobredimensiona este valor con un 15% m\u00e1s de volumen:

$$\text{Volumen \u00c1c. Clorh\u00eddrico} = 10,4 m^3 * 1,15 = 11,96 m^3$$

De esta manera, se define que se utilizar\u00e1 un tanque de almacenamiento de 12 m<sup>3</sup> tambi\u00e9n de la empresa Yantai Hauson con las siguientes caracter\u00edsticas:

<b>Tanque de Almacenamiento \u00c1cido Clorh\u00eddrico</b>	
<b>Di\u00e1metro</b>	1,8 m
<b>Altura</b>	4,89 m
<b>Capacidad</b>	12 m <sup>3</sup>
<b>Material</b>	FRP
<b>Cantidad de Tanques</b>	1

Tabla N\u00b048: Especificaci\u00f3n Tanque de Almacenamiento para \u00e1cido clorh\u00eddrico



Figura N\u00b047: Tanque de almacenamiento para \u00e1cido clorh\u00eddrico

#### 22.4. Piletas de Almacenamiento para agua

El proceso productivo consume gran cantidad de agua, por lo que se debe disponer de una amplia capacidad de almacenamiento para cumplir con las cantidades requeridas.

A continuación, se detalla el volumen de agua que se consumirá en un día de producción de bioetanol:

Agua que se consume [m <sup>3</sup> ]	Pre-Tratamiento	483,12	796,56
	Hidrólisis	313,44	

Tabla N°49: Requerimiento de agua por operación

Diariamente se consumen alrededor de 800 m<sup>3</sup> de agua; por lo que se decide utilizar directamente piletas cubiertas para reservar el agua de consumo requerida para el proceso.

Para el armado de las piletas se utilizarán módulos premoldeados de hormigón con estructura de acero que son curados para lograr estructuras sólidas con alta durabilidad. Estos módulos serán provistos por la empresa argentina "Aguapiscinas" que se especializa en la fabricación y armado de reservorios industriales.

Se utilizarán dos piscinas con una capacidad unitaria de 2800 m<sup>3</sup>, lo que permitirá reservar agua para operar continuamente hasta por 7 días.

A continuación, las especificaciones técnicas de estas piletas:

Piletas de almacenamiento de Agua	
Placas requeridas por pileta	180
Altura [m]	1,4
Largo [m]	100
Ancho [m]	20
Volumen por pileta [m <sup>3</sup> ]	2800
Volumen total de piletas [m <sup>3</sup> ]	5600
Material	Hormigón Armado

Tabla N°50: Especificación de piletas de almacenamiento para agua



Figura N°48: Piletas de almacenamiento para agua

## 22.5. Tanques de Almacenamiento para bioetanol

El bioetanol final se almacenará en tanques de acero al carbono. Se tendrá una capacidad de almacenamiento de hasta 2 semanas de producción, y se estimará un 20% de sobredimensión, por lo que el volumen máximo a almacenar será de:

$$\text{Volumen Bioetanol} = \frac{110,4 \frac{\text{Tn}}{\text{día}}}{0,789 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^3}} * 14 \text{ días} * 1,20 = 2350 \text{ m}^3$$

Con el volumen final requerido de almacenamiento, se decide utilizar 4 tanques de  $600 \text{ m}^3$  con techo interno flotante, con las siguientes características:

Tanque de Almacenamiento Bioetanol	
Diámetro	9 m
Altura	10,70 m
Capacidad	$600 \text{ m}^3$
Material	Acero al carbono
Cantidad de Tanques	4
Capacidad total	$2400 \text{ m}^3$

Tabla N°51: Especificación tanque de almacenamiento para bioetanol



Figura N°49: Tanque de almacenamiento para Bioetanol

## 22.6. Tanque Ecuador

Todos los efluentes líquidos que fueron separados en las diversas operaciones del proceso, al no tener incompatibilidad química, se dirigirán a un tanque ecualizador para

acondicionarlos, logrando un pH 7 y una disminución de sedimentos. Posteriormente, se utilizará un módulo de tratamiento para finalizar la purificación del agua involucrada.

Definiremos la cantidad de tanques a utilizar, con la premisa de que no se almacenarán efluentes por más de un día; además, se estima una densidad promedio de la mezcla de  $1,20 \text{ Tn}/\text{m}^3$ .

$$\text{Total Efluentes} = \left(14,46 \frac{\text{Tn}}{\text{h}} + 1,26 \frac{\text{Tn}}{\text{h}} + 48,83 \frac{\text{Tn}}{\text{h}} + 0,22 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}\right) * 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 1.554,48 \frac{\text{Tn}}{\text{día}}$$

$$\text{Volumen Efluentes} = \frac{1.554,48 \frac{\text{Tn}}{\text{día}}}{1,2 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^3}} = 1.295,4 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Se sobredimensiona un 15% del volumen requerido, obteniendo:

$$\text{Volumen Efluentes Sobredimensionado} = 1590 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 1,15 = 1490 \text{ m}^3$$

Se utilizará un tanque ecualizador de los fabricantes Center Enamel, los cuales estarán producidos de vidrio fundido al acero. Este material dará la resistencia y flexibilidad del acero, al mismo tiempo que permitirá tener una resistencia a la corrosión gracias al vidrio.

Estos tanques permiten una variación de pH de entre 3 y 11, además de que, al ser tan resistentes, pueden alcanzar una vida útil de hasta 30 años.

A continuación se presentan las especificaciones del tanque seleccionado.

<b>Tanque Ecualizador de Efluentes</b>	
Diámetro	18,3 m
Altura	7,1 m
Volumen máximo	1867 m <sup>3</sup>
Material	Vidrio fundido al acero
Cantidad de tanques	1
Aceptibilidad de pH	3 - 11

Tabla Nº52: Especificación tanque ecualizador

A modo ilustrativo, se muestra un tanque ecualizador del tipo que utilizaremos en la planta:



Figura N°50: Tanque ecualizador para efluentes

### 23. Módulo de tratamiento de efluentes

Para completar el tratamiento del agua residual, se utilizará una planta modular contenerizada de la marca Synertech proveniente de Colombia con procesos primarios, secundarios, aerobios y anaerobios. Ésta contará con diferentes bloques compactos que facilitarán el mantenimiento y reducirán los costos operativos. Cada módulo permite tratar hasta  $500 m^3$  diarios, y ya que el requerimiento de tratamiento es de  $1490 m^3/día$ , se utilizarán 3 módulos que permitirán tratar hasta  $1500 m^3/día$ , con una dimensión de 40 m x 4 m por unidad.

Estos módulos dispondrán del siguiente tren de tratamiento:

- Tamices estáticos: se iniciará el tratamiento con una separación de sólidos por tamices estáticos que permitirán una separación rápida y sin gastos de energía.
- Sistema de flotación por aire disuelto: con este equipo se eliminarán los sólidos suspendidos, grasas, DBO, DQO y gran cantidad de contaminantes. Permiten tratar grandes caudales con un equipo compacto y de gran eficiencia.
- Oxidación química: se utilizarán oxidantes como ozono o peróxido de hidrógeno para eliminar los hidrocarburos y compuestos más difíciles de descomponer presentes en el agua.

- Filtro biológico percolador de lodos: está constituido por una placa plástica en la cual se cultiva un “biofilm”, luego se rocía el agua a tratar y al entrar en contacto con las bacterias, se degrada la contaminación.
- Módulo de pulimento final: este módulo incluye un área destinada a cuarto de mando y máquinas, en este sector se encuentran instalados todos los componentes eléctricos y mecánicos para los procesos de manejo operacional del módulo de tratamiento.

A continuación, una imagen de referencia de los módulos a utilizar:

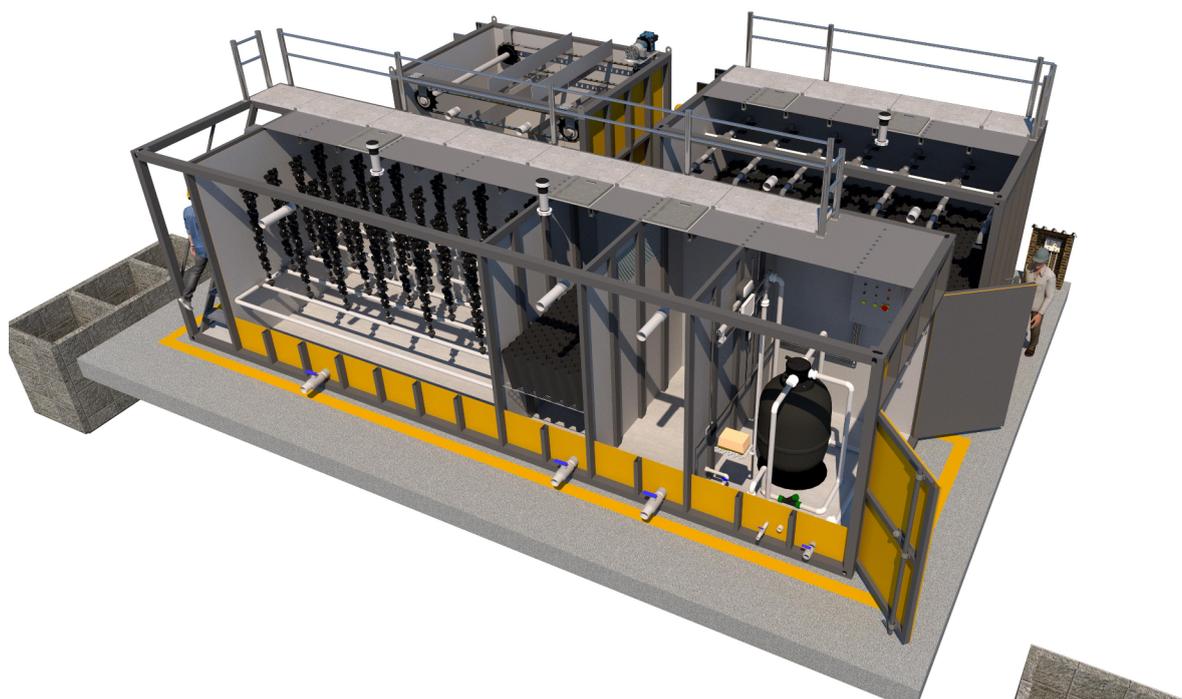


Figura N°51: Módulo de tratamiento de agua residual

## 24. Transporte de materias primas y productos

En este apartado seleccionaremos todos los equipos requeridos en el proceso para el transporte de materias primas/productos entre las diversas operaciones. Para las materias primas sólidas, se seleccionaron los transportadores más óptimos según el material a transportar; mientras que para la selección de las bombas para el transporte de los fluidos se tuvo en cuenta, además de las características de los fluidos a transportar, los caudales y alturas de elevación. Se estimó un 50% extra de requerimiento de elevación para compensar la pérdida de carga por accesorios y tramos rectos.

### 24.1. Transportador 1

Para poder transportar nuestra principal materia prima, la cáscara de arroz, desde los silos de almacenamiento hacia la primera operación del proceso productivo (la molienda), haremos utilización de un transportador de tornillo flexible.

Al contar con 4 silos de almacenamiento de cáscara de arroz, se debe extraer de cada uno de ellos un total de 4,20 Tn/h para cumplir con el objetivo del proceso, mientras que debe entrar una corriente de 8,4 Tn/h a cada molino; siendo 2 molinos en total, se requerirán 4 unidades de estos succionadores. Cada transportador tendrá una capacidad de 4,20 Tn/h aproximadamente.

El transportador flexible puede verse ilustrado a continuación, junto con sus especificaciones técnicas.



Figura N°52: Transportador de tornillo flexible marca KARAT

#### 24.1 Especificaciones técnicas del transportador de tornillo flexible

Transportador de Tornillo Flexible	
Marca	KARAT
Modelo	XLJ - 100
Motor [kW]	1,5 - 4,5
Material	Goma
Peso [Kg]	100
Capacidad máx. [Tn/h]	20
Longitud [m]	6 - 12
Altura de transporte [m]	3 - 4
Diametro de tuberia [mm]	100

Tabla N°53: Especificaciones técnicas del transportador KARAT

#### 24.2. Transportador 2

La cascarilla ya molida debe transportarse hacia el reactor de pretratamiento, por lo tanto necesitamos un transportador con una capacidad aproximada de 16,8 Tn/h.

Por tratarse del mismo producto pero con un mayor caudal se decidió utilizar el mismo dispositivo y modelo que el [Transportador 1](#).

### 24.3. Bombas transportadoras

Como se mencionó anteriormente, para las bombas se estimará un 50% extra de los metros requerido para la elevación del fluido para compensar la pérdida de carga por accesorios y tramos rectos.

A continuación se presenta un cuadro resumen de todas las bombas requeridas.

Fluido	Equipo		Elevación [m]	Tipo	Modelo	Potencia [kW]
	Viene de...	Va a...				
Ácido Acético	Tanque de Almacenamiento	Reactor de Pretratamiento	8,76	Bomba Centrífuga Anticorrosiva	IHF4 - 80	11
Ácido Clorhídrico	Tanque de Almacenamiento		8,76	Bomba Centrífuga Anticorrosiva	Shuanglian - FP	0,75
Agua	Tanque de Almacenamiento		8,76	Bomba Centrífuga	TEFLOW PUMP - IH	5,5
Agua	Intercambiador de Calor 1	Torre de Enfriamiento 1	3,38	Bomba Centrífuga	TEFLOW PUMP - IH80	11
Mezcla de Compuestos Pretratamiento		Torre de Destilación 1	3,86	Bomba Centrífuga Anticorrosiva	IHF4 - 100	15
Ácido Acético	Torre de Destilación 1	Reactor de Pretratamiento	8,76	Bomba Centrífuga Anticorrosiva	IHF4 - 100	15
Agua	Intercambiador de Calor 2	Torre de Enfriamiento 2	2,1	Bomba Centrífuga	YONJOU 65-50-125	2,5
Celulosa		Biorreactor		9,20	Bomba de Lóbulos	Donjoy-TUL
Agua	Tanque de Almacenamiento			9,20	Bomba Centrífuga	YONJOU 50-32-125
Agua	Intercambiador de Calor 3	Torre de Enfriamiento 3	3,08	Bomba Centrífuga	YONJOU 65-50-125	2,5
Glucosa		Reactor Discontinuo	7,53	Bomba de Lóbulos	Donjoy - TUL/TUR - 60	5,5
Glucosa		Reactores Continuos		15,57	Bomba de Lóbulos	Donjoy - TUL/TUR - 70
Fermento	Reactor Discontinuo			15,57	Bomba Centrífuga Anticorrosiva	THF6B - 1
Agua	Tanque de Almacenamiento		15,57	Bomba Centrífuga	MGA - 1A	0,75
Bioetanol Impuro	Reactores Continuos	Torre de Destilación 2	7,5	Bomba Centrífuga Anticorrosiva	JKB - 40012H	0,75
Agua	Condensador	Torre de Enfriamiento 4	4,67	Bomba Centrífuga	Zhongpump 125 - 80 - 315 - B	75

Tabla N°54: Bombas transportadoras

## 25. Bibliografía

- Acevedo, F. (2004). *Fundamentos de ingeniería bioquímica: archivos de ingeniería bioquímica*. Eds. Universitarias de Valparaíso de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Alibaba. (n.d.). *Alibaba*. La plataforma de comercio entre empresas en línea más grande del mundo. <https://spanish.alibaba.com/?spm=a2700.details.scGlobalHomeHeader.4.4c232f36BtpeWs>
- Altabef, A. B., Vergara, M. M., & Díaz, S. B. (2019, Abril 14). *XXI Congreso Argentino de Fisicoquímica y Química Inorgánica*. ISBN: 978-987-754-185-4. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/160668/CONICET\\_Digital\\_Nro.d3d341e9-23d4-4440-805d-e50d0841dadac\\_MST.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/160668/CONICET_Digital_Nro.d3d341e9-23d4-4440-805d-e50d0841dadac_MST.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Arguello, M. (2018). *Diseño y simulación de torre de destilación*. [https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/6932/1/Dise%C3%B1o%20simulaci%C3%B3n%20torre%20destilaci%C3%B3n\\_Arguello%20Mar%C3%ADa\\_2018.pdf](https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/6932/1/Dise%C3%B1o%20simulaci%C3%B3n%20torre%20destilaci%C3%B3n_Arguello%20Mar%C3%ADa_2018.pdf)
- Bachiller. (2019, July 15). *Reactor agitado de 25 m<sup>3</sup> para empresa química española*. Bachiller. <https://bachiller.com/es/reactor-agitado-de-25m3-para-empresa-quimica-espanola/>
- Benitez, I. P. (2013, Abril). *DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL EFICIENCIA PLATO COLUMNA DESTILACIÓN*. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL EFICIENCIA PLATO COLUMNA DESTILACIÓN. <http://132.248.9.195/ptd2013/abril/0691891/0691891.pdf>
- Blanco, E. A. (n.d.). *Clasificación Indirecta*. Universidad de Cantabria. [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/10.\\_clasificacion\\_indirecta.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/10._clasificacion_indirecta.pdf)
- Briceño, M. I., & Cobos, S. (n.d.). *Escalamiento del proceso de mezclado de emulsiones O/W concentradas*. bdigital@ula.ve. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/cing/v25n3/articulo0.pdf>
- Burkert. (n.d.). *PADDLE-WHEEL FLOW SENSOR*. Instruction Manual PADDLE-WHEEL FLOW SENSOR. <https://docs.rs-online.com/33d1/0900766b80dda44f.pdf>
- Calculadora de número de Reynolds. (n.d.). *Calculadora de número de Reynolds*. <https://www.hydraulic-calculation.com/es/article.php?ID=30&v=4.3&d=63.5&nu=1&p=>
- Caldería Teruel. (2020, December 22). *REACTOR 25m<sup>3</sup> CON 1/2 CAÑA EN ACERO INOXIDABLE 1.4404 (316L)*. Caldereria Teruel. <https://www.caldereriateruel.com/2020/12/22/reactor-25m3/>
- Cao, E. (2004). *Transferencia de calor en Ingeniería de Procesos* (Primera ed.). Eduardo Cao.

- Connor, N. (2019, September 22). *¿Qué es la conductividad térmica de la lana de vidrio? Definición.* Thermal Engineering. <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conductividad-termica-de-la-lana-de-vidrio-definicion/>
- ¿Cuál es la temperatura máxima que puede soportar el ser humano? (2020, July 9). 20Minutos. <https://www.20minutos.es/noticia/4318801/0/cual-es-temperatura-maxima-puede-soportar-ser-humano/>
- De Nigris, G., & Solari, C. (n.d.). *Diseño de una planta de producción de bioetanol a base de maíz.* Diseño de una planta de producción de bioetanol a base de maíz. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/222/GDeNigris%2BCSolari-TFG-IQ-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DISEÑO DE UNA UNIDAD DE MEZCLADO Y DESTILACIÓN BINARIA ATMOSFÉRICA PARA ETANOL-AGUA FRANCISCO CALA CALDERÓN UNIVERSIDAD PONT. (2019). Repositorio Institucional de la Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/7490/38911.pdf?sequence=1>
- Doran, P. M. (1998). *Principios de ingeniería de los bioprocesos* (F. J. García Labiano, Trans.). Acribia, Editorial, S.A.
- Engineering Page. (n.d.). *Typical Fouling Factors - COOLING WATER.* Engineering Page. [https://www.engineeringpage.com/technology/thermal/fouling\\_factors.html](https://www.engineeringpage.com/technology/thermal/fouling_factors.html)
- Focus Technology. (n.d.). *Made in China* [Tienda de artículos de ingeniería]. Made in China. [https://es.made-in-china.com/co\\_zzhxpsj/product\\_Gold-Ore-Mining-Plant-Screw-Classifier\\_esrhiniy.html](https://es.made-in-china.com/co_zzhxpsj/product_Gold-Ore-Mining-Plant-Screw-Classifier_esrhiniy.html)
- Ghahremani, H., Moradi, A., Abedini-Torghabeh, J., & Hassani, S. M. (2011). Measuring surface tension of binary mixtures of water + alcohols from the diffraction pattern of surface ripples. *Der Chemica Sinica*, 10. <https://www.imedpub.com/articles/measuring-surface-tension-of-binary-mixtures-of-water--alcoholsfrom-the-diffraction-pattern-of-surface-ripples.pdf>
- HAUS Tecnología de centrífuga. (n.d.). HAUS. HAUS. <https://www.hausworld.com/modelo-79-Aplicaciones-Industriales--Serie-I.html>
- Inaflosac. (n.d.). *Planchas – Inaflo SAC.* Inaflo SAC. <https://inaflosac.com.pe/planchas/>
- Jaquet, M. (n.d.). *Recipientes A Presion Parte I Diseno de - RECIPIENTES A PRESIÓN, Parte I: Diseño de Equipos.* StuDocu. <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-salta/estabilidad-y-resistencia-de-materiales/recipientes-a-presion-parte-i-diseno-de/8490683>
- Kern, D. Q. (1997). *PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.* Grupo Editorial Patria.

- Laffort. (n.d.). *Tabla de correspondencia\* de las diferentes escalas de medida de la concentración de azúcares en mosto*. LAFFORT. [https://laffort.com/wp-content/uploads/Protocols/ES\\_Table\\_Convertisseur.pdf](https://laffort.com/wp-content/uploads/Protocols/ES_Table_Convertisseur.pdf)
- Ludwig, E. E. (1964). *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*. Gulf Publishing Company.
- Mascarell Miguélez, J. J. (2017, Septiembre). *Diseño de una columna de rectificación a vacío para la obtención de cerveza de bajo contenido alcohólico a partir de cervezas artesanales*. Universidad de Cádiz. <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/20090/927507.pdf?sequence=1>
- 911 Metallurgist. (n.d.). *Clasificadores Helicoidales*. 911 Metallurgist. <https://www.911metallurgist.com/metallurgia/clasificadores-helicoidales/>
- Núñez, Á., Tarifa, E., Dominguez, S. F., & Martínez, S. (n.d.). *Análisis mediante simulación de un tanque con camisa calefactora*. FCF UNSE. Retrieved August, 2022, from <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/codinoa-2013/trabajos/tecnologicas/52-nunnes.pdf>
- Ones, O. P., Rodríguez, J. D., Zumalacárregui, L., & León, O. G. (2010, Marzo). Evaluación de propiedades físicas de mezclas etanol-agua. 52, 62-74. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n52/n52a06.pdf>
- Pirobloc. (2019, January 10). *Cálculo de pérdidas de carga*. Pirobloc. <https://www.pirobloc.com/blog-es/calculo-perdidas-carga/>
- Prada, C. d. (n.d.). *Estructuras de control*. eii@uva. <https://www.eii.uva.es/~prada/estructuras.pdf>
- *Problemas-en-columnas-de-destilacion compress - Universidad de Costa Rica Escuela de Ingeniería*. (2014). StuDocu. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-ingenieria/quimica-inorganica1/problemas-en-columnas-de-destilacion-compress/11612725>
- Prominent. (n.d.). *Prominent*. Soluciones industriales. <https://www.prominent-argentina.com/es/Productos/Productos/Bombas-de-dosificacion/Bombas-de-dosificacion-de-membrana-de-motor/p-sigma-3-basis-type-motor-driven.html>
- Sanz, V. F. (2017, March 5). *Diseño de un fermentador para la obtención de biomoléculas*. Plantilla PFC. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/112113/Diseno\\_de\\_un\\_fermentador\\_para\\_la\\_obtencion\\_de\\_biomoleculas\\_Fran\\_Sanz.pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/112113/Diseno_de_un_fermentador_para_la_obtencion_de_biomoleculas_Fran_Sanz.pdf?sequence=1)
- SEITA. (n.d.). *Válvulas de Control - Automatización y Control de Fluidos*. SEITA. <https://www.seita.com.co/valvulas-de-control-y-actuadores/valvulas-de-control/>

- 7.1. *Clasificación por Tamaños. Introducción.* (n.d.). OCW UPCT. [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5553/mod\\_resource/content/1/Tema\\_7\\_-\\_Clasificacion\\_Hidraulica.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5553/mod_resource/content/1/Tema_7_-_Clasificacion_Hidraulica.pdf)
- Silos Córdoba. (n.d.). *Almacenamiento del arroz para proteger su calidad.* Silos Cordoba. <https://siloscordoba.com/wp-content/uploads/2021/02/Almacenaje-de-arroz-en-un-silo-metalico-1.pdf>
- Swagelok. (n.d.). *Cálculo del CV.* Swagelok. <https://www.swagelok.com/es/toolbox/cv-calculator#>
- Synertech. (n.d.). *PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES / SYNERTECH.* Syner Tech SAS. <https://www.synertech.com.co/aguas-residuales/plantas-para-tratamiento-de-aguas-residuales-industriales>
- TLV Compañía especialista en vapor. (n.d.). *Calculadora: Caída de Presión en la Tubería para Agua.* TLV. <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/water-pressure-loss-through-piping.html>
- Treybal, R. E. (1980). *Operaciones de transferencia de masa* (A. García Rodríguez, Trans.). McGraw-Hill.
- Universidad Autónoma de Colombia. (n.d.). *Sistema de control para procesos.* Sistema de control para procesos de fermentación de caña de azúcar en la producción de alcohol carburante | Hurtado C. | Revista Clepsidra. <http://revistas.fuac.edu.co/index.php/clepsidra/article/view/276/259>
- Universidad Politécnica de Cartagena. (n.d.). *Tecnología Metalúrgica.* <https://docplayer.es/189962407-Tecnologia-mineralurgica-tema-7-clasificacion-indirecta.html>
- Uribe, V. C. (2013, Octubre). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS - PDF Descargar libre.* DocPlayer. <https://docplayer.es/68794279-Diseno-y-calculo-de-un-agitador-de-fluidos.html>
- Vapor para la industria. (2020, February 19). *Medidores de caudal de placa orificio y sus aplicaciones habituales.* Vapor para la Industria. <https://vaporparalaindustria.com/medidores-de-caudal-de-placa-orificio-y-sus-aplicaciones/>
- Vaxa Software. (n.d.). *PROPIEDADES DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.* VaxaSoftware. [http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/qui/viscoh2o.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/viscoh2o.pdf)
- Vázquez, J. C. (2018). *constantes-de-antonio.* Fez Zaragoza. <https://ceta.zaragoza.unam.mx/wp-content/recursos/calculadoras/constantes-de-antonio/constantes-de-antonio.htm>

- *View of Evaluación de propiedades termodinámicas de mezclas etanol-agua (I)*. (n.d.). Revistas UdeA. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/14802/12956>
- Wansheng. (n.d.). *Wancheng*. <https://www.enameltanks.com/product-gfs-bolted-tank.html>
- Xinhai. (n.d.). *Xinhai*. Mineral processing EPC. <http://www.epcservicio.com/product/classifying>
- Yokowaga. (n.d.). *EJA110E*. Yokogawa. [https://www.yokogawa.com/mx/solutions/products-platforms/field-instruments/pressure-transmitters/differential-pressure/eja110e/#Details\\_\\_Operaciones](https://www.yokogawa.com/mx/solutions/products-platforms/field-instruments/pressure-transmitters/differential-pressure/eja110e/#Details__Operaciones)
- Zorrilla, E., Alva, M., Ramírez, O., Ortega, R., & Rojas, M. (2015, July 22). *POTENCIA DE AGITADORES*. EDOC. [https://edoc.tips/download/potencia-de-agitadores-1\\_pdf](https://edoc.tips/download/potencia-de-agitadores-1_pdf)
- Circulares LEA. (n.d.). *SILOS Y ACOPIO DE GRANOS ANÁLISIS DE LOS RIESGOS*. lea-global. [https://www.lea-global.com/uploads/circulares/2021/07/09-21-riesgos-en-plantas-de-silos\\_.pdf](https://www.lea-global.com/uploads/circulares/2021/07/09-21-riesgos-en-plantas-de-silos_.pdf)



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo VIII: Servicios Auxiliares**

## Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>276</b>
<b>2. Nitrógeno.....</b>	<b>276</b>
<b>3. Aire Comprimido.....</b>	<b>278</b>
<b>4. Agua para calentamiento de reactores.....</b>	<b>280</b>
<b>5. Agua blanda.....</b>	<b>281</b>
<b>6. Gas natural.....</b>	<b>283</b>
<b>7. Electricidad y grupo electrógeno.....</b>	<b>284</b>
<b>8. Equipo de bombeo y válvulas.....</b>	<b>285</b>
<b>9. Aislamiento térmico de tuberías y accesorios.....</b>	<b>286</b>
<b>10. Vapor.....</b>	<b>288</b>
<b>11. Bibliografía.....</b>	<b>290</b>

## Índice de Figuras

Figura N°1: Esquema de instalación de sistema de nitrógeno.....	276
Figura N°2: Tanque de almacenamiento de Nitrógeno líquido.....	277
Figura N°3: Válvula de seguridad de tanque almacenamiento.....	277
Figura N°4: Compresor Denair modelo DAC200.....	279
Figura N°5: Diagrama del tanque pulmón.....	280
Figura N°6: Calentador de haz tubular marca TREC.....	281
Figura N°7: Ablandador de agua Marca Filtomat Water Systems.....	283
Figura N°8: Grupo electrógeno modelo FE C1000AS marca FENK.....	284
Figura N°9: Curva de calentamiento del agua.....	287
Figura N°10: Caldera de vapor universal CSB marca Bosch.....	289

## Índice de Tablas

Tabla N°1: Especificaciones técnicas del evaporador LN120-A.....	278
Tabla N°2: Consumo de aire comprimido.....	278
Tabla N°3: Especificaciones técnicas del compresor.....	279
Tabla N°4: Especificaciones técnicas del tanque pulmón seleccionado.....	279
Tabla N°5: Cantidad de agua de calefacción para reactores del proceso.....	280
Tabla N°6: Dimensiones y peso del grupo electrógeno.....	285
Tabla N°7: Propiedades de la lana de vidrio.....	288

## 1. Objetivo

En este capítulo desarrollaremos la descripción y selección de los equipos que formarán parte de los “Servicios auxiliares”. Esto comprenderá las especificaciones técnicas de los equipos a utilizar y los fluidos que nos serán de ayuda para la producción de bioetanol.

## 2. Nitrógeno

Debido a la volatilidad e inflamabilidad del producto de nuestro proceso, se debe aplicar la inertización a la atmósfera de los recipientes que lo contendrán, por lo que haremos uso de nitrógeno para los tanques de almacenamiento del bioetanol producido.

A continuación se presenta una imagen donde puede verse la instalación de Nitrógeno y su conexión con los tanques de almacenamiento.



Figura N°1: Esquema de instalación de sistema de nitrógeno

Consiste en una reserva, que en nuestro caso será en tanques, y luego un evaporador de nitrógeno. Pasará a través de un sistema de control mediante válvula de seguridad que abrirá y cerrará el paso según se modifique el nivel de líquido dentro del tanque.

En el capítulo correspondiente al diseño de equipos, se detalló que tendremos 4 tanques de  $600\text{ m}^3$  cada uno de bioetanol; se estima la venta total y, por ende, el vaciado de los tanques en un caudal de  $140\text{ m}^3/\text{dia}$ .

Se asume para este dimensionamiento, que almacenaremos nitrógeno por 1 día. Calculamos entonces un tanque de  $140\text{ m}^3$ , que cubrirá nuestra demanda de atmósfera inerte.

Se muestra debajo una imagen del tanque de almacenamiento seleccionado, el cual cuenta con un sistema de seguridad muy importante ya que las presiones alcanzadas dentro del mismo pueden llegar a ocasionar graves incidentes; se instala una válvula de seguridad de gran tamaño, la cual junto al sistema de seguridad completo pueden bajar las presiones de 3 - 5 bar a 0,2 bar.



Figura N°2: Tanque de almacenamiento de Nitrógeno Líquido



Figura N°3: Válvula de seguridad de tanque almacenamiento

Como se mencionó en el párrafo anterior, almacenaremos nitrógeno para la demanda de un día, dándonos un caudal de  $5,8 \text{ m}^3/h$ , que equivalen a aproximadamente  $5,15 \text{ Nm}^3/h$  para la selección del evaporador.

El evaporador seleccionado es un evaporador industrial de la marca ChenRui. Elegimos una unidad del modelo LN120-A, el cuál satisface las necesidades de la planta.

Evaporador de Nitrógeno	
Caudal Nitrógeno [ $\text{m}^3/h$ ]	5.8
Material	CECA
Dimensión (LxWxH) [mm]	1600x1250x1900
Cantidad	1
Modelo	LN120-A
Marca	ChenRui

Tabla N°1: Especificaciones técnicas del evaporador LN120-A

### 3. Aire Comprimido

El aire comprimido en la planta será utilizado para el sector de mantenimiento y en las válvulas de seguridad y de control que estarán conectadas a cada uno de los equipos.

La instalación del aire comprimido sigue la siguiente secuencia: generación, acumulación, distribución por red y alimentación a los equipos.

Para poder dimensionar correctamente el compresor, se estima la utilización de dos válvulas de seguridad y una válvula de control para cada equipo del proceso. A partir de los consumos bases de cada tipo de válvula y un factor de simultaneidad podemos calcular el consumo de aire comprimido que tendremos.

Tipo de Válvula	Cantidad	Consumo Base [ $\text{Nm}^3/h$ ]	Simultaneidad	Consumo base total [ $\text{Nm}^3/h$ ]
Control	95	1	0,8	76
Seguridad	190	0,2	0,2	7,6
Consumo total [ $\text{Nm}^3/h$ ]				83,6
Consumo (sobredimensión 30%) [ $\text{Nm}^3/h$ ]				108,68

Tabla N°2: Consumo de aire comprimido

Teniendo en cuenta la sobredimensión del 30%, debemos seleccionar un equipo de 1100 kW.

Seleccionamos el compresor de aire centrífugo marca Denair Modelo DAC200 que cubre la capacidad necesaria.

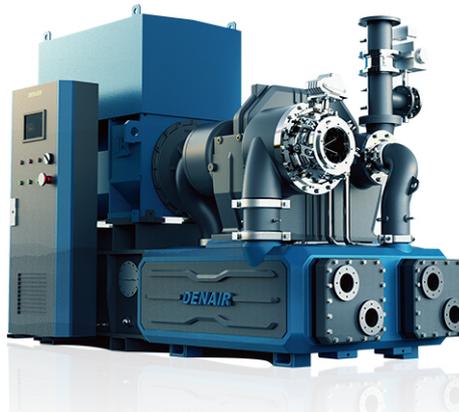


Figura N°4: Compresor Denair modelo DAC200

Modelo	Presión de trabajo máx barg	Potencia del motor instalada		Dimensión(mm)			Peso Kg
		kW	Hp	L	W	H	
DAC50	0.6-8	132-263	175-350	2650	1650	1850	3860
DAC80	0.6-10	225-450	300-600	3350	1860	2150	6500
DAC120	0.6-13	400-630	535-850	3850	2100	2250	8250
DAC200	0.6-13	618-1120	830-1120	4250	2150	2350	11500
DAC250	0.6-20	925-1375	1250-1850	4500	2250	2380	16000
DAC300	0.6-25	1225-1600	1650-2200	4650	2250	2450	17500
DAC350	0.6-25	1500-1850	2000-2500	4850	2250	2500	18500
DAC450	0.6-25	1800-2350	2400-3150	5250	2300	2950	21500

Tabla N°3: Especificaciones técnicas del compresor

El aire comprimido debe almacenarse en un tanque pulmón para poder ir dosificando su uso, y a este debe adherirse un filtro para evitar contaminación.

Para poder seleccionar el tanque pulmón, utilizamos la tabla proporcionada por la marca Denair.

Utilizando la ecuación mencionada debajo, se obtiene el volúmen necesario del tanque pulmón:

$$V = \sqrt{\frac{\text{Capacidad compresor}}{1 \text{ bar}}} = 5,92 \text{ m}^3$$

El tanque seleccionado es el de capacidad de  $6 \text{ m}^3$  y sus especificaciones son las siguientes:

No.	Specification	Designed temperature	Height	Diameter
	Capacity /Pressure			
35	6.0/2.5	110	4418	1400
36	6.0/3.0		4422	

Tabla N°4: Especificaciones técnicas del tanque pulmón seleccionado

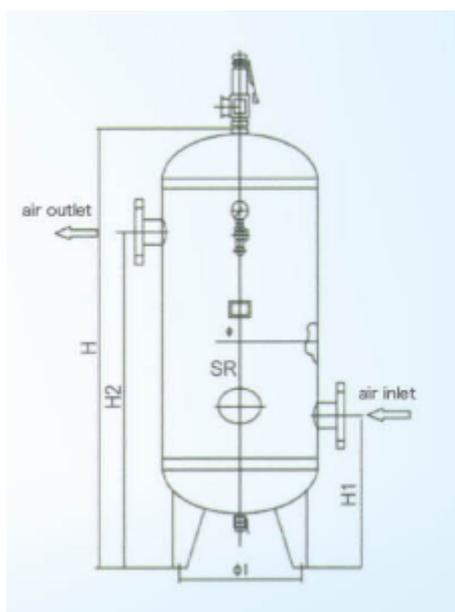


Figura N°5: Diagrama del tanque pulmón

#### 4. Agua para calentamiento de reactores

A lo largo del proceso, se tendrán varias operaciones que requieren del uso de agua para el calentamiento de los reactores. Se seleccionó agua ya que las temperaturas necesarias no son extremas y es el fluido térmico más económico y fácil de conseguir.

Aquí debajo se detalla la cantidad de agua y la temperatura necesarias para cada operación.

Operación	Agua calefacción [Kg/h]	Temperatura [°C]
Pretratamiento	52.058	160
Hidrólisis	287.434	50
Fermentación	10.601	37

Tabla N°5: Cantidad de agua de calefacción para reactores del proceso

Esta agua circulará en todos los casos por dentro de una camisa de media caña.

Para ello se hará uso de un calentador de haz tubular formado por varios elementos calefactores eléctricos de varios diámetros, que cuenta con una cubierta de acero inoxidable AISI 316L, capaz de alcanzar temperaturas de 200°C, marca TREC que viene con un sensor para detectar la temperatura del núcleo y reducir el riesgo de sobrecalentamiento para prolongar su vida útil.

A continuación se presenta una imagen del calentador seleccionado:

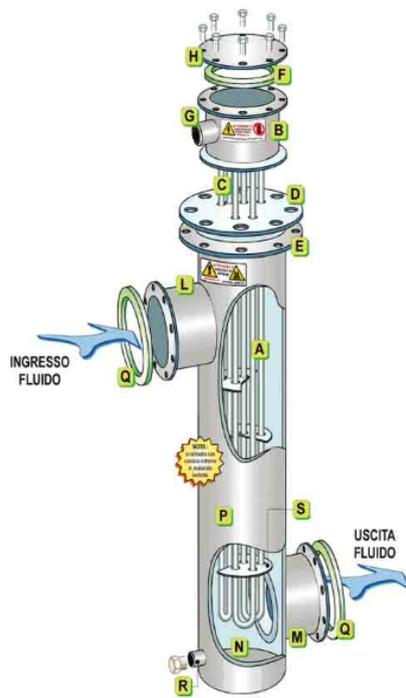


Figura N°6: Calentador de haz tubular marca TREC

Al equipo seleccionado se le debe añadir una bomba de recirculación que será la encargada de hacer llegar el agua a la camisa para poder realizar el calentamiento.

Para cada una de las corrientes se incorporará un calentador, haciendo entre ellos una distinción entre los caudales y las temperaturas necesarias.

## 5. Agua blanda

En distintas operaciones del proceso haremos uso de agua a altas temperaturas por lo cuál deberemos asegurarnos de que la misma no cuente con durezas, para así evitar problemas de incrustaciones y corrosión en los diferentes equipos.

Vamos a centrarnos en el agua que circulará dentro de los intercambiadores de calor, condensadores, y por dentro de las camisas de media caña. El agua involucrada en estas operaciones tiene un caudal total de  $35 \text{ m}^3/\text{h}$ .

La dureza del agua se debe a la cantidad de iones de compuestos naturales de calcio y magnesio que se encuentran presentes en la misma, y este contenido depende de la procedencia del agua, que en nuestro caso provendrá de pozo en mayor medida.

La dureza se puede expresar en diferentes unidades, una de las más comunes es en concentración de carbonato cálcico ( $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$ ). Para su clasificación se utiliza la escala de Merk, que se detalla aquí debajo:

- De 0 a 79 mg CaCO<sub>3</sub>/l, se considera Agua muy blanda
- De 80 a 149 mg CaCO<sub>3</sub>/l, se considera Agua blanda
- De 150 a 329 mg CaCO<sub>3</sub>/l, se considera Agua semi dura
- De 330 a 549 mg CaCO<sub>3</sub>/l, se considera Agua dura
- Más de 550 mg CaCO<sub>3</sub>/l, se considera Agua muy dura

En el caso del presente proyecto, se requiere de la dureza más baja posible y para ello se va a utilizar un sistema de intercambio iónico con resinas catiónicas, que cuente con inhibidores químicos que eviten el crecimiento de bacterias y algas.

Los intercambiadores de iones son unas sustancias insolubles con forma de gránulos pequeños denominadas resinas, las cuales son capaces de absorber iones de una solución cambiándola por una cantidad equivalente de otro ion, produciendo una nula modificación a nivel aspecto y de solubilidad. Este intercambio puede realizarse únicamente entre iones de igual carga eléctrica (cationes por cationes y aniones por aniones). La capacidad de intercambio de las resinas será distinta para cada tipo.

Una vez alcanzada la capacidad de intercambio, se dice que la resina está agotada. En ese momento se debe proceder a su regeneración. La regeneración de la resina es un conjunto de operaciones que permitirá el desplazamiento de los iones retenidos hasta llevarla nuevamente al estado de carga inicial.

La primera operación del proceso es el contra lavado: en esta operación se hace pasar el agua en sentido ascendente, lo que provoca que el lecho se descompacte y así elimine algunas partículas que hayan podido quedar ocluidas en el mismo.

Luego de esto, en el sentido de lavado, se introduce una solución regenerante que será de:

- HCl o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para el intercambio catiónico.
- NaOH (soda cáustica) para el intercambio aniónico.

Ahora sí, se realiza el lavado del lecho compuesto por dos etapas: un lavado lento, para que la solución regenerante pueda llegar a todo el lecho, y un lavado rápido para eliminar cualquier resto de solución regenerante y dejar la resina en el estado necesario para recomenzar.

El proceso que ocurre durante la regeneración es el inverso al del agotamiento.

- Para resinas catiónicas: Na-R + HCl → H-R + NaCl
- Para resinas aniónicas: Cl-R + NaOH → R-OH + NaCl

Para el proceso de regeneración de la resina, se utilizará una solución en salmuera (Huesa-Water Technology, n.d.):

- $\text{Ca-R} + 2\text{NaCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{R}$

En cuanto al control de cada una de las etapas del intercambio, se decide utilizar un equipo automático. Se proveen de manera dual, por lo que mientras una de las columnas de intercambio se encuentra trabajando, la otra se encuentra regenerándose de manera totalmente automática, al igual que sus respectivas calibraciones.

Además, se selecciona la resina AMBERLITE IR 120 Na, que es una resina de intercambio catiónico, ideal para reducir la incrustación de minerales y la obstrucción de superficies.

Se selecciona un equipo dual de  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  de capacidad cada uno, de la marca Filtomat Water Systems, ya que como se menciona en un principio se debe cubrir un caudal de  $35 \text{ m}^3/\text{h}$ .



Figura N°7: Ablandador de agua Marca Filtomat Water Systems

## 6. Gas natural

El gas natural en la planta será solamente necesario para consumos en los laboratorios y en la zona de comedor, ya que decidimos que para el calentamiento del agua usaremos

calentadores eléctricos. De todas formas se cuenta con buenas instalaciones a modo de respaldo por posibles fallas del sistema eléctrico y no tener que realizar parada de planta.

El servicio de gas natural será provisto por el parque.

## **7. Electricidad y grupo electrógeno**

Al igual que el gas natural, nos hemos asegurado de que el parque industrial en el que se ubicará la planta cuente con los servicios básicos, por lo que la electricidad será provista por el parque.

Se seleccionará un grupo electrógeno para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de control, de seguridad e iluminación ante una falla en el suministro eléctrico; al tener todos los equipos sistemas de control accionados mediante válvulas neumáticas, se evaluará la potencia del compresor que produce el aire comprimido requerido para su accionamiento.

Se utiliza entonces la potencia requerida del compresor y la potencia requerida por la iluminación para la selección del grupo electrógeno.

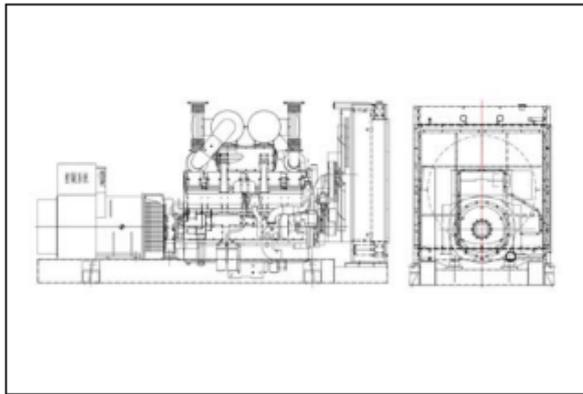
Sabiendo que el compresor seleccionado consume 1100 kW, y teniendo en cuenta que la potencia debe afectarse por un factor, siendo este el coseno de  $\varphi$  de 0,8, obtenemos los kVA, a los cuales les sumaremos un 20% por cuestiones de seguridad y por los elementos que consumen energía eléctrica y no hemos considerado.

Finalmente se obtiene una potencia requerida de 1000 kVA.

Se selecciona para cumplir con estos requerimientos el grupo electrógeno modelo FE C1000AS marca FENK cuya imagen y dimensiones se encuentran adjuntadas debajo.



Figura N°8: Grupo electrógeno modelo FE C1000AS marca FENK



#### Standard Configuration (Open Type)

Overall Size: 4350 (mm) \*2060 (mm) \*2430 (mm)

Weight: 7150kg

#### With Base Fuel Tank

Overall Size: 4350 (mm) \*2060 (mm) \*2450 (mm)

Weight: 7200kg

Tabla N°6: Dimensiones y peso del grupo electrógeno

## 8. Equipo de bombeo y válvulas

La totalidad de las bombas que son necesarias para poder llevar a cabo las diferentes operaciones del proceso se encuentran detalladas en el capítulo de “Diseño de equipos”, estas mismas se encuentran colocadas por duplicado y en paralelo entre pares, para así poder evitar los cortes en caso de avería de una de las dos.

Cada lado de la conexión tendrá un filtro en la boca de succión, válvulas anti retorno que protegen el equipo por sobrepresiones en el impulso y válvulas de corte para el aislamiento. Además de lo mencionado, se equipa a aquellas bombas que no tengan un control sobre el nivel de succión con enclavamientos de seguridad, los que permitirán su funcionamiento en el único caso de que el nivel de fluido sea el adecuado.

A continuación se mencionan las válvulas utilizadas en el proceso:

- Válvulas de retención: Serán útiles para tener siempre el flujo en una única dirección.
- Válvulas esféricas: Este tipo de válvulas se utilizan para descargar líquidos que tengan sólidos en suspensión y para fluidos con alta viscosidad, en el caso de nuestro proyecto se utilizarán a la salida del reactor de pretratamiento con la cascarilla pretratada, la glucosa de salida del reactor de hidrólisis y que entra al reactor fermentativo; además en las líneas por donde estos fluidos circulen hacia intercambiadores y centrífugas.
- Válvulas de alivio: Se las emplea como válvulas de seguridad en los equipos sometidos a presión interna, como todos los reactores, condensadores, evaporadores, intercambiadores de calor y torres de destilación.
- Válvulas de asiento: Se utilizan para las conexiones entre elementos de medición y equipos y válvulas de control. Generalmente son el elemento final de los lazos de control por ser automáticas.
- Válvulas globo: Se utilizan como válvulas de control en las líneas de ácido acético, ácido clorhídrico y agua. También se utilizan en las salidas de líquido de las centrífugas.

- Válvulas de membrana: Se utilizarán para control de caudal de sólidos, en el caso de la cáscara de arroz y glucosa.

En cuanto a la instalación de las válvulas de control, deben ir en conjunto de dos válvulas del tipo compuerta para así poder aislarlas del resto de la instalación en caso de necesidad. Otro aspecto a mencionar es que deben instalarse en paralelo con una válvula globo manual, lo que permite desviar el flujo en cuanto no se lo utilice.

Además, funcionan como drenaje para evacuar el fluido en caso de vaciado y limpieza.

## **9. Aislamiento térmico de tuberías y accesorios**

El aislamiento térmico de tuberías se reduce a la necesidad de ahorrar energía en el transporte de fluidos fríos o calientes y optimizar los procesos, lo que nos obliga a utilizar distintos recursos para asegurarlo, además de la protección del personal de superficies calientes.

Los materiales a utilizar deben cumplir con ciertas características para poder ser considerados buenos aislantes:

1. Buena resistencia mecánica.
2. Resistencia a la temperatura.
3. Resistencia contra la absorción de humedad.
4. No deben atacar químicamente al elemento a aislar.
5. No debe descomponerse fácilmente.

Además, existen diversos criterios técnico/económicos de la aislación como por ejemplo:

- Cañerías de vapor saturado: Por estas cañerías va a transitar un fluido que se encuentra en un estado de saturación, presentando un calor latente, lo que hará que la temperatura no se reduzca inmediatamente al perderse calor. Por lo tanto, no será necesario ser tan riguroso a la hora de seleccionar un material aislante, podemos elegir buena calidad como único criterio. De manera general, se aconseja seleccionar espesores que verifiquen un rendimiento de la aislación de un 85% como mínimo.
- Cañerías con agua caliente: Este es un caso similar al de vapor sobrecalentado, ya que el fluido presenta calor sensible al no estar en su punto de saturación, reflejándose la pérdida de calor en un descenso de la temperatura del líquido.

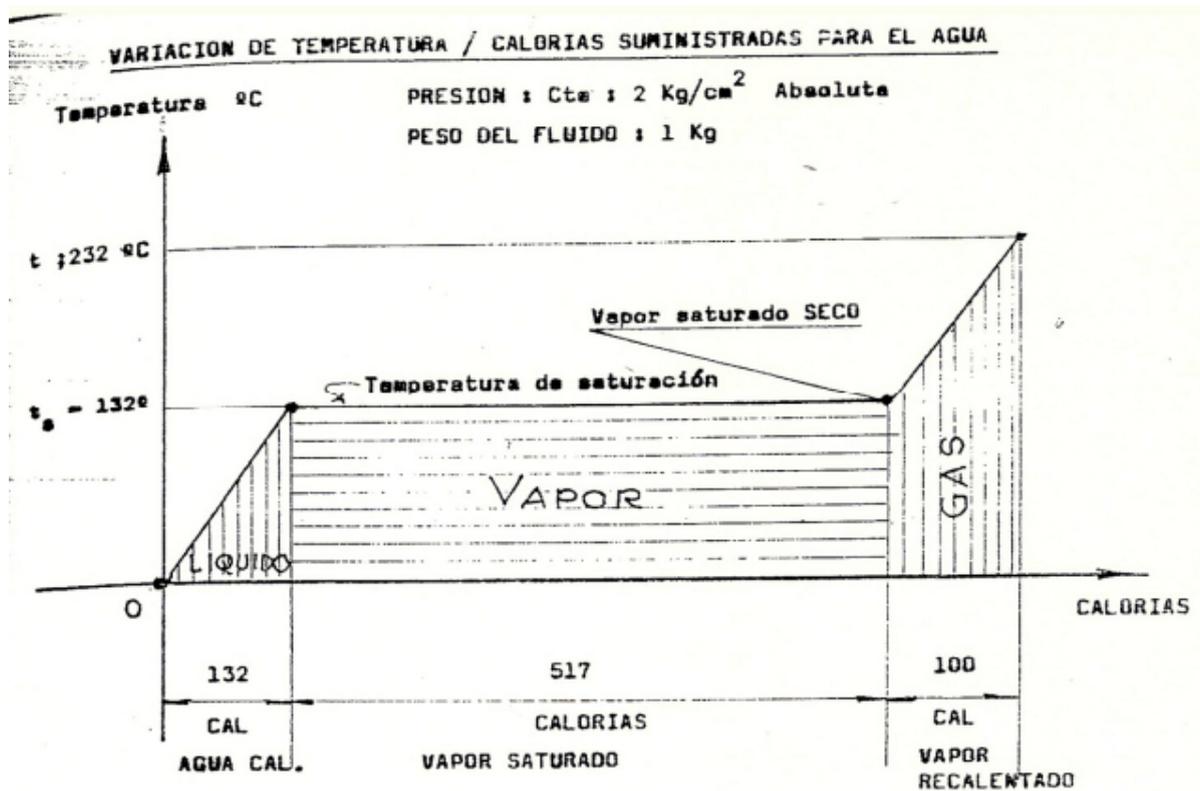


Figura N°9: Curva de calentamiento del agua

Cuando hablamos de las válvulas y bridas, debemos prestar especial atención a ellas por más pequeñas que sean, ya que de por sí, si uno de estos elementos no se encuentra aislado, representa, en el caso de la brida, 30-50 cm del caño no aislado y, en el caso de las válvulas, a 1.5-2 cm de caño no aislado. Si aislamos de manera satisfactoria podemos recuperar un 90% de las pérdidas.

Hay tres motivos principales por los cuales debemos aislarlos, y son el económico, el técnico y el de seguridad.

- Motivos económicos: El costo del combustible, por lo que debe aprovecharse al 100%; costo financiero y operativo de la aislación, debemos hacer una comparación entre lo que perdemos al no aislar y lo que cuesta la aislación.
- Motivos técnicos: Tendremos un control térmico del proceso más acertado; en instalaciones por donde circulan fluidos de bajas temperaturas evitamos la condensación de la humedad del aire y una posible corrosión y derrames que puedan ocasionar caídas; y en algunos casos la aislación también cumple una función de protección contra el fuego.
- Motivos de seguridad: Para así evitar las quemaduras en los operarios al cruzar por entre las cañerías, además de los motivos mencionados en los ítems anteriores.

Poder diseñar una adecuada aislación es muy importante para poder garantizar un óptimo funcionamiento, la seguridad y el bajo impacto medioambiental de la planta industrial.

Algunos de los criterios más importantes a la hora de seleccionar el sistema de aislación son:

- Exigencias funcionales: Dimensiones de los elementos a aislar, temperaturas de trabajo, condiciones ambientales.
- Seguridad: Tanto de las personas como contra el fuego y las explosiones.
- Optimización de costos: Espesor óptimo de aislamiento.

El mencionado espesor óptimo depende del radio crítico, que es el radio de un aislante suponiendo una máxima transferencia de calor, por lo que debemos asegurarnos de que el radio externo del aislante a colocar sea mayor al radio crítico, en caso contrario el material aislante no estará cumpliendo su propósito.

Para nuestra planta, el material seleccionado es el llamado lana mineral, el cual presenta una muy baja conductividad térmica. Por lo que es una propuesta muy eficaz para el aislamiento de tuberías y accesorios, además de que funciona como aislante acústico y como protector contra el fuego.

Esta lana mineral está constituida por un tejido en diversas direcciones de distintos filamentos provenientes de varios materiales inorgánicos que lo único que contiene en su interior es aire inmóvil, la más comúnmente conocida es la lana de vidrio.

Propiedades	En equipos		En tuberías
	Placa semirrígida	Colcha	Preformado
Límites máximos de temperatura (°C)	454	538	454
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )*	32, 64 y 96	48 y 96	80

Tabla N°7: Propiedades de la lana de vidrio

## 10. Vapor

En la torre de fraccionamiento tendremos un caudal de vapor reingresante a la misma, generado a partir del calor que será brindado por el rehervidor o calderín.

Este caudal es sumamente importante en la torre ya que será el encargado - al igual que el reflujo - de aumentar el contacto entre las fases para obtener una buena separación.

El caudal de vapor de agua utilizado será de 2657 *kg/h*, por lo que optamos por utilizar la Caldera de vapor universal CSB marca Bosch que cuenta con una capacidad de 3000 *kg/h*.



Figura N°10: Caldera de vapor universal CSB marca Bosch

Algunas características de la caldera seleccionada son:

- Permite integrar un economizador para los gases de combustión, logrando una eficiencia de hasta 95,3%.
- Fácil mantenimiento e inspección gracias a su cámara trasera telescópica.
- Versátil para operación con distintos tipos de combustibles y en cumplimiento con bajos niveles de emisión.
- La caldera cuenta con un control básico integrado CSC pero alternativamente es posible incorporar un control avanzado BCO con un gran número de funciones adicionales.

## 11. Bibliografía

- Aigües de Mataró. (n.d.). *Dureza del agua | Aigües de Mataró*. Aigües de Mataró. Retrieved August 24, 2022, from <https://www.aiguesmataro.com/es/dureza-del-agua>
- Barrera, C. (n.d.). *Aislación térmica*. AISLACIÓN EN CAÑERÍAS. Retrieved August 29, 2022, from <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/INSTALACIONES%20TERMICAS%20MECANICAS%20Y%20FRIGORIFICAS/material/apuntes/AISLACION%20TERMICA.pdf>
- Canales sectoriales. (2021, July 15). *Tratamiento de agua para calderas - Agua. Interempresas*. <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/356671-Tratamiento-de-agua-para-calderas.html>
- Denair. (n.d.). *Tanque de almacenamiento de aire comprimido*. DENAIR Compressor. Retrieved September 18, 2022, from [https://es.denair.net/compressed\\_air\\_storage\\_tank/compressed\\_air\\_storage\\_tank.html](https://es.denair.net/compressed_air_storage_tank/compressed_air_storage_tank.html)
- Huesa- Water Technology. (n.d.). *Intercambio iónico - J. Huesa Water Technology - Tratamiento de aguas*. J Huesa. Retrieved August 24, 2022, from <https://jhuesa.com/tecnologias/intercambio-ionico>
- KUNDE. (n.d.). *Como calcular la capacidad que debe tener un generador*. Kunde. Retrieved August 24, 2022, from <https://www.kunde.cl/como-calcular-capacidad-generador>
- Linde. (n.d.). *Inertización con Nitrógeno | Linde Gases Industriales España*. Linde Gas España. Retrieved August 18, 2022, from [https://www.linde-gas.es/es/processes/inerting\\_purging\\_and\\_blanketing/blanketing/index.html](https://www.linde-gas.es/es/processes/inerting_purging_and_blanketing/blanketing/index.html)
- Prillwitz. (n.d.). *Transporte neumático*. Transporte neumático de sólidos. Retrieved Septiembre 06, 2022, from [https://www.prillwitzgroup.com/es/transporte-neumatico/?gclid=Cj0KQCjw39uYBhCLARIsAD\\_SzMQZi8KQjmZl0W0AywfMqZdQmS1RU4H1w3aINjPHwrebi5n\\_mMHEQ4EaAq4eEALw\\_wcB](https://www.prillwitzgroup.com/es/transporte-neumatico/?gclid=Cj0KQCjw39uYBhCLARIsAD_SzMQZi8KQjmZl0W0AywfMqZdQmS1RU4H1w3aINjPHwrebi5n_mMHEQ4EaAq4eEALw_wcB)
- Rivas, P. (n.d.). *Aislamiento Térmico Tuberías | ¿Cuál elegir? | Ahorros*. Instalaciones y Eficiencia Energética.com. Retrieved August 29, 2022, from <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/aislamiento-termico-para-tuberias/>

- TRE C Everwatt. (n.d.). *Intercambiadores de calor electricos*. Resistencias eléctricas. Retrieved September 16, 2022, from <https://www.resistencias-electricas.com/productos/fluidos/calentamiento-de-liquidos-de-circulacion-forzada/intercambiadores-de-calor-electricos>



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo IX: Layout**

## Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>295</b>
<b>2. Terreno.....</b>	<b>295</b>
<b>3. Layout.....</b>	<b>296</b>
<b>4. Zonas de la planta.....</b>	<b>296</b>
4.1. Zona A: Oficinas y sector de personal.....	297
4.2. Zona B: Obtención de celulosa.....	298
4.3. Zona C: Hidrólisis, Fermentación y acondicionamiento de Bioetanol.....	298
4.4. Zona D: Almacenamiento 1.....	298
4.5. Zona E: Almacenamiento 2.....	299
4.6. Zona F: Almacenamiento de Bioetanol.....	299
4.7. Zona G: Tratamiento de efluentes.....	299
4.8. Zona H: Sala de Bombas.....	299
4.9. Zona I: Mantenimiento.....	300
4.10. Zona J: Sala de Control.....	300
4.11. Zona K: Balanzas y calle interna.....	300
<b>5. Dimensiones de zonas y equipos.....</b>	<b>300</b>
5.1. Zona A.....	301
5.2. Zona B.....	301
5.3. Zona C.....	302
5.4. Zona D.....	302
5.5. Zona E.....	303
5.6. Zona F.....	303
5.7. Zona G.....	304
5.8. Zona H, I y J.....	304
5.9. Zona K.....	305
<b>6. Puestos de trabajo.....</b>	<b>305</b>
6.1. Gerencia general.....	305
6.1.1. Gerencia de administración.....	305
6.1.1.1. Jefe de recursos humanos.....	306
6.1.2. Gerencia de producción.....	306
6.1.2.1. Jefe de mantenimiento.....	306
6.1.2.2. Jefe de logística.....	306
6.1.2.3. Jefe de producción.....	307
6.1.3. Gerencia de Contabilidad y Finanzas.....	307
6.1.4. Gerencia de Gestión de Calidad.....	307
6.1.4.1. Jefe y analista de seguridad e higiene.....	308
6.1.4.2. Jefe de calidad y analistas.....	308
6.1.5. Gerente comercial.....	308

<b>7. Organigrama.....</b>	<b>308</b>
7.1. Descripción del organigrama.....	310
7.1.1. Tabla de operarios y operaciones.....	311

### **Índice de Figuras**

Figura N°1: Lote elegido en Parque Industrial Mercedes.....	295
Figura N°2: Layout general de la planta de Bioetanol.....	296
Figura N°3: Layout general con circulación de vehículos y peatones.....	296
Figura N°4: Zonas de la Planta.....	297
Figura N°5: Sectores “Zona A”.....	297
Figura N°6: Dimensiones generales de la planta.....	300
Figura N°7: Dimensiones Zona A.....	301
Figura N°8: Dimensiones Zona B.....	301
Figura N°9: Dimensiones Zona C.....	302
Figura N°10: Dimensiones Zona D.....	302
Figura N°11: Dimensiones Zona E.....	303
Figura N°12: Dimensiones Zona F.....	303
Figura N°13: Dimensiones Zona G.....	304
Figura N°14: Dimensiones Zonas H, I y J.....	304
Figura N°15: Dimensiones Zonas K.....	305
Figura N°16: Organigrama de la empresa.....	309

### **Índice de Tablas**

Tabla N°1: Detalle de puestos y colaboradores.....	310
Tabla N°2: Operarios requeridos por operación.....	311
Tabla N°3: Diagrama de operaciones.....	315

## 1. Objetivo

En este capítulo se presentará el layout de nuestra planta ubicada en un lote del “Parque industrial de Mercedes”, se mostrará en detalle la distribución de las áreas y los equipos. Por último, se definirá el organigrama de la empresa y la cantidad de empleados en cada una de dichas áreas.

## 2. Terreno

En el Capítulo III - Ubicación de planta, se definió la instalación de la planta de producción de bioetanol en el Parque industrial de Mercedes en la localidad de Mercedes, provincia de Corrientes. Dentro del parque, seleccionamos el Lote N°16, el cual tiene una dimensión de 125 m por 280 m, con una superficie total de 3,5ha.

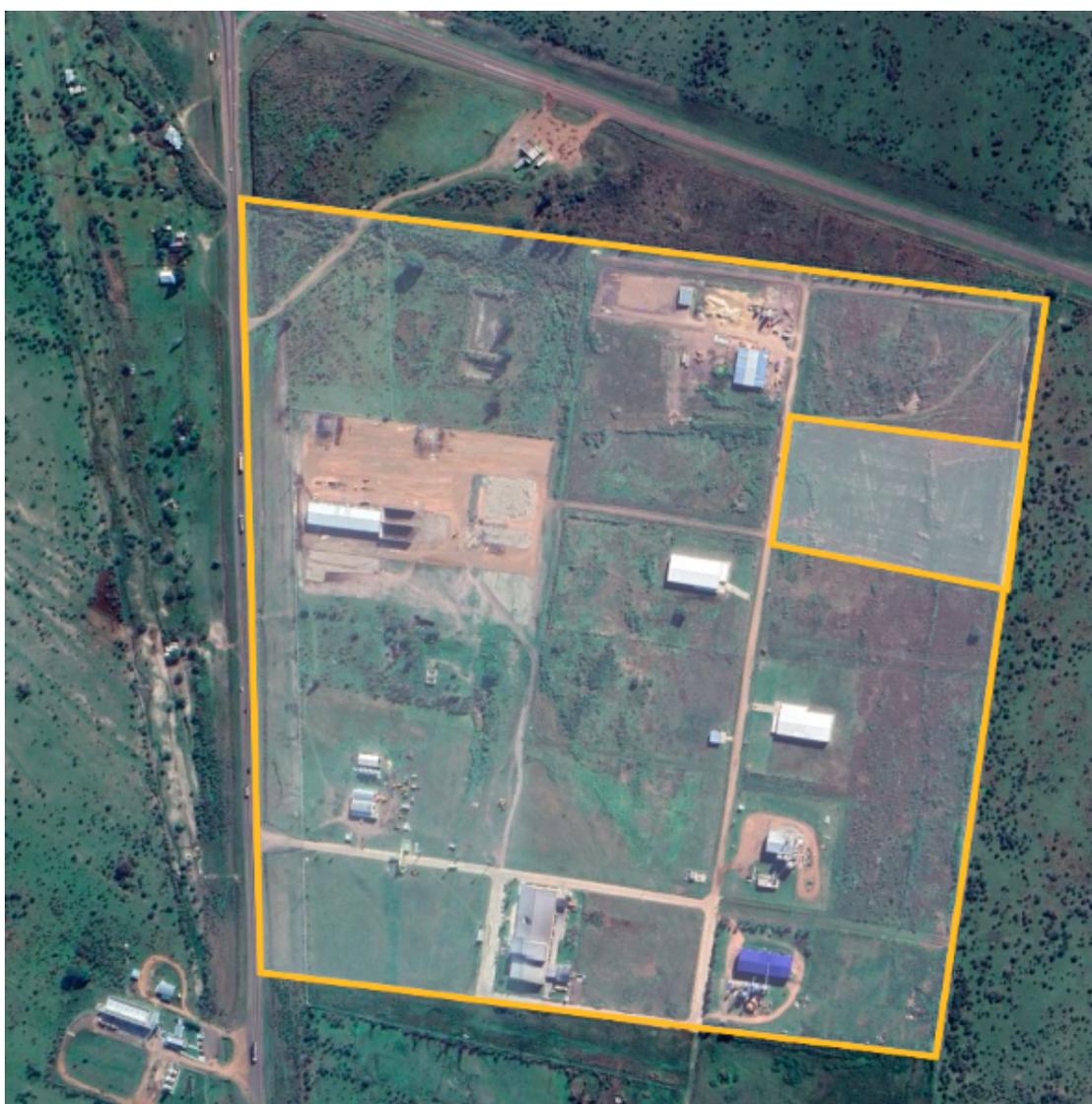


Figura N°1: Lote elegido en Parque Industrial Mercedes

### 3. Layout

A continuación, se presenta el layout general de la planta:

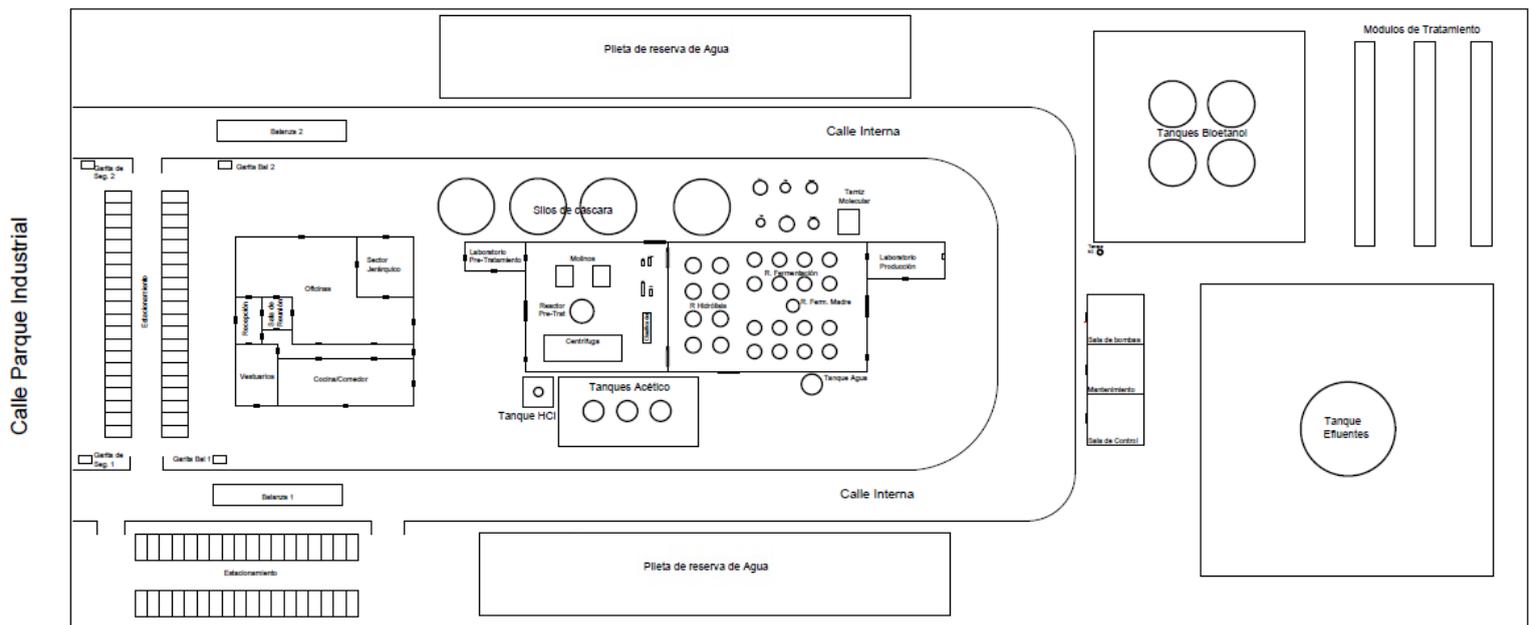


Figura N°2: Layout general de la planta de Bioetanol

Layout de la planta con circulación de peatones y vehículos:

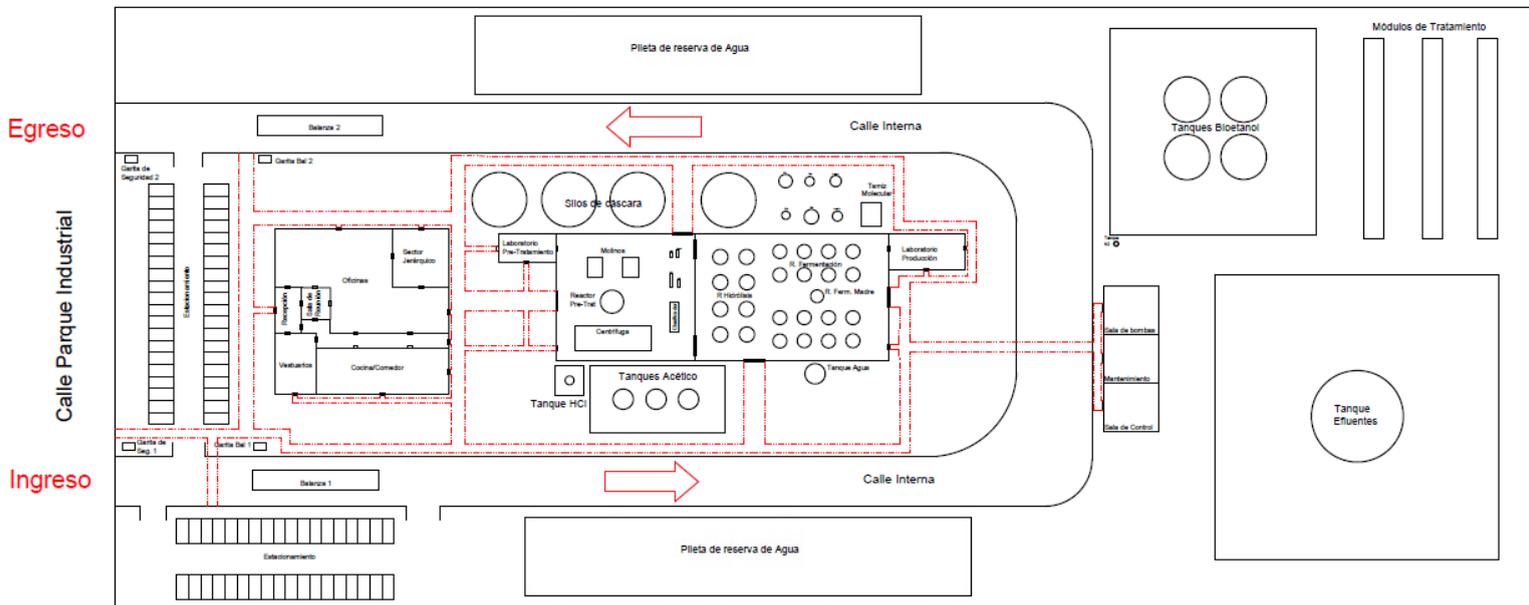


Figura N°3: Layout general con circulación de vehículos y peatones

### 4. Zonas de la planta

La planta de producción de bioetanol se subdividirá en distintas zonas según las actividades que se realizarán en cada una de ellas.

Se presentan a continuación las zonas de la planta:

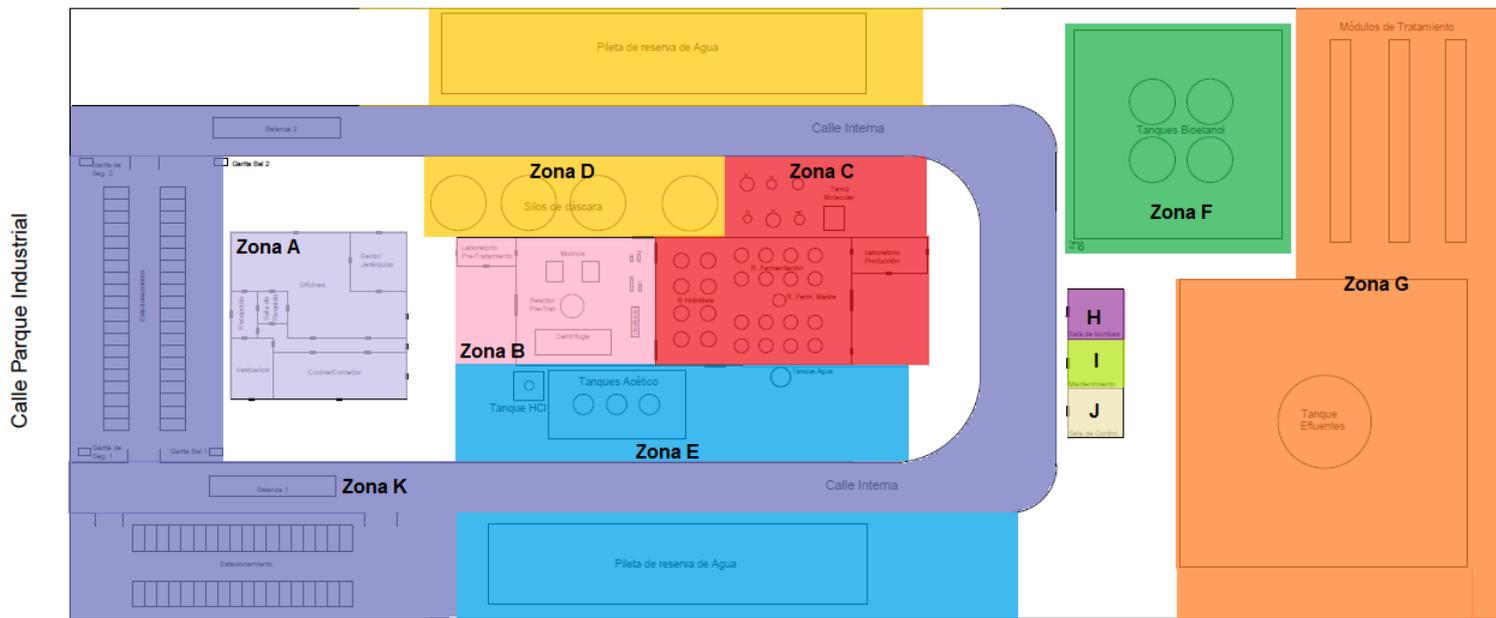


Figura N°4: Zonas de la Planta

#### 4.1. Zona A: Oficinas y sector de personal

En esta zona de la planta se encuentran las oficinas administrativas, de ingeniería y del personal jerárquico, como así también los sectores destinados al personal de la planta (vestuarios y comedor). La sub-división de esta zona es la siguiente:

- Oficinas administrativas y de ingeniería: Superficie  $1150 m^2$
- Sector Jerárquico: Superficie  $99 m^2$
- Vestuarios: Superficie  $93 m^2$
- Cocina/Comedor: Superficie  $240 m^2$

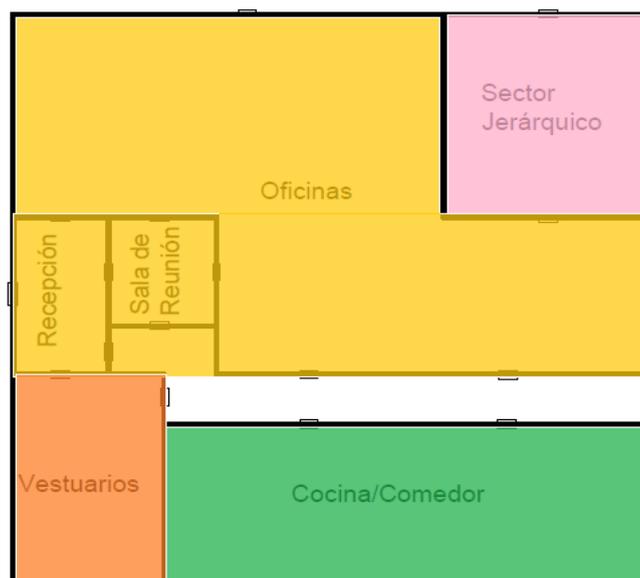


Figura N°5: Sectores "Zona A"

Por lo que, la superficie total de esta zona es de  $1600 m^2$ .

#### 4.2. Zona B: Obtención de celulosa

En esta zona se encuentra la primera etapa del proceso, el referido a la obtención de la celulosa. En esta área se encontrarán los siguientes equipos:

- Molinos
- Reactor de Pre-Tratamiento
- Centrífuga
- Clasificador
- Intercambiadores de Calor y Condensador

También se dispondrá de un laboratorio de pre-tratamiento para verificar de manera regular que los parámetros de nuestro proceso sean los requeridos.

La superficie de esta zona es de  $751 m^2$ .

#### 4.3. Zona C: Hidrólisis, Fermentación y acondicionamiento de Bioetanol

En este sector se continúa y finaliza la producción de bioetanol propiamente dicha. Las operaciones que se realizarán en esta área serán:

- Hidrólisis
- Fermentación
- Destilación
- Tamices moleculares
- Torres de enfriamiento

Además, al igual que en la "Zona B", se dispondrá de un laboratorio, en el cual se analizará el producto de las diversas reacciones y operaciones de esta área.

El área total de esta zona es de  $1380 m^2$ .

#### 4.4. Zona D: Almacenamiento 1

En esta zona está dispuesto el "Almacenamiento 1", el cual está ubicado en el ala superior de la planta. Se localizarán en esta área:

- Silos de cáscara de arroz: cuatro tanques de 10,9 m de diámetro y 22,20 m de alto.
- Pileta de reserva de agua: una pileta rectangular de 60 metros de largo, 20 metros de ancho y 2 metros de alto.

Esta área tiene una superficie total de  $2200 m^2$ .

#### 4.5. Zona E: Almacenamiento 2

Al igual que en la “Zona D”, esta zona está destinada a almacenamiento de materias primas. Esta área está ubicada en el ala inferior de la planta y contará con los siguientes tanques de almacenamiento:

- Tanque de ácido clorhídrico: se dispondrá de un tanque de 1,8 metros de diámetro y 4,9 metros de alto.
- Tanques de ácido acético: tres tanques de 4 metros de diámetro y 12,3 metros de alto. Este ácido acético está al 80%, por lo que no habrá que tener en cuenta agua para una posterior dilución.
- Pileta de reserva de agua: ya que este proceso consume gran cantidad de agua, en esta ala de la planta habrá otra pileta de almacenamiento de agua de 60 metros de largo, 20 metros de ancho y 2 metros de alto.

Cabe aclarar que los tanques de ácido clorhídrico y ácido acético estarán dispuestos dentro de bateas de contención por posibles pérdidas en los tanques. Estas bateas poseen un espacio extra de 120% del diámetro del tanque por cada lado.

La superficie total de la zona E es  $3100 m^2$ .

#### 4.6. Zona F: Almacenamiento de Bioetanol

Esta área de la planta está destinada al almacenamiento de bioetanol. Se contará con cuatro tanques de 9 metros de diámetro y 10,7 metros de alto cada uno. Dispondrá, al igual que en el caso de los tanques con ácido, una batea de contención que cubra por cada lado un espacio de 120% del diámetro de un tanque. Además, en esta área se encuentra un tanque de Nitrógeno de 0,9 metros de diámetro y 1,7 metros de alto. Éste inertizará la atmósfera de los tanques de bioetanol ya que este producto es muy volátil e inflamable. Esta área tiene una superficie de  $1800 m^2$ .

#### 4.7. Zona G: Tratamiento de efluentes

Esta zona está destinada a la recolección y tratamiento de efluentes del proceso. Se contará con un tanque ecualizador de 18,3 metros de diámetro y 7,1 metros de altura, y con tres módulos de tratamiento de 40 metros de largo y 4 metros de ancho. Toda esta área destinada al tratamiento de efluentes constará de  $4500 m^2$ .

#### 4.8. Zona H: Sala de Bombas

En este espacio se encontrará la motobomba, electrobomba y bomba jockey que pertenecen al sistema de lucha contra incendios. Esta zona tendrá una superficie total de  $105 m^2$ .

#### 4.9. Zona I: Mantenimiento

Esta zona es exclusivamente de mantenimiento; se realizará el mantenimiento de piezas de equipos y se hallarán todas las herramientas requeridas para los arreglos necesarios en la planta. El área de mantenimiento dispondrá de una superficie de  $105\text{ m}^2$ .

#### 4.10. Zona J: Sala de Control

Esta zona está destinada al comando de control de la planta a través de tableros de control. La superficie total de esta área será de  $105\text{ m}^2$ .

#### 4.11. Zona K: Balanzas y calle interna

La Zona K contempla la calle interna por donde circularán los camiones de carga y descarga de materias primas y producto. Además, en el comienzo y fin de dicha calle habrá balanzas que permitirán pesar el contenido de los camiones al ingreso y egreso de éstos a la planta. Las balanzas tendrán 25 metros de largo y 4 metros de ancho. Esta zona también incluye los estacionamientos internos de la planta. Todo este recorrido tendrá una superficie total de  $6620\text{ m}^2$ .

### 5. Dimensiones de zonas y equipos

En esta sección se presentarán las dimensiones de las zonas de la planta anteriormente detalladas, como así también las dimensiones de los equipos a utilizar en las instalaciones.

Las dimensiones generales de la planta se pueden observar en la siguiente figura:

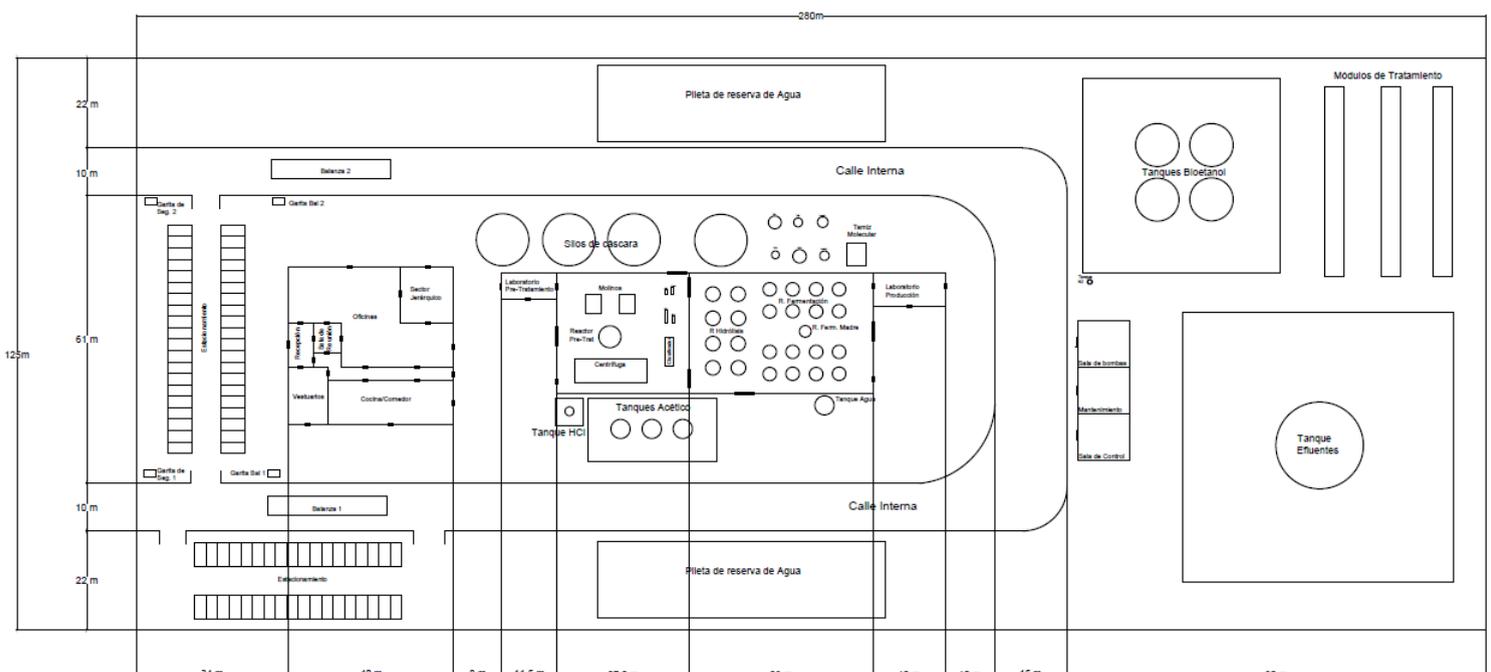


Figura N°6: Dimensiones generales de la planta

Se mostrarán las dimensiones de la planta haciendo una ampliación en las zonas:

### 5.1. Zona A

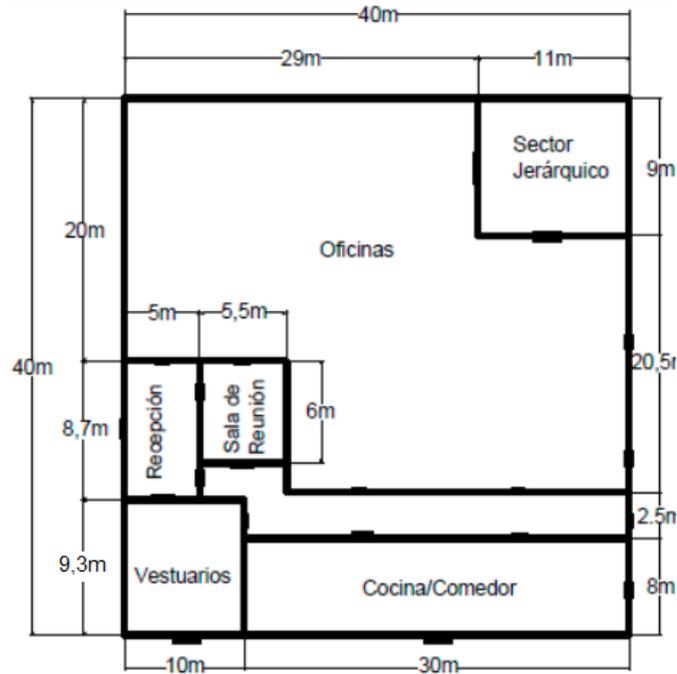


Figura N°7: Dimensiones Zona A

### 5.2. Zona B

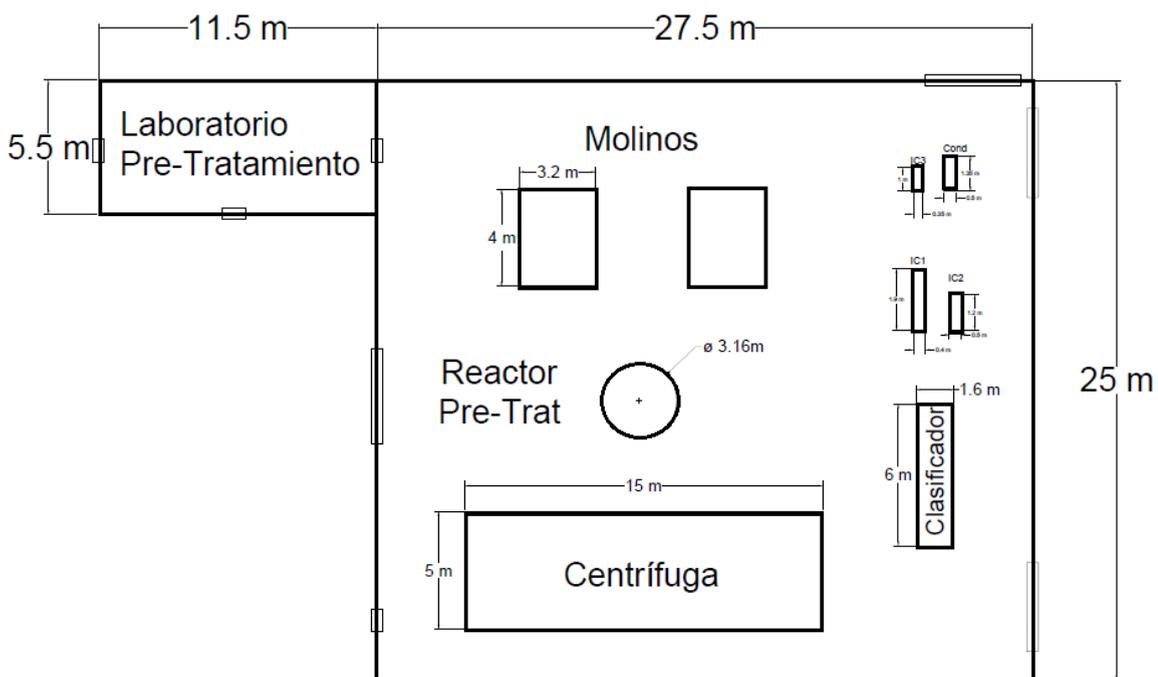


Figura N°8: Dimensiones Zona B

### 5.3. Zona C

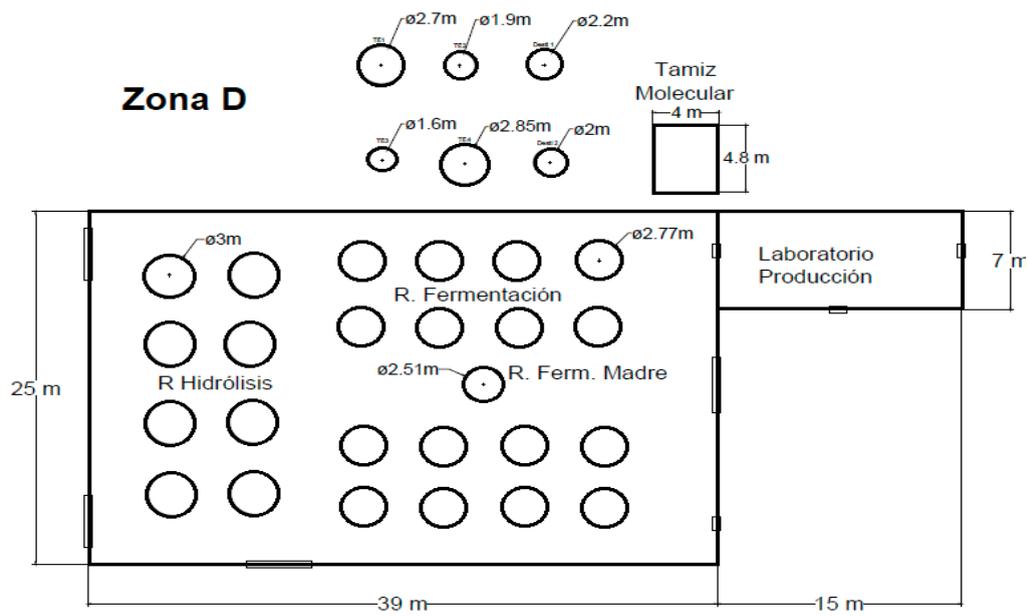


Figura N°9: Dimensiones Zona C

### 5.4. Zona D

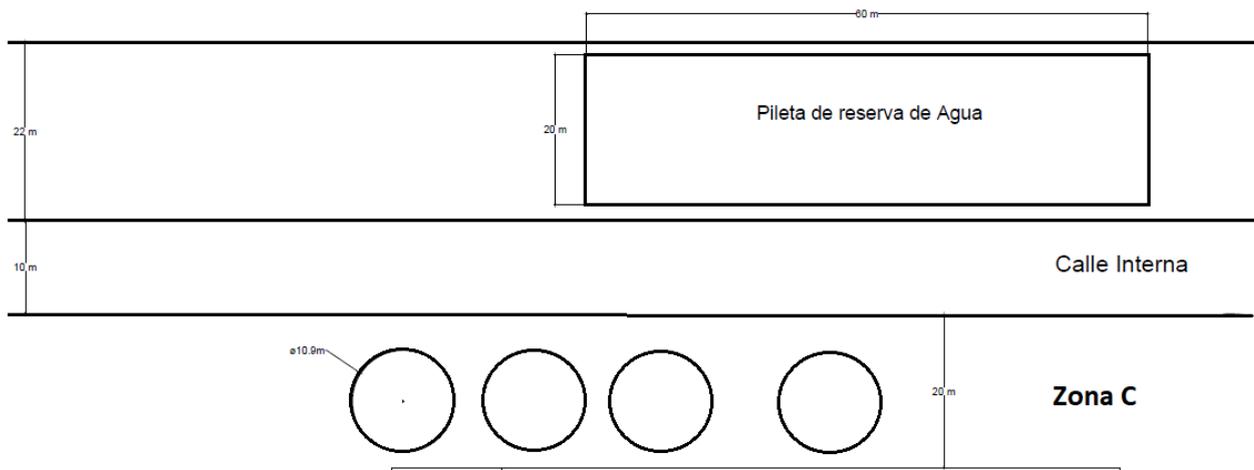


Figura N°10: Dimensiones Zona D

### 5.5. Zona E

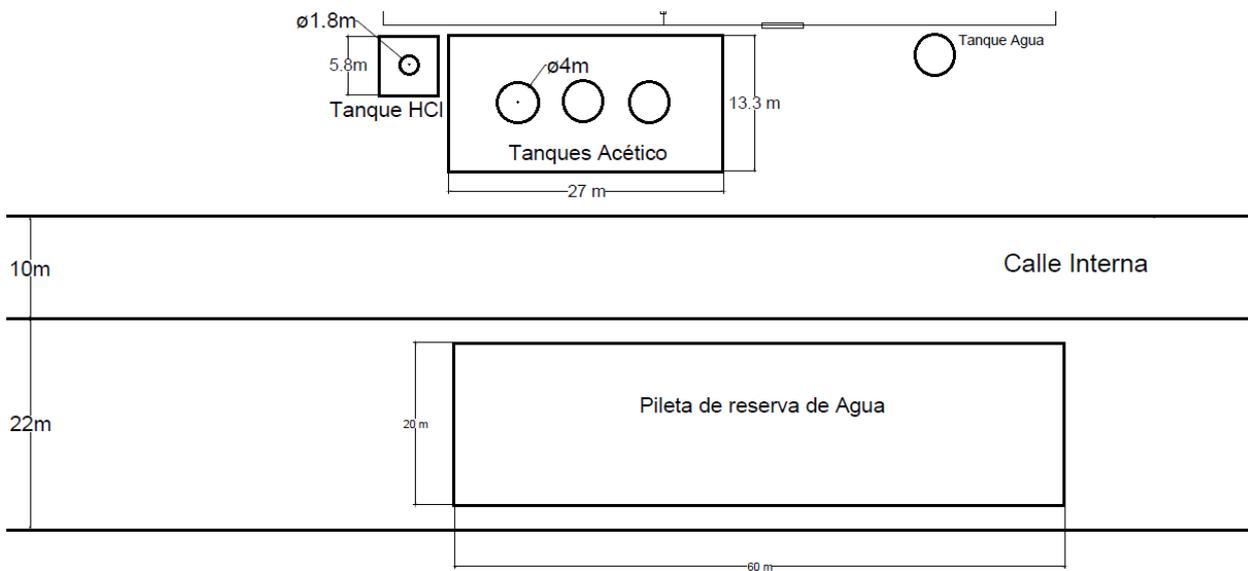


Figura N°11: Dimensiones Zona E

### 5.6. Zona F

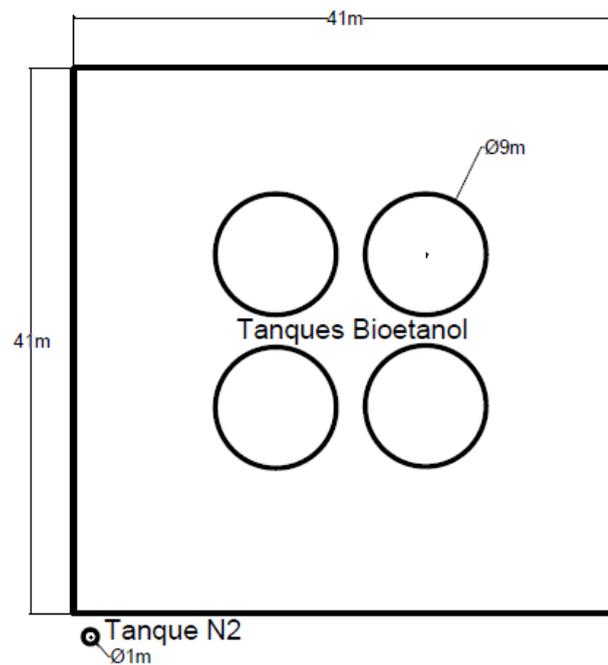


Figura N°12: Dimensiones Zona F

### 5.7. Zona G

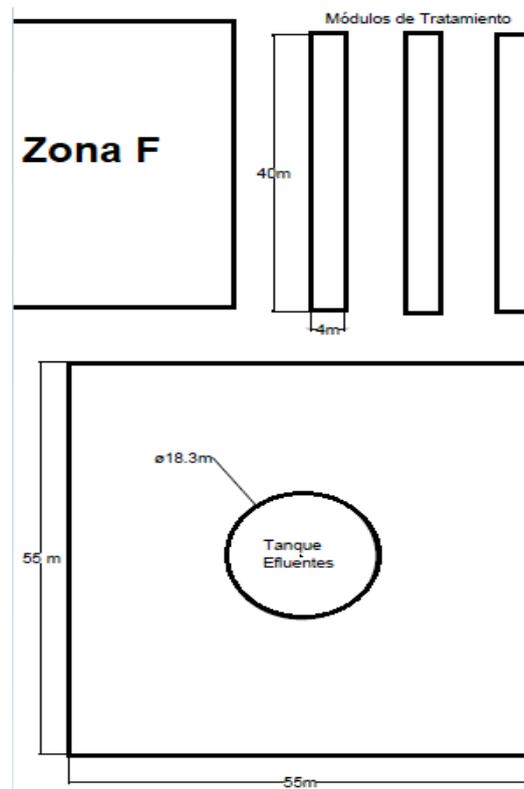


Figura N°13: Dimensiones Zona G

### 5.8. Zona H, I y J



Figura N°14: Dimensiones Zonas H, I y J

## 5.9. Zona K

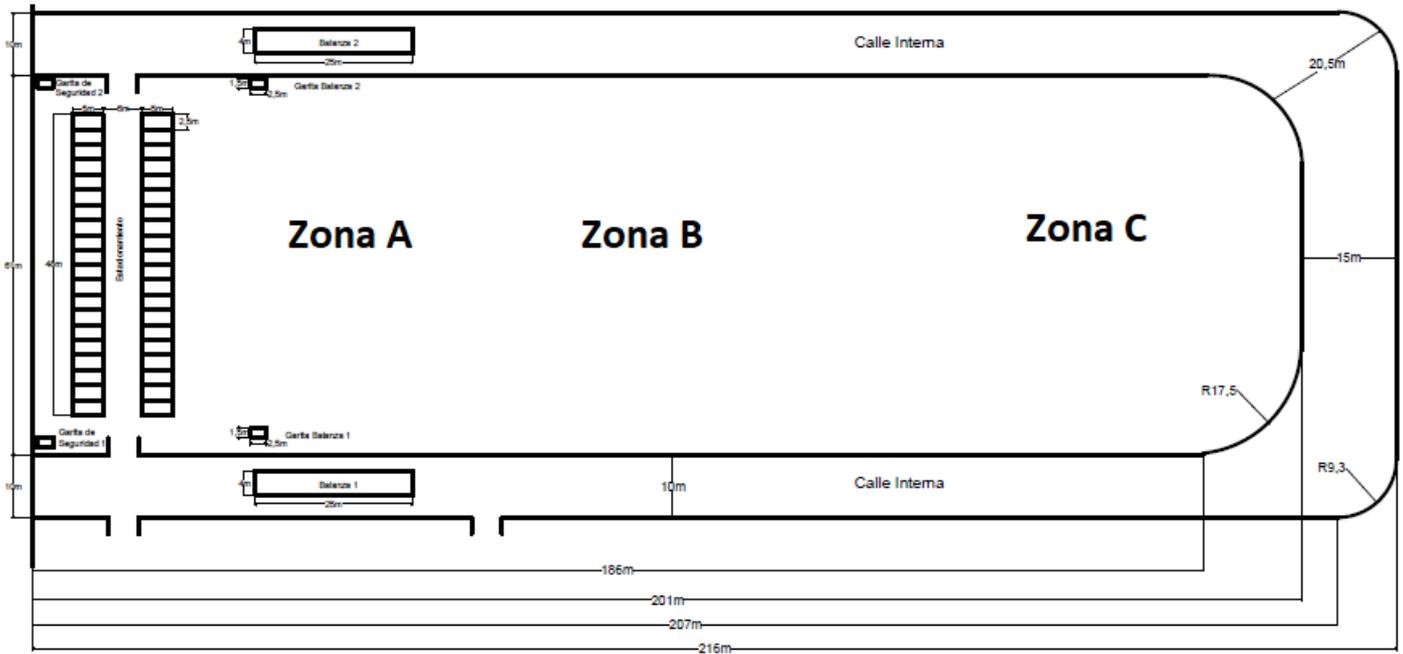


Figura N°15: Dimensiones Zonas K

## 6. Puestos de trabajo

Como se menciona en el Capítulo IV - Balances de masa y energía, la planta estará en funcionamiento 330 días al año las 24 hs; los días restantes serán destinados a tareas de mantenimiento.

A continuación, se desarrollarán en detalle los sectores que conforman la empresa y los puestos de éstos, además de utilizar un orden de jerarquías y las tareas que cada uno desempeña.

### 6.1. Gerencia general

En primer lugar, se encuentra la gerencia general, la cual tiene como principal función la implementación de metas y objetivos estratégicos de la empresa para poder marcar el rumbo hacia el alcance de la misión organizacional. Es el encargado de la supervisión y control de que cada una de estas metas sean alcanzadas, administrando los recursos humanos y materiales.

#### 6.1.1. Gerencia de administración

En la gerencia de administración tenemos a quién lidera la operación de la planta y tiene como responsabilidades principales el éxito financiero de la misma. Es el departamento encargado de manejar las relaciones con los clientes, inversionistas, proveedores y prestamistas.

#### 6.1.1.1. Jefe de recursos humanos

Este puesto es encargado de todas las cuestiones relacionadas con empleados.

Dentro de sus tareas tenemos el desarrollo y la implementación de distintas estrategias e iniciativas desde los recursos humanos que se encuentran en la línea de la misión de la empresa; ser el nexo entre la dirección y los colaboradores acudiendo a las demandas y bienestar de ambas partes. Otra de las tareas importantes de este puesto es la gestión del proceso de reclutamiento y selección de nuevos talentos, además de garantizar el buen clima laboral y la constante evaluación del rendimiento de los recursos humanos. Dentro de este departamento habrá un analista de recursos humanos.

#### 6.1.2. Gerencia de producción

Son quienes garantizan el buen funcionamiento de la producción de la empresa como su nombre lo indica; tienen responsabilidad tanto en la operación como en la oficina ya que son el enlace entre los encargados de administrar la fábrica y la gerencia general.

Algunas de las cuestiones que manejan se detallan a continuación:

- El coste de las materias primas.
- Los nuevos diseños de los productos.
- La maquinaria y procesos apropiados.
- La cantidad de personal necesaria.
- Los desarrollos tecnológicos.

#### 6.1.2.1. Jefe de mantenimiento

Dentro de esta gerencia se encuentra incluido el sector de mantenimiento, el cuál debe encargarse de las tareas de mantenimiento necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de la planta, como el estado de los equipos e instalaciones, con la finalidad de que no se vea afectado el producto final y el bienestar de los empleados. También ellos están destinadas las tareas de instalación/montaje de nuevas maquinarias y cualquier equipo que forme parte de las operaciones, seguridad, y edilicia de la empresa.

Está compuesto por un jefe de mantenimiento, un supervisor y operarios.

#### 6.1.2.2. Jefe de logística

El jefe de este departamento tiene como tareas principales la planificación, dirigencia y coordinación de la cadena de suministro, con el objetivo de garantizar un stock permanente, manteniendo, sobre todo, la calidad tanto de las materias primas como también de los productos terminados. Es el encargado de diagramar un plan estratégico que contemple el transporte, almacenamiento y distribución, manteniendo el contacto con los clientes,

proveedores y encargados de los demás sectores que dependen de su suministro; como subordinados habrá operarios de logística.

#### 6.1.2.3. Jefe de producción

Un jefe de producción es quien dirige, planifica y coordina todo lo relacionado a la producción de la empresa. Lo hace gestionando de una manera equilibrada los recursos que posee para cumplir con los niveles de calidad necesarios. Trabaja en conjunto con un supervisor y operadores de producción.

#### 6.1.3. Gerencia de Contabilidad y Finanzas

El Gerente de Finanzas es quien supervisa y se encarga del flujo de dinero y los activos que entran y salen de la empresa. Quienes se desempeñen en este puesto harán revisiones y elaborarán los informes de las ganancias y el desempeño de los empleados.

Este departamento tiene como principal objetivo garantizar un óptimo manejo de los recursos que forman parte de la empresa, tanto físicos como financieros.

Deben realizar periódicamente evaluaciones de los proyectos y objetivos de cada sector, llevar una contabilidad y registro de los movimientos económicos, para asegurar que estos se encuentren dentro de las legislaciones vigentes.

Dentro de esta gerencia tendremos un jefe de contabilidad y finanzas y un tesorero como cabezas principales, y luego tendremos un analista de facturación y un analista de pago de proveedores.

#### 6.1.4. Gerencia de Gestión de Calidad

Esta gerencia tendrá como objetivo el aseguramiento del cumplimiento de las políticas tanto de calidad como del medio ambiente, ya que se encontrarán conectadas. Las tareas que tendrán son las siguientes:

- Liderar proyectos que aseguren la calidad de los productos finales y las materias primas de la planta.
- Evaluar los riesgos durante la normal operación de la planta.
- Realizar auditorías internas.
- Asegurar la mejora continua.
- Administrar los procesos de calidad, y evaluar que estos se encuentren dentro de los marcos legales y jurídicos vigentes.

En esta gerencia se incluirán a los departamentos de calidad y seguridad e higiene; teniendo dentro de los mismos a un jefe y un analista de seguridad e higiene, y un jefe de calidad, un analista de calidad y un analista de investigación y desarrollo.

#### 6.1.4.1. Jefe y analista de seguridad e higiene

Serán encargados de cumplir con los requisitos mínimos de seguridad e higiene impuestos por la empresa, además de ser los encargados de la prevención de incidentes y accidentes dentro de la planta, haciendo cumplir el uso de los elementos de protección personal y las medidas de seguridad; evaluando constantemente el estado de la planta prestando especial atención a los focos de peligro.

#### 6.1.4.2. Jefe de calidad y analistas

A la vez, se encuentran los puestos de calidad, donde conjuntamente el jefe y los analistas de calidad realizarán tareas de laboratorio para evaluar el estado en el que llegan las materias primas a la planta, y la calidad del producto terminado, pudiendo decidir en conjunto si deben o no realizarse cambios o ajustes en alguna parte del proceso, además de asegurar que los productos cumplan con las especificaciones que se hayan establecido tanto por el cliente como por la empresa.

El analista de investigación y desarrollo trabajará junto al analista de laboratorio para la implementación de mejora continua, y el desarrollo de nuevos productos o nuevas implementaciones que puedan realizarse.

#### 6.1.5. Gerente comercial

El gerente comercial es el encargado de la planificación y dirección de los planes de ventas de los productos de la empresa. Además, es responsable de coordinar, liderar y supervisar el trabajo comercial del equipo de ventas. Trabaja con vendedores y compradores.

### **7. Organigrama**

Habiendo mencionado el régimen operativo de la planta se definen turnos de trabajo de 8 horas de la siguiente manera:

- Turno mañana: de 6:00 hs a 14:00 hs.
- Turno tarde: de 14:00 hs a 22:00 hs.
- Turno noche: de 22:00 hs a 6:00 hs.

La propuesta es que los supervisores y operarios realicen turnos rotativos, en la medida de lo posible, pudiendo cambiar de turno cada dos semanas.

En la siguiente página se presenta finalmente el organigrama.

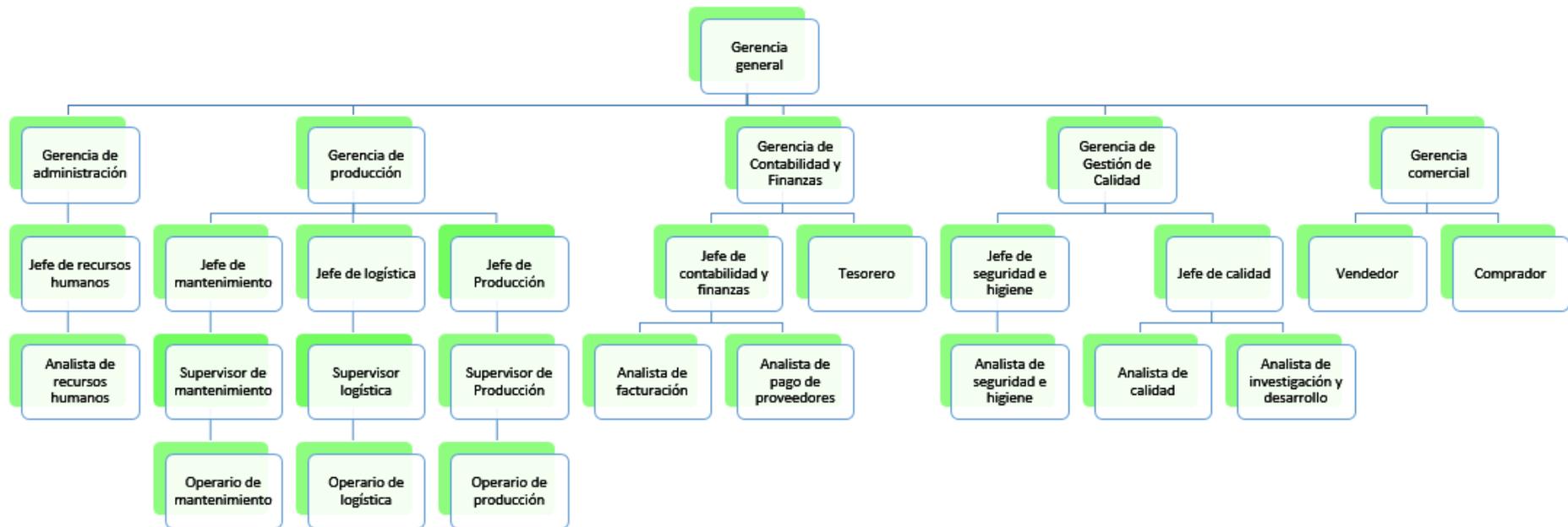


Figura N°16: Organigrama de la empresa

### 7.1. Descripción del organigrama

Se enumeran los puestos mencionados en el organigrama y la cantidad de colaboradores que corresponde a cada uno.

<b>Puesto</b>	<b>Personal</b>
Gerente general	1
Gerente de administración	1
Jefe de recursos humanos	1
Analista de Recursos Humanos	1
Gerente de producción	1
Jefe de mantenimiento	1
Operario de mantenimiento	14
Jefe de logística	1
Operario de logística	10
Jefe de Producción	1
Supervisor de Producción	3
Operarios de Producción	48
Gerente de Contabilidad y Finanzas	1
Jefe de contabilidad y Finanzas	1
Analista de Facturación	2
Analista de pago de proveedores	2
Tesorero	1
Gerente Comercial	1
Vendedores	2
Compradores	2
Gerente de gestión de calidad	1
Jefe de seguridad e higiene	1
Analista de seguridad e higiene	4
Jefe de calidad	1
Analista de calidad	10
Analista de investigación y desarrollo	2
Operarios de relevo	6
<b>Puestos totales</b>	<b>29</b>
<b>Personal contratado</b>	<b>124</b>

Tabla N°1: Detalle de puestos y colaboradores

### 7.1.1. Tabla de operarios y operaciones

A continuación, se presentará la cantidad de operarios requeridos por cada operación de la producción, además del diagrama de operaciones de la planta de bioetanol en el cual se mostrarán todos los puestos requeridos para llevar a cabo las tareas de la planta, detallando los diversos turnos que cumplirán dichos colaboradores.

Algunos puestos deberán cumplirse durante los tres turnos en los que la planta opera, como lo son los puestos de supervisores, operarios y analistas de laboratorio. El resto de los colaboradores trabajarán con horario administrativo.

Equipo	Cantidad Equipos	Operarios
Molino	2	1
Reactor Pre-Tratamiento	1	1
Centrífuga	1	1
Clasificador de tornillo	1	
IC 1 - IC 2 - IC 3 - Condensador	4	1
TE 1 -TE 2 - TE 3 - TE 4 - Columnas de fraccionamiento	5	2
Reactor hidrólisis	8	2
Reactor fermentativo madre	1	4
Reactor fermentativo continuo	16	
Tamices moleculares	1	1
Módulos de tratamiento	3	3

Tabla N°2: Operarios requeridos por operación

Diagrama de operaciones	Turno Mañana							Turno Tarde							Turno Noche									
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5
<b>Gerente General</b>																								
<b>Gerente de Administración</b>																								
Jefe de Recursos Humanos																								
Analista de Recursos Humanos																								
<b>Gerente Comercial</b>																								
Vendedor 1																								
Vendedor 2																								
Comprador Producción																								
Comprador Insumos Generales																								
<b>Gerente de Producción</b>																								
Jefe de mantenimiento																								











**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo X: Sistema de Gestión Integral**

## Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>318</b>
<b>2. Introducción.....</b>	<b>318</b>
2.1 Sistema de Gestión de Calidad - Norma ISO 9001.....	319
2.2 Sistema de Gestión Ambiental - Norma ISO 14001.....	320
2.3 Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo - Norma ISO 45001.....	321
<b>3. Implementación del Sistema de Gestión Integral.....</b>	<b>322</b>
<b>4. Política de Gestión Integrada.....</b>	<b>324</b>
<b>5. Bibliografía.....</b>	<b>326</b>

## 1. Objetivo

En este capítulo se detallarán las condiciones y requerimientos necesarios para poder alcanzar un Sistema de Gestión Integral en nuestra empresa, mediante la implementación de normas de calidad, medio ambiente, y de seguridad y salud en el trabajo (ISO 9001, ISO 14001 y ISO 45001, respectivamente).

## 2. Introducción

Al principio se pensaba que el éxito de una empresa u organismo estaba dado por la eficiencia del proceso productivo o calidad del producto final. Con el paso del tiempo, no solo se comenzó a interiorizar en áreas que hasta entonces no recibían la atención necesaria, también cobró importancia la postura de que todas las áreas dentro de la empresa deben coordinar sus conocimientos y actividades para el cumplimiento de objetivos en común.

Se conoce como Sistema de Gestión Integral (SGI) a la manera de administrar una empresa basándose en procesos y objetivos unificados, garantizando la seguridad y la protección del medio ambiente y los trabajadores, a la vez que se incrementa la productividad y calidad. Este sistema permite una comunicación más fluida, volviendo al negocio mucho más eficiente mediante un aprendizaje continuo, asumiendo un compromiso con sus clientes, el medioambiente y la seguridad de sus trabajadores.

Para lograr dicho objetivo, el SGI tiene en cuenta las Normas de Calidad, Normas Ambientales y Normas de Seguridad, las cuales se encuentran detalladas en las Normas ISO (Organización Internacional de Normalización - International Organization for Standardization).

- Sistema de Gestión de Calidad - Norma ISO 9001
- Sistema de Gestión Ambiental - Norma ISO 14001
- Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo - Norma ISO 45001

Se considera que para aplicar una gestión correcta de las actividades, el sistema debe fundamentarse bajo el concepto de planificar, hacer, verificar y actuar, o más conocido como el ciclo de mejora continua PHVA propuesto por Deming; donde “planificar” se refiere a establecer objetivos y procesos basándose en los resultados deseados, requisitos de los clientes y política de la organización; “hacer” es implementar los procesos según lo planificado; “verificar” que estos se cumplan de la manera adecuada mediante una serie de seguimientos y mediciones, además de informar sobre los resultados conseguidos; y, por último, “actuar” y tomar acciones sobre los procesos fomentando su mejora continua.

Crear un SGI eficiente también es una manera de asegurar el compromiso que adopta públicamente una organización con la sostenibilidad, relacionando sus estrategias corporativas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Enviando un sólido mensaje dirigido no solo a todas aquellas partes interesadas sino también a la competencia, empleados y clientes demostrando su compromiso con la sociedad, el ambiente y la economía.

El proceso comienza contratando a una empresa certificadora acreditada por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), luego se realizan revisiones periódicas con el fin de asegurar que el organismo esté cumpliendo con los estándares de la Norma ISO. El auditor encargado puede ser parte de la organización (auditor interno) o ser subcontratado (auditor externo).

### 2.1 Sistema de Gestión de Calidad - Norma ISO 9001

Las normas ISO 9000 son un conjunto de normas sobre calidad y gestión de calidad, siendo la ISO 9001 la única certificable.

Como su nombre lo indica, hace referencia a la gestión de calidad. También es conocida como Norma ISO 9001:2015 debido a que en 2015 se realizó su última revisión, donde se destacó la importancia de trabajar bajo una mejora continua y cómo influye en la satisfacción del cliente.

El Sistema de Gestión de Calidad establece los requisitos que deben cumplir los distintos procesos y políticas para alcanzar la calidad en toda la empresa, desde los productos y servicios otorgados hasta como es el recibimiento por parte del cliente, si éste superó o no sus expectativas.

Si la empresa sigue dichos lineamientos, puede solicitar una certificación en la Norma ISO 9001, el cual permite a las grandes firmas exhibir un sistema de calidad correctamente auditado. Como primer paso, previo a la solicitud, se deben evaluar los elementos y recursos de la organización y el personal, para ver si se aprovechan de la manera adecuada o que cambios se pueden realizar. Para ello, se debe concientizar a todos los trabajadores acerca de los objetivos que se persiguen a nivel empresa y las medidas que se toman para llegar a ellos, ya que es necesaria la cooperación de todos los miembros para cumplir verdaderamente con un método de trabajo de mejora continua. A su vez, desde los puestos con mayor poder jerárquico deben dar el ejemplo y contribuir con formaciones para que el personal esté continuamente capacitándose y aportando a la empresa.

Como ventajas a la implementación del Sistema de Gestión de Calidad podemos mencionar:

- Estandarizar las actividades del personal que trabaja dentro de la organización por medio de la documentación.
- Incrementar la satisfacción del cliente al asegurar la calidad de productos y servicios de manera consistente, dada la estandarización de los procedimientos y actividades.
- Medir y monitorear el desempeño de los procesos productivos, distribuidos y administrativos de los productos.
- Incrementar la eficacia y/o eficiencia de la organización en el logro de sus objetivos.
- Mejorar continuamente en los procesos, productos y eficacia.
- Reducir las incidencias negativas de producción o prestación de servicios.
- Mantener la calidad.

## 2.2 Sistema de Gestión Ambiental - Norma ISO 14001

La norma ISO 14001 pertenece al grupo de normas estándares ISO 14000 sobre gestión ambiental, y trata sobre los "Sistemas de Gestión Medioambiental".

Especifica los requisitos a partir de los cuales se establecen una serie de políticas y objetivos, gestionando e identificando los riesgos ambientales que pueden generarse de la actividad declarada. Por lo tanto, la empresa se hace responsable de dichos impactos y se compromete con la protección del medio ambiente, prevención de contaminación y necesidades socio - económicas mediante la normativa legal vigente.

Si las medidas se emplean de la manera correcta, estas contribuirán al éxito de la empresa facilitando el alcance de objetivos a corto y largo plazo, además que también se verán los siguientes beneficios:

- Asegurar y demostrar a los clientes que existe un compromiso para una gestión ambiental.
- Mantener buenas relaciones públicas / comunitarias.
- Satisfacer los criterios del inversionista y mejorar el acceso al capital.
- Obtener seguros a un costo razonable.
- Mejorar la imagen y la participación en el mercado.
- Cumplir los criterios de certificación del vendedor.

- Mejorar el control y ahorro de costos, incrementando su ventaja competitiva.
- Reducir los incidentes que puedan resultar en responsabilidades legales.
- Mejor uso de la energía y la conservación del agua, una cuidadosa selección de las materias primas y un reciclaje controlado de los residuos
- Facilitar la obtención de permisos y autorizaciones.
- Fomentar el desarrollo y compartir las soluciones ambientales.
- Mejorar las relaciones industria-gobierno.
- Asegura el respeto por la legislación medioambiental, reduciendo el riesgo de multas y de posibles litigios.
- Mejora la calidad de los lugares de trabajo, la moral del empleado y su adhesión a los valores corporativos.

### 2.3 Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo - Norma ISO 45001

El enfoque de esta norma, como nos adelanta su nombre, es garantizar un lugar de trabajo salubre mediante el análisis del contexto de la organización, remarcando la importancia en el liderazgo de la dirección, con el fin de reducir situaciones potenciales de riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores. Resultando en un incremento del bienestar en el entorno laboral, permitiendo, a su vez, mejorar el desempeño de las entidades.

Para lograr un buen sistema de gestión es necesario contar con el compromiso de la dirección para definir las funciones y responsabilidades que existen en la empresa acerca de la seguridad y salud, identificar los peligros, evaluar riesgos laborales y determinar los controles a llevar a cabo; también investigar los incidentes, no conformidades y definir sus correspondientes acciones correctivas.

Entre los numerosos beneficios que puede adquirir la empresa al implementar la norma ISO 45001, podemos mencionar:

- Minimizar y/o eliminar los incidentes o accidentes, implementando las medidas de control necesarias.
- Identificación de la legislación vigente e implementación de los requisitos aplicables, logrando un adecuado cumplimiento legal.
- Mantener un ambiente de trabajo más saludable y seguro, reduciendo el número de accidentes y los problemas de salud producidos en el lugar de trabajo.

- Hacer partícipes a todos los miembros de la organización de la importancia de su implicación.
- Alienación con ISO 9001, ISO 14001 y demás normas referidas a sistemas de gestión.
- Mejorar la relación con empleados, clientes y proveedores.
- Demostrar en el mercado su responsabilidad y compromiso en materia de seguridad y salud en el trabajo.

Al igual que la ISO 9001, esta norma tuvo una modificación recientemente, en 2018, por lo tanto también puede encontrarse como ISO 45001:2018.

Si bien en un comienzo el rol principal de esta norma era ser reemplazo de la OHSAS 18001, con el tiempo fue adquiriendo su propio carácter, teniendo como base a la norma anterior pero con un campo de aplicación más amplio. No se trata de una simple revisión de la norma, sino que también facilita la integración con otros sistemas de gestión.

### **3. Implementación del Sistema de Gestión Integral**

Implementar un Sistema de Gestión Integral es fundamental para conocer la situación actual en la que se encuentra la empresa, definir hacia dónde se quiere llegar y con qué recursos se cuenta para lograrlo. La importancia de este sistema radica en que las metas tienen carácter global y los empleados de todas las áreas están involucrados en su búsqueda.

Como mencionamos anteriormente, las normas ISO 9001 e ISO 45001 sufrieron modificaciones los últimos años, adoptando una estructura similar en cuanto a requisitos que establecen, lo que contribuye a que sea más fácil poder realizar una integración de los mismos.

Previo a aplicar cualquier tipo de cambio en una organización o un proceso se deben tomar las cautelas necesarias para hacerlo de la manera correcta. En caso contrario, no se aprovecharán los beneficios que dicho cambio conlleva, hasta pudiendo llegar a tener efectos perjudiciales en una determinada área o el producto final como consecuencia de una mala primera organización.

Para entrar en el mundo de la gestión integral primeramente se debe identificar las necesidades de la empresa a través de una evaluación global, ver qué aspectos serán los beneficiados y a partir de ello ver con qué medidas se debe iniciar. Es importante que existan capacitaciones para que los empleados comprendan y contribuyan al sistema elegido, además de que se deben supervisar los resultados y aplicar cambios cuando sea necesario para así mantener el sistema en buen funcionamiento.

Teniendo eso en cuenta, podemos resumir un plan de implementación para un Sistema de Gestión Integral en seis fases o etapas: Diagnóstico, elaboración de documentación, revisión

de documentación, capacitación, auditoría interna y revisión por la Dirección, cuyas características se mencionan a continuación.

- Fase Nº 1: Diagnóstico. Se evalúa el funcionamiento general de la empresa junto con los recursos con los que cuenta, tanto con respecto a la gestión como a su actividad industrial (nuestro caso), según los lineamientos de las normas ISO contempladas. Como resultado se da a conocer en qué situación actual se encuentra la organización, a partir de esto, definimos los objetivos, o sea hacia dónde se pretende llegar y por medio de qué recursos.
- Fase Nº 2: Elaboración de documentación soporte. ¿Cómo se van a alcanzar los objetivos? Esta etapa consta de elaborar planes, programas, manuales, procedimientos. Además de controlar los documentos y registros con los que se cuentan, y establecer programas de auditorías internas, programas de acciones preventivas y correctivas, entre otros.
- Fase Nº 3: Revisión de documentación. Se procede a analizar los documentos declarados en la Fase Nº 2 según requisitos de las normas ISO de interés. En caso que se encuentre alguna falla o inconsistencia se puede volver a fase anterior. Es importante que los documentos cuenten con una redacción clara y detallada ya que estará destinada para todo aquel relacionado con la empresa.
- Fase Nº 4: Capacitación e Implementación. Se basa en la formación y difusión de la importancia del SGI, además de formar el equipo responsable de supervisar el sistema de medición. También capacitar a aquellos que tomarán el rol de auditores, lo cual es responsabilidad del jefe de aseguramiento de calidad y, una vez hecho, se establece la fecha para la realización de la auditoría integrada. Es fundamental que todos los empleados de todas las áreas estén involucrados, ya que cada uno debe contribuir desde sus tareas y actividades basándose en los mismos objetivos.
- Fase Nº 5: Auditoría Interna. Se realizan cada cierto periodo de tiempo con el fin de garantizar que el SGI se esté implementando según las medidas que se planearon previamente, se basa en los resultados obtenidos.
- Fase Nº 6: Revisión por Dirección. En esta etapa se asegura que el sistema de gestión elegido sea el correcto para lograr lo que queremos y se esté utilizando eficazmente. En caso de que existan o se quieran aplicar cambios, se vuelven etapas atrás para actualizar el plan. Esta última fase está relacionada con el concepto de mejora continua, PHVA (plan, hacer, verificar y actuar) ya que si bien es el último paso debe interactuar continuamente con la Fase Nº 1 para no perder los beneficios del sistema adoptado.

Algunas ventajas que pueden verse tanto a corto como largo plazo al implementar correctamente un sistema de gestión integrado son:

- La disminución en costes a la hora de realizar auditorías de certificación.
- Se condensan el número de auditorías internas, optimizando así los costes.
- Mejora el mantenimiento del sistema al usar un enfoque homogéneo en la gestión de varios estándares.
- Mejora la toma de decisión de la Alta Dirección al tener ésta una mayor comprensión de los sistemas.
- Se requiere un menor esfuerzo para integrar nuevos sistemas.

#### **4. Política de Gestión Integrada**

Por medio de la política integrada queda establecido el compromiso de la Dirección de la Empresa con respecto a la concientización e implementación de la gestión de la calidad de nuestro producto y servicios, el cuidado de la salud y seguridad de las personas, y por último, pero no menos importante, la protección del medio ambiente.

Para lograr la mejora continua en todas las operaciones del proceso de obtención de bioetanol a partir de cascarilla de arroz se implementa un sistema integrado de gestión, comprometiéndose la organización a los siguientes principios sobre las cuales se basarán todas nuestras actividades:

- 1) Considerar la Gestión Integral como la herramienta principal para el desarrollo de actividades de la empresa, orientado a los procesos y objetivos de la empresa.
- 2) Asumir el compromiso de mejora continua en el desempeño de la Gestión Integrada adoptada en la empresa.
- 3) Asegurar que exista la información y recursos necesarios para alcanzar los objetivos y las metas del Sistema de Gestión Integral.
- 4) Evaluar de manera frecuente el desempeño de las medidas aplicadas, observando los cambios y resultados obtenidos de todas las actividades de la planta por medio de programas de monitoreo, registros, indicadores, etc. desde los tres puntos de vista que se buscan integrar: ambiental, prevención de accidentes y enfermedades profesionales y el aseguramiento de la calidad.
- 5) Cumplir con la legislación vigente Nacional, Provincial y Municipal, además de las obligaciones y compromisos asumidos para con los clientes y la comunidad.
- 6) Contar con un plan de emergencia, donde se encuentren identificadas todas las posibles situaciones de emergencia junto con el procedimiento a accionar ante cada una de ellas.

- 7) Trabajar siempre concientizados sobre el impacto que tiene cada actividad, para poder así asegurar la calidad del aire, el uso eficiente de energía, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, consumo responsable de agua y la gestión para la disminución de residuos.
- 8) Trabajar siempre concientizados para producir y brindar productos y servicios de calidad, que den seguridad y satisfacción a los consumidores, basándonos en nuestro compromiso hacia una mejora continua de la calidad de los productos y servicios, y de satisfacer los requisitos y expectativas del cliente.
- 9) Comunicar los requisitos establecidos en nuestra gestión integrada, brindar capacitaciones al personal, proveedores y contratistas para asegurar el compromiso en la prevención de impactos ambientales, faltas de calidad, lesiones y accidentes relacionados a las actividades de la empresa.
- 10) Contar con una comunicación continua, clara y transparente con las distintas partes interesadas en el proceso y actividades de la planta y transporte.
- 11) Detectar, evaluar y satisfacer las necesidades presentes y futuras; fomentando y fortaleciendo la motivación, el conocimiento, la innovación, integridad, transparencia y desarrollo profesional de cada integrante de la empresa para establecer un clima laboral positivo que incentive el logro de resultados.
- 12) Planificar y desarrollar las diferentes actividades dentro de la planta mediante una eficiente gestión y aprovechamiento tanto de los recursos tecnológicos y energéticos, como de los recursos humanos, y el cumplimiento de normas técnicas y estándares nacionales e internacionales.
- 13) Identificar oportunidades que permitan mejorar el desempeño de las medidas de seguridad, salud, medio ambiente y calidad, así progresivamente ir avanzando hacia el éxito de la empresa.
- 14) Considerar a la tecnología e ingeniería como herramientas indispensables para innovar, fortalecer e incrementar la competitividad, rentabilidad y productividad.

Nos comprometemos a ser una organización cuya búsqueda hacia el éxito empresarial - industrial se encuentra sostenida por los 14 pilares mencionados previamente. Creemos fielmente que toda actividad dentro del proceso o fuera que se vea relacionada de alguna manera con la organización, debe realizarse y estar orientada a cumplir con las normas y requisitos de calidad, salud, medio ambiente, seguridad, y protección laboral. Con esto buscamos obtener la confianza de clientes, accionistas, empleados, contratistas y de la sociedad.

Tanto la parte directiva como todos los colaboradores se comprometen al cumplimiento del Sistemas de Gestión Integrado.

## 5. Bibliografía

- (n.d.). SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL ISO 1400. [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d\\_recursos\\_humanos/concurso/normativa/\\_archivos/000007\\_Otras%20normativas%20especificas/000000\\_SISTEMA%20DE%20GESTI%C3%93N%20%20AMBIENTAL%20ISO%201400.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_recursos_humanos/concurso/normativa/_archivos/000007_Otras%20normativas%20especificas/000000_SISTEMA%20DE%20GESTI%C3%93N%20%20AMBIENTAL%20ISO%201400.pdf)
- *ISO Store Login*. (n.d.). ISO. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>
- Moreno Barriga, M., Noguera Cundar, A., & Moreno Barriga, F. (01, 07 2018). *Vista de Plan de implementación de un sistema integrado de gestión de la calidad, medio ambiente y seguridad en una empresa láctea*. Ciencia Digital. <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/150/135>
- *Outland Logistics validó la Norma ISO 9001 hasta 2022 – Revista Vial*. (2020, July 5). Revista Vial. <https://revistavial.com/outland-logistics-valido-la-norma-iso-9001-hasta-2022/>
- *Todo lo que debes saber de la Norma ISO 9001 Gestión de Calidad*. (2022, March 22). AMBIT-BST. <https://www.ambit-bst.com/blog/todo-lo-que-debes-saber-la-norma-iso-9001-gesti%C3%B3n-de-calidad>



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo XI: Evaluación de Impacto  
Ambiental**

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>330</b>
<b>2. Objetivo.....</b>	<b>330</b>
<b>3. Marco legal.....</b>	<b>330</b>
3.1. Nacional.....	331
3.2. Provincial.....	331
3.3. Departamental.....	333
<b>4. Evaluación ambiental de la zona de emplazamiento.....</b>	<b>334</b>
4.1 Parque Industrial Mercedes.....	335
4.2 Clima.....	337
4.3 Hidrografía.....	337
4.4 Fauna y Flora.....	338
<b>5. Acciones o actividades susceptibles a producir un impacto ambiental del proyecto....</b>	<b>339</b>
5.1. Etapas del proyecto.....	339
5.1.1. Efluentes y residuos generados en la etapa de construcción.....	340
5.1.2. Efluentes y residuos generados en la etapa de puesta en marcha y operación....	340
5.1.2.1. Residuos sólidos.....	341
5.1.2.2. Efluentes.....	341
5.1.2.3. Emisiones gaseosas.....	342
5.1.2.4. Ruidos y otros factores.....	342
5.1.3. Residuos y efluentes generados durante el proceso de cierre de la planta....	343
5.2. Pasivos ambientales.....	344
5.3. Uso del agua.....	344
<b>6. Matriz de impacto ambiental.....</b>	<b>345</b>
6.1. Etapa de construcción.....	345
6.2. Etapa de operación.....	346
6.3. Etapa cierre.....	347
<b>7. Medidas mitigadoras.....</b>	<b>347</b>
7.1 Construcción y Cierre.....	348
7.2 Planta en actividad.....	349
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>351</b>

## Índice de Figuras

Figura N°1: Parques Industriales de Corrientes.....	335
Figura N°2: Parque Industrial Mercedes.....	336
Figura N°3: Mapa de climas en la provincia de Corrientes.....	337
Figura N°4: Mapa hidrográfico en la provincia de Corrientes.....	338
Figura N°5: Matriz de impacto ambiental de la etapa de construcción.....	345
Figura N°6: Matriz de impacto ambiental etapa operación.....	346
Figura N°7: Matriz de impacto ambiental etapa cierre.....	347

## Índice de Tablas

Tabla N°1: Actividades susceptibles de producir Impacto Ambiental en construcción.....	340
Tabla N°2: Actividades susceptibles de producir Impacto Ambiental en operación.....	343
Tabla N°3: Actividades susceptibles de producir Impacto Ambiental en cierre.....	344
Tabla N°4: Referencia de colores para matriz de Leopold.....	345

## **1. Introducción**

En este capítulo se analizan los factores tenidos en cuenta para la realización de la Evaluación de Impacto Ambiental, la cual nos permite evaluar, identificar y predecir los potenciales impactos que el presente proyecto puede causar al ambiente, como así mitigar aquellos de carácter negativo, en el corto, mediano y largo plazo. Para ello se recurre a las distintas normativas ambientales que rigen en la jurisdicción donde se lleva a cabo la actividad y aquellas áreas que se verán afectadas por el funcionamiento de la planta de producción de bioetanol.

La herramienta principal que se utilizará es la matriz de Leopold donde, junto con un sistema de colores basado en la magnitud del impacto, no sólo se considerarán los efluentes y residuos generados debido a la operación normal de la planta, si no también los aspectos o modificaciones que derivarán de la etapa de construcción y cierre de planta.

Por esta razón, la matriz a realizar tendrá un carácter cualitativo y estará subdividida en dichas etapas: Etapa de construcción, etapa de operación y etapa de cierre de la planta productora de bioetanol a partir de cáscara de arroz.

## **2. Objetivo**

El principal objetivo de la Evaluación del Impacto Ambiental es la sustentabilidad, y para poder cumplir con el mismo se debe considerar, además de la factibilidad económica, que los recursos naturales utilizados sean aprovechados de una manera razonable, y que el entorno se vea lo menos afectado posible.

## **3. Marco legal**

Lo primero a realizar, es la investigación de los aspectos legales en los que nos veremos involucrados debido a la instalación y funcionamiento de la planta en el territorio ya elegido, departamento de Mercedes en la provincia de Corrientes. Esto nos ayudará a construir y consolidar un nuevo enfoque para las futuras decisiones y actividades de la planta.

A continuación, se incluye un listado de las principales normativas que presentan alguna relación con respecto al desarrollo del proyecto de producción de bioetanol con el ambiente que lo rodea.

Se considerarán las 3 jurisdicciones involucradas, la jurisdicción nacional (República Argentina), provincial (Provincia de Corrientes) y departamental (departamento de Mercedes).

### 3.1. Nacional

Se mencionan los artículos de importancia de la Constitución Nacional.

- Artículo 41: menciona el derecho de los ciudadanos a acceder a un ambiente sano y la obligación de recomponer el daño ambiental causado, además de proteger y mejorar el medio para las próximas generaciones.
- Artículo 124: Se incentiva a las provincias a la creación de zonas para el desarrollo económico y social, donde se organice la explotación de los recursos naturales de la misma.

Una vez mencionados estos artículos, debemos abarcar las siguientes leyes:

- La Ley General del Ambiente (ley Nº 25.675): establece los presupuestos mínimos para una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable y detalla los objetivos que deberá cumplir la política ambiental.
- La Ley de Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicios (ley Nº 25.612): Establece los presupuestos mínimos para la gestión de desechos provenientes de la actividad económica, para asegurar la protección ambiental.
- El Régimen de Gestión Ambiental de Aguas (ley Nº 25.688): Reglamenta la explotación de los recursos hídricos, estableciendo los presupuestos mínimos para su uso racional y preservación.

### 3.2. Provincial

Se mencionan artículos provinciales de importancia:

- Artículo 50: Todos los habitantes de la Provincia tienen derecho al acceso a la información sobre el impacto que las actividades públicas o privadas causen o pudieren causar sobre el ambiente y a participar en los procesos de toma de decisiones sobre el ambiente de conformidad con el procedimiento que determine la ley. El Estado está obligado a producir y difundir amplia y oportunamente la información relacionada con el ambiente.
- Artículo 53: El Estado Provincial fija la política ambiental, protege y preserva la integridad del ambiente, la biodiversidad, el uso y la administración racional de los recursos naturales, promueve el desarrollo productivo compatible con la calidad ambiental, el uso de tecnologías no contaminantes y la disminución de la generación de residuos nocivos, dicta la legislación destinada a prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, sanciona su incumplimiento y exige la reparación de los daños.

- Artículo 54: El Estado Provincial estimula e impulsa la investigación y ejecución de proyectos fundados en planes y programas de desarrollo sustentable que incorporen fuentes de energía renovable no contaminantes o limpias, disminuyendo en lo posible la explotación de aquellos recursos no renovables.
- Artículo 55: El Estado Provincial y los municipios promueven la gestión integral de los residuos y su utilización productiva.
- Artículo 57: La determinación previa del proceso de evaluación del impacto ambiental es obligatoria para todo emprendimiento público o privado susceptible de causar efectos relevantes en el ambiente.

Ahora mencionaremos las leyes involucradas:

- Ley Nº 4731: Esta ley tiene como fines la preservación, conservación, defensa y mejoramiento de aquellos ambientes urbanos, rurales y naturales y todos sus elementos constitutivos que por sus funciones y características mantienen o contribuyen a mantener la organización ecológica más conveniente para el desarrollo de condiciones favorables, para la salud y el bienestar de la comunidad, así como la permanencia de la especie humana sobre la tierra en armónica relación con el medio ambiente.
- Ley Nº 6085: Se declara interés provincial el uso de fuentes de energías renovables llamada también alternativa, no convencional o no contaminante, factible de aprovechamiento en la Provincia de Corrientes.
- Ley Nº 5744: Solo adhesión provincial a la Ley Nacional 26.093. Ley provincial. Los cuerpos legislativos de la Provincia de Corrientes, podrían elaborar un cuerpo legal destinado a la promoción de estas actividades dictando normas que incentiven fiscalmente la producción y uso de estas fuentes de energía.
- Ley Nº 5470: Régimen de promoción de inversiones. Tiene como fin fomentar el desarrollo económico e industrial de manera sustentable ofreciendo beneficios. Quienes se encuentren enmarcados en esta ley tendrán acceso a beneficios fiscales de exención de impuestos provinciales, compra de inmuebles de dominio privado del Estado con destino al proyecto y estabilidad fiscal previstos en el Régimen de Promoción de Inversiones por el período de 10 años.

### 3.3. Departamental

- Decreto - Ley Nº 66: Fija la jurisdicción municipal del Municipio de Mercedes.
- Artículo 56: Atribuciones y deberes del concejo deliberante. Reglamentar sistemas de prevención de ruidos molestos, gases tóxicos y otras emanaciones perjudiciales. Reglamentar las condiciones de higiene y salubridad de todos los establecimientos comerciales o industriales.
- Artículo 85: Recursos y Bienes Municipales. Además de los impuestos, tasas, y contribuciones, son recursos municipales propios, los siguientes: Derechos por edificación, inspección, refacción, ampliación, mensuras, construcción de muros, cercas y veredas y/o cualquier otra obra que determine el municipio. Derechos de inscripción, habilitación, control de higiene, seguridad de establecimientos comerciales e industriales. Derecho de habilitación, equiparación, patentes, permisos, divisas para el ejercicio del comercio y/o autorización para cualquier actividad desarrollada en la vía pública con fines de lucro.
- Artículo 108: Régimen Urbanístico Y Tierra Fiscal. El municipio propiciará la presencia de representantes municipales en instituciones oficiales o privadas, cuando existan proyectos, que en general afecten al ejido urbano y rural.
- Artículo 122: Medio Ambiente - Ecología Y Bromatología. Dictará medidas tendientes a defender y conservar el sistema ecológico, la preservación del medio ambiente para evitar la contaminación y erosión, con el fin de proteger, mejorar la calidad de vida y desarrollo de las personas.
- Artículo 132: Derechos De Los Ciudadanos. Audiencia Pública: Podrá ser convocada por los ciudadanos inscritos en el Padrón Electoral para tratar temas que sean del interés general de la comunidad. Cuando la petición de Audiencia Pública cuente con la firma del cinco por ciento (0,5) del electorado Municipal, dicha convocatoria resultará obligatoria; también lo será antes del tratamiento legislativo de proyectos que pongan en riesgo el desarrollo sostenible de la comunidad y ante modificaciones de uso o dominio de bienes públicos municipales.
- Ley Nº 315: Municipalidad de Mercedes. Creación Declara Municipalidad Autónoma a la de Mercedes. Fecha de Sanción: 27/09/1920.
- Ley Nº 705: Municipalidades. Tratado Acuerdo y Convenio. Autoriza a las Comunas de Goya, Mercedes, Paso de los Libres, Santo Tomé, Monte Caseros, Esquina, Paso de los Libres, Bella Vista, Empedrado y Saladas para que celebren convenios con la Dirección de Obras Sanitarias de la Nación para la provisión de agua corrientes y sanitarios para dichos municipios. Fecha de Sanción: 17/09/1936.

- Ley Nº 768: Agua Potable. Aprueba el convenio y tarifas suscripto entre la Provincia y la Nación para proveer agua potable y desagües cloacales a la ciudad de Mercedes. Fecha de Sanción: 29/09/1937.
- Ley Nº 2623: Municipalidad de Mercedes. Desagües. Subsidio a la Municipalidad de Mercedes para construcción de desagües cloacales. Fecha de Sanción: 10/09/1965.
- Ley Nº 3761: Fauna y Flora. Investigación. Se declara de utilidad pública y sujeto a expropiación 54 has. sobre la Ruta 40 y Laguna Iberá (Paso Picada-Mercedes), con destino a la construcción de un complejo turístico científico con el fin de conservar la fauna y la flora autóctona. Fecha de Sanción: Fecha Promulgación: 11/03/1983.
- Ley Nº 6194: Arroz. Se declara a la localidad de Mercedes, Capital Provincial del Arroz. Fecha de Sanción: 25/04/2013.

#### **4. Evaluación ambiental de la zona de emplazamiento**

Recordando el Capítulo III - Ubicación de Planta, luego de un amplio análisis con distintos índices se concluyó que la mejor zona para la instalación de nuestra planta es el Departamento de Mercedes, ubicado en el centro de la provincia de Corrientes. Este limita al norte con los departamentos de Ituzaingó y Concepción, al sur con Curuzú Cuatiá, al oeste con La Valle y San Roque, y por el este con Paso de los Libres y San Martín.

Mercedes está catalogado como una comuna de 1° categoría, es el departamento de mayor tamaño en la provincia con una superficie de, aproximadamente, 9.588 km<sup>2</sup> lo que representa un 10,87% del total provincial (88.119 km<sup>2</sup>) y con una población superior a 47.000 habitantes. Contiene tres localidades: Mercedes, Felipe Yofre y Mariano I. Loza (Solari).

El departamento de Mercedes forma parte de un grupo de departamentos con los cuales comparten una de las reservas de agua dulce más extensas del mundo, los esteros y lagunas del Iberá. Consta de un enorme sistema de humedales que copa el centro y norte de la provincia de Corrientes, con un abundante y variable número de especies animales y vegetales, además de un espejo de agua de, aproximadamente, 20.000 km<sup>2</sup>. Por esta y más razones, los esteros del Iberá se convirtieron en una parte importante de patrimonio natural de la provincia de Corrientes, siendo una de las zonas más destacadas del territorio argentino.

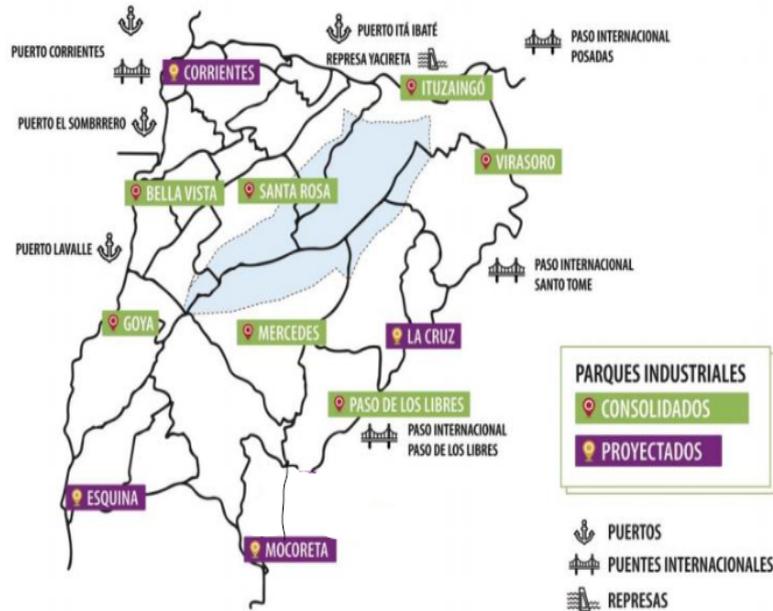


Figura N°1: Parques Industriales de Corrientes

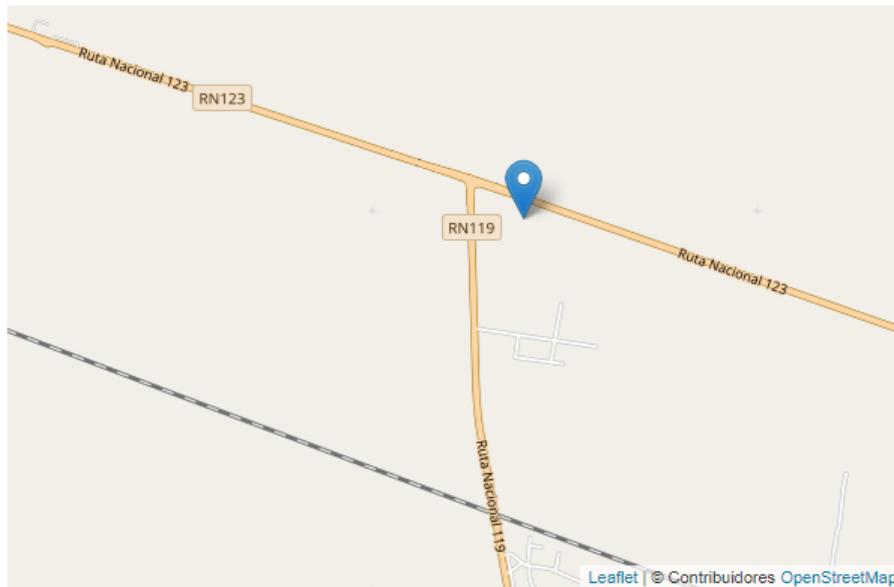
Es importante tener presente la ubicación de la planta ya que allí será donde se producirán las modificaciones ambientales, tanto negativas como positivas, ya sea durante la construcción del establecimiento como en las actividades llevadas a cabo. Entonces es necesario contar con información detallada acerca de las características de la zona a perturbar.

Sin embargo, se debe destacar que la planta estará ubicada en un predio enfocado en la actividad industrial, por lo tanto los efectos en el entorno no deberían presentar un carácter condenante ambientalmente ya que la zona está hecha para ese fin.

#### 4.1 Parque Industrial Mercedes

Inaugurado en el gobierno de Ricardo Colombi, se encuentra registrado como un parque industrial público provincial. Ubicado en el polo central arrocero del territorio argentino y en el corazón de la provincia de Corrientes. Este predio abarca 57,2 hectáreas y 17 lotes disponibles.

Por el Parque Industrial Mercedes pasa la Ruta Nacional N° 119 que conecta el departamento de Mercedes con el sureste de Corrientes y la RN N° 123 que recorre la provincia de este a oeste. Asimismo, cuenta con las Rutas Provinciales N° 40 y N° 114.



Fuente: Registro Nacional de Parques Industriales (RENPI)

Figura N°2: Parque Industrial Mercedes

Los servicios que presta el Parque Industrial Mercedes son:

- Pórtico de acceso.
- Casilla de seguridad.
- 1000 m lineales de pavimento; 400 m de ripio.
- Red de alumbrado público.
- Red de agua potable.
- Gas natural.
- Balanza.

Empresas localizadas en el predio:

- Vademarco S.A.: Grupo Equitecnica - Fabricación de máquinas.
- Nutricorrientes S.A.: Molienda de arroz.
- Italvarroz SRL: Cultivo de arroz.
- Neavade S.A.: Fabricación de calefones solares.
- EUCAR: Piezas prefabricadas de hormigón.

## 4.2 Clima

Como se ve en la figura a continuación, la provincia de Corrientes presenta en casi la totalidad de su territorio un clima subtropical con estación húmeda, lo cual le confiere cambios drásticos en las condiciones climáticas a lo largo del año. Caracterizada por veranos muy cálidos pero con unas cuantas heladas en invierno, durante el otoño y primavera hay frecuentes y abundantes lluvias, aunque también se observan ocasionales déficits hídricos, normalmente en el verano.

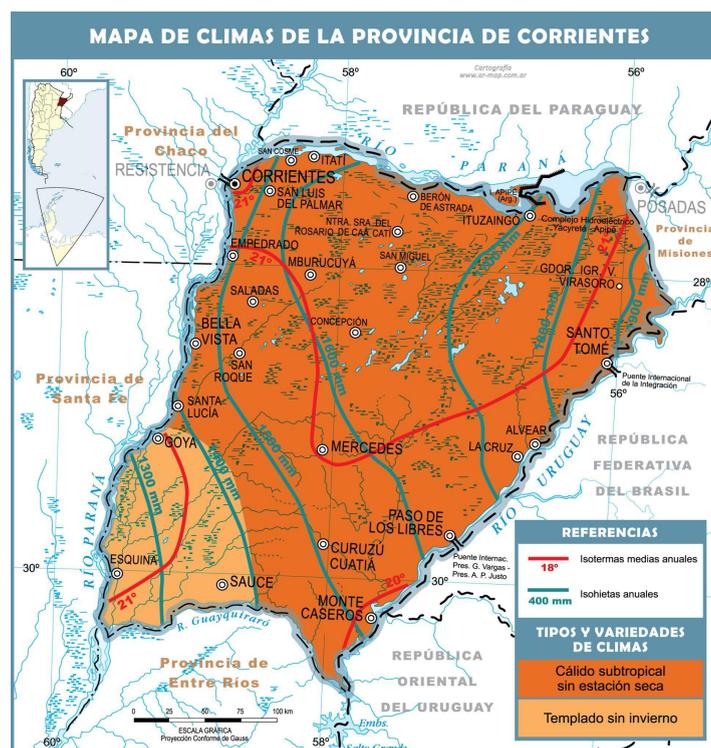


Figura N°3: Mapa de climas en la provincia de Corrientes

En el departamento de Mercedes se registran altos valores pluviométricos anuales, rodeando los 1272 mm, siendo los picos máximos en los meses de verano y otoño. En cuanto a la temperatura, el valor promedio está en torno a los 20,5°C en dicha estación, mientras que en el invierno promedio se encuentra levemente por encima de los 10°C.

Gracias a estas características, Mercedes es conocida por tener condiciones térmicas óptimas para llevar a cabo cada etapa del cultivo de arroz, desde la siembra, emergencia, prefloración hasta la cosecha.

## 4.3 Hidrografía

Tal como indica su nombre, la provincia de Corrientes posee numerosos ríos a lo largo de su territorio, de los cuales la gran mayoría desagua en los dos principales cauces, el Río Paraná y el Río Uruguay.

El departamento elegido para la localización se encuentra rodeado por los ríos Corrientes y Miriñay, como puede verse en la imagen a continuación, estos se distribuyen en forma de una gran cantidad de arroyos afluentes, de los cuales el más importante a mencionar es el Pay Ubré, el más caudaloso y extenso del río Corrientes.

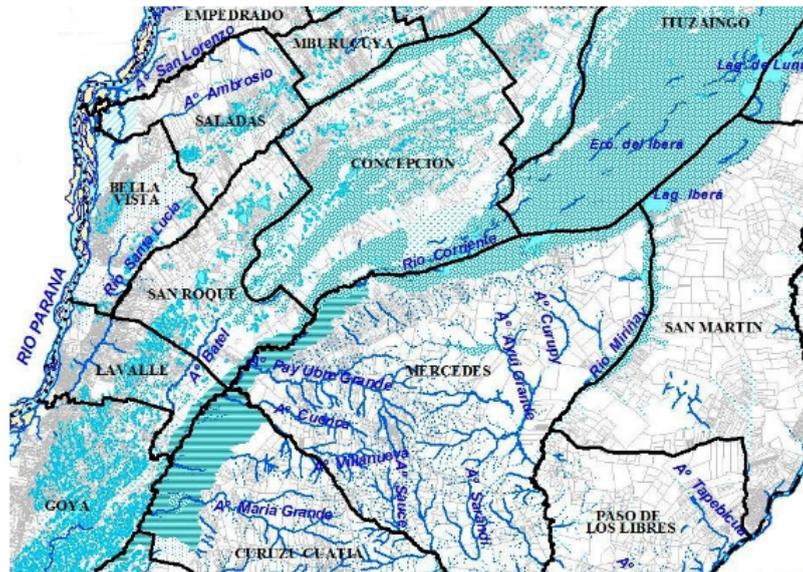


Figura N°4: Mapa hidrográfico en la provincia de Corrientes

Además de los ríos y arroyos, los lagos y lagunas también representan una parte fundamental de la hidrografía correntina, presentándose como espectaculares espejos de agua, hábitat de cientos de especies de aves y peces.

Dentro de los cuerpos de agua destacables podemos mencionar los Esteros del Miriñay, Arroyo Pay Ubré Grande, Arroyo Cuenca, Arroyo Yurupé, Arroyo Gurupicay, Arroyo Ayubí Grande, Arroyo Sauce, Arroyo Sarandí, Arroyo Villanueva.

#### 4.4 Fauna y Flora

Como mencionamos anteriormente, no solo el departamento de Mercedes sino la provincia en general tiene una gran variedad de especies animales y vegetales debido a sus distintas condiciones climáticas y estructuras del suelo. Ecosistema que se concentra en los Esteros del Iberá.

Con respecto a la flora, se presentan dos tipos de tierras donde se generan sistemas de vegetación diferentes. Por un lado, tenemos los embalsados, que son costas flotantes donde encontramos una gran variedad de plantas acuáticas como lo son el irupé, las lentejas de agua, lirios y el aguapé. Sería una grave falta no recordar que los Esteros del Iberá tienen una extensión territorial importante en el departamento de Mercedes, ya que en estos se concentran los embalsados y camalotales.

Por otro lado, tenemos la tierra más firme, la cual se caracteriza principalmente por vegetación arbórea como laureles, ombúes o ceibos, y vegetación del tipo paja como totora, espadaña, entre otros.

En cuanto a la fauna, las especies más destacables a mencionar son los yacarés, boa de agua y constrictora, ciervo de los pantanos (animal autóctono argentino), lobo de aguará guazú, corzuela, mono aullador, gato montés, zorrinos; además de liebres, vizcachas, armadillos. También se puede observar un importante número de especies de aves, cuyos colores y características son una notable atracción turística. Igualmente ocurre con la fauna marina, desde grandes cardúmenes de pequeños peces hasta anguilas, pirañas, bagres, entre otros.

## **5. Acciones o actividades susceptibles a producir un impacto ambiental del proyecto**

La planta industrial está dedicada a la producción de bioetanol que, al ser un combustible renovable, reduce las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI) por debajo de un 71% en comparación con combustibles fósiles. Además como su prefijo lo indica, es biodegradable y de baja toxicidad.

Como materia prima principal se utiliza la cáscara de arroz, abundante desecho de la industria arrocería argentina, por lo que se espera que el impacto ambiental negativo sea menor con respecto a otro tipo de industrias que utilicen procesos y productos más convencionales.

### **5.1. Etapas del proyecto**

Es importante tener en cuenta que cada fase del proyecto genera impactos ambientales, no son exclusivos de las operaciones que forman parte de un proceso. Cada decisión, actividad y cambio a lo largo de la producción que se tome, desde la idea inicial de habilitar una planta de producción hasta la utilización de recursos, como así también la cantidad de personal a contratar deben ser parte de la Evaluación de Impacto Ambiental.

Por esta razón, dividimos el proyecto en tres etapas principales:

- Etapa de construcción.
- Etapa de puesta en marcha y operación.
- Etapa de cierre.

A continuación, se realizará una descripción de los efluentes y los residuos generados en cada etapa del proyecto.

### 5.1.1. Efluentes y residuos generados en la etapa de construcción

Durante la etapa de construcción se generarán residuos sólidos semejantes a los residuos domiciliarios. Además de esto, se tendrán residuos líquidos provenientes de la actividad cotidiana de los trabajadores, y material particulado producido con los trabajos de cimentación, por ejemplo.

En lo posible se intentará desechar los materiales en rellenos sanitarios. Si sucediera el caso en que los residuos sean clasificados como peligrosos, se procederá a su correcta disposición.

A lo mencionado anteriormente se debe sumar el hecho de que durante la construcción se generarán ruidos y vibraciones provenientes de las maquinarias y vehículos utilizados, además del impacto visual.

Durante esta etapa, se destacan como acciones o actividades susceptibles a producir un impacto ambiental (ASPI) a las siguientes tareas, aclarando si serán impactos permanentes o temporales:

Actividad	Duración
Excavaciones mecánicas	Temporal
Rellenos	Temporal
Compra y manejo de maquinarias	Temporal
Edificación	Temporal
Generación de residuos	Temporal
Transporte y disposición de escombros	Temporal
Acondicionamiento del terreno	Temporal

Tabla N°1: Actividades susceptibles de producir Impacto Ambiental en construcción

### 5.1.2. Efluentes y residuos generados en la etapa de puesta en marcha y operación

Para realizar este análisis debemos tener en cuenta cuáles son las operaciones a llevar a cabo mientras la planta esté en normal funcionamiento.

- Obtención de celulosa a partir de cascarilla de arroz.
- Producción de glucosa.
- Producción de bioetanol.
- Tareas de mantenimiento de equipos.
- Tareas administrativas.
- Limpieza de equipamientos e instalaciones.
- Almacenamiento de materias primas y productos.

Nuevamente, debemos clasificar los residuos generados en esta etapa. En este caso, tendremos residuos asimilables a los residuos domiciliarios y también tendremos residuos especiales.

- Residuos asimilables a domiciliarios: Estos van a ser los residuos que se produzcan en las actividades de oficinas y en zona de comedor/cocina; tendremos por ejemplo papeles, botellas, restos de comida y envases plásticos. Los mismos serán almacenados en bolsas y basureros dispuestos para tal fin para ser recolectados luego por el servicio de recolección de residuos urbanos.

Como se mencionó, tendremos botellas y envases plásticos, estos serán almacenados en tachos que serán retirados del lugar por alguna cooperativa de reciclaje que contactaremos oportunamente.

- Residuos especiales: Estos serán los residuos generados en los laboratorios.

#### 5.1.2.1. Residuos sólidos

El residuo sólido que en mayor medida se tendrá durante la producción de bioetanol serán las cenizas que se separan de la celulosa mediante un clasificador de tornillo. El caudal de cenizas obtenido será de 3,77 Tn/h, y serán enviadas a disposición final.

En cuanto a residuos peligrosos, tendremos dentro de este grupo a las pilas y baterías utilizadas en las actividades de la planta, tanto en proceso como en oficinas y laboratorios, además de envases de tintas y tóner vacíos, trapos y equipamiento de limpieza de sustancias químicas que se derramen, entre otros más.

Estos residuos se destinarán a una pequeña sala de almacenamiento transitorio que cumpla con los requerimientos reglamentarios hasta que la o las empresas encargadas de su correcta disposición hagan el retiro.

#### 5.1.2.2. Efluentes

En cuanto al uso cotidiano de la planta, como efluentes se tendrán a los generados por el uso de los sanitarios y la limpieza de las instalaciones de la planta, que son los efluentes cloacales; y en cuanto a los efluentes generados en la operación diaria de la planta se tendrán los siguientes:

- Corriente de salida de la operación de recuperación de solvente: Solución acuosa de lignina y hemicelulosa, con trazas de ácido clorhídrico y de ácido acético.
- Corriente de salida de la operación de destilación del bioetanol: En mayor medida estará formado por agua, y un pequeño porcentaje de etanol que no pudo ser destilado.

- Corriente de salida de la operación de deshidratación: Solución acuosa con trazas de etanol.

Como se mencionó en el Capítulo VII - Diseño de equipos, todos los efluentes líquidos que fueron mencionados no presentan incompatibilidad química, por lo tanto serán dirigidos a un tanque equalizador donde serán acondicionados, logrando un pH de 7 y disminuyendo la cantidad de sedimentos.

Para poder lograr esto, se tendrá un sistema de tratamiento primario, encargado de la sedimentación, precipitación, coagulación y floculación de los compuestos. Posteriormente, se utilizará un módulo de tratamiento para finalizar la purificación del agua involucrada. Una vez que se alcancen ciertos parámetros de vuelco según la regulación provincial, el agua procederá a ser vertida.

#### 5.1.2.3. Emisiones gaseosas

Como producto del normal funcionamiento de la planta se tendrán emisiones gaseosas, las cuales provendrán de las siguientes operaciones:

- Vapor de agua generado en la etapa de pre-tratamiento de la cáscara de arroz con ácido muy diluido.
- Dióxido de carbono producido durante la etapa de fermentación que será captado y comercializado.
- Gases de chimenea emitidos por el funcionamiento del calderín de las torres de destilación y el calentador de agua.

Para mitigar la emisión de vapor de agua y gases de chimenea, se utilizará un lavador de gases del cual se obtendrá un agua con pH neutro debido a las bajas cantidades de ácido acético y clorhídrico del pretratamiento, teniendo los gases de chimenea de igual manera poco aporte en cuanto a pH.

#### 5.1.2.4. Ruidos y otros factores

Durante las distintas operaciones de la planta hay ciertos ruidos y vibraciones que serán producidos por equipos como centrífugas, bombas, molinos, algunos motores y transportadores.

Durante esta etapa de operación normal de la planta consideraremos como acciones o actividades susceptibles de producir un impacto ambiental (ASPI) a:

Actividad	Duración
Consumo de energía eléctrica	Permanente
Mantenimiento de espacios verdes	Permanente
Tareas administrativas	Permanente
Almacenamiento y uso de materias primas	Permanente
Almacenamiento de insumos de oficina	Permanente
Almacenamiento de insumos de laboratorio	Permanente
Manejo y mantenimiento de equipos principales y auxiliares	Permanente
Limpieza de equipos e instalaciones	Permanente
Movimiento de vehículos y maquinarias	Permanente
Recuperación de solvente de pretratamiento	Permanente
Consumo de agua	Permanente
Separación de la ceniza y celulosa	Permanente
Reacción de fermentación de la glucosa	Permanente
Destilación del bioetanol	Permanente
Deshidratación del bioetanol	Permanente
Almacenamiento y distribución del producto	Permanente

Tabla N°2: Actividades susceptibles de producir Impacto Ambiental en operación

### 5.1.3. Residuos y efluentes generados durante el proceso de cierre de la planta

Para analizar esta etapa de cierre, se utilizarán los criterios mencionados en la etapa de construcción. Como en el ítem mencionado, se tendrán residuos sólidos que serán asimilables a los residuos domiciliarios, además de efluentes líquidos producidos por la actividad normal de las personas; sin olvidar mencionar que en esta etapa se pueden producir residuos de materiales propios de construcción, en dos posibles presentaciones: soluciones acuosas que los contengan (producto del lavado y limpieza de zonas y elementos de trabajo), y en forma sólida.

Siempre que sea posible, los desechos deberán depositarse en rellenos sanitarios, en el caso de que se tengan residuos peligrosos, se hará una correcta disposición final de los mismos.

En cuanto a los equipos que se utilizarán en la operación de la planta se hará lo posible para que estos puedan venderse para recuperar parte de la inversión y además, no disponerlos como residuos como primera opción.

Se debe tener un plan de acción para poder realizar un correcto cierre de planta, y así evitar que los residuos líquidos se viertan al suelo. Las acciones serán el drenaje de los tanques, reactores y equipos que hayan contenido líquidos, además de las cañerías y equipos de transporte de líquidos utilizados en la operación diaria de la planta.

Durante esta etapa, consideraremos como acciones o actividades susceptibles de producir un impacto ambiental (ASPI) a:

Actividad	Duración
Desmantelamiento de las instalaciones	Temporal
Transporte de los materiales y maquinarias	Temporal
Generación de residuos	Temporal
Recuperación del suelo	Permanente
Drenaje de tanques, reactores, cañerías y recipientes	Temporal

Tabla N°3: Actividades susceptibles de producir Impacto Ambiental en cierre

## 5.2. Pasivos ambientales

El hecho de que los pasivos ambientales no suelen ser informados es lamentable ya que es una variable muy importante a tener en cuenta a la hora de adquirir un terreno para el emplazamiento de una planta industrial, por lo que debe realizarse una solicitud del estudio del suelo para saber si podría o no haber pasivos ambientales por parte de alguna gestión anterior. Para ello se debe investigar acerca de actividades anteriores o actuales que se lleven a cabo en zonas cercanas al terreno, así tener un mejor panorama a la hora de realizar análisis y muestreos.

En el momento que se realice el cierre de planta se debe asegurar que el emplazamiento quede en las condiciones correctas, por lo que se debe realizar un nuevo estudio de suelo.

## 5.3. Uso del agua

El Arroyo Pay Ubré Grande será la fuente de agua principal para el funcionamiento de la planta, ya que presenta una gran extensión y es uno de los más cercanos al parque industrial Mercedes. Según el decreto ley N° 191/01, se podrá hacer un libre uso del agua de dicho arroyo siempre y cuando se pague el correspondiente canon que exige la legislación provincial, el cual variará según el caudal y el uso que se le dará a la misma.

Además del uso del agua del arroyo, se hace uso de agua de pozo presente en el mismo emplazamiento.

Cabe destacar que a lo largo de este proyecto se han tomado todas las medidas necesarias para reducir al mínimo los requerimientos de agua, como la reutilización de la misma a través de tratamientos de los efluentes líquidos, sistemas de refrigeración, bombas recirculadoras, entre otros.

## 6. Matriz de impacto ambiental

Con lo descrito a lo largo del capítulo se procede a realizar la matriz de impacto ambiental, la matriz de Leopold.

Se tendrá en las columnas cada uno de los aspectos mencionados anteriormente en las tres etapas del proyecto. Las filas estarán completadas con los factores, afectados con la subdivisión de ambientales y sociales, económicos y culturales y paisaje.

Esta matriz es del tipo cualitativa, y distinguirá entre impactos positivos o negativos, además de la magnitud de los mismos. La magnitud se demostrará con una tabla de colores que se muestra a continuación, que variará según la intensidad que tienen sobre el factor afectado.

Referencias	
	Muy positivo
	Medianamente positivo
	Levemente positivo
	Levemente negativo
	Medianamente negativo
	Muy negativo

Tabla N°4: Referencia de colores para matriz de Leopold

### 6.1. Etapa de construcción

Aspectos ambientales Factores ambientales			Etapa Construcción						
			Excavaciones mecánicas	Rellenos	Compra y manejo de maquinarias	Edificación	Generación de residuos	Transporte y disposición de escombros	Acondicionamiento del terreno
Ambientales y sociales	Atmósfera	Calidad de aire							
		Ruido y vibraciones							
	Suelo	Valores geológicos							
		Superficial							
	Agua	Subterránea							
		Flora	Cobertura vegetal						
	Fauna	Especies terrestres							
Aves									
Paisaje	Alteración								
Económicos y culturales	Economía	Desarrollo industrial							
		Revalorización de la zona							
		Economía local							
		Inversiones							
		Uso del suelo							
	Cultura	Educación							
		Estilo de vida							
	Población	Calidad de vida							
		Capacitación							
		Generación de empleo							

Figura N°5: Matriz de impacto ambiental de la etapa de construcción

## 6.2. Etapa de operación

Factores ambientales			Etapa Operación									
			Descarga/Carga de Cascarilla	Molienda	Pretratamiento	Centrifugación	Destilación Ac. Acético	Clasificación	Hidrólisis	Fermentación	Destilación	Deshidratación
Ambientales y sociales	Atmósfera	Calidad de aire										
		Ruido y vibraciones										
	Suelo	Valores geológicos										
		Superficial										
	Agua	Subterránea										
		Flora	Cobertura vegetal									
	Fauna	Especies terrestres										
Aves												
Paisaje	Alteración											
Económicos y culturales	Economía	Desarrollo industrial										
		Revalorización de la zona										
		Economía local										
		Inversiones										
		Uso del suelo										
	Cultura	Educación										
		Estilo de vida										
	Población	Calidad de vida										
		Capacitación										
		Generación de empleo										

Figura N°6: Matriz de impacto ambiental etapa operación

### 6.3. Etapa cierre

Factores ambientales			Etapa Cierre				
			Desmantelamiento de las instalaciones	Transporte de los materiales y maquinarias	Generación de residuos	Despido del personal	Recuperación del suelo
Ambientales y sociales	Atmósfera	Calidad de aire					
		Ruido y vibraciones					
	Suelo	Valores geológicos					
		Superficial					
	Agua	Subterránea					
		Flora	Cobertura vegetal				
	Fauna	Especies terrestres					
		Aves					
Paisaje	Alteración						
Económicos y culturales	Economía	Desarrollo industrial					
		Revalorización de la zona					
		Economía local					
		Inversiones					
		Uso del suelo					
	Cultura	Educación					
		Estilo de vida					
	Población	Calidad de vida					
		Capacitación					
Generación de empleo							

Figura N°7: Matriz de impacto ambiental etapa cierre

## 7. Medidas mitigadoras

Pese a que el propósito de la implantación de nuestra planta industrial es formar parte del próspero mercado de biocombustibles fomentando su crecimiento y competitividad, no sería correcto enfocarse únicamente en el impacto del producto. Es por esta razón que en capítulos anteriores hemos mencionado e, incluso, nos hemos comprometido a velar por el bien social y ambiental, analizando y evaluando el impacto que tendrá cada etapa del proceso productivo e instalación de la planta, desde la recepción de la materia prima hasta el despacho del combustible.

Entonces, siendo fiel a nuestra política, no es suficiente el hecho de ser conscientes acerca de dichos impactos sino también debemos generar un plan de acción o contar con determinadas medidas que tengan como objetivo la amortiguación o reversión de los efectos de carácter negativo generados, los cuales fueron explicados a lo largo de todo el capítulo.

Estas medidas, llamadas mitigatorias, pueden ser de acción preventiva, compensatoria o correctiva, la diferencia entre estas radica en si el impacto ya ha sucedido o aún no y se pretende evitarlo o apaciguarlo. La determinación de las medidas preventivas se da durante la planeación del proyecto, mientras que las correctivas y compensatorias durante el desarrollo propiamente dicho del proyecto (la etapa de construcción, operación y cierre).

Al tratarse de una nave industrial de gran tamaño, las medidas mitigatorias establecidas a continuación estarán orientadas a aquellos impactos ambientales catalogados como levemente negativos, medianamente negativos y muy negativos, entonces:

#### 7.1 Construcción y Cierre

- Un aspecto importante en esta etapa es la modificación de la calidad del aire, debido principalmente al material particulado suspendido. Para minimizar este efecto debe cubrirse el suelo extraído para que no se disperse por vientos o lluvias, también cubrir cargas de camiones o volquetes con lonas. En caso de ser necesario las superficies descubiertas se pueden mantener húmedas mediante riego.

Igualmente, habrá un porcentaje de partículas que no podrán retenerse, los cuales en un tiempo determinado caerán por gravedad, por lo tanto, se contratará a una empresa especial para la limpieza y recolección de estos desechos en los alrededores.

- Tanto el transporte como la disposición final de materiales sobrantes generan impactos negativos sobre el suelo. Para disminuir la cantidad de desechos, nos proponemos aprovechar y comercializar el reúso del material que se encuentre en buen estado.
- Para disminuir todo efecto negativo se propone que las actividades de la obra estén correctamente planeadas y llevadas a cabo, y que la cantidad de equipos y materiales se limiten a lo estrictamente necesario.
- Contribuyendo al punto anterior, es importante que el personal cuente con los conocimientos, protección y capacitación necesaria, también se puede exigir que los vehículos cuenten con la verificación técnica aprobada, para así disminuir la contaminación vehicular.
- En cuanto a los ruidos y vibraciones, las medidas mitigadoras no necesariamente deben ser muy estrictas ya que no se encuentran domicilios cerca, al ser un parque

industrial, sin embargo, se deben establecer y controlar los niveles de ruido y horarios de funcionamiento de las maquinarias con el fin de reducir la contaminación auditiva del predio y evitar la interrupción o molestia de actividades industriales vecinas. También se contribuye no dejando máquinas y vehículos en marcha si no es necesario.

## 7.2 Planta en actividad

- En este caso los ruidos y vibraciones si representan un factor importante a limitar por el bienestar de los operarios. La principal medida es que la estructura de la instalación cuente con las características necesarias para absorber y amortiguar los ruidos y vibraciones generados por motores, compresores y demás equipos.

Para fortalecer esta medida se utilizarán cimentaciones especiales para las máquinas que generen vibraciones, además de la aplicación de lubricantes y silenciadores en los equipos motorizados.

- Toda sustancia química involucrada en una operación, ya sea como fluido principal o auxiliar, deberá estar correctamente identificada y almacenada en su recipiente correspondiente.
- Para combatir la contaminación de suelos, todo tanque, reactor o equipo que trabaje con una sustancia contaminante propensa a sufrir derrames contará con la contención y aislamiento adecuado. De esta manera, se evita que la sustancia se filtre hacia las capas del suelo, disminuyendo y/o evitando accidentes en las áreas de trabajo ante posibles derrames.
- Las superficies y áreas donde se manipulen sustancias tóxicas y/o volátiles estarán aisladas, y construidas con los materiales y pinturas adecuados.
- A lo largo del predio se contarán con recipientes identificados con distintas etiquetas y colores para la clasificación y disposición de los residuos sólidos generados por las actividades no industriales (oficinas, mantenimiento); los cuáles serán sometidos a métodos para su reutilización interna o externa siendo comercializados.
- En varias operaciones se utiliza agua como fluido auxiliar, por ejemplo, intercambiadores de calor, sin embargo al ser una nave industrial de gran tamaño y manipular importantes cantidades de productos, decidimos que la medida mitigadora a aplicar será la recirculación de dicho fluido para evitar consumos innecesarios de los recursos naturales y energéticos.
- Promover el uso de combustibles más limpios cuando ello sea posible, optimizando el uso de recursos energéticos, naturales y humanos.

- Nuevamente es muy importante contar con trabajadores capacitados y con los elementos de protección adecuados.
- Ubicación de extintores y carteles indicadores de salidas de emergencia y evacuación.
- Instalación de servicios: Las instalaciones de gas, agua y otros, deben estar aprobados por el ente regulador, los sistemas deben contar con sus correspondientes medidores y cumplir con las reglamentaciones vigentes.
- Con respecto a la contaminación visual que el emplazamiento presenta, su principal medida mitigadora sería la etapa de desmantelamiento o cierre de la actividad. Lo cual se encuentra contemplado en la matriz de Leopold. Al retirar la edificación de la zona, el impacto queda neutralizado.

## 8. Bibliografía

- Argentina.gob. (n.d.). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/evaluacion-ambiental/evaluacion-de-impacto-ambiental>
- Enciso, G., ROSSI CIBILS, R., & Gómez, G. (n.d.). LEY 4.731 Corrientes. [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/producciones\\_sostenibles/legislacion/provincial/\\_archivos//000003-Feedlot/000007-Corrientes/004731-corr\\_ley\\_4731.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/producciones_sostenibles/legislacion/provincial/_archivos//000003-Feedlot/000007-Corrientes/004731-corr_ley_4731.pdf)
- Gobierno de México. (n.d.). *Definición y objetivo de la evaluación del impacto ambiental*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/definicion-y-objetivo-de-la-evaluacion-del-impacto-ambiental>
- Justia Argentina. (n.d.). *Constitución de Corrientes > PARTE PRIMERA > TÍTULO SEGUNDO > Capítulo X :: Ley de Argentina*. Justia Argentina. <https://argentina.justia.com/provinciales/corrientes/constitucion-de-corrientes/parte-primer/titulo-segundo/capitulo-x/>
- Ministerio Público Fiscal. (2018, August). *El derecho a un medio ambiente sano*. Ministerio Público Fiscal. <https://www.mpf.gob.ar/dgdh/files/2018/08/DDHH-cuadernillo-10-Medio-ambiente-sano.pdf>
- Provincia de Corrientes. (n.d.). *codigo de aguas de la provincia de corrientes*. Instituto Correntino del Agua y del Ambiente. [https://www.icaa.gov.ar/Documentos/Ingenieria/Codigo\\_Aguas\\_Ley191\\_01.pdf](https://www.icaa.gov.ar/Documentos/Ingenieria/Codigo_Aguas_Ley191_01.pdf)
- Tito, B. (2020, August 2). ▷ *Matriz de Leopold Modificada Impacto Ambiental 2022*. Ingenieria Ambiental. <https://ingenieriaambiental.net/matriz-de-leopold/>
- Vertex Bioenergy. (n.d.). *Home*. VERTEX BIOENERGY | Home. <https://www.vertexbioenergy.com/ethanol-benefits-es.php>



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo XII: Seguridad e Higiene en el  
trabajo**

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>356</b>
<b>2. Protección contra incendios.....</b>	<b>356</b>
2.1. Sistema de hidrantes.....	356
2.2. Clasificación de actividades.....	356
2.2.1. Determinación del caudal de agua.....	358
2.3. Carga de fuego.....	359
2.3.1. Tipos de fuego.....	362
2.3.2. Cantidad de extintores.....	363
2.3.3. Consideraciones en la instalación de matafuegos.....	365
2.3.4. Distribución de extintores.....	366
2.4. Diseño del sistema contra incendios.....	369
2.4.1. Hidrantes.....	369
2.4.1.1. Equipamiento de hidrantes.....	370
2.4.1.2. Cálculo de hidrantes.....	370
2.4.1.3. Sistema de cañerías.....	373
2.4.1.4. Conexión para bomberos.....	374
2.4.2. Rociadores.....	374
2.4.2.1. Distribución de los rociadores.....	375
2.4.2.2. Diseño del sistema de rociadores.....	375
2.4.2.3. Tuberías.....	378
2.4.3. Válvulas de control del sistema.....	379
2.4.4. Válvulas reductoras de presión.....	379
2.4.5. Sistema de drenaje.....	379
2.4.6. Manómetros.....	379
2.4.7. Prueba hidrostática.....	380
2.4.8. Lavado con circulación de agua.....	380
2.4.9. Mantenimiento.....	380
2.5. Fuentes de agua.....	380
2.5.1. Tipos y requisitos para las bombas de incendio.....	380
2.5.2. Fuentes de alimentación motriz.....	381
2.5.3. Accesorios de motobomba.....	381
2.5.4. Arranque y parada de las bombas de incendio.....	381
2.6. Reserva de agua.....	382
2.7. Bombas de incendio.....	382
2.7.1. Bomba eléctrica.....	382
2.7.2. Motobomba.....	387
2.8. En caso de incendio.....	387
2.9. Medios de evacuación.....	388

2.9.1 Ancho de pasillos, corredores y escaleras.....	388
2.9.2 Condiciones de los medios de escape.....	391
<b>3. Bibliografía.....</b>	<b>392</b>

### Índice de Figuras

Figura N°1: Ubicación de extintores en Zona A.....	366
Figura N°2: Ubicación de extintores en Zona B.....	366
Figura N°3: Ubicación de extintores en Zona C.....	367
Figura N°4: Ubicación de extintores en Zona D.....	367
Figura N°5: Ubicación de extintores en Zona E.....	368
Figura N°6: Ubicación de extintores en Zona F.....	368
Figura N°7: Ubicación de extintores en Zona H, I, J.....	369
Figura N°8: Hidrantes en zona A.....	371
Figura N°9: Hidrantes en zona B.....	371
Figura N°10: Hidrantes en zona C.....	372
Figura N°11: Hidrantes en zona D.....	372
Figura N°12: Hidrantes en zona E.....	372
Figura N°13: Hidrantes en zona F.....	373
Figura N°14: Hidrantes en zona H, I, J.....	373
Figura N°15: Rociador tipo gota grande.....	375
Figura N°16: Rociadores en zona A.....	377
Figura N°17: Rociadores en zona B (operaciones).....	377
Figura N°18: Rociadores en zona C (operaciones y laboratorio de operaciones).....	377
Figura N°19: Rociadores en zona H, I, J (sala de bombas, mantenimiento y sala de control).....	378
Figura N°20: Diagrama de Moody.....	384
Figura N°21: Bomba de Incendio Ebara modelo GS/ENI.....	386
Figura N°22: Motobomba “Villa Zappa” modelo SYP 54.....	387
Figura N°23: Plano de evacuación.....	390

### Índice de Tablas

Tabla N°1: Nivel de riesgo por sector.....	357
Tabla N°2: Superficie ocupada según riesgo.....	358
Tabla N°3: Caudal de agua mínimo según la superficie.....	358
Tabla N°4: Reserva mínima de agua según la superficie.....	358
Tabla N°6: Clasificación de materiales según su combustión.....	360
Tabla N°7: Carga de fuego por zonas.....	361
Tabla N°8: Potencial extintor mínimo para fuegos clase A.....	363

Tabla N°9: Potencial extintor mínimo para fuegos clase B.....	363
Tabla N°10: Cantidad de extinguidores.....	364
Tabla N°11: Número de hidrantes por zona.....	370
Tabla N°12: Espaciamiento y área protegida por rociador.....	375
Tabla N°13: Parámetros de ubicación de rociadores.....	376
Tabla N°14: Cálculo de rociadores y ramales por sectores.....	376
Tabla N°15: Normas que regulan los tipos de cañerías y sus dimensiones.....	378
Tabla N°16: Especificaciones del Tanque de reserva de agua.....	382
Tabla N°17: Longitud equivalente en tramo recto para los hidrantes.....	383
Tabla N°18: Especificaciones Bomba de Incendio.....	386
Tabla N°19: Ancho mínimo de pasillos, corredores y escaleras.....	388
Tabla N°20: Factor de ocupación.....	389
Tabla N°21: Cantidad mínima de medios de escape.....	390

## **1. Introducción**

En este capítulo se realizarán los cálculos y diseños que serán utilizados para garantizar la reducción de los riesgos a los cuales estarán expuestos los trabajadores, buscando que sea el mínimo posible. Para ello se seguirán ciertas normativas y reglamentaciones que aplican al tema mencionado.

Se abordarán los siguientes aspectos de protección contra incendios:

- Cálculos de carga de fuego
- Sistema contra incendios
- Planos de rociadores
- Matafuegos y bocas de incendio
- Rutas de escape

## **2. Protección contra incendios**

### **2.1. Sistema de hidrantes**

En este punto se establecerán los requisitos mínimos que deben cumplir los sistemas de hidrantes siguiendo la guía técnica del CIR (Círculo de Ingenieros de Riesgo) correspondiente para este apartado. Esta guía técnica, se basa en las normas CEPREVEN, NFPA e IRAM.

Se implementa para poder analizar y mejorar los aspectos y actividades de la planta que tengan relación con la seguridad y prevención contra incendios.

Si bien no se trata de una normativa, como su nombre lo indica, con el tiempo derivó en la norma IRAM 3597.

### **2.2. Clasificación de actividades**

Se utilizará la siguiente clasificación para luego poder definir los parámetros básicos en la instalación de hidrantes y las bocas de incendio:

a) Actividad de Riesgo Leve: Se incluye en esta categoría a las actividades caracterizadas por la inexistencia de almacenamiento y la ausencia de manufacturas o procesos industriales. Se trata de establecimientos con cargas de fuego bajas, por ejemplo edificios de oficinas incluyendo centros de cómputos.

b) Actividad de Riesgo Moderado - Grupo I: Comprende a negocios y depósitos no peligrosos en general, así como también aquellas industrias que por las características de sus procesos y materias primas no revisten una gran peligrosidad, y en las que es relativamente fácil combatir un incendio. Las cargas de fuego son bajas y moderadas, por ejemplo máquinas en general, fabricación, depósitos y ventas, y talleres mecánicos.

c) Actividad de Riesgo Moderado - Grupo II: Comprende a los depósitos e industrias que en función de sus procesos, materias primas y productos elaborados o almacenados, adquieren características de fácil combustibilidad, siendo relativamente difícil combatir un incendio. En este caso se incluyen las actividades con cargas de fuego de moderadas a altas, por ejemplo bebidas alcohólicas con tenor alcohólico mayor al 20%, depósitos de mercaderías combustibles, molinos de cereales, productos químicos combustibles.

d) Actividad de Riesgo Alto: Aquella en la que se encuadran los depósitos de productos líquidos inflamables y combustibles o sólidos de alta peligrosidad, las industrias cuyos procesos encierran una gran peligrosidad, presentando riesgos de incendio y explosión muy importantes, factores que hacen muy difícil combatir un incendio. Se trata de actividades con cargas de fuego de altas a muy altas, que incluyen materiales combustibles e inflamables, por ejemplo depósitos de productos químicos inflamables y explosivos, destilerías de alcohol y procesamiento de líquidos inflamables, industrias químicas de alto riesgo (incluye petroquímica, síntesis con productos inflamables, uso de sustancias explosivas), otras actividades que involucren el proceso, mezclas, almacenamiento y empleo de líquidos muy inflamables.

A continuación, se listan todos los espacios del predio con sus respectivas superficies y el nivel de riesgo de cada uno de ellos, el cual fue determinado en base a la clasificación del CIR que se verá más adelante.

Zona	Sector	Superficie	Nivel de Riesgo
A	Oficinas/Administrativo	1150	Leve
	Vestuarios	93	Leve
	Cocina/Comedor	240	Moderado - Grupo I
	Sector Jerarquico	99	Leve
	Recepción	43,5	Leve
	Sala de reuniones	33	Leve
B	Laboratorio de Pretratamiento	63,25	Alto
	Operaciones	687,5	Alto
C	Laboratorio de producción	105	Alto
	Operaciones	975	Alto
D	Silos de cáscara Equipos	2200	Moderado - Grupo I
E	Tanques de Ác. Acético	3100	Alto
F	Tanques de Bioetanol	1800	Alto
H	Sala de bombas	105	Alto
I	Mantenimiento	105	Moderado - Grupo II
J	Sala de control	105	Moderado - Grupo I

Tabla N°1: Nivel de riesgo por sector

Tipo de Riesgo	Superficie [m2]	Superficie [%]
Alto	6835,75	62,69
Moderado	2650,00	24,30
Leve	1418,50	13,01
<b>Total</b>	<b>10904,25</b>	<b>100</b>

Tabla N°2: Superficie ocupada según riesgo

### 2.2.1. Determinación del caudal de agua

Para el cálculo del caudal mínimo de agua requerido por el sistema de incendio se tendrán en cuenta el tipo de riesgo y la superficie, valores ya mencionados.

Riesgo	Superficie (S) (m <sup>2</sup> )			Tiempo Minutos
	1.000 < S < 2.500 Lpm	2.500 < S < 10.000 lpm	10.000 < S < 20.000 lpm	
Leve	750	1.000	1.500	30
Moderado, grupo I	1.000	1.000	1.500	45
Moderado, grupo II	1.000	1.500	2.000	60
Alto riesgo	1.500	2.000	3.000	60

lpm = litros por minuto

Tabla N°3: Caudal de agua mínimo según la superficie

Ahora, para saber la cantidad mínima que se debe tener de reserva, se hace uso de las columnas “Tiempo Minutos” y la columna de caudales, con una simple multiplicación. Se obtiene la siguiente tabla:

Riesgo	Superficie (S) (m <sup>2</sup> )			Tiempo Minutos
	1.000 < S < 2.500 litros	2.500 < S < 10.000 Litros	10.000 < S < 20.000 Litros	
Leve	22.500	30.000	45.000	30
Moderado, grupo I	45.000	45.000	68.000	45
Moderado, grupo II	60.000	90.000	120.000	60
Alto riesgo	90.000	120.000	180.000	60

lpm = litros por minuto

Tabla N°4: Reserva mínima de agua según la superficie

Se adoptará como caudal nominal de la bomba el 100% del caudal de agua para el sistema.

En cuanto a la presión de la bomba de incendio, se buscará lograr una presión residual mínima de 5 bares en el hidrante de posición hidráulicamente más desfavorable.

<b>Riesgo</b>	Alto
<b>Área [m2]</b>	11.600
<b>Caudal mínimo</b>	3000
<b>Tiempo [min]</b>	60
<b>Reserva de agua</b>	180 m3

Tabla N°5: Reserva de agua

### 2.3. Carga de fuego

La densidad de carga de fuego se determina mediante el cálculo de la sumatoria del producto de la cantidad de cada material combustible considerado por su respectivo poder calorífico, dividido por la superficie del recinto donde se encuentre contenido cada material. Los valores obtenidos son una representación aproximada de la energía calorífica por unidad de superficie que se liberaría en el caso que se incendie todo el material combustible existente en el local.

Los materiales combustibles que se tendrán en cuenta para dicho cálculo, basado en el decreto Decreto Nº 351/79 - que reglamenta la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo (Ley 19587) - Anexo VII, serán tanto sólidos, líquidos y/o gaseosos que se encuentren en depósitos, barriles e, incluso, cañería.

Se le debe asignar un riesgo asociado a cada material y producto considerado según la actividad en la que está involucrado. Previamente se les atribuye una de las siguientes categorías teniendo en cuenta su reacción y resistencia al fuego:

- **Riesgo 1: Explosivo.** Aquellas sustancias que son susceptibles de provocar una reacción exotérmica acompañada por una importante emisión de gases.
- **Riesgo 2: Inflamable.** Son los líquidos que pueden emitir vapores que al ser mezclados en determinadas proporciones con el aire, dan lugar a mezclas combustibles. Se pueden sub - clasificar según su punto de inflamación: de 1era categoría si el punto de inflamación es igual o menor a 40°C (como el alcohol, nafta, acetona); y de 2da categoría aquellos cuyo punto de inflamación está comprendido entre los 41 y 120°C (kerosene, aguarrás, ácido acético).
- **Riesgo 3: Muy Combustible.** Materiales que al ser expuestos al aire pueden ser encendidas, y además presentan la característica de continuar ardiendo aunque se haya retirado la fuente de ignición, por ejemplo: hidrocarburos pesados, madera, papel, tejidos de algodón y otros.
- **Riesgo 4: Combustible.** Son los materiales que son capaces de mantener la combustión aún cuando la fuente externa de calor haya sido suprimida. Generalmente, necesitan de un abundante flujo de aire y están integradas por hasta un 30% de su peso por agentes muy combustibles. En esta categoría encontramos a determinados plásticos, cueros, lanas, madera y tejidos de algodón tratados con retardadores.
- **Riesgo 5: Poco Combustible.** Aquellos materiales que se encienden al ser sometidos a altas temperaturas, sin embargo su combustión invariablemente cesa al ser apartada la fuente de calor, por ejemplo: celulosas artificiales y otros.

- **Riesgo 6: Incombustible.** En esta clasificación encontramos a los materiales que al ser sometidos al calor, o llama directa, pueden sufrir cambios en sus características físicas, acompañados o no por reacciones químicas endotérmicas, sin formación de materia combustible alguna. Por ejemplo: hierro, plomo y otros.
- **Riesgo 7: Refractarios.** Aquellos materiales que al ser sometidos a altas temperaturas, alrededor de 1500°C, aún durante períodos muy prolongados, ninguna de sus características físicas o químicas se ven alteradas. Por ejemplo: amianto, ladrillos refractarios, y otros.
- **N.P.: No permitido.**

Actividad Predominante	Clasificación de los Materiales Según su Combustión						
	Riesgo 1	Riesgo 2	Riesgo 3	Riesgo 4	Riesgo 5	Riesgo 6	Riesgo 7
Residencial Administrativo	NP	NP	R3	R4	—	—	—
Comercial 1 Industrial Depósito	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Espectáculos Cultura	NP	NP	R3	R4	—	—	—

Tabla N°6: Clasificación de materiales según su combustión

A continuación, calculamos la carga de fuego de manera aproximada para cada área considerada dentro de la planta, necesaria para determinar la cantidad de extinguidores más adelante.

$$Carga\ de\ Fuego = \frac{Cant.\ Mat.\ Comb.\ * PC_{Cant.MC}}{Superficie * PC_{Madera}}$$

Se estima la cantidad de materiales combustibles que pueden encontrarse en los distintos sectores de la planta guiándose de la división de zonas del Capítulo IX - Layout. Debido a una simplificación y sobredimensionamiento de los cálculos, además de los productos que son parte del proceso, sólo se tienen en cuenta los materiales combustibles más comunes y mayoritarios.

Zona	Sector	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Material	Cantidad de material [Kg]	Poder calorífico [Kcal/Kg]	Poder calorífico madera [Kcal/Kg]	Carga de fuego [Kg/m <sup>2</sup> ]	Carga total [Kg/m <sup>2</sup> ]
A	Oficinas/Administrativo	1150	Computadoras	10	100000	4400	0,198	1,838
			Papel	900	3800	4400	0,676	
			Madera	400	4400	4400	0,348	
			Plástico	400	7800	4400	0,617	
	Vestuarios	93	Ropa/Telas	60	4500	4400	0,660	1,735
			Madera	100	4400	4400	1,075	
B	Cocina/Comedor	240	Aceite Comestible	90	8870	4400	0,756	1,116
			Papel	100	3800	4400	0,360	
	Sector Jerárquico	99	Computadoras	3	30000	4400	0,207	2,484
			Papel	80	3800	4400	0,698	
			Madera	50	4400	4400	0,505	
	Recepción	43,5	Computadoras	2	20000	4400	0,209	3,699
Papel			50	3800	4400	0,993		
Sala de reuniones	33	Madera	20	4400	4400	0,606	3,602	
		Plástico	50	7800	4400	2,686		
		Telas	10	4500	4400	0,310		
C	Laboratorio de Pretratamiento	63,25	Computadoras	3	30000	4400	0,323	3,392
			Papel	80	3800	4400	1,092	
Solventes			50	11000	4400	1,976		
Equipos			-	-	-	-		
Operaciones	687,5	Equipos	-	-	-	-	319,140	
		Cáscara de arroz	17000	4000	4400	22,479		
		Ácido Acético	45000	4000	4400	59,504		
		Celulosa	10000	4000	4400	13,223		
		Lignina	3000	5800	4400	5,752		
Solventes	60000	11000	4400	218,182				
D	Laboratorio de producción	105	Computadoras	3	30000	4400	0,195	1,961
			Papel	70	3800	4400	0,576	
			Solventes	50	11000	4400	1,190	
			Equipos	-	-	-	-	
Operaciones	975	Equipos	-	-	-	-	187,179	
		Ácido Acético	45000	4000	4400	41,958		
		Lignina	3000	5800	4400	4,056		
		Celulosa	10000	4000	4400	9,324		
		Glucosa	22000	10000	4400	51,282		
Bioetanol	54000	6400	4400	80,559				
E	Silos de cáscara	2200	Cáscara de arroz	710000	4000	4400	293,388	293,388
			Tanques	-	-	-	-	
F	Tanques de Ác. Acético	3100	Ácido Acético	1130000	4000	4400	331,378	331,378
G	Tanques de Bioetanol	1800	Bioetanol	110400	6400	4400	89,212	89,212
H	Sala de bombas	105	Equipos	-	-	-	-	2,095
			Papel	30	3800	4400	0,247	
			Madera	70	4400	4400	0,667	
			Plástico	70	7800	4400	1,182	
I	Mantenimiento	105	Papel	50	3800	4400	0,411	4,935
			Madera	100	4400	4400	0,952	
			Telas	100	4500	4400	0,974	
			Productos de limpieza	120	10000	4400	2,597	
J	Sala de control	105	Equipos	-	-	-	-	2,662
			Computadoras	3	30000	4400	0,195	
			Papel	20	3800	4400	0,165	
			Madera	100	4400	4400	0,952	
Plástico	80	7800	4400	1,351				

Tabla N°7: Carga de fuego por zonas

### 2.3.1. Tipos de fuego

La clasificación del fuego se basa en el estado en que se encuentre el material combustible que le da origen, ya que éste determina las características del fuego, incluyendo la manera correcta de extinguirlo.

- Tipo A: Se origina por combustión de materiales sólidos, en cuya composición se hacen presentes hidrocarburos que pueden oxidarse de forma exotérmica, tal como pueden ser papeles, telas, cartones, y demás. Su extinción se basa en disminuir la temperatura para cesar la reacción, siendo el agua la sustancia usada por excelencia. Los extintores a utilizar son: Agua pulverizada, agua a chorro, espuma física.
- Tipo B: Se origina por combustión de materiales líquidos, compuestos hidrocarburos en estado líquido, tal como solventes, alcoholes, grasas, naftas, pinturas. Su extinción se basa en interrumpir la reacción en cadena mediante la eliminación del agente oxígeno, por lo tanto los extintores más eficaces son los de polvo BC (convencional), polvo ABC, espuma física y los extintores de hidrocarburos halogenados.
- Tipo C: Se origina por combustión de materiales gaseosos, se caracterizan por ser de los más peligrosos ya que pueden provocar explosiones. Dentro de estos materiales podemos encontrar al gas natural, acetileno, metano, o cualquier gas rico en hidrocarburos. No hay un extintor que presente una eficiencia de importancia como en las clases de fuegos anteriores, sin embargo los de polvo BC y ABC son los más adecuados para combatir el fuego de clase C. Los extintores de hidrocarburos halogenados también pueden ser utilizados.
- Tipo D: Es una derivación del fuego tipo A ya que consiste en la combustión de materiales sólidos, pero con la particularidad de que estos son materiales metálicos inflamables. Los más comunes son el sodio, magnesio, potasio, aluminio en polvo. El mejor extintor para tratar con este tipo de fuego son los de polvo seco, también pueden utilizarse cualquiera que presente como acción principal la sofocación del fuego.
- Tipo K: Fuego de aceites vegetales o grasas animales. Requieren extintores especiales para fuegos clase K. Contienen una solución acuosa de acetato de potasio que en contacto con el fuego producen un efecto de saponificación que enfría y aísla el combustible del oxígeno.

### 2.3.2 Cantidad de extintores

Para conocer la cantidad de extintores a instalar por zona, nuevamente se usa como base el decreto N° 351/79. Con las cargas de fuego calculadas en la Tabla N°7, se ingresa a las Tablas N°8 y N°9 a continuación, correspondientes al potencial extintor mínimo para fuegos de clase A y clase B respectivamente.

CARGA DE FUEGO	RIESGO				
	Riesgo 1 Explos.	Riesgo 2 Inflam.	Riesgo 3 Muy Comb.	Riesgo 4 Comb.	Riesgo 5 Poco comb.
hasta 15Kg/m <sup>2</sup>	—	—	1 A	1 A	1 A
16 a 30 Kg/m <sup>2</sup>	—	—	2 A	1 A	1 A
31 a 60 Kg/m <sup>2</sup>	—	—	3 A	2 A	1 A
61 a 100 Kg/m <sup>2</sup>	—	—	6 A	4 A	3 A
> 100 Kg/m <sup>2</sup>	A determinar en cada caso.				

Tabla N°8: Potencial extintor mínimo para fuegos clase A

CARGA DE FUEGO	RIESGO				
	Riesgo 1 Explos.	Riesgo 2 Inflam.	Riesgo 3 Muy Comb.	Riesgo 4 Comb.	Riesgo 5 Poco comb.
hasta 15Kg/m <sup>2</sup>	—	6 B	4 B	—	—
16 a 30 Kg/m <sup>2</sup>	—	8 B	6 B	—	—
31 a 60 Kg/m <sup>2</sup>	—	10 B	8 B	—	—
61 a 100 Kg/m <sup>2</sup>	—	20 B	10 B	—	—
> 100 Kg/m <sup>2</sup>	A determinar en cada caso.				

Tabla N°9: Potencial extintor mínimo para fuegos clase B

Se le asigna a cada sector un riesgo asociado según que materiales contiene y, teniendo en cuenta las tablas de potencial mínimo y algunas consideraciones que plantea el decreto ya mencionado, se aproxima la cantidad necesaria de extintores por área.

Luego se selecciona tanto el tipo de extintor, como su carga y marca que mejor cumple con el potencial mínimo para cada sector. En todos los casos se trata de extintores de la marca Fadesa.

Es importante mencionar que como el decreto solo presenta dicha clasificación para fuegos de clase A y B, solo se evalúa la necesidad de instalar extintores para fuegos del tipo D y K, sin entrar en detalle en cuanto a su potencial de extinción.

Zona	Sector	Superficie [m2]	Carga de fuego [Kg/m2]	Riesgo	Extintor A	Extintor B	Extintor C	Extintor K	Cantidad a instalar	Tipo de extintor
A	Oficinas/Administrativo	1150	1,838	R3 - R4	1A	-	Si	No	4	ABC 60 A131 1A-3B-C 2,5 Kg
	Vestuarios	93	1,735	R3 - R4	1A	-	Si	No	1	ABC 60 A131 1A-3B-C 2,5 Kg
	Cocina/Comedor	240	1,116	R2 - R3 - R4	1A	-	Si	Si	2	Sc. Química A148 AK 6 dm3
	Sector Jerárquico	99	2,484	R3 - R4	1A	-	Si	No	1	ABC 60 A131 1A-3B-C 2,5 Kg
	Recepción	43,5	3,999	R3 - R4	1A	-	Si	No	1	ABC 60 A131 1A-3B-C 2,5 Kg
	Sala de reuniones	33	3,802	R3 - R4	1A	-	Si	No	1	ABC 60 A131 1A-3B-C 2,5 Kg
B	Laboratorio de Pretratamiento	63,25	3,392	R2 - R3	1A	6B	Si	No	2	ABC 60 A101 3A-20B-C 2,5 Kg
	Operaciones	687,5	319,140	R2 - R3 - R6	-	-	Si	No	5	ABC 60 A102 6A-40B-C 10 Kg
C	Laboratorio de producción	105	1,961	R1 - R2 - R3	1A	6B	Si	No	2	ABC 60 A101 3A-20B-C 2,5 Kg
	Operaciones	975	187,179	R1 - R2 - R3	-	6B	Si	No	5	ABC 60 A102 6A-40B-C 10 Kg
D	Silos de cáscara Tanques de Agua	2200	293,388	R3 - R4	-	-	No	No	8	ABC 60 A102 6A-40B-C 10 Kg
E	Tanques de Ác. Acético y Ác. Clorhídrico	3100	331,378	R1- R2 -R3	-	-	No	No	8	ABC 60 A102 6A-40B-C 10 Kg
F	Tanques de Bioetanol	1800	89,212	R1- R2 -R3	6A	10B	No	No	5	ABC 60 A102 6A-40B-C 10 Kg
H	Sala de bombas	105	2,095	R4	1A	-	Si	No	1	ABC 60 A131 1A-3B-C 2,5 Kg
I	Mantenimiento	105	4,935	R2 - R3 - R4	1A	-	Si	No	1	ABC 60 A131 1A-3B-C 2,5 Kg
J	Sala de control	105	2,662	R4	1A	-	Si	No	1	ABC 60 A131 1A-3B-C 2,5 Kg

Tabla N°10: Cantidad de extinguidores

Los extintores de polvo químico seco ABC presentan las siguientes características:

- Recipiente de chapa de acero soldado sistema MIG.
- Válvula de latón forjado con manómetro indicador de presión.
- Tratamiento superficial de alta resistencia a la corrosión: decapado mecánico, fosfatizado, pasivado y pintado con pintura en polvo poliéster.
- Manga de caucho sintético.

Mientras que la solución química para fuegos AK presenta:

- Recipiente de chapa de acero inoxidable.
- Ensayado hidrostáticamente 100%.
- Tratamiento superficial pulido semi mate.
- Válvula cromada de latón forjado cromada con manómetro indicador de presión.

### 2.3.3 Consideraciones en la instalación de matafuegos

Existen algunas consideraciones detalladas en el decreto ya mencionado con respecto a la instalación de los matafuegos que son importantes de remarcar:

- El matafuego estará instalado y montado de forma que en una emergencia de incendio pueda descolgarse fácilmente y ser llevado al lugar del fuego tan rápido como sea posible.
- Los matafuegos colocados en gabinetes o nichos deberán colocarse de manera tal que las instrucciones de operación sean bien visibles.
- Señalización: El lugar de instalación de los matafuegos se señala según las prescripciones de la norma IRAM 10.005 – Parte II.
- La inspección, el mantenimiento y la recarga de los matafuegos se hará según la norma IRAM 3.517 – Parte II.
- Como regla general se instalan como mínimo un matafuego cada 200 m<sup>2</sup> de superficie a ser protegida.
- La máxima distancia a recorrer hasta el matafuego será de 20 m para fuegos de Clase A y 15 m para fuegos de Clase B.
- Los matafuegos manuales de hasta 20 kg se instalarán de forma que su parte superior esté a una altura comprendida entre 1,2 m a 1,5 m del suelo y los de masa total mayor a 20 kg se instalarán a una altura no mayor de 1 m del suelo en su parte superior.
- Los matafuegos deben ser utilizados por los siguientes grupos de personas, comenzando con los que presentan mayor aptitud: departamento de incendio (municipal o industrial) entrenados; empleados administrativos o industriales, entrenados o no; el público en general, no entrenado.

### 2.3.4 Distribución de extintores

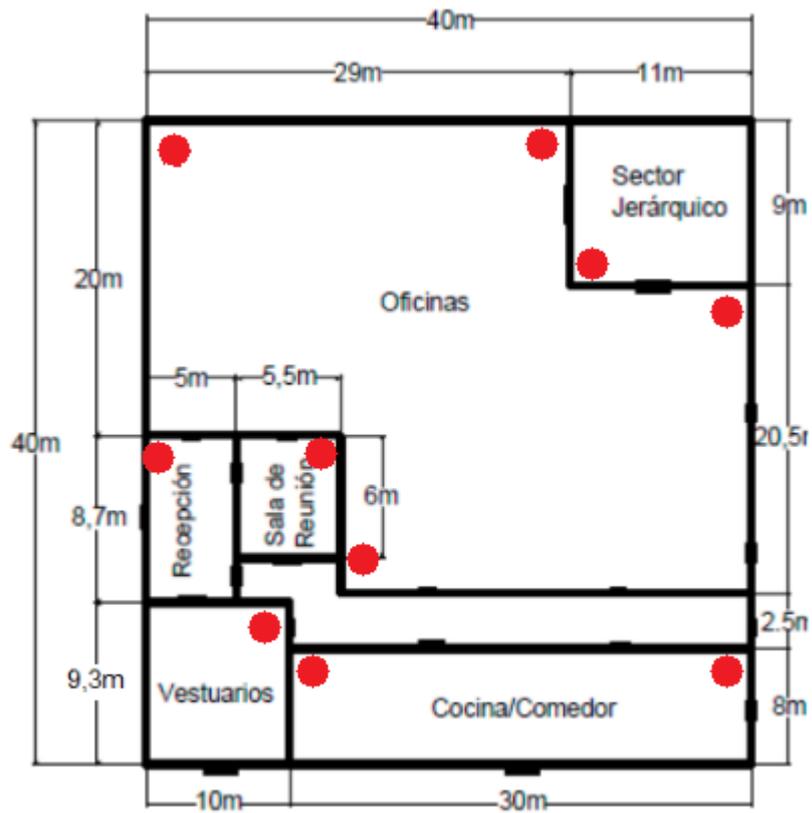


Figura N°1: Ubicación de extintores en Zona A

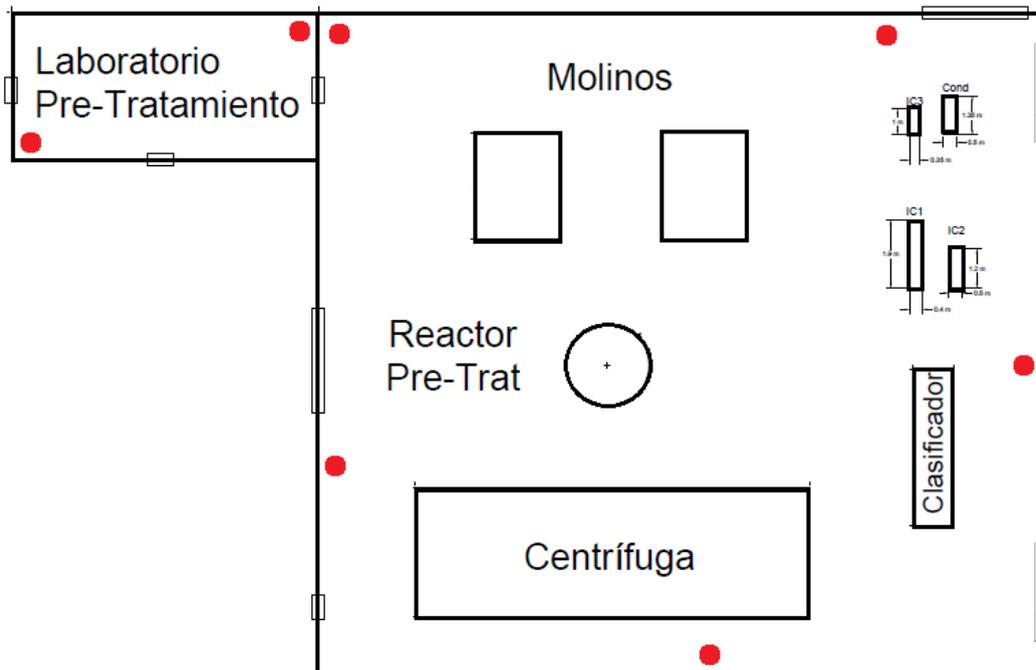


Figura N°2: Ubicación de extintores en Zona B

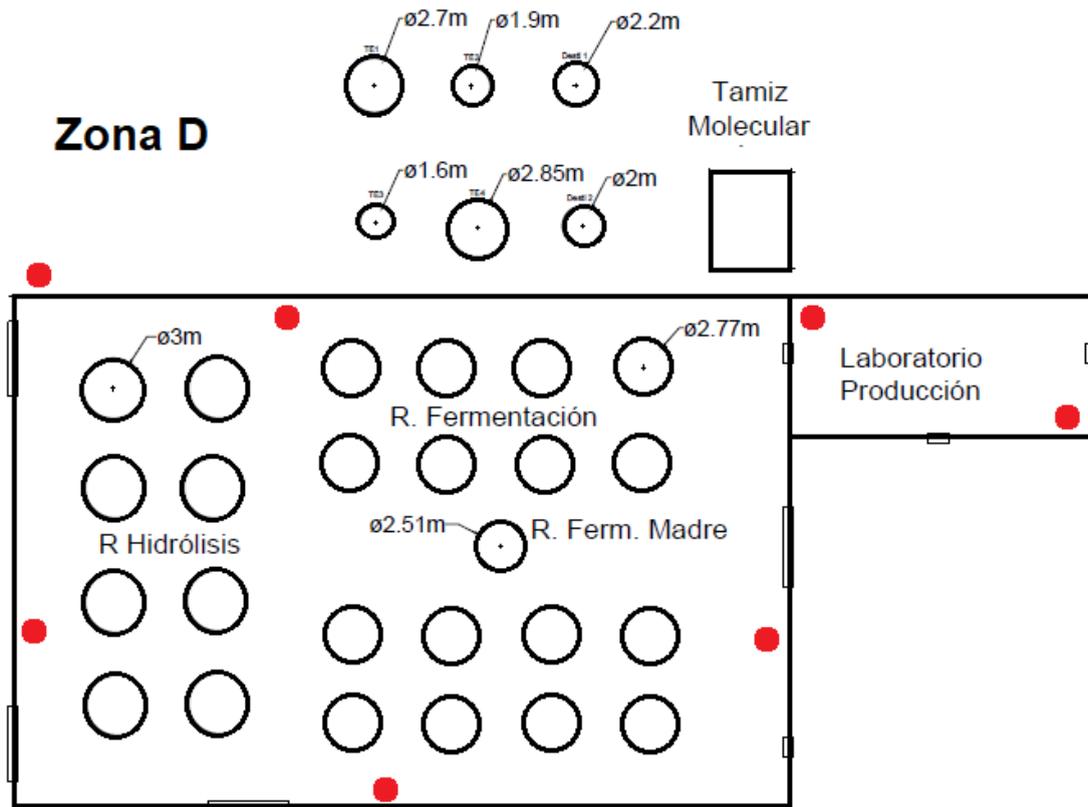


Figura N°3: Ubicación de extintores en Zona C

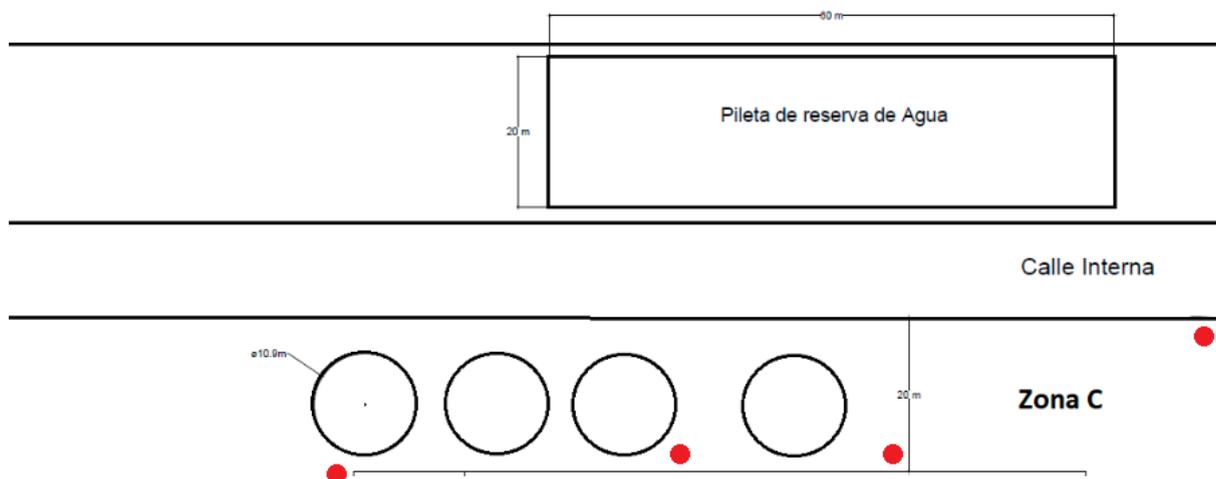


Figura N°4: Ubicación de extintores en Zona D

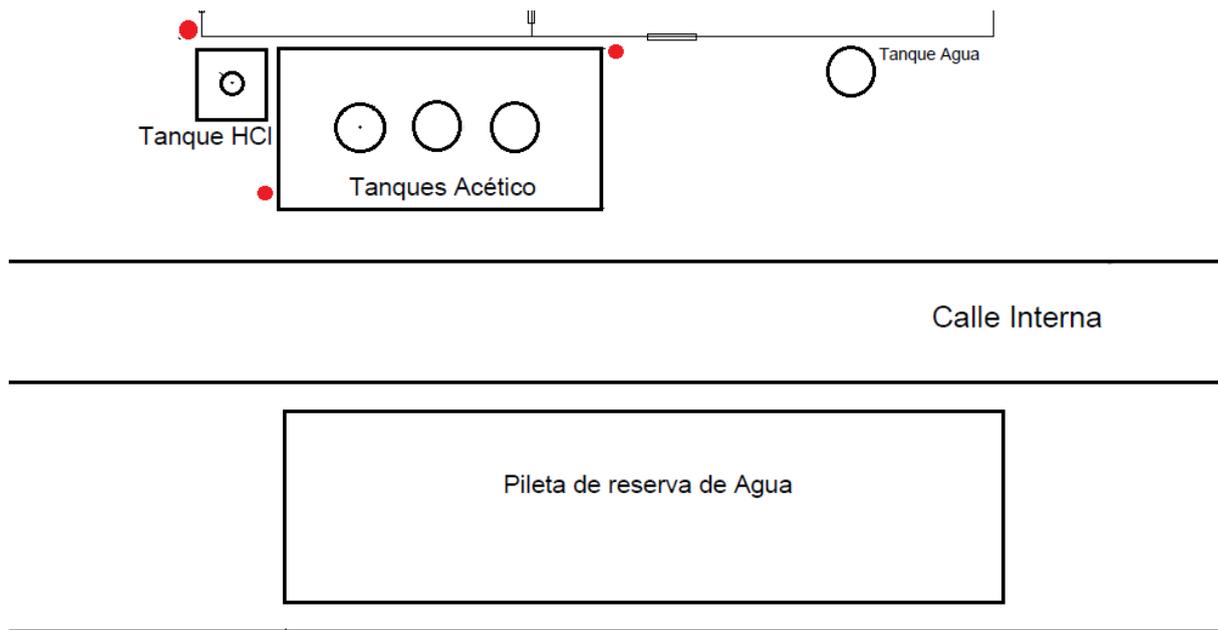


Figura N°5: Ubicación de extintores en Zona E

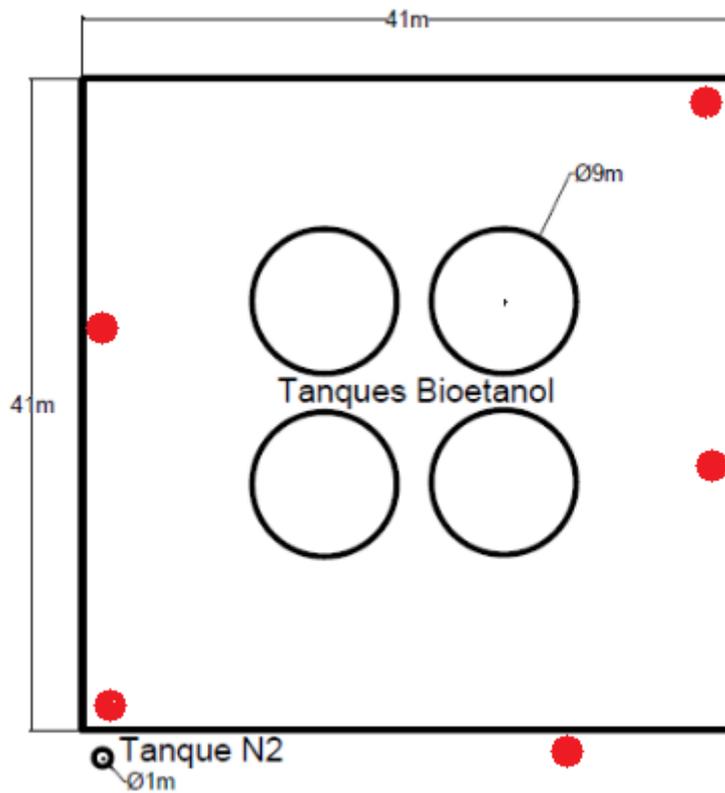


Figura N°6: Ubicación de extintores en Zona F



Figura N°7: Ubicación de extintores en Zona H, I, J

## 2.4. Diseño del sistema contra incendios

### 2.4.1. Hidrantes

Se contará con reserva de mangueras de 2½" y accesorios igual al número de hidrantes de uso simultáneo para ser utilizadas por los bomberos públicos o la brigada interna del establecimiento, si fuese necesario.

Los cálculos de parámetros hidráulicos del sistema y cañerías mínimas se realizarán siempre para hidrantes de 2½".

Los hidrantes se distribuirán en toda la zona a proteger y se ubicarán de manera que sus radios de cobertura cubran todo el establecimiento, preferentemente cerca de las aberturas de acceso a los edificios, sobre las paredes o columnas exteriores. Cuando los hidrantes, ya sea externos o internos, no cubren la totalidad de la zona a proteger, se colocan en el interior no cubierto de dicha zona, hidrantes de incendio con mangueras de 2 ½".

Para fijar el límite de cobertura de cada boca de incendio se tendrán en cuenta los obstáculos, tales como paredes o tabiques, estanterías o maquinarias que dificulten el acceso a las zonas a proteger. El radio de cobertura sin obstáculos será de 25 m para los hidrantes equipados con mangueras de 2½". No es necesario proteger con hidrantes aquellos niveles cuya superficie sea menor que  $120 m^2$ .

#### 2.4.1.1. Equipamiento de hidrantes

Los hidrantes de 2½" tendrán una manguera de 65 mm de diámetro y 25 m de largo.

Las mangueras se ubicarán en un gabinete que cumpla con la norma IRAM 3.539, manteniéndolas permanentemente conectadas a la boca de incendio, para su rápido uso en emergencias. En los ambientes de poca superficie puede reducirse el largo de las mangueras a 20 m como máximo de modo que su radio de acción cubra toda la superficie.

Las mangueras deben cumplir con alguna de las siguientes normas: IRAM 3.548 ó IRAM 3.553. Cada una de estas mangueras se proveerá con una lanza, que deben ser del tipo combinado, chorro pleno y niebla. Las lanzas deben ser compatibles con el diámetro de la manguera para obtener la presión y caudal necesarios mencionados en este capítulo.

La altura del eje de conexión de la manguera de alimentación de la válvula del hidrante desde el nivel de piso será entre 1,0 m y 1,4 m.

#### 2.4.1.2. Cálculo de hidrantes

Según lo especificado en el ítem anterior, se procede a realizar el cálculo de los hidrantes.

Zona	Sector	Superficie [m2]	N° de hidrantes	Manguera	Radio de cobertura [m]
A	Oficinas/Administrativo	1150	5	2½"	25
	Vestuarios	93	1	2½"	25
	Cocina/Comedor	240	1	2½"	25
	Sector Jerarquico	99	1	2½"	25
B	Operaciones	751	3	2½"	25
C	Laboratorio de producción	105	1	2½"	25
	Operaciones	975	4	2½"	25
D	Silos de cáscara Equipos	2200	3	2½"	25
E	Tanques	3100	4	2½"	25
F	Tanques	1800	7	2½"	25
H	Sala de bombas	105	1	2½"	25
I	Mantenimiento	105	1	2½"	25
J	Sala de control	105	1	2½"	25

Tabla N°11: Número de hidrantes por zona

A continuación se puede apreciar la ubicación de los hidrantes en el plano de la planta:

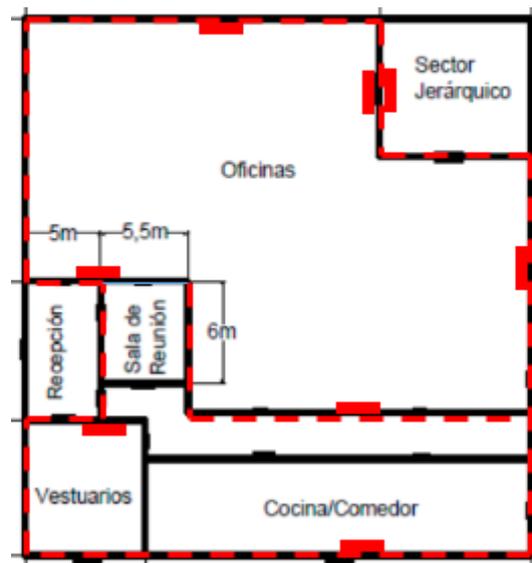


Figura N°8: Hidrantes en zona A

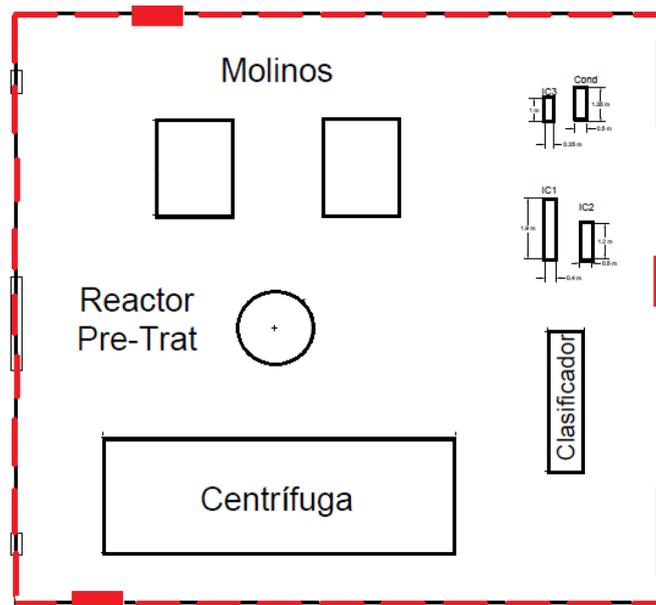


Figura N°9: Hidrantes en zona B

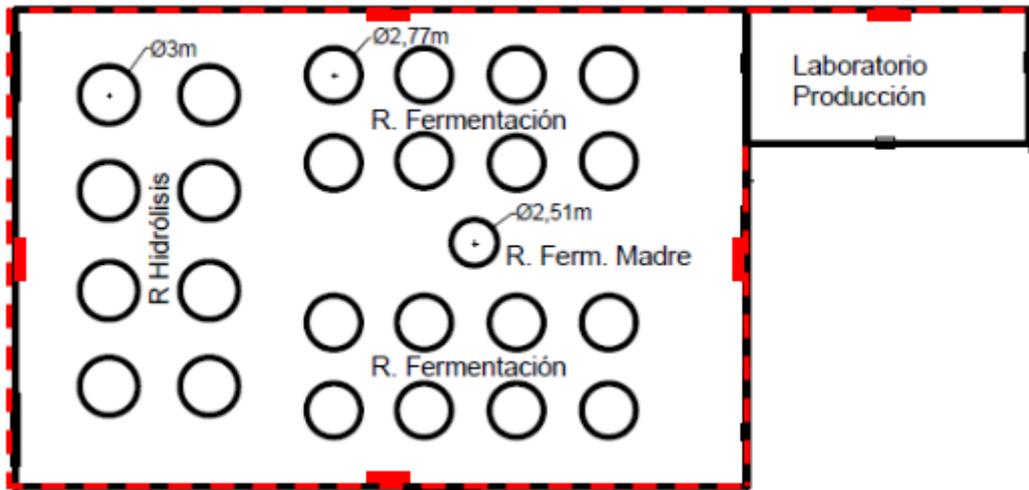


Figura N°10: Hidrantes en zona C

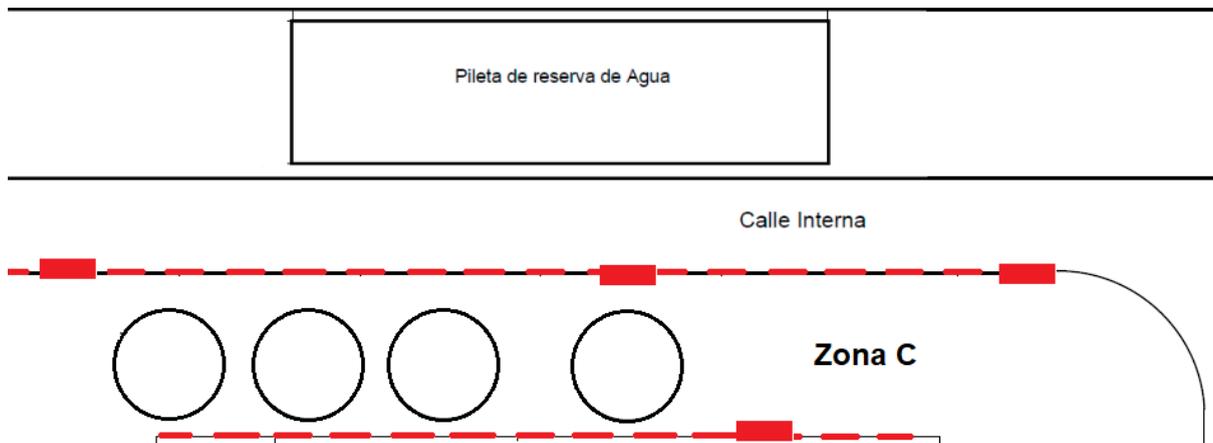


Figura N°11: Hidrantes en zona D

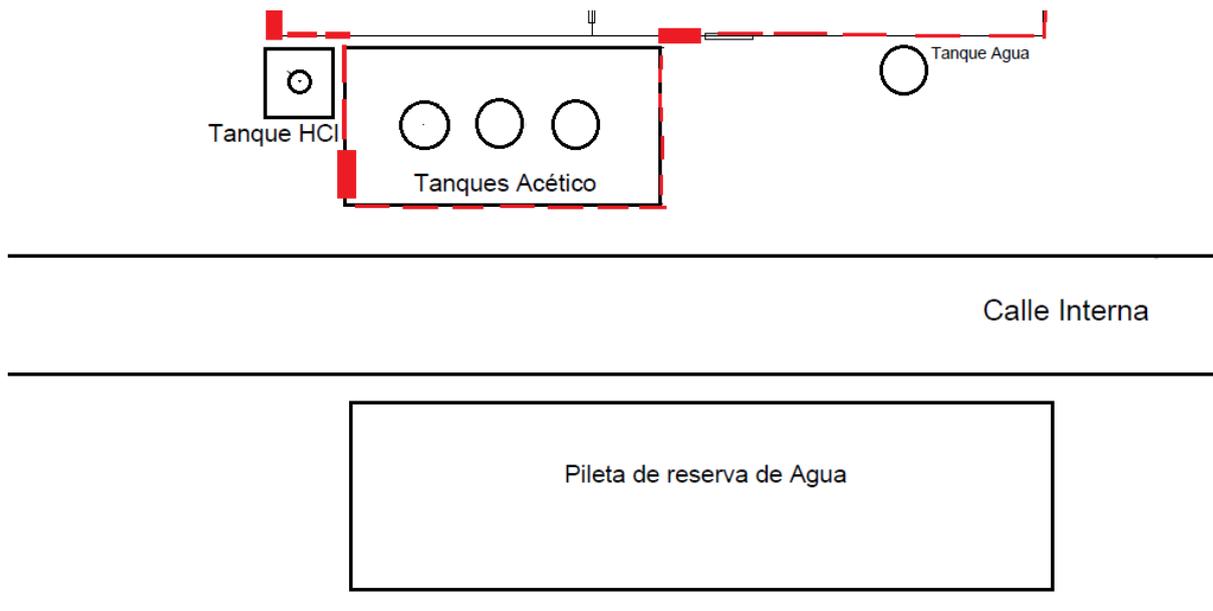


Figura N°12: Hidrantes en zona E

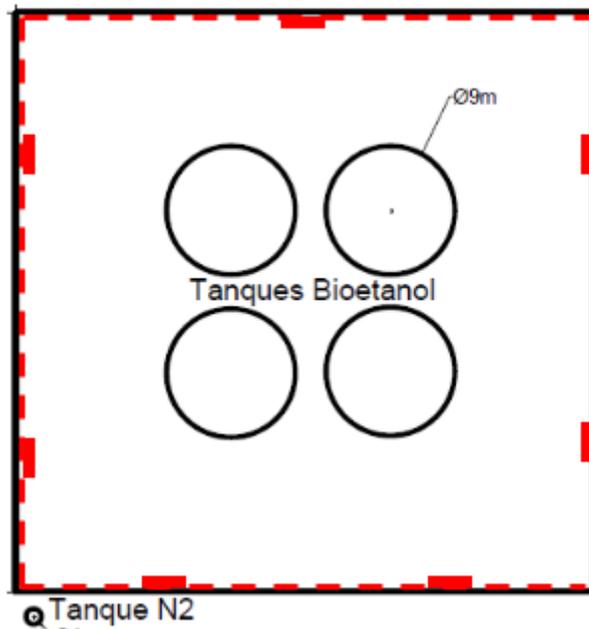


Figura N°13: Hidrantes en zona F



Figura N°14: Hidrantes en zona H, I, J.

#### 2.4.1.3. Sistema de cañerías

En los establecimientos donde el contorno de las construcciones y las distancias al perímetro del predio lo permita, se diseñará la red preferentemente en forma de anillos cerrados exteriores a los edificios. Cada anillo tendrá válvulas seccionadoras con indicadores de posición abierta y cerrado en puntos estratégicos, de manera que para el mantenimiento de un sector del anillo, el agua pueda fluir por otra parte, evitándose la anulación de la instalación en su totalidad. Las válvulas deberán ubicarse en lugares de fácil accesibilidad y estar correctamente señalizadas.

La cañería de los anillos será externa a los edificios, a nivel o sobreelevada del suelo, y estará alejada lo suficiente para evitar ser dañada por un eventual derrumbe de la edificación.

El material de las cañerías aéreas debe ser acero y debe respetar al menos una de las siguientes normas:

- IRAM 2506 – Caños de acero al carbono sin costura.
- IRAM IAS U 500-2502 – Caños de acero para la conducción de fluidos de usos comunes.
- IRAM IAS U 500-2613 / NM 210 Caños de acero con o sin costura según norma.

Todos los ramales a nivel y los que conduzcan a los hidrantes serán de acero y contarán con los soportes adecuados para su sustentación segura. La distancia máxima entre soportes de acero debe ser de 4,5 m.

Para el cálculo de los soportes se debe considerar una carga equivalente de 5 veces la masa del caño con agua más 115 Kg. Los soportes pueden diseñarse siguiendo los requerimientos establecidos por la norma NFPA 13.

Los accesorios deben ser de materiales compatibles con las cañerías a utilizar (acero, fundición, fundición maleable, etc) y cumplir con las normas IRAM respectivas.

La presión mínima de trabajo de las cañerías, válvulas y accesorios en ningún caso debe ser menor de 10 bar. Si la presión estática en una boca de incendio es mayor que 12 bar, se debe disponer de válvulas reguladoras de presión que la reduzcan a 12 bares.

#### 2.4.1.4. Conexión para bomberos

Se deben prever una o más conexiones en la entrada del edificio, para uso de los servicios públicos de incendio. Para riesgos leves y moderado grupo I se debe proveer una boca de impulsión de 65 mm sobre caño de igual diámetro, y para los demás riesgos doble boca de impulsión de 65 mm sobre cañería de 100 mm. Cuando se instale sobre una pared debe colocarse como máximo a 60 cm de altura, medida desde el piso. Cualquiera sea la ubicación de la conexión para bomberos (de pared o piso), debe garantizar la adecuada conexión y compatibilidad con la manguera de bomberos.

#### 2.4.2 Rociadores

Para poder consolidar el sistema de rociadores, se debe formar este con una reserva de agua, bombas de impulsión, además de cañerías que la distribuyan por toda el área y rociadores automáticos que se abrirán debido a su sensibilidad al calor.

Para el cálculo, diseño, mantenimiento e instalación del sistema de rociadores se hará uso de las normas IRAM. El tipo de rociador a instalar es el de gota grande por su alta eficiencia en zonas de alto riesgo y se lo instalará en la totalidad de la planta para simplificar las tareas. Además el material elegido para el sistema es polímero biodegradable y se hará según la norma NFPA 13.

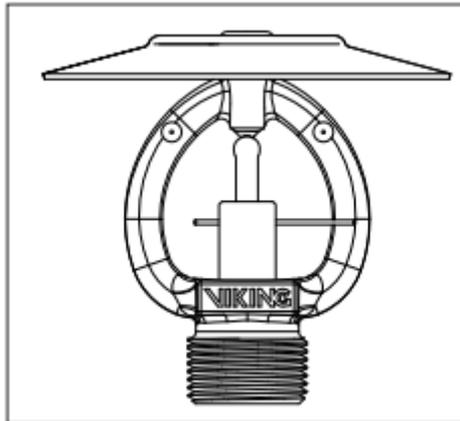


Figura N°15: Rociador tipo gota grande

#### 2.4.2.1. Distribución de los rociadores

Para encontrar la posición óptima de los rociadores, se debe tener en cuenta que estos deben traer protección tal que resguarde la vida humana y también los bienes materiales. Se instalarán en todo el edificio y se debe respetar el área de cobertura máxima de cada rociador.

Cada tipo de rociador tiene un área máxima de protección; el área de protección de un rociador debe ser menor que  $36 m^2$  y mayor que  $7,4 m^2$  en cualquier tipo.

Debajo se adjunta una tabla donde se pueden observar los valores de espaciamiento entre rociadores y el área de protección del rociador gota grande seleccionado.

TIPO DE CONSTRUCCION	RIESGO LEVE		RIESGO ORDINARIO		RIESGO EXTRA		ALMACENAMIENTO	
	Area Protegida	Espaciamiento máximo	Area Protegida	Espaciamiento máximo	Area Protegida	Espaciamiento máximo	Area Protegida	Espaciamiento máximo
NO OBSTRUIDA	21 m <sup>2</sup>	4.57 m	12 m <sup>2</sup>	4.57 m	9.3 m <sup>2</sup>	3.66 m	9.3 m <sup>2</sup>	3.66 m
	225 ft <sup>2</sup>	15 ft	130ft <sup>2</sup>	15 ft	100 ft <sup>2</sup>	12 ft	100 ft <sup>2</sup>	12 ft
OBSTRUIDA	15.6 m <sup>2</sup>	4.57 m	12 m <sup>2</sup>	4.57 m	9.3 m <sup>2</sup>	3.66 m	9.3 m <sup>2</sup>	3.66 m
	168 ft <sup>2</sup>	15 ft	130ft <sup>2</sup>	15 ft	100 ft <sup>2</sup>	12 ft	100 ft <sup>2</sup>	12 ft

Tabla N°12: Espaciamiento y área protegida por rociador

Por lo que puede verse en la tabla, se toma el riesgo extra y el área protegida por cada rociador es de  $9,3 m^2$  y el espaciamiento máximo entre rociadores es de  $3,66 m$  y un mínimo de  $2,4 m$ .

La distancia máxima a las paredes no debe ser mayor a la mitad de la distancia máxima entre rociadores ya indicada ( $1,83 m$ ). La distancia mínima a la pared debe ser de  $0,10 m$ .

#### 2.4.2.2. Diseño del sistema de rociadores

Para el diseño del sistema, se respeta el área de protección de cada rociador para poder estimar la cantidad de rociadores a instalar (N), una vez estimado N, y sabiendo que el

espaciamiento (S) proviene de tabla se calcula la distancia entre los ramales (L) con la siguiente ecuación:

$$A_s = S * L$$

Siguiendo con las ecuaciones, se deja a continuación la que nos ayudará a obtener el valor recomendado de rociadores por ramal y la que ayudará a calcular la cantidad de ramales:

$$\frac{\text{Rociadores}}{\text{Ramal}} = 1,2 * \frac{\sqrt{\text{Área}}}{S}$$

$$\text{Ramales} = \frac{\text{Rociadores}}{\text{Rociadores/ramal}}$$

Utilizando las dimensiones de cada sector y la distancia que debe haber entre ramales, se obtienen L y S para cada sector.

Parámetro	Mínimo	Máximo
As	7,4 m <sup>2</sup>	9,3 m <sup>2</sup>
S	2,4 m	3,66 m
L	0,10 m	1,83 m

Tabla N°13: Parámetros de ubicación de rociadores

Haciendo uso de la tabla anterior, se calcula la cantidad de rociadores por cada área de la planta y por cada ramal, además de la cantidad de ramales.

Sector	Superficie [m <sup>2</sup> ]	N° de rociadores	N° de rociadores por ramal	N° de ramales
Oficinas/Administrativo	1150	138	13	10
Vestuarios	93	11	4	3
Cocina/Comedor	240	29	6	5
Sector Jerárquico	99	12	4	3
Operaciones	751	90	11	8
Laboratorio de producción	105	13	4	3
Operaciones	975	117	12	9
Silos de cáscara / Equipos	2200	263	19	14
Tanques de Ác. Acético	3100	371	22	17
Tanques de Bioetanol	1800	216	17	13
Sala de bombas	105	13	4	3
Mantenimiento	105	13	4	3
Sala de control	105	13	4	3

Tabla N°14: Cálculo de rociadores y ramales por sectores

Finalmente, se muestran los rociadores ubicados en el layout:

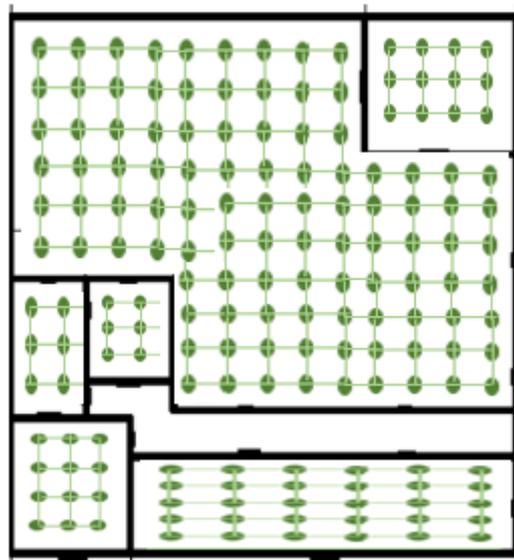


Figura N°16: Rociadores en zona A

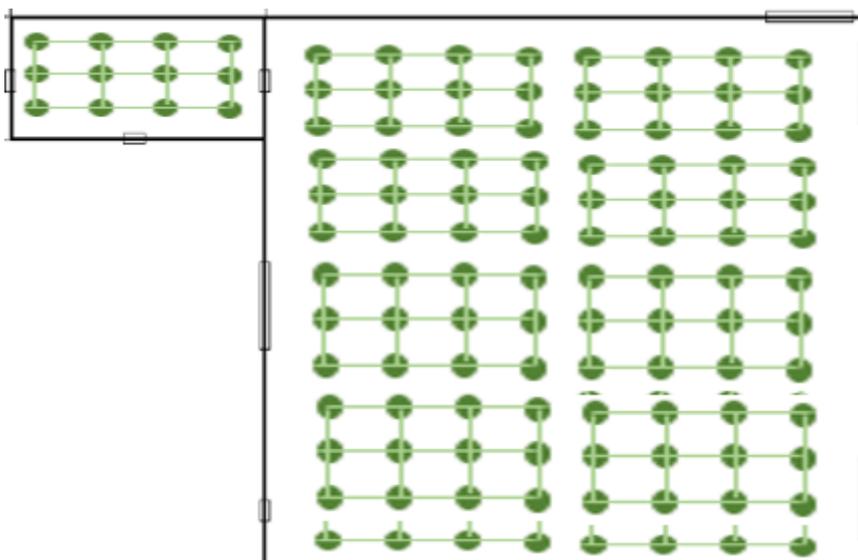


Figura N°17: Rociadores en zona B (operaciones)

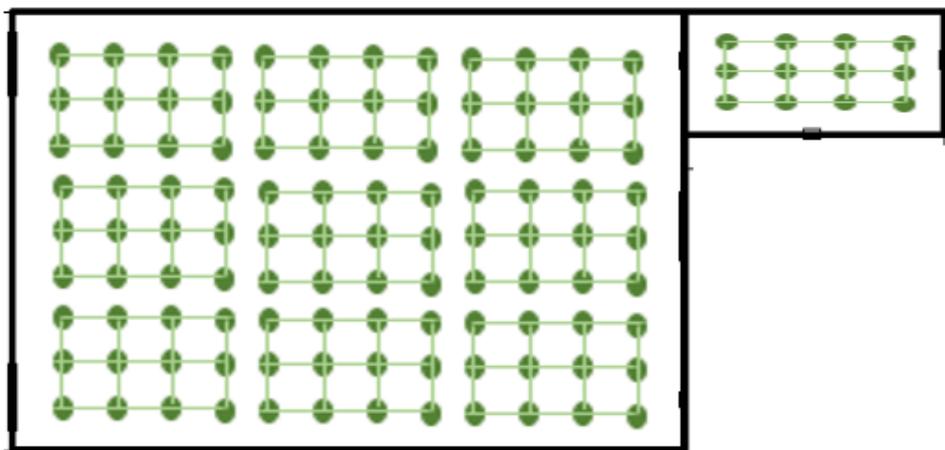


Figura N°18: Rociadores en zona C (operaciones y laboratorio de operaciones)

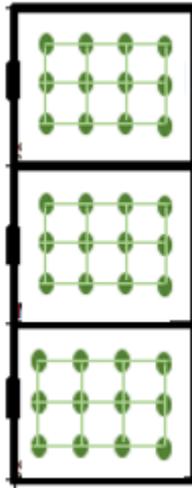


Figura N°19: Rociadores en zona H, I, J (sala de bombas, mantenimiento y sala de control)

### 2.4.2.3. Tuberías

Las tuberías, sus tipos y dimensiones son reguladas según las normas mencionadas en la siguiente tabla:

Materials and Dimensions	Standard
<b>Ferrous Piping (Welded and Seamless)</b>	
Specification for black and hot-dipped zinc-coated (galvanized) welded and seamless steel pipe for fire protection use	ASTM A 795
Specification for welded and seamless steel pipe	ANSI/ASTM A 53
Wrought steel pipe	ANSI/ASME B36.10M
Specification for electric-resistance-welded steel pipe	ASTM A 135
<b>Copper Tube (Drawn, Seamless)</b>	
Specification for seamless copper tube	ASTM B 75
Specification for seamless copper water tube	ASTM B 88
Specification for general requirements for wrought seamless copper and copper-alloy tube	ASTM B 251
Fluxes for soldering applications of copper and copper-alloy tube	ASTM B 813
Brazing filler metal (classification BCuP-3 or BCuP-4)	AWS A5.8
Solder metal, Section 1: Solder alloys containing less than 0.2% lead and having solidus temperatures greater than 400°F	ASTM B 32
<b>Alloy materials</b>	ASTM B 446

Tabla N°15: Normas que regulan los tipos de cañerías y sus dimensiones

Cómo se utilizan tuberías de acero y estas se unen por soldadura, las paredes deben tener un espesor nominal mínimo para presiones de hasta 20,70 bares en concordancia con el de las tuberías de Schedule 10 para tamaños de hasta 5 pulgadas.

Para el presente diseño se seleccionaron tuberías de acero galvanizado de 2 pulgadas de diámetro nominal Sch 10.

#### 2.4.3. Válvulas de control del sistema

Se supervisarán las válvulas de las conexiones a los suministros de agua, las válvulas seccionales de control y toda válvula en las tuberías de alimentación de los rociadores; para llevar a cabo este control (que se realizará en posición abierta).

#### 2.4.4. Válvulas reductoras de presión

En el caso de los sectores del sistema con componentes que puedan superar la presión normal de operación (175 psi), se instalará una válvula reductora de presión; ésta se calibrará con una presión de salida que no supere los 165 psi a la presión máxima de entrada.

Se colocará una válvula del lado de la descarga de la válvula reductora de presión, la cual será calibrada para operar con una presión no superior a 175 psi, además ésta debe ser, por lo menos de ½”.

A la entrada y salida de cada válvula reductora de presión se instalarán manómetros.

#### 2.4.5. Sistema de drenaje

Se deberán instalar las cañerías y los accesorios de los rociadores, de forma tal que se pueda drenar el sistema. Además de tomarse todas las medidas que permitan el drenaje adecuado del sistema, se deben instalar drenajes auxiliares para cuando haya un cambio de dirección en la cañería, para evitar que ésta drene a través de la válvula principal.

#### 2.4.6. Manómetros

Se instalará un manómetro en el drenaje principal del sistema, en las válvulas de control de piso y a la entrada y salida de cada válvula reductora de presión. La conexión no deberá ser menor a ¼”. Cada conexión del manómetro estará equipada con una válvula de cierre y con posibilidad para drenaje.

Cada manómetro tendrá un límite máximo de medición no menor a dos veces la presión normal de operación en el punto de instalación y deben ubicarse en zonas donde no haya posibilidad de congelamiento.

#### 2.4.7. Prueba hidrostática

- Presión de prueba: Se someterá al sistema de hidrantes a una presión de 14 bares, durante 2 horas y no deben observarse pérdidas.

En el caso de cañerías subterráneas, se realizarán estas pruebas antes de proceder al tapado de las mismas.

#### 2.4.8. Lavado con circulación de agua

Con el fin de asegurar una completa limpieza y eliminar posibles obstrucciones, así como objetos extraños que puedan haber quedado del montaje, se someterá a las cañerías a un lavado completo con circulación de agua por los tramos principales.

Se debe realizar con una velocidad de lavado mínima, que será igual al caudal de diseño de cada tramo.

#### 2.4.9. Mantenimiento

Se debe utilizar como base los anexos de la Norma IRAM 3.546 - Empresas de mantenimiento de instalaciones fijas contra incendio -, para poder obtener las pautas y frecuencia de inspección, mantenimiento y pruebas del sistema.

Los sistemas de rociadores instalados bajo la norma NFPA 13 deben inspeccionarse, ensayarse y mantenerse según lo mencionado en la norma NFPA 25, que será la que dicte las instrucciones para mantener el nivel de desempeño y protección tal cuál al diseñado.

Quién debe hacerse cargo y responsable por el mantenimiento y la conservación de las condiciones de operación del sistema es el dueño de la planta.

### 2.5. Fuentes de agua

Para este sistema, se deben instalar como mínimo una cantidad de 2 bombas principales, y cada una de estas debe proveer independientemente el caudal para el cual se diseñó el sistema.

#### 2.5.1. Tipos y requisitos para las bombas de incendio

Estas bombas deben ser equipos exclusivamente diseñados para el servicio de incendio, y además deben cumplir con algunas características aquí mencionadas:

a) Suministrar el 150% del caudal nominal a no menos del 65% de la presión nominal.

b) La presión a caudal 0 no debe superar el 140% de la presión nominal. La curva característica de la bomba debe estar certificada por un organismo de certificación acreditado en el OAA (Organismo Argentino de Acreditación).

Las bombas responderán también a las características indicadas en la Norma IRAM 3.593 - Instalación de Bombas estacionarias contra incendios.

#### 2.5.2. Fuentes de alimentación motriz

Los motores eléctricos deben tener como mínimo una fuente de alimentación eléctrica segura, y se considera una fuente segura a la alimentación directa desde una red pública de suministro confiable. Esto es algo que se tiene lo más asegurado posible desde el Capítulo III - Ubicación de planta, donde se toma este punto como determinante en la elección del parque industrial.

De todas formas, la planta cuenta con la instalación de un grupo electrógeno que se encuentra disponible para su uso en los servicios de emergencia y las bombas de incendio.

Para poder asegurar no correr riesgos a la hora de un incendio, se instalarán ambas bombas con sistemas independientes, por lo que se agregará una motobomba de incendio accionada por motor diesel; y así, si falla el sistema eléctrico de la red pública, se tendrá asegurado el funcionamiento de ambas bombas.

En cuanto a los tendidos de alimentación eléctrica a las bombas de incendio, estos deben pasar por el exterior y separados de los edificios o por áreas con mínimas cargas de fuego y bajos riesgos de incendio, o bien contar con protección contra el fuego durante 90 minutos.

#### 2.5.3. Accesorios de motobomba

- Baterías: Al momento del arranque de la motobomba se debe contar mínimo con dos grupos de baterías conectadas y en condiciones operativas, que estén provistas de cargadores del tipo “fondo-flote”, que serán los encargados de mantener siempre las baterías con carga. Se setea el controlador de la bomba de manera que realice como mínimo seis intentos de arranque, tres en cada grupo de baterías antes de dar una señal de falla.
- Tanque de combustible: Se calcula que el tanque debe ser suficiente para el funcionamiento de tres horas. Se lo debe ubicar dentro de la sala de bombas y debe tener a su alrededor una batea de contención de derrames con el 110% del volúmen del tanque, además de tener un sistema de venteo. En cuanto al tipo de tanque, este no debe ser del tipo enterrado y debe proveer un sistema seguro de reposición.

#### 2.5.4. Arranque y parada de las bombas de incendio

Las bombas utilizadas como fuente de agua primaria en la instalación serán de accionamiento automático al bajar la presión de la red a un nivel determinado o detectar flujo de agua.

Las bombas principales se detendrán únicamente en forma manual desde la sala de bombas.

## 2.6. Reserva de agua

Debido a que la planta fue definida como de riesgo alto y, sabiendo la superficie de la misma, se obtuvo la capacidad de la reserva de agua para protección contra incendios ( $180 \text{ m}^3$ ). Además, se debe tener en cuenta el agua requerida para los rociadores, siendo esta cantidad  $24 \text{ m}^3$ . Suponiendo un 10% de sobredimensionamiento, se necesita finalmente una reserva de  $224 \text{ m}^3$ . El almacenamiento del agua se realizará junto a la de proceso, en las piletas de reserva.

Requerimiento de agua contra incendio:

Reserva de agua	
Rociadores [m3]	24
Hidrantes [m3]	180
Sobredimensión	10%
<b>Total [m3]</b>	<b>224</b>

Tabla N°16: Especificaciones del Tanque de reserva de agua

## 2.7. Bombas de incendio

### 2.7.1 Bomba eléctrica

Para la selección de la bomba de incendio, se calculará primeramente la potencia requerida por los hidrantes; para ello, se evaluará el hidrante que esté en la situación más desfavorable hidráulicamente; ésta es operando a 5 bar de presión en la boca de salida, considerando el resto de las bocas de incendio abiertas.

Se utiliza la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{v_1^2}{2 \times g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{W}{g} = h_f + \frac{v_2^2}{2 \times g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \quad (\text{Ec. N}^\circ 1)$$

Siendo:

- v: velocidad del fluido
- p: presión en la línea
- $\gamma$ : peso específico del fluido
- Z: altura
- g: gravedad
- W: potencia de la bomba
- $h_f$ : pérdida de carga en la cañería

Se considerará para el diseño que el punto 1 estará ubicado en la superficie de agua en el tanque de reserva y, el punto 2, a la altura en la que estarán ubicados los nichos hidrantes (1,4 metros).

Siendo los datos:

- Diámetro de la cañería: 6" (0,1524m)
- Área de la cañería: 0,018 m<sup>2</sup>
- Caudal total: 0,05 m<sup>3</sup>/s
- v1: 0 m/s
- v2: 2,77 m/s
- P1: 101300 Pa
- P2: 506500 Pa
- Z1: 4 m
- Z2: 1,4 m
- g: 9,81 m/s<sup>2</sup>
- γ: 9,81 Kg/m<sup>2</sup>s<sup>2</sup>

Para la pérdida de carga (hf), se utilizará la ecuación de Darcy:

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (\text{Ec. N}^\circ 2)$$

Siendo:

- f: factor de fricción de Fanning
- L: longitud equivalente en tramo recto de cañería
- D: diámetro de cañería
- v: velocidad del fluido en la línea
- g: gravedad

Se analizó por donde pasarían las cañerías con sus respectivos accesorios para poder evaluar la longitud equivalente en tramo recto de cañería y se obtuvo:

Longitud Cañería Recta	126,6 m
Válvula Globo 100% Abierta	5
51,85 m/ Válvula Globo	259,25 m
Codos 90° redondeados	8
3,36 m/ Codo	26,88 m
T son salida lateral	6
10 m/ T	60 m
<b>Longitud Total</b>	<b>472,73 m</b>

Tabla N°17: Longitud equivalente en tramo recto para los hidrantes

Para obtener el factor de fricción, se utilizará el diagrama de Moody, por lo que es necesario el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

Obtenemos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\delta \times v \times D}{\mu} \quad (\text{Ec. N}^\circ 3)$$

Siendo:

- $\delta$ : densidad
- $v$ : velocidad
- $D$ : diámetro de cañería
- $\mu$ : viscosidad

Reemplazando los valores en la ecuación N°3, se obtiene un Reynolds de 2786,27.

En cuanto a la rugosidad relativa, sabiendo que las cañerías son de acero al carbono y que el diámetro es 6", se obtiene  $\epsilon/D = 0,0003$ .

Se ingresa con el Reynolds y la rugosidad relativa en el diagrama de Moody:

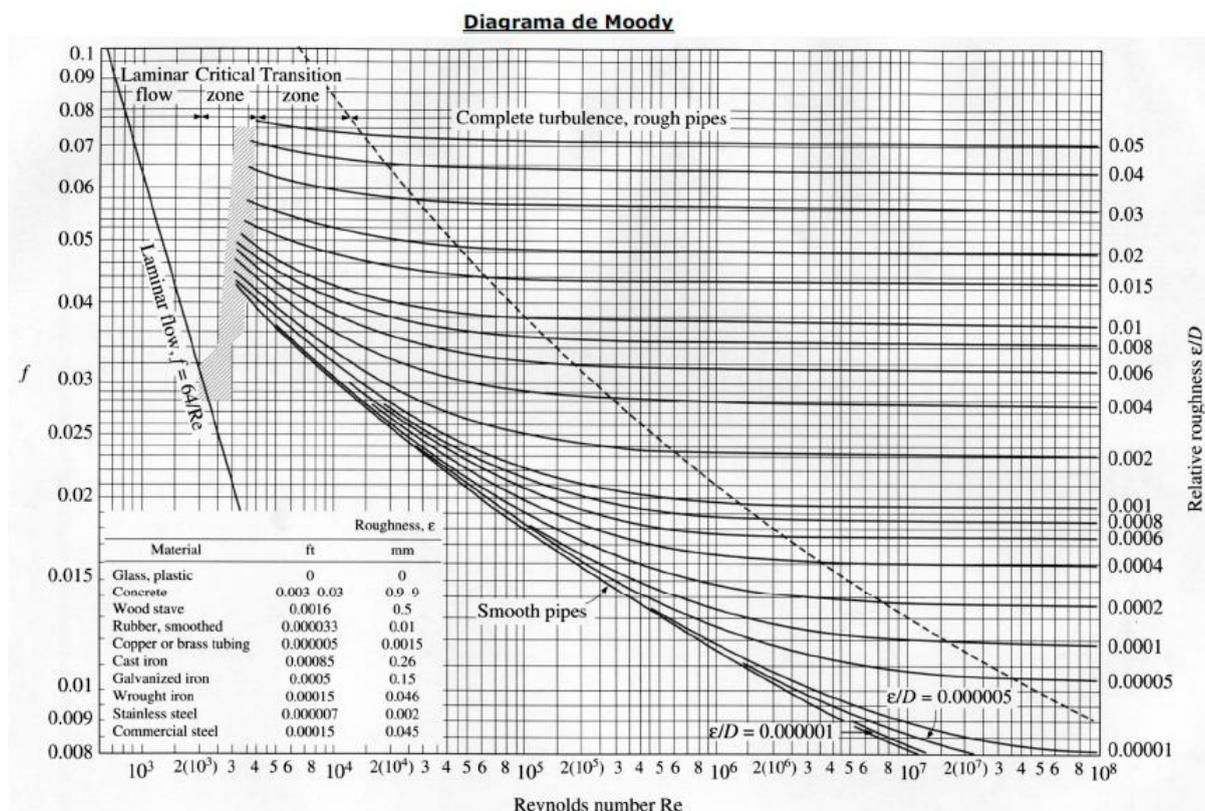


Figura N°20: Diagrama de Moody

Como se puede observar, nos entra en la zona crítica, por lo que se tomará la situación más desfavorable para el cálculo (la que representa mayor pérdida de carga).

Con el factor de fricción, podemos se puede obtener la pérdida de carga de la ecuación N°2:

$$h_f: 57,54\text{m}$$

Finalmente, reemplazando en la expresión N°1, se llega a la potencia de la bomba:

$$W: 41,8 \text{ kw} = 56,06 \text{ HP}$$

Se debe tener también en cuenta el consumo de los rociadores. Se procede de igual manera que para el sistema de hidrantes.

Se plantea la ecuación de Bernoulli para los rociadores. Siendo los datos:

- Diámetro de la cañería:  $2 \frac{1}{2}''$  (0.0635 m)
- Área de la cañería:  $0,0031\text{m}^2$
- Caudal total:  $24 [\text{m}^3/\text{h}] = 0,0066 \text{ m}^3/\text{s}$
- $v_1: 0 \text{ m/s}$
- $v_2: 2,15 \text{ m/s}$
- $P_1: 101300 \text{ Pa}$
- $P_2: 1225730 \text{ Pa}$
- $Z_1: 4 \text{ m}$
- $Z_2: 7,5 \text{ m}$
- $g: 9,81 \text{ m/s}^2$
- $\gamma: 9,81 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}^2$

Se calcula la pérdida de carga ( $h_f$ ):

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

Teniendo:

- L: Longitud equivalente en tramo recto de cañería
- D: Diámetro de cañería

La longitud equivalente en tramo recto para el rociador hidráulicamente más desfavorable, es de 240 metros.

Como se detalló anteriormente, se utiliza el diagrama de Moody para la obtención del factor de fricción; por lo que se llega a la obtención del número de Reynolds y la rugosidad relativa (en este caso es 0,0003 por tratarse de una cañería de acero al carbono y tener un diámetro de 0,0635 m).

Reemplazando valores en la expresión de Reynolds, se obtiene: 1365,25.

Ingresando con estos valores al diagrama de Moody se obtiene que el flujo es laminar, y el factor de fricción es: 0.046.

Se puede hallar ahora la pérdida de carga; reemplazado en la ecuación N°2:

$$hf: 41,78 \text{ m}$$

Ahora, se busca la potencia de la bomba requerida para los rociadores, aplicando la expresión N°1:

$$W= 2.61 \text{ kw} = 3.5\text{HP}$$

De esta manera, se obtiene que se necesitará una bomba de 45kW/60 HP para satisfacer el requisito de bombeo.

La bomba eléctrica seleccionada es de la marca EBARA, el modelo GS/ENI; esta bomba además está equipada con una bomba auxiliar "Jockey", la cual tiene como fin compensar las pérdidas de agua y mantener la presión de la red; de esta manera se asegura el correcto funcionamiento del sistema contra incendio.

Especificaciones de la bomba de incendio seleccionada:

Bomba Ebara GS/ENI	
Caudal requerido [ $m^3/h$ ]	204
Caudal nominal máximo [ $m^3/h$ ]	300
Presion máxima soportada [Bar]	10
Temperatura máxima del agua [ $^{\circ}C$ ]	40
Potencia del motor [kW]	45

Tabla N°18: Especificaciones Bomba de Incendio

A continuación una imagen de la bomba de incendio Ebara:



Figura N°21: Bomba de Incendio Ebara modelo GS/ENI

### 2.7.2. Motobomba

Ante un posible corte de energía, se dispondrá de una motobomba, la cual es accionada por un motor diesel, a diferencia de las otras bombas que tienen un accionar eléctrico.

La motobomba deberá cumplir los mismos requerimientos de operaciones que la bomba eléctrica. Por lo que se decidió utilizar 2 bombas de la fábrica “Villa Zappa”, modelo SYP 54.

A continuación se presenta una imagen de la motobomba seleccionada:



Figura N°22: Motobomba “Villa Zappa” modelo SYP 54

### 2.8. En caso de incendio

En la sección VIII del decreto N° 351/79 se enumeran una serie de pasos a seguir en caso de que ocurra un incendio en un establecimiento. Es responsabilidad de la dirección de la empresa asegurarse que cada miembro y/o trabajador sea capacitado y entrenado para poder llevar a cabo dichos pasos para lograr una ágil y segura reacción a este tipo de situaciones.

- Dar la alarma y llamar a los bomberos;
- Cerrar los suministros de gas y de energía eléctrica;
- Retirar a todos los ocupantes del edificio;
- Intentar usar el matafuego;
- Mantenerse cerca de una puerta que pueda ser usada como vía de escape;
- Estar agachado, para evitar respirar el humo caliente, como así también los agentes extintores;

- Si el fuego se incrementa demasiado, salir al exterior, cerrando la puerta detrás suyo.

## 2.9. Medios de evacuación

El Decreto N° 351/79 define un medio de evacuación como: “Medio de salida exigido, que constituye la línea natural de tránsito que garantiza una evacuación rápida y segura”.

Cuando la edificación consta de uno o más niveles el medio de escape debe estar constituido por las siguientes secciones:

- Primera sección: ruta horizontal desde cualquier punto de un nivel hasta una salida.
- Segunda sección: ruta vertical, escaleras abajo hasta el pie de las mismas.
- Tercera sección: ruta horizontal desde el pie de la escalera hasta el exterior de la edificación.

En este caso solo se cuenta con un nivel, por lo tanto la segunda y tercera sección no tendrán desarrollo en este capítulo.

### 2.9.1 Ancho de pasillos, corredores y escaleras

Los cálculos a realizar dependen del factor de ocupación del edificio y de una constante que incluye el tiempo máximo de evacuación y el coeficiente de salida.

El ancho total mínimo se expresa en unidades de anchos de salida que tendrán 0,55 m cada una, para las dos primeras y 0,45 m para las siguientes, para edificios nuevos. Para edificios existentes, donde resulten imposible las ampliaciones se permitirán anchos menores, de acuerdo al siguiente cuadro:

<b>ANCHO MINIMO PERMITIDO</b>		
Unidades	Edificios Nuevos	Edificios Existentes
2 unidades	1,10 m.	0,96 m.
3 unidades	1,55 m.	1,45 m.
4 unidades	2,00 m.	1,85 m.
5 unidades	2,45 m.	2,30 m.
6 unidades	2,90 m.	2,80 m.

Tabla N°19: Ancho mínimo de pasillos, corredores y escaleras

En todos los casos, el ancho se medirá entre zócalos. La cantidad de unidades de anchos de salida requeridas se calculará con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N}{100}$$

Donde:

- N: número total de personas a ser evacuadas (calculado en base al factor de ocupación).
- n: número de unidades de anchos.

Si se obtienen como resultado que las fracciones son iguales o superiores a 0,5 se redondean a la unidad por exceso.

El ancho mínimo permitido seleccionado para la planta será de 1,10 m para pasillos y corredores en todos los casos.

Con respecto al factor de ocupación, este se encuentra definido como: “Número de ocupantes por superficie de piso, que es el número teórico de personas que pueden ser acomodadas sobre la superficie de piso. Es la proporción de una persona por cada equis (x) metros cuadrados”.

USO	x en m2
a) Sitios de asambleas, auditorios, salas de conciertos, salas de baile	1
b) Edificios educacionales, templos	2
c) Lugares de trabajo, locales, patios y terrazas destinados a comercio, mercados, ferias, exposiciones, restaurantes	3
d) Salones de billares, canchas de bolos y bochas, gimnasios, pistas de patinaje, refugios nocturnos de caridad	5
e) Edificio de escritorios y oficinas, bancos, bibliotecas, clínicas, asilos, internados, casas de baile	8
f) Viviendas privadas y colectivas	12
g) Edificios industriales, el numero de ocupantes será declarado por el propietario, en su defecto será	16
h) Salas de juego	2
i) Grandes tiendas, supermercados, planta baja y 1er. subsuelo	3
j) Grandes tiendas, supermercados, pisos superiores	8
k) Hoteles, planta baja y restaurantes	3
l) Hoteles, pisos superiores	20
m) Depósitos	30

Tabla Nº20: Factor de ocupación

A continuación, se calcula la cantidad mínima de medios de escape necesarios para cada sector de la planta, teniendo en cuenta el factor de ocupación y la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ de medios de escape} = 1 + \frac{n}{4}$$

Zona	Sector	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Factor de Ocupación [m <sup>2</sup> ]	N = S / FO [Personas]	n = N / 100	Min N° Medios de Escape
A	Oficinas/Administrativo	1150	8	143,75	1,44	1
	Vestuarios	93	3	31,00	0,31	1
	Cocina/Comedor	240	3	80,00	0,8	1
	Sector Jerarquico	99	8	12,38	0,12	1
	Recepción	43,5	8	5,44	0,054	1
	Sala de reuniones	33	8	4,13	0,041	1
B	Laboratorio de Pretratamiento	63,25	16	3,95	0,040	1
	Operaciones	687,5	16	42,97	0,430	1
C	Laboratorio de Producción	105	16	6,56	0,066	1
	Operaciones	975	16	60,94	0,609	1
D	Silos de cáscara	2200	30	73,33	0,733	1
	Tanques de Agua					1
E	Tanques de Ác. Acético	3100	30	103,33	1,033	1
F	Tanques de Bioetanol	1800	30	60,00	0,600	1
H	Sala de Bombas	105	16	6,56	0,066	1
I	Mantenimiento	105	16	6,56	0,066	1
J	Sala de Control	105	16	6,56	0,066	1

Tabla N°21: Cantidad mínima de medios de escape

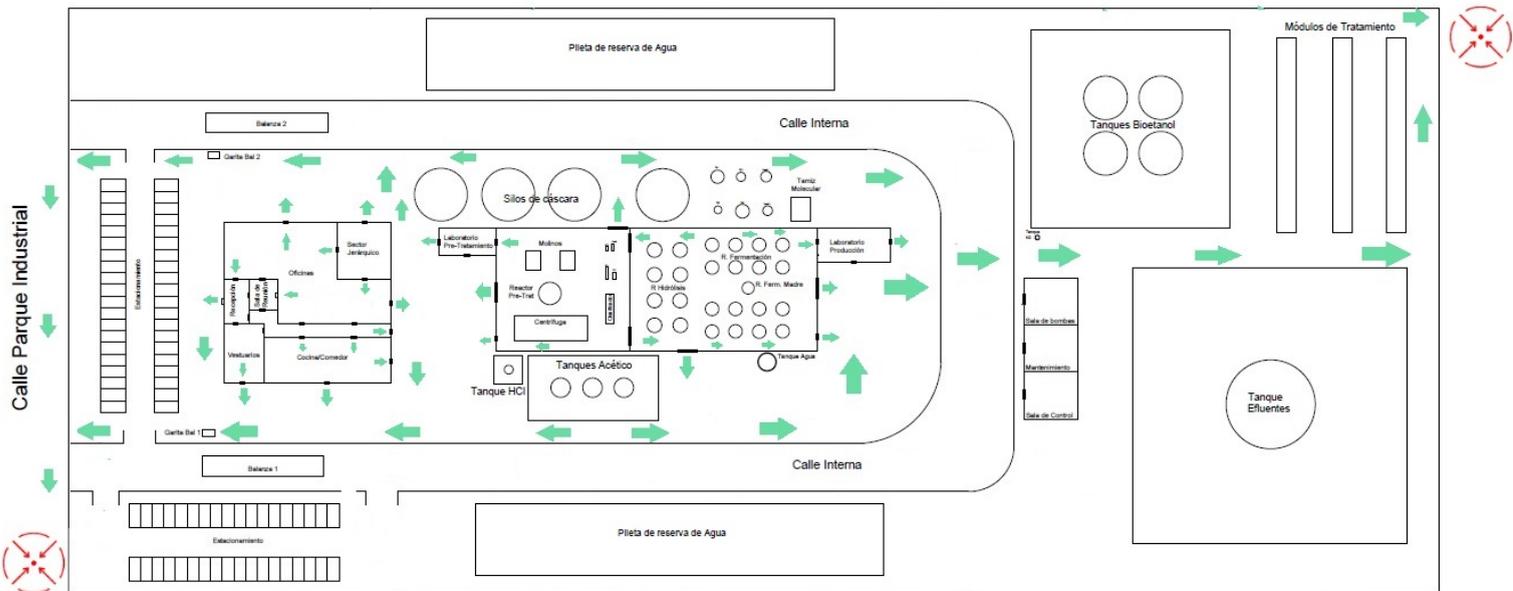


Figura N°23: Plano de evacuación

### 2.9.2 Condiciones de los medios de escape

- Todo local o conjunto de locales que constituyan una unidad de uso en piso bajo, con comunicación directa a la vía pública, que tenga una ocupación mayor de 300 personas y algún punto del local diste más de 40 metros de la salida, medidos a través de la línea de libre trayectoria, tendrá por lo menos dos medios de escape. Para el 2do medio de escape, puede usarse la salida general o pública que sirve a pisos altos, siempre que el acceso a esta salida se haga por el vestíbulo principal del edificio.
- Los locales interiores en piso bajo, que tengan una ocupación mayor de 200 personas contarán por lo menos con dos puertas lo más alejadas posibles una de otra, que conduzcan a un lugar seguro. La distancia máxima desde un punto dentro de un local a una puerta o a la abertura exigida sobre un medio de escape, que conduzca a la vía pública, será de 40 m. medidos a través de la línea de libre trayectoria.
- Plataforma de trabajo: Las plataformas de trabajo, fijas o móviles, estarán construidas de materiales sólidos y su estructura y resistencia será proporcionada a las cargas fijas o móviles que hayan de soportar. Los pisos y pasillos de las plataformas de trabajo serán antideslizantes, se mantendrán libres de obstáculos y estarán provistas de un sistema de drenaje que permita la eliminación de productos resbaladizos. Las plataformas que ofrezcan peligro de caída desde más de dos metros estarán protegidas en todo su contorno por barandas. Cuando se ejecuten trabajos sobre plataformas móviles se emplearán dispositivos de seguridad que eviten su desplazamiento o caída.
- Queda prohibida la instalación de puertas giratorias como elementos integrantes de los medios de escape.

### 3. Bibliografía

- *ABC: extintores de polvo químico secos para fuegos ABC – matafuegos ABC.* (n.d.). Extintores de incendio. [http://www.extintoresfadesa.com.ar/es/polvos\\_quimicos\\_secos\\_abc](http://www.extintoresfadesa.com.ar/es/polvos_quimicos_secos_abc)
- Botta, N. A. (2011). *DISEÑO DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN POR HIDRANTES* (2° ed.). [https://www.redproteger.com.ar/editorialredproteger/serieredincendio/36\\_Disenosistema\\_Hidrantes\\_Fijos\\_2a\\_edicion\\_julio2011.pdf](https://www.redproteger.com.ar/editorialredproteger/serieredincendio/36_Disenosistema_Hidrantes_Fijos_2a_edicion_julio2011.pdf)
- Chowanczak, I. A., Pérez, I. J. C., & Simbeni, I. D. (n.d.). *Curso de rociadores automáticos.* Untitled. [https://cie.gov.ar/web/images/Chowanczak\\_2017/ROCIADORES-MODULO-I.pdf](https://cie.gov.ar/web/images/Chowanczak_2017/ROCIADORES-MODULO-I.pdf)
- Círculo de Ingenieros de Riesgos formado por ingenieros de prevención de aseguradoras nacionales e internacionales de daños materiales por incendio. (n.d.). *Home.* YouTube. <https://www.cirargentina.com.ar/PDF/CIR-GT1-Sistema%20de%20Hidrantes-Junio%202014%20VF.pdf>
- *ECOFIELD - Extintores - Iram 3517-1.* (n.d.). [ecofield.net. https://www.ecofield.net/Legales/Extintores/iram3517-1-x.htm](https://www.ecofield.net/Legales/Extintores/iram3517-1-x.htm)
- Hidráulica y Saneamiento S.A.S. (n.d.). *AGREGAR TÍTULO DE LA CONFERENCIA. AGREGAR TÍTULO DE LA CONFERENCIA.* <https://anraci.org/wp-content/uploads/2018/03/Instalacion-y-Ubicacion-de-Rociadores-Parte-I-VSRCl.pdf>
- National Fire Protection Association. (2007). *Standard for the Installation of Sprinkler Systems.* NFPA 13. <https://atapars.com/wp-content/uploads/2021/01/atapars.com-NFPA-13-2007.pdf>
- *Normativa.* (n.d.). *Normativa* | [Argentina.gob.ar. https://www.argentina.gob.ar/normativa/recurso/32030/dto351-1979-anexo7/htm](https://www.argentina.gob.ar/normativa/recurso/32030/dto351-1979-anexo7/htm)
- Sierra, E. T. (n.d.). *Nota técnica de prevención - NTP 766.* INSST. <https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp-766.pdf/efc7707a-87f1-4bbd-a2d0-0edfd6fa8a64?version=1.0&t=1617977868870>
- VIKING. (2014, July 7). *DATOS TÉCNICOS.* Viking Group Inc. [https://www.vikinggroupinc.com/sites/default/files/documents/090595\\_es.pdf](https://www.vikinggroupinc.com/sites/default/files/documents/090595_es.pdf)
- WESCO. (n.d.). *Tubería SCH10, SCH80 y SCH40 | Wesco | Acero Inoxidable.* Wesco SA. <https://www.wesco.com.co/default.asp?iID=GFLJKE>



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo XIII: Evaluación económica**

## Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>395</b>
<b>2. Introducción.....</b>	<b>395</b>
<b>3. Determinación del costo de equipos.....</b>	<b>396</b>
<b>4. Determinación del capital fijo de inversión.....</b>	<b>398</b>
<b>5. Determinación de los costos de fabricación.....</b>	<b>400</b>
5.1. Materia prima y reactivos.....	401
5.2. Mano de obra operativa.....	401
5.3. Mantenimiento y reparaciones.....	402
5.4. Servicios generales.....	402
5.5. Gastos generales.....	403
5.6. Gastos administrativos.....	403
5.6.1. Mano de obra administrativa.....	403
5.6.2. Marketing y administración.....	403
5.7. Costo total de fabricación.....	403
<b>6. Inversión inicial necesaria.....</b>	<b>404</b>
<b>7. Depreciación.....</b>	<b>405</b>
<b>8. Cálculo de los ingresos por ventas.....</b>	<b>405</b>
<b>9. Rentabilidad de la empresa.....</b>	<b>407</b>
<b>10. Cálculo de VAN y TIR.....</b>	<b>408</b>
<b>11. Conclusión.....</b>	<b>408</b>

## Índice de Tablas

Tabla N°1: Costo de equipos de producción.....	396
Tabla N°2: Costo equipos de almacenamiento.....	397
Tabla N°3: Costo de equipos de transporte.....	398
Tabla N°4: Factores de costos directos e indirectos.....	400
Tabla N°5: Costo de materias primas anual.....	401
Tabla N°6: Costo de mano de obra operativa.....	402
Tabla N°7: Costos de servicios generales.....	402
Tabla N°8: Costo de personal administrativo.....	403
Tabla N°9: Costo total de fabricación.....	404
Tabla N°10: Cálculo de inversión inicial.....	404
Tabla N°11: Pagos del préstamo bancario según sistema francés.....	405
Tabla N°12: Cálculo de la depreciación de equipos y obra civil.....	405
Tabla N°13: Facturación anual de la planta de bioetanol.....	406
Tabla N°14: Cálculo de rentabilidad.....	407

## 1. Objetivo

En este capítulo se desarrollará la evaluación económica del proyecto, para analizar la rentabilidad del mismo. Se estudiará la inversión inicial necesaria, para finalmente calcular los indicadores VAN y TIR, los cuales permitirán determinar la factibilidad económica del proyecto.

## 2. Introducción

Se debe realizar la evaluación económica para determinar qué tan viable es el proyecto desde el punto de vista económico.

Se hace uso de la información presentada en los capítulos anteriores y se procede a la aplicación del Método de Peters y Timmerhaus que contempla el valor del dinero a través del tiempo, para medir la eficiencia de la inversión total involucrada y lo que probablemente rinda durante su vida útil.

Se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- **Liquidez:** La liquidez en una empresa se refiere a la capacidad que tiene para hacer frente a sus obligaciones en corto plazo.
- **Rentabilidad:** El parámetro que nos dará un indicio de la rentabilidad del proyecto, es el del valor actual neto (VAN).

Se propuso que la planta diseñada tenga una vida de funcionamiento de 10 años, y una producción anual de, aproximadamente, 46 millones de litros de bioetanol, siendo este valor la sumatoria del 4,75% de las importaciones y el 3% de la producción nacional, ambas estimadas para el 2024.

A partir de estos valores de producción, se procederá al cálculo de la rentabilidad, considerando que se vende el 60% de la producción durante el primer año y luego se va incrementando un 4,4% por año hasta alcanzar el 100% de las ventas.

Como se seguirá el método de Timmerhaus, el orden del análisis será el siguiente:

- Determinación del costo de los equipos.
- Determinación del capital fijo de inversión.
- Determinación de los costos de fabricación.
- Determinación de la inversión inicial requerida.
- Cálculo de la depreciación.
- Cálculo de los ingresos por ventas.
- Cálculo de la rentabilidad de la planta.
- Cálculo de VAN.
- Cálculo del TIR.

### 3. Determinación del costo de equipos

A partir del Capítulo VII - Diseño de equipos -, donde se diseñaron y seleccionaron todos los equipos necesarios para la producción de bioetanol, se presentará el listado de estos y sus costos estimados.

Para ello, se ha utilizado de guía los costos que figuran en las páginas de donde fueron seleccionados. Se tendrá en cuenta en los costos, la localización de los equipos en planta; siendo que se considerará un 10% extra para los equipos de compra local y un 40% para los adquiridos en el extranjero.

Equipo	Cantidad de equipos	Costo Unitario [USD]	Costo final con Localización [USD]
Molino de doble disco	2	20.000,00	56.000,00
Reactor Pre-Tratamiento	1	121.000,00	169.400,00
Centrífuga de tornillo helicoidal	1	50.000,00	70.000,00
Clasificador de tornillo helicoidal	1	32.700,00	45.780,00
Intercambiador de calor 1	1	24.600,00	34.440,00
Torre de enfriamiento 1	1	67.500,00	94.500,00
Columna de fraccionamiento	1	470.500,00	658.700,00
Intercambiador de calor 2	1	20.100,00	28.140,00
Torre de enfriamiento 2	1	57.000,00	79.800,00
Reactor Hidrólisis	8	203.000,00	2.273.600,00
Intercambiador de calor 3	1	27.500,00	38.500,00
Torre de enfriamiento 3	1	73.000,00	102.200,00
Reactor Fermentación madre	1	114.000,00	159.600,00
Reactor Fermentación	16	153.500,00	3.438.400,00
Captador CO2	1	7.000,00	9.800,00
Torre de fraccionamiento	1	406.700,00	569.380,00
Tamices moleculares	1	230.000,00	322.000,00
Condensador Sub-Enfriador	1	25.600,00	35.840,00
Torre de enfriamiento 4	1	86.500,00	121.100,00
Evaporador de Nitrógeno	2	101.500,00	284.200,00
Módulo de tratamiento de efluentes	3	425.000,00	1.785.000,00
<b>Total [USD]</b>			<b>10.376.380,00</b>

Tabla N°1: Costo de equipos de producción

Equipo	Cantidad de equipos	Costo Unitario [U\$D]	Costo final con Localización [U\$D]
Silo de Cáscara de Arroz	4	9.400,00	41.360,00
Tanque de Ácido Acético	3	27.070,00	89.331,00
Tanque de Ácido Clorhídrico	1	19.700,00	21.670,00
Pileta de Agua de proceso	2	46.285,00	101.827,00
Tanque de Bioetanol	4	35.500,00	198.800,00
Tanque Ecuilizador	1	78.000,00	109.200,00
Tanque de Nitrógeno	1	18.600,00	26.040,00
<b>Total [U\$D]</b>			<b>588.228,00</b>

Tabla N°2: Costo equipos de almacenamiento

Equipo	Cantidad de equipos	Costo Unitario [USD]	Costo final con Localización [USD]
Bomba Ácido Acético	1	3.900,00	4.290,00
Bomba Ácido Clorhídrico	1	230,00	253,00
Bomba de Agua	1	1.100,00	1.210,00
Bomba de Agua	1	3.500,00	3.850,00
Bomba de Compuestos	1	4.800,00	5.280,00
Bomba de Ácido Acético	1	4.800,00	5.280,00
Bomba de Agua	1	1.100,00	1.210,00
Bomba de Celulosa	1	2.400,00	2.640,00
Bomba de Agua	1	1.211,00	1.332,10
Bomba de Agua	1	1.100,00	1.210,00
Bomba de Glucosa	1	1.000,00	1.100,00
Bomba de Glucosa	1	1.700,00	1.870,00
Bomba de Fermento	1	900,00	990,00
Bomba de Agua	1	350,00	385,00
Bomba de Bioetanol Impuro	1	350,00	385,00
Bomba de Agua	1	8.000,00	8.800,00
Bomba de Incendio eléctrica	1	12.000,00	13.200,00
Bomba de Incendio diesel	1	12.000,00	13.200,00
Transportador 1	4	3.700,00	20.720,00
Transportador 2	1	3.700,00	5.180,00
<b>Total [USD]</b>			<b>92.385,10</b>

Tabla N°3: Costo de equipos de transporte

Finalmente, se obtiene que el costo total de los equipos, incluida su localización en planta e instalación, es de 11.080.274 USD.

#### 4. Determinación del capital fijo de inversión

Dentro del mencionado capital fijo de inversión, se tendrán dos tipos de costos: el costo directo y el costo indirecto.

El costo directo trae incluidos todos los gastos que se relacionan con la instalación de la planta:

- Instrumentación y controles: La planta de bioetanol tendrá un nivel elevado de control automático, por lo que los instrumentos, la instalación de los mismos y el software necesario están incluidos en este ítem.

- Cañerías y tuberías: Incluye a las cañerías de todo el proceso, además de los soportes, válvulas y aislación. Es un ítem muy importante, representa aproximadamente un 20% del capital fijo.
- Equipos y materiales eléctricos: Dentro de este ítem tendremos al cableado, la iluminación, los motores, la mano de obra, los paneles de control, llaves, conductos y conductores.
- Obras civiles: Aquí se encuentran involucrados los talleres, los laboratorios, los almacenes, oficinas, entre otros. Se consideran la mano de obra, los materiales involucrados, y todo lo necesario para poner a punto estos lugares, representa aproximadamente un 7% del capital fijo de inversión.
- Mejoras del terreno: Se incluyen las obras que tienen que ver con la mejora del suelo, como nivelación, limpieza, preparación de veredas, colocación de cercos, entre otros.
- Instalaciones de servicios: Tiene relación con los servicios auxiliares por completo y su instalación, además incluye a todos los equipos que no forman parte del proceso, como por ejemplo muebles de oficina.

Mientras que dentro de los costos indirectos, se tienen los costos que no están directamente relacionados con la instalación de la planta:

- Ingeniería y supervisión: está compuesto por los costos administrativos, los costos de diseño, de ingeniería en general, la confección de planos, las compras, además de la ingeniería de inspección y supervisión.
- Gastos de construcción: Involucra la operación y el mantenimiento de los edificios además de la instalación y costo de la nave donde ocurrirá el proceso en sí; las instalaciones temporales, el mantenimiento de caminos y zonas de estacionamiento. Incluye las herramientas y el equipo de construcción, además de la supervisión. Dentro de este costo se tendrá el correspondiente a los médicos, el personal de seguridad, beneficios marginales y los impuestos y seguros, entre otros.
- Honorarios de los contratistas.
- Eventuales: gastos no planificados.

Para calcular el capital fijo de inversión, se utilizará el método de Lang, el cual plantea una multiplicación del costo de los equipos (ya localizados en planta), por un factor que evalúa el impacto de otros costos, ya sean directos e indirectos, según el tipo de proceso.

Para ello, se utilizará la Tabla N°4, que posee los factores para procesos que operan tanto con sólidos como con líquidos, desestimando aquellos factores que corresponden a costos ya tenidos en cuenta en cálculos anteriores o que no son propios del proceso adoptado.

Costo Directo	Procesadora de sólidos y fluidos
Instrumentación y controles	0,26
Tubería	0,31
Sistemas Eléctricos	0,1
Edificios	0,29
Mejoras del sitio	0,12
Servicios Auxiliares	0,55
Costo Indirecto	
Ingeniería y supervisión	0,32
Gastos de construcción	0,34
Cuestiones legales	0,04
Honorarios de contratistas	0,19
Contingencias	0,37
Factor Total	2,89
Capital Fijo de Inversión	32.238.992,15

Tabla N°4: Factores de costos directos e indirectos

Realizando la sumatoria de todos los costos directos e indirectos que se deben tener en cuenta para el proceso, se obtiene que el factor a aplicar es de 2,89.

Finalmente, se puede obtener el capital fijo de inversión, multiplicando el factor obtenido por el costo de los equipos y sumando el costo del terreno, el cual, como se expuso en el Capítulo III - Ubicación de Planta -, es 217.000 USD.

$$\text{Capital Fijo de Inversión} = 2,89 * 11.080.274 \text{ USD} + 217.000 \text{ USD}$$

$$\text{Capital Fijo de Inversión} = 32.238.991,86 \text{ USD}$$

## 5. Determinación de los costos de fabricación

En la elaboración de un producto, los costos de fabricación representan los gastos necesarios para mantener la operación de la planta, los cuales pueden variar dependiendo del nivel de producción. Entre los gastos que se incluyen en este tipo de costos se encuentran:

- **Materias primas y reactivos:** Son los materiales que se utilizan directamente para la producción del producto final deseado.
- **Mano de obra operativa:** Este costo está relacionado con la mano de obra que está directamente vinculada a la producción del producto.
- **Mantenimiento y reparaciones:** Este costo se deriva de las revisiones anuales, la sustitución de piezas o reparaciones necesarias para mantener la planta en funcionamiento. Normalmente, representa un 5% del capital fijo de inversión.

- **Servicios generales:** Se refiere a los servicios necesarios para la operación de la planta, tales como vapor, electricidad, aire comprimido, agua de enfriamiento, gas natural, gasolina, refrigeración y tratamiento de desechos. El costo de estos servicios está relacionado con el consumo, la ubicación de la planta y la fuente de servicio.
- **Gastos generales:** Este costo incluye los gastos relacionados con la iluminación, suministros, envasado, seguros, gastos de laboratorio para el control de calidad, derechos y patentes por utilizar procesos y productos patentados, catalizadores, expedición para el transporte y la venta del producto. Este costo se calcula como el 50% del costo de mano de obra operativa, más el 1% del capital fijo.
- **Gastos administrativos:** Este costo está relacionado con los gastos necesarios para mantener la administración de la planta.
- **Mano de obra:** Este costo está relacionado con la cantidad de mano de obra requerida, la complejidad para operar la planta y los estándares de calidad necesarios.
- **Gastos de marketing/administración:** Este costo incluye los suministros y equipos de oficina, de comunicaciones, y los gastos por el proceso de venta y distribución del producto. Normalmente, representa el 20% de la mano de obra.

La sumatoria de todos estos gastos mencionados anteriormente, resulta en el costo de fabricación del producto.

### 5.1. Materia prima y reactivos

A partir de los balances realizados en el Capítulo VI - Balance de masa y energía -, se estima el costo anual de las materias primas a utilizar en nuestro proceso.

<b>Materia Prima</b>	<b>Requerimiento Anual [Tn]</b>	<b>Costo [USD/Tn]</b>	<b>Costo [USD/Año]</b>
Cáscara de Arroz	132.866,70	21,20	2.816.774,04
Ácido Acético	1.857,48	1.623,21	3.015.082,68
Ácido Clorhídrico	265,73	3.256,00	865.227,87
<b>Total [USD/Año]</b>			<b>6.697.084,59</b>

Tabla N°5: Costo de materias primas anual

### 5.2. Mano de obra operativa

Para la estimación del costo de mano de obra operativa, se utilizan los valores provistos por la Federación de Sindicatos Químicos y Petroquímicos. A estos valores se les añaden las cargas sociales que la empresa debe pagar, siendo estas el 24% del sueldo, y para finalizar se calcula el costo anual multiplicando el sueldo y las cargas sociales por un total de 13, ya que

son 12 los meses del año y se agrega el sueldo anual complementario (aguinaldo), además de la cantidad de personas que trabajan en la empresa.

Cargo	Cantidad	Sueldo Bruto Anual [\$/Año]	Cargas Sociales [\$/Año]	Costo Anual [USD/Año]
Operarios	78	2.496.000,00	599.040,00	1.149.586,29
Supervisores	4	5.657.600,00	1.357.824,00	133.627,12
<b>Total [USD/Año]</b>				<b>1.283.213,41</b>

Tabla N°6: Costo de mano de obra operativa

### 5.3. Mantenimiento y reparaciones

Como se mencionó anteriormente, el mantenimiento de la planta representa el 5% del capital fijo de inversión, por lo que se obtiene:

$$\text{Costo de mantenimiento} = 0,05 * 32.238.991,86 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de mantenimiento} = 1.611.949,6 \text{ USD}$$

### 5.4. Servicios generales

Aquí están considerados los gastos provenientes de servicios de electricidad, agua utilizada y gas natural.

Para el cálculo de electricidad se tuvieron en cuenta los kWh que consumen cada uno de los equipos diseñados y comprados, más un 20% de gastos correspondientes a la iluminación y otros aparatos eléctricos no enlistados, como por ejemplo computadoras. Con respecto al agua, para el proceso se utilizaron los valores obtenidos del Capítulo V - Balance de masa y energía -. En el caso del gas sólo se tuvo en cuenta lo consumido en los laboratorios y en el sector de cocina.

Dichos valores son afectados por los días de funcionamiento declarados anteriormente, 330 días, y por los costos declarados por las empresas distribuidoras de energía, gas y agua en la provincia de Corrientes.

	Agua para proceso		Electricidad		Gas Natural	
	m3/Año	USD/m3	kW-Año	USD/kW-Año	m3/Año	USD/m3
	264.000,00	0,30	542.674,44	2,45	37.356,00	0,060
<b>Costo Anual [USD]</b>	79.200,00		1.330.327,63		2.223,57	
<b>Costo Total [USD]</b>	<b>1.411.751,20</b>					

Tabla N°7: Costos de servicios generales

## 5.5. Gastos generales

Como se mencionó anteriormente, para calcular los gastos generales se suma el 50% del costo de mano de obra operativa y el 1% del capital fijo de inversión.

$$\text{Gastos Generales} = 0,5 * 1.283.213,41 \text{ USD} + 0,01 * 32.238.949,6 \text{ USD}$$

$$\text{Gastos Generales} = 963.996,201 \text{ USD}$$

## 5.6. Gastos administrativos

### 5.6.1. Mano de obra administrativa

Aquí se hace una diferencia con el anterior ítem de mano de obra, ya que están los operativos (anteriormente calculado) y los administrativos, que abarcan a los gerentes, jefes y al personal administrativo. El cálculo presenta las mismas bases que el apartado [5.2. Mano de obra operativa](#).

Cargo	Cantidad	Sueldo Bruto Anual [\$/Año]	Cargas Sociales [\$/Año]	Costo Anual [USD/Año]
Administrativos	9	2.496.000,00	599.040,00	132.644,57
Jefes	7	4.825.600,00	1.158.144,00	199.458,13
Gerentes	6	8.153.600,00	1.956.864,00	288.870,40
<b>Total [USD/Año]</b>				<b>620.973,10</b>

Tabla N°8: Costo de personal administrativo

### 5.6.2. Marketing y administración

A este costo se le debe sumar los correspondiente al sector de marketing y administración, que se calculan como el 20% de los costos de mano de obra administrativa.

$$\text{Costos de marketing y administración} = 0,2 * 620.973,10 \text{ USD}$$

$$\text{Costos de marketing y administración} = 124.194,62 \text{ USD}$$

## 5.7. Costo total de fabricación

A continuación se presenta un cuadro con el detalle y la suma de los costos de fabricación.

	USD/Año	Tipo de Costo
Materia Prima	6.697.084,59	Variable
Mano de Obra Operativa	1.283.213,41	Fijo
Mantenimiento y Reparaciones	1.611.949,61	Fijo
Servicios Generales	1.411.751,20	Variable
Gastos Generales	963.996,63	Fijo
Gastos Administrativos	745.167,73	Variable
<b>Costo Total de Fabricación</b>	<b>12.713.163,16</b>	

Tabla N°9: Costo total de fabricación

## 6. Inversión inicial necesaria

Se calcula la inversión inicial requerida para el proyecto como la suma de los costos de fabricación y el capital fijo de inversión.

	USD
Capital Fijo de Inversión	32.238.992,15
Costos de Fabricación	12.713.163,16
<b>Inversión Inicial</b>	<b>44.952.155,31</b>

Tabla N°10: Cálculo de inversión inicial

Como no se cuenta con el total del dinero necesario, se hará pedido de un préstamo, el cuál será pagado a través del sistema Francés. El pago se hará de manera anual, y se tendrá una tasa de interés del 5% y un total de 10 cuotas.

Para poder obtener las cuotas y montos a amortizar se utiliza la siguiente fórmula:

$$C = V * \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Donde:

- C: Cuota a pagar.
- V: Valor del préstamo.
- i: Tasa de interés.
- n: Cantidad de cuotas.

	Años	Interés [USD]	Reducción de Capital [USD]	Cuota [USD]	Costo Pendiente [USD]
0	2023	-	-	-	44.952.155,31
1	2024	2.247.607,77	3.573.902,00	5.821.509,77	41.378.253,31
2	2025	2.068.912,67	3.752.597,10	5.821.509,77	37.625.656,21
3	2026	1.881.282,81	3.940.226,96	5.821.509,77	33.685.429,25
4	2027	1.684.271,46	4.137.238,31	5.821.509,77	29.548.190,95
5	2028	1.477.409,55	4.344.100,22	5.821.509,77	25.204.090,73
6	2029	1.260.204,54	4.561.305,23	5.821.509,77	20.642.785,50
7	2030	1.032.139,27	4.789.370,49	5.821.509,77	15.853.415,00
8	2031	792.670,75	5.028.839,02	5.821.509,77	10.824.575,99
9	2032	541.228,80	5.280.280,97	5.821.509,77	5.544.295,02
10	2033	277.214,75	5.544.295,02	5.821.509,77	0,00

Tabla N°11: Pagos del préstamo bancario según sistema francés

## 7. Depreciación

Se debe tener en cuenta la depreciación que sufren los equipos del proceso y la obra civil. Para calcularla, se considera el precio total de los equipos dividido por los 10 años de operación, y el precio de la obra civil (el 7% del capital fijo de inversión) dividido por 20 años.

Aspecto	Vida útil promedio [Años]	Monto de inversión [USD]	Valor [USD]
Equipos de proceso	10	11.059.234,10	1.105.923,41
Obra civil	20	2.252.473,06	112.623,65
<b>Total [USD]</b>		<b>1.218.547,06</b>	

Tabla N°12: Cálculo de la depreciación de equipos y obra civil

## 8. Cálculo de los ingresos por ventas

En el Capítulo II - Estudio de mercado, se especifica que el precio elegido para el bioetanol es de 1089,76 USD/Tn como base, tomando una inflación del 10% anual, dicho valor se obtuvo a partir de un análisis del mercado nacional e internacional.

Al comienzo de este capítulo se mencionó que el primer año se venderá solamente el 60% de la producción, pero año a año se incrementará un 4,4% hasta alcanzar el total. Por lo tanto, se tiene:

<b>Año</b>	<b>Precio [USD/Tn]</b>	<b>Producción [Tn/Año]</b>	<b>Facturación [USD/Año]</b>
2024	1.089,76	21.853,67	23.815.249,09
2025	1.209,70	23.456,28	28.375.160,92
2026	1.330,67	25.058,90	33.345.231,80
2027	1.463,74	26.661,51	39.025.565,25
2028	1.610,12	28.264,12	45.508.513,06
2029	1.771,13	29.866,73	52.897.794,79
2030	1.948,24	31.469,34	61.309.847,74
2031	2.143,06	33.071,96	70.875.333,32
2032	2.357,37	34.674,57	81.740.817,55
2033	2.593,11	36.423,00	94.448.772,33

Tabla N°13: Facturación anual de la planta de bioetanol

## 9. Rentabilidad de la empresa

Porcentaje ventas	60,00%	64,40%	68,80%	73,20%	77,60%	82,00%	86,40%	90,80%	95,20%	100,00%
Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Ventas [USD]	23.815.249,09	28.375.160,92	33.345.231,80	39.025.565,25	45.508.513,06	52.897.794,79	61.309.847,74	70.875.333,32	81.740.817,55	94.448.772,33
Costo Variable [USD]	8.854.003,52	9.075.353,60	9.302.237,44	9.534.793,38	9.773.163,22	10.017.492,30	10.267.929,60	10.524.627,84	10.787.743,54	11.057.437,13
Costo Fijo [USD]	3.859.159,64	3.955.638,63	4.054.529,60	4.155.892,84	4.259.790,16	4.366.284,92	4.475.442,04	4.587.328,09	4.702.011,29	4.819.561,57
Devolución Préstamo [USD]	5.821.509,77	5.821.509,77	5.821.509,77	5.821.509,77	5.821.509,77	5.821.509,77	5.821.509,77	5.821.509,77	5.821.509,77	5.821.509,77
Depreciación [USD]	1.220.863,88	1.220.863,88	1.220.863,88	1.220.863,88	1.220.863,88	1.220.863,88	1.220.863,88	1.220.863,88	1.220.863,88	1.220.863,88
Utilidad Operativa [USD]	4.059.712,28	8.301.795,03	12.946.091,10	18.292.505,37	24.433.186,04	31.471.643,93	39.524.102,45	48.721.003,74	59.208.689,07	71.529.399,98
Impuesto Ganancias [USD]	1.014.928,07	2.075.448,76	3.236.522,78	4.573.126,34	6.108.296,51	7.867.910,98	9.881.025,61	12.180.250,94	14.802.172,27	17.882.349,99
<b>Flujo de Fondos [USD]</b>	<b>3.044.784,21</b>	<b>6.226.346,27</b>	<b>9.709.568,33</b>	<b>13.719.379,03</b>	<b>18.324.889,53</b>	<b>23.603.732,95</b>	<b>29.643.076,83</b>	<b>36.540.752,81</b>	<b>44.406.516,80</b>	<b>53.647.049,98</b>

Tabla N°14: Cálculo de rentabilidad

## 10. Cálculo de VAN y TIR

Para calcular el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), se hace uso de una planilla de cálculo y la herramienta "Solver".

Finalmente, se obtienen los siguientes valores:

- $VAN = 122.599.548,19 \text{ USD}$
- $TIR = 28,66 \%$

## 11. Conclusión

Haciendo un análisis de los indicadores VAN y TIR, podemos concluir que el proyecto será rentable, ya que un valor de VAN positivo indica que el valor actual de los flujos es mayor a la inversión inicial y, además, el valor de TIR presenta un valor más alto que la tasa de interés propuesta inicialmente (5%), indicando que se obtendrá un porcentaje de beneficio mayor. Estos resultados dan la certeza que el proyecto es económicamente viable.



**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**Capítulo XIV: Conclusión**

## 1. Conclusiones

El presente proyecto surge desde la idea de darle una segunda oportunidad a un residuo, utilizándolo como materia prima y reducir así su presencia como contaminante, ya que el mayor porcentaje del mismo se incinera.

Analizando el proyecto en su totalidad, se puede comprobar que en cada una de las etapas de este proceso se tuvieron en cuenta todos los aspectos necesarios para que sea un proceso sustentable y sostenible, reduciendo consumos, reutilizando recursos y buscando que sea lo más amigable posible con el medio ambiente.

Actualmente en Argentina, el bioetanol se produce a partir de materias primas que son alimentos - caña de azúcar y maíz -, generando que este proyecto sea una alternativa totalmente distinta e innovadora.

En el último capítulo - Evaluación económica -, se demuestra que este proyecto es rentable y factible, detallando cada uno de los costos e ingresos que tendrá la empresa; esto es debido al volumen de ventas de los últimos años a nivel nacional e internacional, también gracias a las regulaciones que fueron impulsando su inserción en el mercado, un mercado cada vez más en alza.

Como resultado del análisis final, se obtienen resultados positivos, logrando que los indicadores VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno) resulten en 122.599.548,19 *USD* y 28,66% respectivamente, lo cual confirma la viabilidad del proyecto ya que un valor positivo de VAN muestra que el valor actual de los flujos es mayor a la inversión inicial, mientras que el TIR es mayor a la tasa de interés propuesta (5%), por lo que el porcentaje de beneficio será mayor.

Por todo lo mencionado, se llega a la conclusión final de que el objetivo ha sido cumplido en cada uno de sus aspectos.

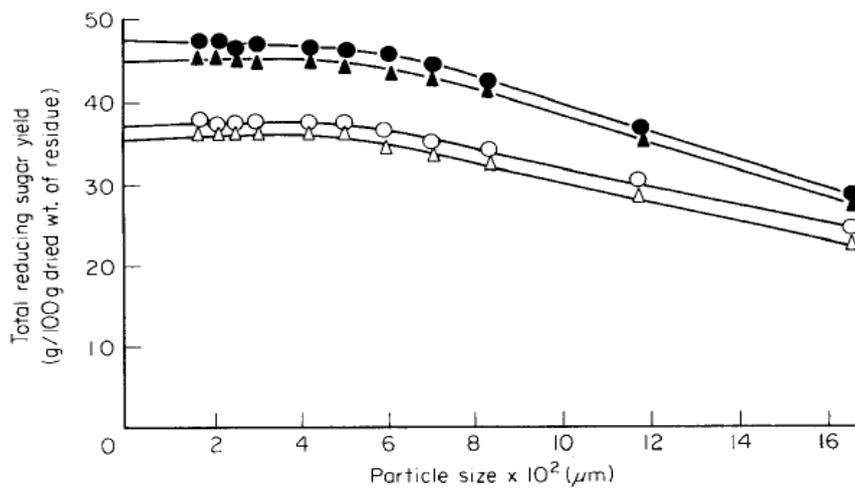


**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda**

**“Producción de Bioetanol a partir de  
Cáscara de Arroz”**

**ANEXOS**

**Anexo N°1: Diagrama de la relación entre el tamaño de partícula y rendimiento de hidrólisis**



**Anexo N°2: Comparación de los sistemas de deshidratación**

	<b>Destilación azeotrópica</b>	<b>Destilación extractiva</b>	<b>Tamices moleculares</b>
Energía (kcal/l)	764 - 860	239 - 382	437 - 568
Agua 30 °C (l/l)	50-65 (ΔT=15°C)	25-35 (ΔT=15°C)	~ 55
Potencia (kW-h/m <sup>3</sup> )	~ 11,1	~ 7,2	~ 9,5
Agente extractor (L/m <sup>3</sup> )	0,6 - 0,9	≤ 0,2	~ 8 años vida útil

### Anexo N°3: Diagrama de Moody

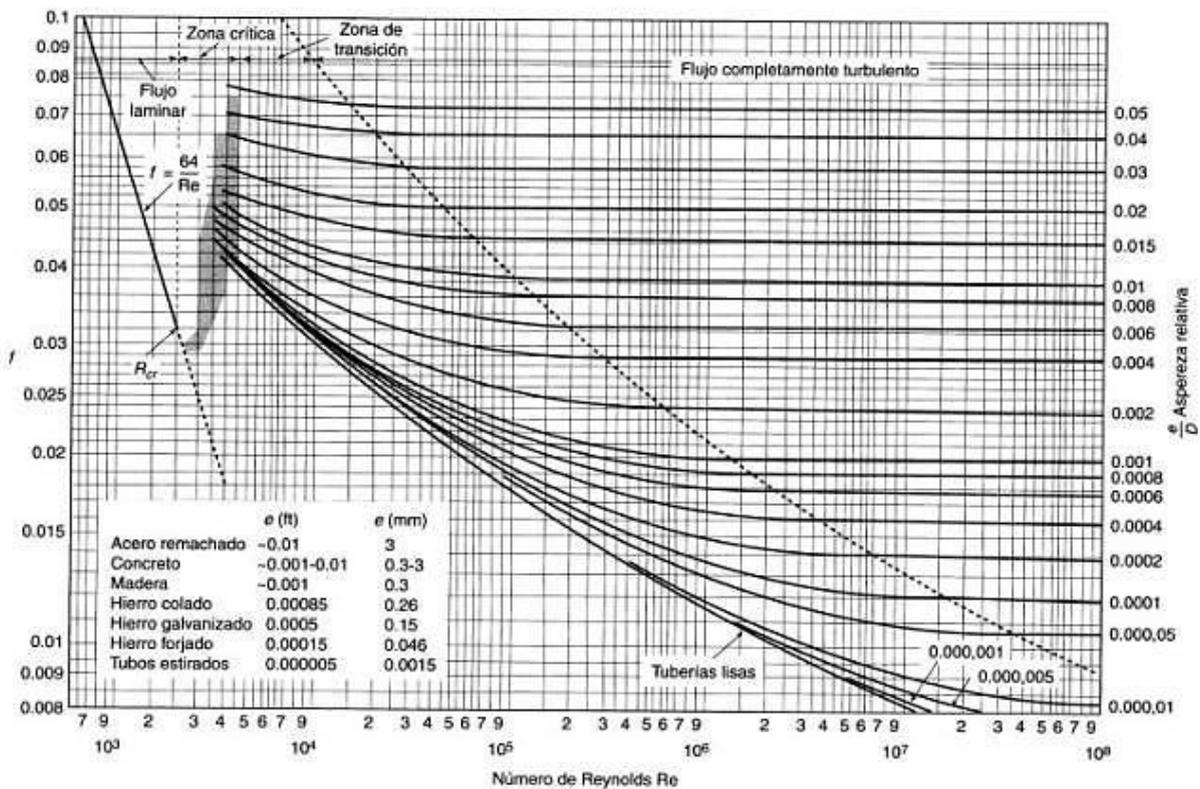
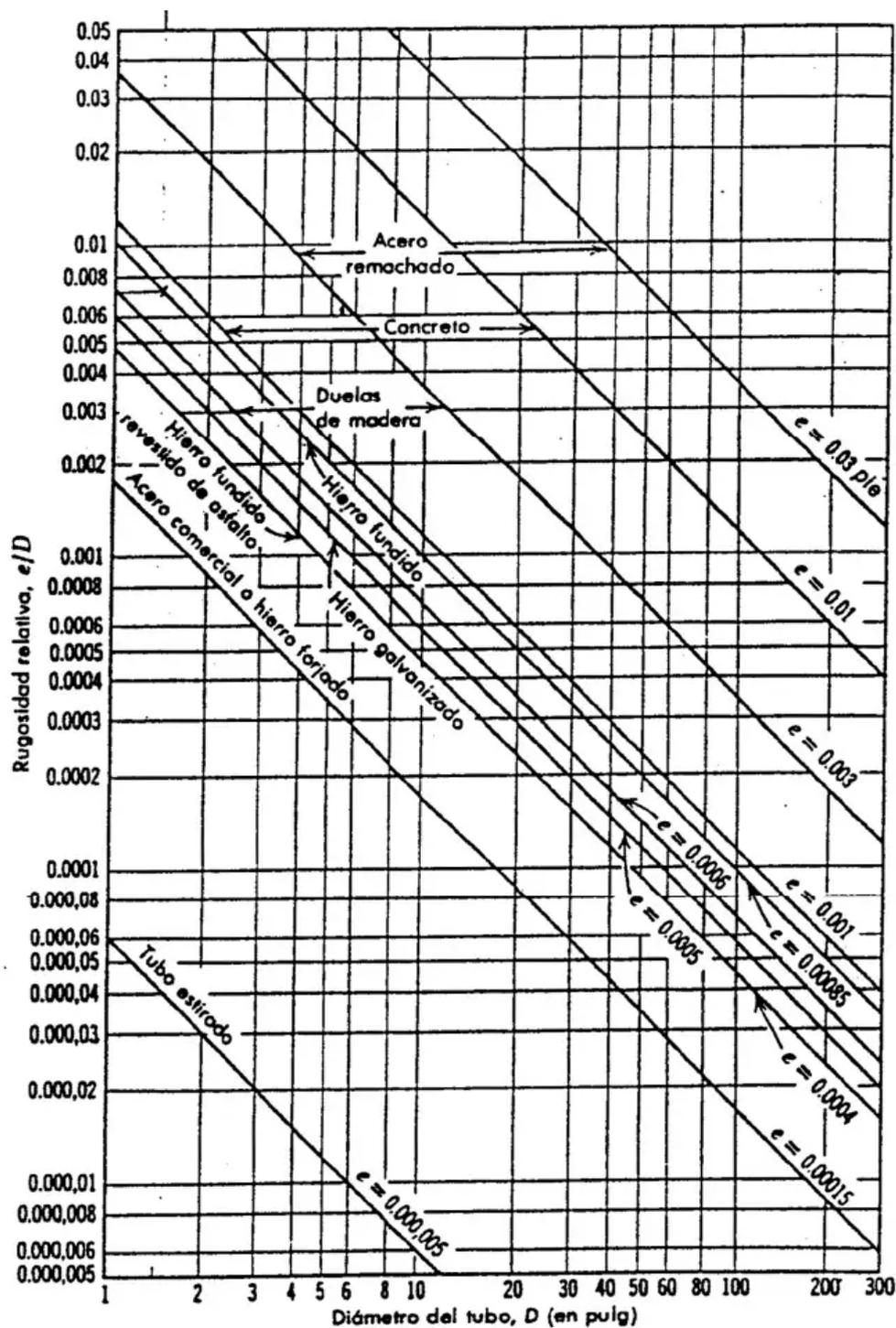


Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)

### Anexo N°4: Pérdida de carga por accesorios - longitud equivalente

k factor =	Threaded fittings†		Valves (threaded, flanged, or welded)					90° welding elbows and smooth bends‡	Welding tees		
	Elbows 45°	90°	Tee	Plug	Globe	Angle	Swing check	R/dβ = 1-1/2	Forged	Mitre**	
n = L/D ratio†† =	14	30	60	30	333	167	83	12	45	60	
Nominal pipe size in (Schedule 40)	Inside diameter (d) mm										
3/8	12.52	0.18	0.37	0.75	0.37	4.18	2.09	1.04	0.15	0.56	0.75
1/2	15.80	0.22	0.47	0.94	0.47	5.27	2.64	1.29	0.19	0.17	0.94
3/4	20.93	0.29	0.63	1.26	0.63	6.98	3.47	1.74	0.25	0.94	1.26
1	26.64	0.37	0.80	1.60	0.80	8.87	4.45	2.22	0.32	1.20	1.60
1-1/4	35.05	0.49	1.05	2.10	1.05	11.67	5.82	2.92	0.42	1.58	2.10
1-1/2	40.89	0.49	1.23	2.45	1.23	13.62	6.83	3.41	0.49	1.84	2.45
2	52.50	0.73	1.58	3.14	1.58	17.50	8.75	4.39	0.63	2.36	3.14
2-1/2	62.71	0.88	1.88	3.75	1.88	20.88	10.45	5.21	0.75	2.82	3.75
3	77.93	1.09	2.34	4.66	2.34	25.97	12.98	6.49	0.94	3.51	4.66
4	102.3	1.23	3.08	6.16	3.08	34.14	17.07	8.53	1.23	4.60	6.16
5	128.2	1.79	3.84	7.68	3.84	42.67	21.33	10.67	1.54	5.76	7.68

Anexo N°5: Rugosidad relativa para diversos materiales



## Anexo N°6: Dimensiones de tuberías de acero

Nominal Pipe Size		Outside Diameter (mm)	Nominal Wall Thickness Schedule																		
NPS	DN		OD	SCH 5s	SCH 10s	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40s	SCH STD	SCH 40	SCH 60	SCH 80s	SCH XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	SCH XXS	
1/8	6	10.3		1.24				1.73	1.73	1.73		2.41	2.41	2.41							
1/4	8	13.7		1.65				2.24	2.24	2.24		3.02	3.02	3.02							
3/8	10	17.1		1.65				2.31	2.31	2.31		3.20	3.20	3.20							
1/2	15	21.3	1.65	2.11				2.77	2.77	2.77		3.73	3.73	3.73					4.78	7.47	
3/4	20	26.7	1.65	2.11				2.87	2.87	2.87		3.91	3.91	3.91					5.56	7.82	
1	25	33.4	1.65	2.77				3.38	3.38	3.38		4.55	4.55	4.55					6.35	9.09	
1 1/4	32	42.2	1.65	2.77				3.56	3.56	3.56		4.85	4.85	4.85					6.35	9.70	
1 1/2	40	48.3	1.65	2.77				3.68	3.68	3.68		5.08	5.08	5.08					7.14	10.15	
2	50	60.3	1.65	2.77				3.91	3.91	3.91		5.54	5.54	5.54					8.74	11.07	
2 1/2	65	73	2.11	3.05				5.16	5.16	5.16		7.01	7.01	7.01					9.53	14.02	
3	80	88.9	2.11	3.05				5.49	5.49	5.49		7.62	7.62	7.62					11.13	15.24	
3 1/2	90	101.6	2.11	3.05				5.74	5.74	5.74		8.08	8.08	8.08							
4	100	114.3	2.11	3.05				6.02	6.02	6.02		8.56	8.56	8.56			11.13		13.49	17.12	
5	125	141.3	2.77	3.40				6.55	6.55	6.55		9.53	9.53	9.53			12.70		15.88	19.05	
6	150	168.3	2.77	3.40				7.11	7.11	7.11		10.97	10.97	10.97			14.27		18.26	21.95	
8	200	219.1	2.77	3.76		6.35	7.04	8.18	8.18	8.18	10.31	12.70	12.70	12.70	15.09	18.26	20.62	23.01	22.23		
10	250	273.1	3.40	4.19		6.35	7.80	9.27	9.27	9.27	12.70	12.70	12.70	15.09	18.26	21.44	25.40	28.58	25.40		
12	300	323.9	3.96	4.57		6.35	8.38	9.53	9.53	10.31	14.27	12.70	12.70	17.48	21.44	25.40	28.58	33.32	25.40		
14	350	355.6	3.96	4.78	6.35	7.92	9.53		9.53	11.13	15.09		12.70	19.05	23.83	27.79	31.75	35.71			
16	400	406.4	4.19	4.78	6.35	7.92	9.53		9.53	12.70	16.66		12.70	21.44	26.19	30.96	36.53	40.49			
18	450	457.2	4.19	4.78	6.35	7.92	11.13		9.53	14.27	19.05		12.70	23.83	29.36	34.93	39.67	45.24			
20	500	508	4.78	5.54	6.35	9.53	12.70		9.53	15.09	20.62		12.70	26.19	32.54	38.10	44.45	50.01			
22		559	4.78	5.54	6.35	9.53	12.70		9.53		22.23		12.70	28.58	34.93	41.28	47.63	53.98			
24	600	610	5.54	6.35	6.35	9.53	14.27		9.53	17.48	24.61		12.70	30.96	38.89	46.02	52.37	59.54			
26		660			7.92	12.70			9.53				12.70								
28	700	711			7.92	12.70	15.88		9.53				12.70								
30		762	6.35	7.92	7.92	12.70	15.88		9.53				12.70								
32	800	813			7.92	12.70	15.88		9.53	17.48			12.70								
34		884			7.92	12.70	15.88		9.53	17.48			12.70								
36	900	914			7.92	12.70	15.88		9.53	19.05			12.70								
38		965							9.53				12.70								
40	1000	1016						9.53		12.70											
42		1067				12.70	15.88		9.53	19.05			12.70								
44	1100	1118							9.53				12.70								
46		1168							9.53				12.70								
48	1200	1219							9.53			12.70									

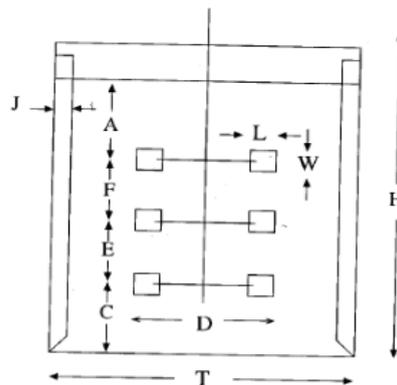
**Anexo N°7: Secciones del código ASME BVPC para el diseño, fabricación, instalación, inspección y certificación de recipientes sometidos a presión**



Anexo N°8: Eficiencia de la soldadura Norma UW-12 de la normativa ASME sección VIII

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS				
TIPOS NORMA UW-12	EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es:			
	a. Radiogra- fiada total- mente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada	
<p>1</p> 	<p>Juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70

Anexo N°9: Razones para la selección de los parámetros del reactor

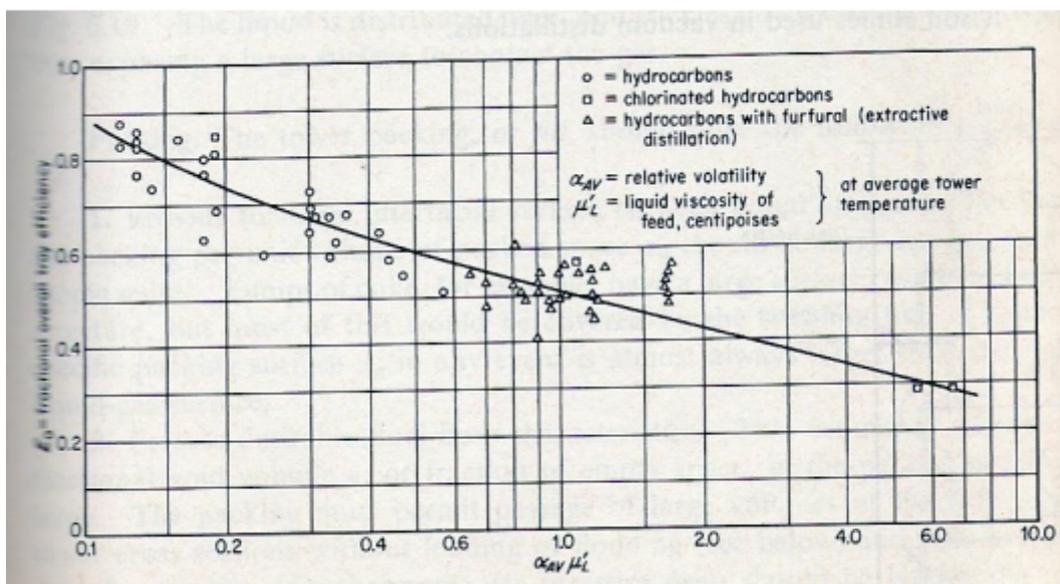


Razón	Valor
$H_c/T$	1.0 - 3.0
$D/T$	0.3 - 0.6
$A/D$	0.5 - 3.0
$E/D, F/D$	1.0 - 2.0
$J/T$	0.08 - 0.1

**Anexo N°10: Propiedades experimentales de sistemas binarios (Agua+metanol, agua+etanol)**

x	$\rho \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$	d [mm]	$\sigma_{\text{vapor}} \left[ \frac{\text{mN}}{\text{m}} \right]$	$\sigma_{\text{rel}} \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{m}} \right]$	$\Delta \sigma \left[ \frac{\text{mN}}{\text{m}} \right]$
<b>Water +Methanol</b>					
0.0000	0.9970	36.1	72.10	72.01	0.09
0.0473	0.9872	39.1	55.61	56.18	0.57
0.1004	0.9761	40.9	47.56	47.21	0.35
0.1606	0.9636	42.5	41.47	41.09	0.38
0.2293	0.9493	43.9	36.80	36.51	0.29
0.3086	0.9328	45.1	33.17	32.86	0.31
0.4010	0.9136	46.5	29.57	29.83	0.26
0.5102	0.8909	47.4	27.25	27.48	0.23
0.6410	0.8637	47.9	25.77	25.54	0.23
0.8007	0.8305	48.8	23.76	23.93	0.17
1.0000	0.7915	49.4	22.33	22.51	0.18
<b>Water +Ethanol</b>					
0.0000	0.9970	36.1	72.10	72.01	0.09
0.0333	0.9711	41.3	47.17	47.53	0.36
0.0718	0.9632	44.2	37.67	37.97	0.30
0.1171	0.9539	46.0	32.68	32.98	0.30
0.1711	0.9428	47.0	29.96	30.16	0.20
0.2364	0.9293	47.6	28.18	27.96	0.22
0.3171	0.9127	48.5	26.02	26.23	0.21
0.4194	0.8916	48.6	25.24	25.01	0.23
0.5533	0.8640	49.0	24.02	23.82	0.20
0.7359	0.8264	49.5	22.72	22.72	0.00
1.0000	0.7894	49.6	22.00	21.82	0.18

**Anexo N°11: Correlación O'Connell: Plate efficiency of fractionating columns and absorbers**



Anexo N°12: Confiabilidad de ecuaciones experimentales para viscosidad de mezcla agua-etanol

Propiedad	Ecuación	Error relativo promedio (%)
$\rho_{1L} = f(T)$	1	0,13
$\rho_{2L} = f(T)$	2	0
$\rho_{mezL} = f(x_1, T)$	3	0,18
	8	1,73
$\mu_{1L} = f(T)$	9	1,42
	Total	1,50
$\mu_{2L} = f(T)$	10	0,30
	11	5,28
$\mu_{mezL} = f(x_1, T)$	12	3,57

Anexo N°13: Factor de corrección para equipos 2:4

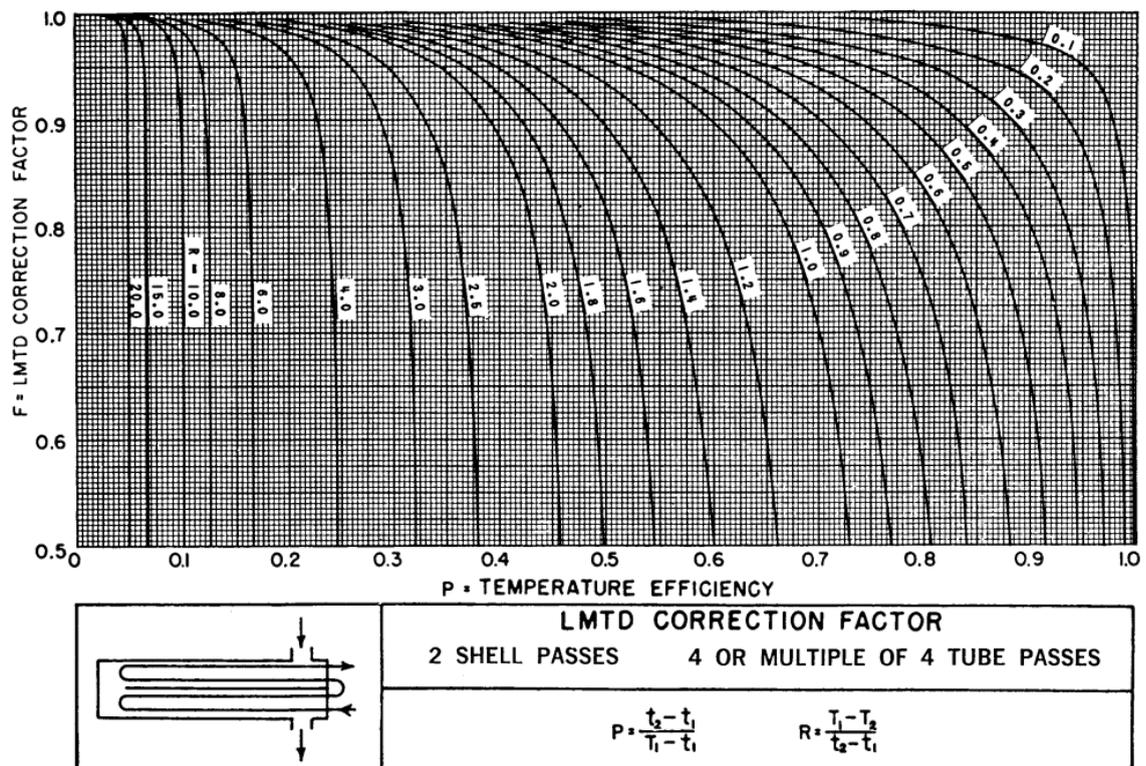
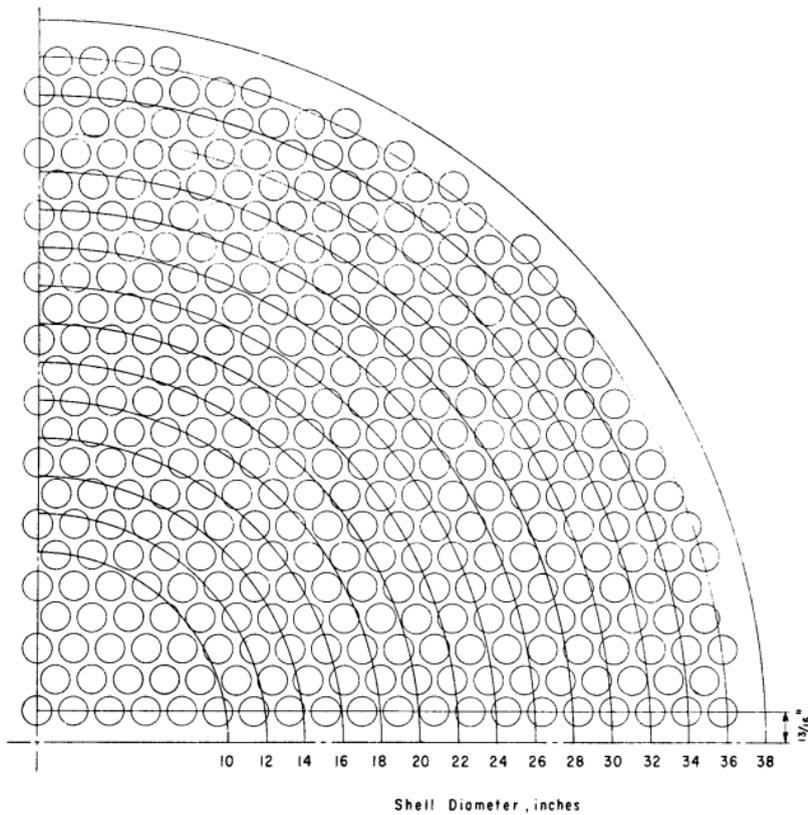


Figure 10-34B. MTD correction factor, 2 shell passes, 4 or a multiple of 4 tube passes.

**Anexo N°14: Disposición de tubos según diámetros en un condensador/Intercambiador de calor**



I. D. of Shell	No. of Holes	I. D. of Shell	No. of Holes
8	36	25	534
10	62	26	596
12	98	27	632
13 1/4	128	28	696
14	148	29	740
15 1/4	172	30	810
16	204	31	854
17 1/4	234	32	934
18	266	33	972
19 1/4	306	34	1,056
20	332	35	1,096
21 1/4	376	36	1,198
22	420	37	1,250
23 1/4	458	38	1,326
24	498		

Note : Total Number of Holes in Tube Sheet is Based on 3/8" Minimum Clearance Between Shell and Tubes.  
Make Allowances for Tie Rods and Impingement Plates.

**Tube Sheet Layout**  
**FIXED TUBE SHEET EXCHANGER**  
 (Also Non-Removable Floating Head)  
 Tube Passes : Two  
 Tube Size & Pitch : 3/4" on 15/16" Δ

Anexo N°15: Datos de tubos para intercambiadores y condensadores

**TABLA 10. DATOS DE TUBOS PARA CONDENSADORES E INTERCAMBIADORES DE CALOR**

Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared,	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg <sup>2</sup>	Superficie por pie lin. pies <sup>2</sup>		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
½	12	0.109	0.282	0.0625	0.1309	0.0748	0.493
	14	0.083	0.334	0.0876		0.0874	0.403
	16	0.065	0.370	0.1076		0.0969	0.329
	18	0.049	0.402	0.127		0.1052	0.258
	20	0.035	0.430	0.145		0.1125	0.190
¾	10	0.134	0.482	0.182	0.1963	0.1263	0.965
	11	0.120	0.510	0.204		0.1335	0.884
	12	0.109	0.532	0.223		0.1393	0.817
	13	0.095	0.560	0.247		0.1466	0.727
	14	0.083	0.584	0.268		0.1529	0.647
	15	0.072	0.606	0.289		0.1587	0.571
	16	0.065	0.620	0.302		0.1623	0.520
	17	0.058	0.634	0.314		0.1660	0.469
	18	0.049	0.652	0.334		0.1707	0.401
1	8	0.165	0.670	0.355	0.2618	0.1754	1.61
	9	0.148	0.704	0.389		0.1843	1.47
	10	0.134	0.732	0.421		0.1916	1.36
	11	0.120	0.760	<b>0.455</b>		0.1990	1.23
	12	0.109	0.782	<b>0.479</b>		0.2048	1.14
	13	0.095	0.810	0.515		0.2121	1.00
	14	0.083	0.834	0.546		0.2183	0.890
	15	0.072	0.856	0.576		0.2241	0.781
	16	0.065	0.870	0.594		0.2277	0.710
	17	0.058	0.884	0.613		0.2314	0.639
18	0.049	0.902	0.639	0.2361	0.545		
1¼	8	0.165	0.920	0.665	0.3271	0.2409	2.09
	9	0.148	0.954	0.714		0.2498	1.91
	10	0.134	0.982	0.757		0.2572	1.75
	11	0.120	1.01	0.800		0.2644	1.58
	12	0.109	1.03	0.836		0.2701	1.45
	13	0.095	1.06	0.884		0.2775	1.28
	14	0.083	1.08	0.923		0.2839	1.13
	15	0.072	1.11	0.960		0.2896	0.991
	16	0.065	1.12	0.985		0.2932	0.900
	17	0.058	1.13	1.01		0.2969	0.808
18	0.049	1.15	1.04	0.3015	0.688		
1½	8	0.165	1.17	1.075	0.3925	0.3063	2.57
	9	0.148	1.20	1.14		0.3152	2.34
	10	0.134	1.23	1.19		0.3225	2.14
	11	0.120	1.26	1.25		0.3299	1.98
	12	0.109	1.28	1.29		0.3356	1.77
	13	0.095	1.31	1.35		0.3430	1.56
	14	0.083	1.33	1.40		0.3492	<b>1.37</b>
	15	0.072	1.36	1.44		0.3555	1.20
	16	0.065	1.37	1.47		0.3587	1.09
	17	0.058	1.38	1.50		0.3623	0.978
18	0.049	1.40	1.54	0.3670	0.831		

## Anexo N°16: Correlación para obtener factor J y F - Condensador

FIGURA 7-27 b)

**CORRELACION PARA EL CALCULO DEL FACTOR j EN LA CARCASA**  
(Regresión de los valores de la figura 7-27)

$j = (h/c G_m) Pr^{2b} (\mu_w/\mu)^{0,14}$  (Ver definición de variables en el texto)

INTERVALO	$Re_m < 100$		$100 < Re_m < 3000$			$Re_m > 3000$	
CORRELACION	$j = a Re^b$		$\ln j = a + b \ln Re + c(\ln Re)^2$			$j = a Re^b$	
Geometría y Relación $P_r D_m$	a	b	a	b	c	a	b
→ Δ 1,25	1,81	-0,72	1,70	-1,25	0,065	0,275	-0,38
→ □ 1,25	0,97	-0,62	3,29	-1,90	0,121	0,275	-0,38
→ ◇ 1,25	1,81	-0,72	0,32	-0,76	0,025	0,275	-0,38
→ Δ 1,5	1,34	-0,68	0,37	-0,58	0,067	0,275	-0,38
→ □ 1,5	0,88	-0,64	1,61	-1,34	0,082	0,275	-0,38

**CORRELACION PARA EL CALCULO DEL FACTOR f EN LA CARCASA**  
(Regresión de los valores de la figura de la página 82)

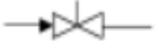
$f = (2\rho \Delta p / 4 Nc G_m^2) (\mu/\mu_w)^m$

(Ver definición de variables en el texto)

$\ln f = a + b \ln Re_m + c (\ln Re_m)^2 + d (\ln Re_m)^3$

INTERVALO	$Re_m < 100$				$100 < Re_m < 1300$				$1300 < Re_m < 3000$				$Re_m > 3000$			
Geometría	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
→ Δ 1,25	4,376	-1,025	0	0	5,293	-1,864	0,1584	-0,00472	5,293	-1,864	0,1584	-0,00472	5,293	-1,864	0,1584	-0,00472
→ □ 1,25	3,923	-0,984	0	0	3,871	-0,498	-0,2052	0,0221	3,871	-0,498	-0,2052	0,0221	-7,907	1,774	-0,160	0,00407
→ ◇ 1,25	3,923	-0,984	0	0	6,30	-2,403	0,226	-0,00721	6,30	-2,403	0,226	-0,0721	6,30	-2,403	0,226	-0,0721
→ Δ 1,5	3,196	-1,176	0,0557	0	3,472	-1,547	0,1425	-0,00454	3,472	-1,547	0,1425	-0,00454	3,472	-1,547	0,1425	-0,00454
→ □ 1,5	3,04	-1,13	0,031	0	-8,015	5,152	-1,166	0,0771	-6,666	1,152	-0,0981	0,00237	-6,666	1,152	-0,0981	0,00237

**Anexo N°17: Interpretación de la simbología utilizada en diagrama de Sistema de control.**

<b>Símbolo</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Observaciones</b>
	Señal desde o hacia los instrumentos	Señal eléctrica o neumática indefinida
	Señal eléctrica remota	-
	Instrumento montado en campo y en cuarto de control	-
	Actuador manual	-
	Actuador para válvula de control neumática	-
	Actuador genérico de pistón	Lineal o rotatorio
	Actuador rotatorio para operación de motor	-
	Válvula de globo de control	Válvula de dos vías en línea recta
	Válvula de dos vías	-
	Regulador de flujo de gas	-
	Trampa de vapor	-

**Anexo N°18: Interpretación de las letras de identificación utilizadas en el Sistema de control.**

<b>Letra</b>	<b>En primera ubicación</b>	<b>En segunda ubicación</b>
A	Análisis de concentración	-
C	-	Controlador
F	Flujo	-
I	-	Indicador
M	Flujo másico	-
P	Presión	-
PD	Diferencial de presión	-
T	Temperatura	Transmisor
V	Válvula o dámper	-
Y	-	Instrumento auxiliar calculador
$\Sigma$	Calculador sumatorio	-

## Anexo N°19: Riesgos a la salud de la cascarilla de arroz

RIESGO A LA SALUD	PRIMEROS AUXILIOS
<b>INHALACION</b> EXPOSICIONES AGUDAS CAUSAN IRRITACION LIGERA EN VIAS RESPIRATORIAS Y TOS. EXPOSICIONES CRONICAS POR INHALAR A ALTAS CONCENTRACIONES DE POLVO, SIN LA PROTECCION RESPIRATORIA ADECUADA. PUEDE PROVOCAR AUMENTO DEL FLUJO DE MUCOSIDAD EN VIAS RESPIRATORIAS	REMOVER LA FUENTE DE CONTAMINACION O MOVER A LA VICTIMA A UN LUGAR CON AIRE FRESCO Y MANTENERLO ABRIGADO.
<b>CONTACTO CON LA PIEL</b> NO CAUSA IRRITACION ALGUNA EN LA PIEL.	NINGUNO
<b>CONTACTO CON LOS OJOS</b> PUEDE CAUSAR IRRITACION LIGERA EN LOS OJOS.	NO PERMITIR A LA VICTIMA QUE SE FROTE LOS OJOS, DEJAR FLUIR AGUA LIMPIA POR UNOS MINUTOS MOVIENDO EL OJO EN TODAS DIRECCIONES, SI LA PARTICULA NO ES DESALOJADA, SOSTENER EL PARPADO, EL OJO ABIERTO Y LAVAR CON AGUA TIBIA POR 5 MINUTOS O HASTA QUE SE DESALOJE LA PARTICULA.
<b>INGESTION</b> NO TOXICO	PROPORCIONE AGUA. NO ES NECESARIO PROVOCAR EL VOMITO.
<b>FUEGO</b>	DEBE UTILIZARSE EL ADECUADO MEDIO DE EXTINCION ( AGUA ) YA QUE EL MATERIAL POR SI SOLO NO ES COMBUSTIBLE.
<b>TOXIDAD</b> NINGUNA	NINGUNO

## Anexo N°20: Clasificación de seguridad del ácido acético

### Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Clasificación según SGA			
Sección	Clase de peligro	Clase y categoría de peligro	Indicación de peligro
2.6	líquidos inflamables	(Flam. Liq. 3)	H226
3.2	corrosión o irritación cutáneas	(Skin Corr. 1A)	H314
3.3	lesiones oculares graves o irritación ocular	(Eye Dam. 1)	H318

### Elementos de la etiqueta

#### Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

**Palabra de advertencia**      Peligro

#### Pictogramas

GHS02, GHS05



#### Indicaciones de peligro

H226      Líquidos y vapores inflamables  
H314      Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves

#### Consejos de prudencia

##### Consejos de prudencia - prevención

P210      Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.  
P280      Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.

##### Consejos de prudencia - respuesta

P301+P330+P331      EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagar la boca. NO provocar el vómito.  
P303+P361+P353      EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua (o ducharse).  
P305+P351+P338      EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.  
P310      Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico.

#### Etiquetado de los envases cuyo contenido no excede de 125 ml

Palabra de advertencia: **Peligro**

Símbolo(s)



H314      Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

## Anexo N°21: Clasificación de seguridad del ácido clorhídrico

### Clasificación de la sustancia

- Clasificación y categoría de riesgo SGA (GHS) 5° Ed.

Peligros físicos Corrosivo – Categoría 1 – Atención

Peligros para la salud Irritación dermal – Categoría 1B – Peligro  
Irritación ocular – Categoría 1 – Peligro  
Toxic. sistémica específica exposición única –  
Categoría 3 - Atención

- Clasificación y categoría de riesgo Regulación (EC) N° 1272/2008 (CLP).

Peligros físicos Corrosivo – Categoría 1 – Atención

Peligros para la salud Irritación dermal – Categoría 1B – Peligro  
Irritación ocular – Categoría 1 – Peligro  
Toxic. sistémica específica exposición única –  
Categoría 3 - Atención

### Elementos de etiquetas

Etiquetado realizado de acuerdo a SGA (GHS) 5° Ed.

Pictogramas



Palabra de advertencia: Peligro

Indicaciones de Peligro	H290	Puede ser corrosiva para los metales.
	H314	Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares.
	H318	Provoca lesiones oculares graves.

## Anexo N°22: Clasificación de seguridad del dióxido de carbono

DIOXIDO DE CARBONO		ICSC: 0021
		Octubre 2006
Gas ácido carbónico		Anhidrido carbónico
CAS: 124-38-9	CO <sub>2</sub>	
RTECS: FFG400000	Masa molecular: 44,0	
NU: 1013		
CE / EINECS: 204-696-9		



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN	¡Los envases pueden arder en un incendio!		En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Vértigo. Dolor de cabeza. Presión sanguínea elevada. Ritmo cardíaco acelerado. Asfixia. Pérdida del conocimiento.	Ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío. Traje de protección.	EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	En contacto con líquido: congelación.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal: equipo autónomo de respiración. Ventilador. NO ventilar NUNCA chorros de agua sobre el líquido.	Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.2 Clasificación GHS Atención Puede ser nocivo si se inhala. Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20S1013 o 20G2A	A prueba de incendio, si está en local cerrado. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo.



DIOXIDO DE CARBONO	ICSC: 0021
--------------------	------------

### DATOS IMPORTANTES

<b>ESTADO FÍSICO; ASPECTO:</b> Gas licuado comprimido, incoloro e inodoro.	<b>VÍAS DE EXPOSICIÓN:</b> La sustancia se puede absorber por inhalación.
<b>PELIGROS FÍSICOS:</b> El gas es más denso que el aire y puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. A velocidades elevadas pueden generarse cargas electrostáticas y puede inflamarse cualquier mezcla explosiva presente. Las pérdidas de líquido condensan formando hielo seco extremadamente frío.	<b>RIESGO DE INHALACIÓN:</b> Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este líquido se evapora muy rápidamente originando una saturación total del aire con grave riesgo de asfixia.
<b>PELIGROS QUÍMICOS:</b> La sustancia se descompone al calentarla intensamente, por encima 2000 °C produciendo monóxido de carbono tóxico.	<b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:</b> La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La inhalación a niveles elevados puede originar pérdida de conciencia. Asfixia.
<b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN:</b> TLV: 5000 ppm como TWA, 30000 ppm como STEL; (ACGIH 2006). MAK: 5000 ppm, 9100 mg/m <sup>3</sup> ; Categoría de limitación de pico: II(2); (DFG 2006).	<b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:</b> La sustancia puede afectar al metabolismo.

### PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de sublimación: -79 °C Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20 °C: 88 Presión de vapor, kPa a 20 °C: 5720 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.5	Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0,83
---	---

### DATOS AMBIENTALES

### NOTAS

El dióxido de carbono se libera en muchos procesos de fermentación (vino, cerveza, etc.) y es un componente mayoritario en los gases de combustión. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Otros números de clasificación NU para el transporte son: NU 1845 dióxido de carbono, sólido (Hielo seco); NU 2187 dióxido de carbono líquido refrigerado.

### INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):  
VLA-ED: 5000 ppm; 9150 mg/m<sup>3</sup>  
Notas: Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE.

**Nota legal** Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del ICPS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el ICPS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

© ICPS, CE 2007

## Anexo N°23: Clasificación de seguridad del Nitrógeno

### IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

No. CAS <sup>(2)</sup> : <b>7727-37-9</b>	No. ONU <sup>(3)</sup> : <b>1066</b>	IPVS (IDLH) <sup>(4)</sup> : <b>NA</b>
LMPE-PPT <sup>(5)</sup> : <b>NA</b>	LMPE-CT <sup>(6)</sup> : <b>NA</b>	LMPE-P <sup>(7)</sup> : <b>NA</b>

### CLASIFICACION DE RIESGOS

NFPA <sup>(8)</sup> : Rombo de Riesgos	Salud (S): <b>1</b>	Inflamabilidad (I): <b>0</b>	Reactividad (R): <b>0</b>	Riesgos Especiales (RE):
HMIS <sup>(9)</sup> : Rectángulo de Riesgos	Salud (S): <b>1</b>	Inflamabilidad (I): <b>0</b>	Reactividad (R): <b>0</b>	Equipo de Protección Personal (EPP): <b>A</b> <b>Lentes de seguridad</b>

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PRODUCTO <sup>(10)</sup>

Temperatura de Ebullición: 77.352 K (-195.8 °C) @ 101.325 kPa	Temperatura de Fusión: 63.149 K (-210.0 °C) @ 12.53 kPa	Temperatura de Inflamación: <b>NA</b>	Temperatura de Autoignición: <b>NA</b>
Densidad: 1.1455 kg/m <sup>3</sup> @ 101.325 kPa ; 25 °C	pH: <b>NA</b>	Peso Molecular: 28.0134 g/mol	Estado Físico: <b>Gas</b>
Color: <b>Incoloro</b>	Olor: <b>Inodoro</b>	Velocidad de Evaporación: <b>ND</b>	Solubilidad en Agua: 1.485 cm <sup>3</sup> / 100 cm <sup>3</sup> <b>Agua</b> @ 101.325 kPa ; 25 °C
Presión de Vapor: <b>ND</b>	Porcentaje de Volatilidad: <b>NA</b>	Límite Superior de Inflamabilidad / Volatilidad: <b>NA</b>	Límite Inferior de Inflamabilidad / Volatilidad: <b>NA</b>

## Anexo N°24: Medidas de control de riesgo



## Anexo N°25: Espaciamento y parámetros para rociadores

TIPO DE CONSTRUCCION	RIESGO LEVE		RIESGO ORDINARIO		RIESGO EXTRA		ALMACENAMIENTO	
	Area Protegida	Espaciamento máximo	Area Protegida	Espaciamento máximo	Area Protegida	Espaciamento máximo	Area Protegida	Espaciamento máximo
NO OBSTRUIDA	21 m²	4.57 m	12 m²	4.57 m	9.3 m²	3.66 m	9.3 m²	3.66 m
	225 ft²	15 ft	130ft²	15 ft	100 ft²	12 ft	100 ft²	12 ft
OBSTRUIDA	15.6 m²	4.57 m	12 m²	4.57 m	9.3 m²	3.66 m	9.3 m²	3.66 m
	168 ft²	15 ft	130ft²	15 ft	100 ft²	12 ft	100 ft²	12 ft

## Anexo N°26: Ancho mínimo permitido para extintores

ANCHO MINIMO PERMITIDO		
Unidades	Edificios Nuevos	Edificios Existentes
2 unidades	1,10 m.	0,96 m.
3 unidades	1,55 m.	1,45 m.
4 unidades	2,00 m.	1,85 m.
5 unidades	2,45 m.	2,30 m.
6 unidades	2,90 m.	2,80 m.

## Anexo N°27: Cronología de la norma ISO 9001:2015



## Anexo N°28: Beneficios de la implementación de la norma ISO 9001



## Anexo N°29: Implementación de la norma ISO 14001 en un SGA



## Anexo N°30: Beneficios de la implementación de la norma ISO 45001



## Anexo N°31: Mejora continua mediante ciclo PHVA

### Ciclo PHVA

El concepto de PHVA o Ciclo de Deming (planificar-hacer-verificar-actuar; conocido en inglés como PDCA plan-do-check-act) que consiste en llevar a cabo esas etapas en cada uno de los procesos de la organización y permite lograr la mejora continua. Puede aplicarse a un Sistema de Gestión de la SST y a cada uno de sus elementos individuales. Consiste en:

- **Planificar:** determinar y evaluar los riesgos para la SST, las oportunidades para la SST y otros riesgos y otras oportunidades, establecer los objetivos de la SST y los procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con la política de la SST de la organización:
- **Hacer:** implementar los procesos según lo planificado.
- **Verificar:** hacer el seguimiento y la medición de las actividades y los procesos respecto a la política y los objetivos de la SST, e informar de los resultados.
- **Actuar:** tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño de la SST para alcanzar los resultados previstos.