

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Titulo: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE JARABE  
DE AZÚCAR A PARTIR DE REMOLACHA

Autora: Marta IGLESIAS ZAMORA

Fecha: Marzo 2010





# **DOCUMENTOS DEL PROYECTO**

**Documento 1: Memoria**

**Memoria descriptiva  
Anexos a la Memoria**

**Documento 2: Planos**

**Documento 3: Pliego de condiciones**

**Documento 4: Presupuesto**

# DOCUMENTO 1

## MEMORIA

*Memoria descriptiva*

## ÍNDICE

<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1</b> Historia del azúcar.....	<b>6</b>
<b>1.2</b> La industria azucarera en España.....	<b>7</b>
<b>Capítulo 2. Objeto.....</b>	<b>11</b>
<b>Capítulo 3. Justificación.....</b>	<b>11</b>
<b>Capítulo 4. Ubicación y emplazamiento.....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 5. Viabilidad del proyecto.....</b>	<b>13</b>
<b>5.1</b> Viabilidad Técnica.....	<b>13</b>
<b>5.2</b> Viabilidad Económica.....	<b>13</b>
<b>5.3</b> Viabilidad Legal.....	<b>15</b>
<b>Capítulo 6. Legislación.....</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo 7. Materias Primas.....</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo 8. Esquema general del proceso de producción.....</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo 9. Descripción del proceso de producción.....</b>	<b>23</b>
<b>9.1</b> Recepción de la remolacha.....	<b>23</b>
<b>9.2</b> Stokaje de la remolacha.....	<b>23</b>
<b>9.3</b> Descarga de remolacha.....	<b>25</b>
<b>9.3.1</b> Descarga hidráulica	
<b>9.3.2</b> Punto fijo hidráulico	
<b>9.3.3</b> Descarga en seco	
<b>9.4</b> Almacenamiento.....	<b>26</b>
<b>9.4.1</b> Silos de almacenamiento de remolacha	
<b>9.5</b> Laboratorio de recepción de remolacha.....	<b>29</b>
<b>9.6</b> Alimentación a la estación de lavado.....	<b>30</b>

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

9.6.1	Alimentación hidráulica	
9.6.2	Alimentación en seco	
9.7	Canal de limpieza.....	31
9.8	Estación de lavado.....	33
9.8.1	Lavadero de brazos tornantes	
9.8.2	Lavadero de tambor	
9.9	Tolvas de remolacha.....	35
9.10	Molturación de la remolacha.....	36
9.10.1	Calidad de la coseta	
9.11	Difusión.....	39
9.12	Depuración de jugos.....	40
9.12.1	Objetivos de la depuración	
9.12.2	Depuración calco-carbónica	
9.12.3	Descalcificación	
9.13	Evaporación.....	49
9.14	Equipos auxiliares del proceso.....	51
9.14.1	Horno de cal	
9.14.2	Caldera	
9.14.3	Intercambiadores de calor	
<b>Capítulo 10. Pérdidas de sacarosa en el proceso productivo.....</b>		<b>57</b>
10.1	Pérdidas por diseño.....	57
10.1.1	Transporte remolacha a lavadero	
10.1.2	Tipo de lavadero	
10.1.3	Difusor	
10.1.4	Etapa purificación	
10.1.5	Etapa evaporación	
10.2	Pérdidas químicas.....	60
10.2.1	Inversión de la sacarosa	
10.2.2	Caramelización	

**Capítulo 11. Diagrama de flujo del proceso.....62**

**Capítulo 12. Descripción de la tecnología elegida.....63**

**12.1 Alimentación del proceso.....63**

**12.2 Etapa de difusión.....63**

**12.2.1 Macerador.....64**

**12.2.2 Difusor.....65**

**12.2.3 Factores que influyen en la difusión.....65**

**12.2.4 Condiciones óptimas de la etapa de difusión.....66**

**12.2.5 Datos obtenidos de la etapa de difusión.....66**

**12.3 Etapa de purificación.....66**

**12.3.1 Preencalador Naveau.....67**

**12.3.2 Tanque encalado.....68**

**12.3.3 Columnas de carbonatación.....69**

**12.3.4 Factores que afectan en las columnas de carbonatación.....69**

**12.3.5 Absorción química gas-líquido.....70**

**12.3.5.1 Tipos de torres de absorción**

**12.3.5.2 Columna de relleno**

**12.3.5.3 Tipos de relleno**

**12.3.5.4 Aspecto de diseño de las columnas de absorción**

**12.3.5.5 Principales problemas en las columnas**

**12.3.6 Datos de diseño de las columnas de carbonatación..... 81**

**12.4 Etapa de evaporación.....81**

**12.4.1 Proceso de evaporación.....82**

**12.4.1.1 Características de los líquidos que se evaporan**

**12.4.1.2 Operación de simple y múltiple efecto**

**12.4.2 Tipos de evaporadores.....85**

**12.4.2.1 Evaporadores con un paso y de circulación**

**12.4.2.2 Evaporadores de tubos largos con flujo ascendente**

**12.4.2.3 Evaporadores de película descendente**

**12.4.2.4 Evaporadores de circulación forzada**

**12.4.2.5 Evaporadores de película agitada**

**12.4.3 Tipos de evaporadores industriales.....92**

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

12.4.4. Factores que influyen en la evaporación.....	94
12.4.5. Condiciones óptimas en la evaporación.....	95
12.4.6 Aspecto de diseño de los evaporadores tubulares.....	96
12.4.6.1 Capacidad de un evaporador tubular	
12.4.6.2 Balances de entalpía para un evaporador de simple efecto	
12.4.7 Datos de diseño obtenidos de la etapa de evaporación.....	101
12.5 Destino final de residuos de la planta.....	101
<b>Capítulo 13. Descripción y elección del equipo de planta.....</b>	<b>103</b>
13.1 Acondicionamiento de la materia prima.....	103
13.1.1 Despedrador.....	103
13.1.2 Desyerbador.....	106
13.1.3 Lavador de tambor.....	108
13.1.4 Tolva de remolacha.....	110
13.1.5 Molino de corte.....	111
13.1.6 Decantador.....	114
13.1.7 Cintas transportadoras de remolacha.....	114
13.1.8 Silo de remolacha.....	115
13.2 Etapa de difusión.....	117
13.2.1 Difusor.....	117
13.2.2 Intercambiador de calor.....	119
13.2.3 Tanques de almacenamiento.....	122
13.3 Etapa de purificación.....	126
13.3.1 Preencalador y encalador.....	127
13.3.2 Columnas de carbonatación.....	127
13.3.3 Filtros.....	130
13.3.4 Intercambiador Iónico.....	131
13.4 Etapa de evaporación.....	133
13.4.1 Evaporador.....	133
13.5 Equipos auxiliares.....	137



# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

13.5.1	Horno de cal.....	137
13.5.1.1	Tanque de lechada (mick)	
13.5.1.2	Cinta transportadora de lechada	
13.5.2	Caldera.....	141
13.6	Resumen de equipos seleccionados.....	143
<b>Capítulo 14. Tuberías de la planta.....</b>		<b>145</b>
14.1	Material de fabricación.....	145
14.2	Aislamiento térmico.....	148
14.3	Accesorios y válvulas.....	148
14.3.1	Codo 90°	
14.3.2	Tipos de válvulas	
14.3.3	Uniones en tuberías	
<b>Capítulo 15. Bombas, soplantes y compresores.....</b>		<b>153</b>
15.1	Tipos de bombas.....	153
15.2	Selección de bombas en planta.....	155
<b>Capítulo 16. Mantenimiento en planta.....</b>		<b>157</b>
16.1	Período de intercampaña.....	157
16.2	Período de campaña.....	158
<b>Capítulo 17. Seguridad e Higiene en el trabajo.....</b>		<b>159</b>

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Historia del azúcar

Desde la más alta antigüedad, los hombres conocen el azúcar bajo la forma de miel o contenida en las frutas. El azúcar cristalizado era conocido en Persia desde la conquista de Alejandro Magno en el 332 a.C y provenía probablemente de la India, donde existía extracto de caña de azúcar.

Los Cruzados expandieron en Europa la costumbre de consumir azúcar y será durante muchísimos años un artículo de lujo que sólo los privilegiados podían obtener.

Después del descubrimiento de América, hacia 1500, el cultivo de la caña de azúcar fue introducido en las Antillas y, setenta años más tarde se establecieron las primeras refinerías en el continente europeo. En 1747, un químico alemán, Andreas Marggraf descubrió la existencia de azúcar en ciertas variedades de remolacha. Obtuvo azúcar a partir de éstas, secando y pulverizando la remolacha troceada y cociendo ese polvo en alcohol. Después de varias semanas en reposo, los cristales aparecieron en el líquido filtrado. El proceso se alejaba de ser económico ya que la remolacha no contenía más que un 0.5 a 1.6 % de azúcar.

Este descubrimiento no sería válido hasta 1799 cuando Acharel obtuvo algunos kilogramos de azúcar de remolacha que provenía de lo que llamamos "campo experimental". Federico Guillermo III se interesó por sus trabajos, y en 1802, fue puesta en funcionamiento la primera fábrica de azúcar de remolacha en Cunern (Silesia). Los resultados fueron parcialmente satisfactorios, pero la industria naciente no hubiera podido resistir la competencia de la caña de azúcar, si no hubiese sido por las guerras de Napoleón y el bloqueo de los ingleses, que privaba a Europa entera de los productos coloniales.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Se llevaron a cabo algunos ensayos con uvas, pero fracasaron. En 1812, Benjamín Delessert pudo presentar al Emperador el primer pilón de azúcar de remolacha producida por una pequeña fábrica de Passay. Napoleón se decidió entonces a crear cinco escuelas de Química Azucarera, subvencionó el cultivo y construyó fábricas. Un año más tarde había en Francia cuarenta fábricas y la producción global alcanzaba ya 1400 toneladas.

La industria de obtención de azúcar de remolacha, la cuál era más costosa en sus inicios que los costes correspondientes a la obtención de azúcar de caña, pasó a formar parte del mercado competitivo de Europa debido a su disminución de precios. Así, en 1850 la producción de azúcar representaba el 14% de la producción anual, porcentaje que se incrementó al 50% en 1885.

Sin embargo, a inicios del presente siglo, la tendencia a crecer se ve impedida por el azúcar de caña, disminuyendo aún más debido a las dos guerras mundiales que dejan a Europa fuera de todo mercado competitivo.

Actualmente, la producción de azúcar está en torno a 50 millones de toneladas, siendo el 40% del total azúcar de remolacha [Azucarera Ebro].

### **1.2 La industria azucarera en España**

En España, al igual que en los países europeos, se obtiene azúcar a partir de remolacha, obteniéndose subproductos como son los pellets, espumas, melaza, pulpas y energía.

El cultivo de remolacha principalmente es de regadío (80%) de manera que en las zonas Norte y Centro, prácticamente toda la superficie es de regadío, mientras que en la zona Sur, un 50% es de regadío y el otro 50% de secano.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

La industria remolachero-azucarera se inicia en España a finales del siglo XIX cuando comienza a cobrar importancia la remolacha como producto base para la producción de azúcar, en detrimento de la caña de azúcar. La fuerte implantación europea de la remolacha y la pérdida de la influencia de la economía colonial española en Cuba y Filipinas favorecieron el inicio de una industria propia. En nuestro país las primeras semillas de remolacha azucarera se trajeron de Alemania y Polonia.

En 1882 se construyeron las dos primeras azucareras españolas de remolacha:

- Ingenio de San Juan: Ubicado en la Vega de Granada, fue fundado por D. Juan López-Rubio y Pérez. Con una capacidad de molturación de 50 t/día de remolacha, la fábrica tenía una dimensión media en relación con las europeas.
- Santa Isabel: Ubicada en Alcolea de Córdoba, fue fundada por el Conde de Torres-Cabrera. La fábrica tenía una capacidad de molturación de 20 t/día de remolacha.

En el período 1889-1920 se produce la expansión azucarera. Se llegaron a registrar 65 fábricas en España, donde surgían nuevas zonas productoras de remolacha. Aunque se cerraron numerosas azucareras, se crearon otras nuevas. El incremento de azucareras hacía necesario la regulación del sector:

- En 1890 se firmó un primer convenio entre agricultores y fabricantes dirigido a potenciar y sanear el sector que evitó la competencia sin límites.
- En 1903 se creó la Sociedad General Azucarera de España con el propósito de acabar con el desorden industrial azucarero producido por el excesivo número de fábricas en la península.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

En 1907 se produce la primera regulación administrativa del sector. El inicial predominio productivo en Andalucía Oriental cambia a la Cuenca del Ebro; surge modestamente en la Cuenca del Duero y se inicia y finaliza, al mismo tiempo, en la cornisa Norte-Noroeste desapareciendo transitoriamente en Andalucía Occidental.

El período de 1921-1940 se caracterizó por una gran sobreproducción y caída de precios que motivó la creación, por ley, en 1925 de una comisión mixta arbitral que fija un mínimo de 350.000 ton/anuales. Se regularon la instalación, ampliación y traslado de las azucareras.

A partir de 1941 y hasta 1960 el número de azucareras permanece estable. La zona del Duero pasa a tener un peso importante. La industria consolida su actividad en España y se impulsa la ampliación y mejora de las fábricas. Así se constituyó la “Asociación para la mejora del cultivo de remolacha”, en la que participaron todos los fabricantes de azúcar en España. Además, se implantó un sistema revolucionario en el sector que valoraba el precio de la remolacha dependiendo de su riqueza sacárica para así conseguir mayor productividad agrícola; dicho sistema sigue vigente en la actualidad.

La década de los 80 se caracterizó por la adaptación de la industria a la Unión Europea, lo que exigió la reestructuración del sector para avanzar tanto en productividad como en calidad. Se cerraron unas azucareras y se ampliaron otras dotándolas con instalaciones de tecnología avanzada. La industria mejoró en productividad y calidad. Desde 1990 la industria del azúcar en España ha profundizado en la reestructuración y homologación a los estándares europeos.

Actualmente, la industria del azúcar de remolacha es muy estable, sin embargo, muchos investigadores industriales se preocupan de su evolución y de su perfeccionamiento.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

La situación actual, se recoge en “La voz digital”, como se detalla a continuación:

“La superficie de remolacha andaluza de recolección de verano ha descendido un 45,1 por ciento esta campaña, hasta las 14.435 hectáreas, frente a las 26.307 registradas el año anterior, según el último avance de superficies y producciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA).

Las estimaciones del MAPA muestran un descenso por segundo año consecutivo del área sembrada de este cultivo en Andalucía, y que esta temporada representa un 61,6 por ciento menos que en 2007, cuando la superficie de remolacha alcanzó 37.500 toneladas.

Los agricultores atribuyen este descenso a la aplicación de la Organización Común de Mercado (OCM) de este cultivo y al bajo precio de la remolacha, que alcanzará esta campaña 37 euros por tonelada frente a los 49 euros por tonelada registrados hace tres años.

Por provincias, Sevilla concentra la mayor superficie sembrada con 8.745 hectáreas, seguida de Cádiz (5.000 hectáreas), Huelva (550 hectáreas), Jaén (53 hectáreas), Córdoba (50 hectáreas) y Málaga (37 hectáreas). Teniendo en cuenta que por hectárea obtenemos del orden de 70-80 Tn, sabemos la producción de cada zona”. [La voz digital. Julio2009].

## **CAPITULO 2. OBJETO**

El objeto del presente Proyecto es el diseño de una planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha. La descripción del proceso y dimensionamiento de las principales unidades de la planta industrial estarán incluidas en él. Además se realizará el diseño de las distintas etapas adicionales y descripción de equipos auxiliares.

En definitiva se pretende proponer un proceso alternativo a la producción de azúcar dedicado exclusivamente al jarabe de azúcar, para ser utilizado como materia prima para otros procesos industriales o como producto final en el mercado.

## **CAPITULO 3. JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto tiene como finalidad fabricar jarabe de azúcar a partir de remolacha. Multitud de industrias necesitan obtener una materia prima con alto contenido en sacarosa, por ejemplo, la industria farmacéutica, industrias con procesos fermentativos (principalmente la industria del ácido cítrico) e industrias de elaboración de alimentos. Por otra parte, este jarabe de azúcar también se utiliza como alimento para ganados, criaderos de abejas, etc.

Se propone así un producto en el mercado, fácil de obtener y económico, con la consecuencia directa de mantener los cultivos de remolacha en la zona donde últimamente existen serios problemas en el cultivo, donde en esta última campaña, la siembra de remolacha azucarera ha disminuido el 70 % de hectáreas cultivadas.

## CAPITULO 4. UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La planta diseñada se situará en la provincia de Sevilla, [Veáse **Mapa 1. Documento Planos. Plano 1**] debido a los beneficios que ello aportaría. Esta decisión se ha tomado en base a:

- ✦ La mayor superficie de plantación de la materia prima, *la remolacha*, se encuentra concentrada en la provincia de Sevilla, con aproximadamente unas 8.745 hectáreas (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). Los costes de transporte serían menores por la proximidad de la planta a la zona de cultivo.
- ✦ El término municipal de Sevilla se encuentra al sur de la península Ibérica, con el río Guadalquivir a su izquierda, que convierte a esta ciudad en puerto fluvial. Esto proporcionaría grandes ventajas para el futuro de la planta proyectada ya que la cercanía del río aportaría otro medio de transporte de materias primas.
- ✦ El clima de Sevilla es mediterráneo continental, con precipitaciones variables, veranos secos muy cálidos e inviernos fríos sin nevadas. La temperatura media anual es de 18,6 °C. Las condiciones climáticas permiten la instalación de los equipos al descubierto, con lo que los gastos de emplazamiento se reducen.



## **CAPITULO 5. VIABILIDAD**

### **5.1 Viabilidad técnica**

El presente Proyecto tiene como objetivo diseño de una planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha.

Se pretende que la planta diseñada entre a formar parte de la producción de jarabe de azúcar en la zona de Sevilla, puesto que sería punto céntrico de las zonas de cultivo de remolacha. Se considera una inversión de futuro dada la crisis del sector remolachero en los últimos años, además de la actual crisis económica y energética. Asimismo, una apertura de una nueva fábrica del sector industrial necesitaría de personal y crearía en la zona nuevos puestos de trabajo.

### **5.2 Viabilidad económica**

La planta de producción de jarabe de azúcar diseñada reportará una serie de beneficios y de costes. En todo proceso productivo, un coste importante de la inversión se debe a la materia prima, la remolacha; ésta a su vez, está en continuo declive desde hace algunos años, por lo que asumiendo los costes de nuestra materia prima, proporcionaría a la zona un aumento a nivel agrícola para satisfacer la demanda por parte tanto de Azucarera Ebro, (en la actualidad forma parte de British Sugar) como por parte de nuestra planta.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Para efectuar un correcto análisis de los costes se deben tener en cuenta los siguientes factores:

1. Costes de las materias primas. Se asume sus costes para la correcta producción de jarabe de azúcar con los futuros beneficios económicos.
2. Costes de procesamiento, producción y almacenamiento. En estos costes entrarían los derivados de la mano de obra, Seguridad e Higiene, Energía eléctrica, agua de red y aditivos químicos del proceso y control y calidad del producto final.
3. Costes debido a la tecnología elegida. Estos son los costes derivados del inmovilizado de las unidades de proceso. Los costes dependerán de la tecnología elegida.
4. Costes derivados de distribución y comercialización. En este punto estarían los costes derivados de transporte, comercialización, publicidad, ventas, financiación, etc.

Los beneficios generados por la planta de producción de jarabe de azúcar se crearán a partir de la comercialización del mismo. Con respecto a la rentabilidad económica se pondrá de manifiesto según la intensidad de la inversión, la productividad, participación de mercado, la tasa de crecimiento de Mercado, calidad del producto final, optimización de residuos de la planta, desarrollo de nuevos productos o diferenciación de competidores y costos operativos.

### 5.3 Viabilidad legal

La viabilidad legal viene determinada por la legislación y normativa que el objeto del proyecto debe cumplir, tanto a nivel de producto como a nivel de fabricación del mismo. Este tema se desglosa en el **Capítulo 6** del presente Proyecto dedicada a Legislación y Normativa.

## CAPITULO 6. LEGISLACIÓN Y NORMATIVA

El proyecto se registrará en todo momento según el Real Decreto 1052/2003, de 1 de agosto, por el que se aprueba la reglamentación técnico-sanitaria sobre determinados azúcares destinados a la alimentación humana, así como por el Código Alimentario Español [Véase **Anexo VI**]. Asimismo, el presente Proyecto se registrará por las siguientes, Leyes, Reales Decretos, normativas, etc.

- **Ley 31/1995** de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- **R.D. 39/1997** de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- **R.D. 1627/1997** de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción en el marco de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- **R.D. 604/2006** de 19 de mayo Real decreto por el que se modifica el R.D 39/1997 de 17 de Enero, por el que se aprueba el reglamento de los servicios de prevención y el R.D 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción.
- **R.D 1244/1979** de 4 de Abril, por el que se aprueba el reglamento de equipos a presión.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- **R.D 769/1999** de 7 de Mayo, por el que se modifica el RD 1244/1979 relativa a los equipos de presión.
- **ORDEN de 28 de Marzo de 2000**, por la que se modifican diversos artículos de la instrucción técnica complementaria de los equipos a presión, referentes a calderas, economizadores, precalentadores, sobrecalentadores y recalentadores.
- **R.D. 1/2001**. Por el que se aprueba la Ley de aguas del 29/1985. Tiene por objeto la regulación de consumo público hidráulico, y en su artículo 92 queda prohibido con carácter general cualquier vertido directo o indirecto de las aguas y de productos susceptibles a contaminar aguas continentales, salvo que se cuente con la previa autorización administrativa.
- **R.D 374/2001** de 6 de Abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- **R.D 335/2009** de 13 de Marzo, por el que se modifica el RD 1311/2005 de 4 de Noviembre, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente a riesgos debidos por vibraciones mecánicas.
- **R.D 286/2006** de 10 de Marzo, sobre la protección y salud de los trabajadores frente a riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- **R.D 664/1997** de 12 de Mayo, sobre la protección y salud de los trabajadores frente a riesgos biológicos en el trabajo.
- **R.D 865/2003** de 4 de Julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la Legionelosis.
- **R.D 681/2003** de 12 de junio, sobre la protección y salud de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas.
- **R.D 614/2001** de 8 de Junio, sobre las disposiciones mínimas para la protección y salud de los trabajadores con exposiciones a riesgos eléctricos.
- **R.D 1215/1997** de 18 de Julio, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los equipos de trabajo.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- **R.D 2267/2004** de 3 de Diciembre, sobre el Reglamento de Seguridad contra incendios en establecimientos Industriales.
- **R.D 1942/1993** de 5 de Noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalación de Protección contra Incendios.
- **R.D 485/1997** de 14 de Abril, sobre las disposiciones mínimas de en materia de Señalización de seguridad y Salud en el Trabajo.
- **R.D 486/ 1997** de 14 de Abril, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los Lugares de Trabajo.
- **R.D 1027/2007** de 20 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios.
- **R.D 487/1997** de 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación de cargas que entrañe riesgos, en particular, dorsolumbares en los trabajadores.
- **R.D 488/1997** de 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en trabajos con pantallas de visualización de datos.
- **R.D 773/1997** de 30 de Mayo por el que se dispone las condiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por parte de los trabajadores del Equipo de Protección Individual (EPIs).
- **Ley 10/1998** de 21 de Abril de Residuos.
- **Norma UNE-EN-ISO 9001:2008.** Sistemas de Gestión de la Calidad y Seguridad Alimentaria.
- **Norma UNE-EN-ISO 14 001:2004.** Sistemas de Gestión Ambiental.
- **Ordenanza municipal de Medio Ambiente de Sevilla.**

## CAPITULO 7. MATERIAS PRIMAS

Las materias primas necesarias en el proceso de fabricación de jarabe de azúcar serían: la remolacha, piedra caliza, agua de red y combustibles para caldera y horno (gas natural y gasóleo respectivamente).

La **remolacha** es un género de plantas, en su mayoría bianuales, que dan hojas lisas y ovaladas, dispuestas en rosetas y, más tarde, tallos altos con hojas y flores. Originarias de las zonas templadas de Euroasia, hoy en día se cultivan en todas partes, principalmente por sus grandes y succulentas raíces que se emplean en alimentación, piensos y extracción de azúcar.

La remolacha azucarera, nombre común de una variedad o cultivo de remolacha de la familia de las *Quenopodiáceas*, debe su importancia a que de ellas se extraen casi las dos quintas partes del azúcar producido en todo el mundo. Posee raíces blancas, cónicas, de gran tamaño que contienen un alto porcentaje de azúcar.

Este porcentaje se ha incrementado mucho por medio de la mejora del cultivo y la selección. La remolacha azucarera necesita un suelo franco, rico y profundo, y una temperatura de 21 ° C durante la estación de crecimiento. La rotación de esta especie se planifica meticulosamente y son muchas las investigaciones sobre el aporte de abono que necesitan.

La estructura de la remolacha está constituida por un gran número de células infinitamente pequeñas y por canales de circulación de líquidos. Cada célula está rodeada por una membrana permeable al agua y a las sustancias disueltas. En el interior de la célula se encuentra el *Protoplasma*, que está rodeado de la membrana ectoplasmática o *Ectoplasma*, impermeable a las sustancias disueltas, pero permeable al agua. En el interior del protoplasma se encuentra el *Núcleo*, necesario para la multiplicación de las células y la *Vacuola*

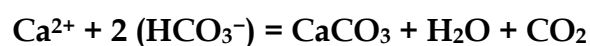
## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

que contiene una alta concentración de azúcar. En agua fría no es posible la difusión debido a la impermeabilidad del ectoplasma a sustancias disueltas, sin embargo, en agua caliente se dará una reorganización de la célula de manera que la vacuola sale fuera del protoplasma y el agua puede entrar en el interior de la célula y la sacarosa salir.

La remolacha puede contener alrededor de un 15-20 % de sacarosa en sus células, el tanto por ciento restante lo constituye el agua y una pequeña parte de aproximadamente un 5% lo constituye los no azúcares.

La **piedra caliza** es una roca sedimentaria porosa compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. Dos procesos que generalmente actúan conjuntamente, contribuyen a la formación de las calizas:

- **Origen químico**→ El carbonato de calcio se disuelve con mucha facilidad en aguas que contienen gas carbónico disuelto ( $\text{CO}_2$ ). En entornos en los que aguas cargadas de  $\text{CO}_2$  liberan bruscamente este gas en la atmósfera, se produce generalmente la precipitación del carbonato de calcio en exceso según la siguiente reacción:



- **Origen biológico**→ Numerosos organismos utilizan el carbonato de calcio para construir su esqueleto mineral, debido a que se trata de un compuesto abundante y muchas veces casi a saturación en las aguas superficiales de los océanos y lagos (siendo, por ello, relativamente fácil inducir su precipitación). Tras la muerte de esos organismos, se produce en muchos entornos la acumulación de esos restos minerales

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

en cantidades tales que llegan a constituir sedimentos que son el origen de la gran mayoría de las calizas existentes.

La roca caliza se empleará para disociarse en  $\text{CO}_2$  y  $\text{CaO}$ , productos requeridos en la etapa de purificación, optimizando el proceso de producción de jarabe de azúcar.

La caldera se abastecerá de **agua de red** recogida en una cisterna de la empresa TOTAAGUA, modelo CVCFP-150. También necesita **gas natural** suministrado de manera continua durante la campaña. Su transporte y distribución se realiza mediante tuberías subterráneas, por lo que no daña el paisaje ni atenta contra la vida animal o vegetal. El gas llega por tubería, se dispone del servicio las 24 horas y los 365 días del año. De esta forma se evita tener que almacenarlo en tanques o cilindros disfrutando de un suministro continuo, similar al servicio de agua y electricidad. Por otra parte, se necesita **gasóleo** para el horno de cal.



## CAPITULO 8. ESQUEMA GENERAL PRODUCCIÓN JARABE DE AZUCAR



Figura 8.1. Esquema general proceso

Fuente: Página Web Azucarera Ebro

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Como se observa en el **Figura 8.1**, el proceso de producción de jarabe de azúcar consta de una serie de etapas e instalaciones auxiliares necesarias para el correcto funcionamiento de la planta.

La etapa inicial es un *acondicionamiento de la materia prima*, la remolacha. En esta fase se eliminan las piedras, hierbas, raicillas existentes y posteriormente se somete a un *lavado*. La siguiente fase del proceso es el *cortado* de la remolacha en cosetas, con el fin de mejorar la extracción de la sacarosa en el jugo.

La segunda etapa del proceso es la *difusión*, en ella se extrae la sacarosa de las cosetas y se forma un jugo, denominado jugo de difusión. Difícilmente se puede evaporar este jugo y obtener el jarabe de azúcar si previamente no se depura.

La tercera fase es la *purificación calcocarbónica*, el jugo pasa por una serie de etapas, como son: preencalado, encalado, columnas de carbonatación e intercambiadores iónicos para obtener un jugo rico en sacarosa, y además con las mínimas impurezas posibles.

La cuarta y última etapa del proceso, es la *evaporación*. El jugo está preparado para evaporar parcialmente el agua que contiene, para ello se utiliza un evaporador con un área de aproximadamente unos 2.200 m<sup>2</sup>. El jarabe de azúcar obtenido se almacenará en tanques para su posterior venta.

En este proceso se hace necesario el uso de unas instalaciones auxiliares como son: la caldera, horno de cal y red eléctrica. El horno de cal produce la materia prima necesaria en la fase de purificación (CaO y CO<sub>2</sub>) a partir de piedra caliza. En la caldera se genera el vapor de agua necesario en la etapa de evaporación del jugo.

## **CAPITULO 9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

A continuación se detalla el proceso de fabricación de jarabe de azúcar:

### **9.1 Recepción de remolacha**

En el momento en el que la remolacha se lleva a la fábrica es necesario determinar la cantidad de remolachas netas entregadas y su contenido medio en azúcar. Estos datos permitirán el pago correcto al agricultor, en función de la cantidad de azúcar entregada, y conocer con un mínimo de precisión el balance de materia que entra en la fábrica.

En el momento de la recepción es preciso determinar el peso bruto entregado (o semibruto en caso de salida de tierra), la tara media (para obtener el peso neto entregado) y la riqueza media en azúcar.

### **9.2 Evaluación de la remolacha**

La forma de determinar la remolacha neta entregada, es decir, el descuento y la forma de determinar su contenido en sacarosa, se realizará en los laboratorios de recepción.

El pesaje de los vehículos se efectuará tanto a la entrada en fábrica (bruto) como a la salida (neto), en básculas automáticas dotadas de un dispositivo indicador. Estas básculas y todas las demás que existan en el entorno de recepción serán sometidas, antes de empezar la campaña, a una calibración y comprobación exhaustiva por parte de la Delegación Provincial del Ministerio de Industria de acuerdo con el reglamento de Pesas y Medidas.

Cada entrega que se aporta a la fábrica lleva no solamente la remolacha propiamente dicha sino también bastantes impurezas como son: tierra adherida

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

o suelta en camión, materias vegetales (hierbas, hojas, raíces) y piedras (arenas y gravas).

Por otro lado, cuando la remolacha esta mal descoronada los cuellos son considerados cuerpos extraños porque su composición es bien diferente a la del cuerpo de la remolacha, y dificulta el proceso más difícil de extracción de jarabe de azúcar.

La importancia de la tara varía considerablemente según las regiones, los métodos de recolección y las condiciones atmosféricas en el momento de la cosecha. Los componentes de la tara varían igualmente de manera considerable:

- Tierra: Constituye el elemento principal de la tara. Para un tiempo seco, esta puede contener de 75 a 85 % M.S (materia seca o Brix) [Véase **Anexo VIII**], pero para un tiempo húmedo contiene de 65 a 75 % M.S.
- Piedras, gravas y arenas: La cantidad está esencialmente unida a las características de los terrenos de cultivo. En general, se observa a 5-25 kg. de piedras, gravas y arenas por tonelada neta de remolacha, pero para las cosechas en terrenos pedregosos se puede alcanzar 50 kg. con puntas de 100 kg por tonelada neta.
- Desechos orgánicos (hierbas, hojas, raicillas): Su cantidad puede variar de 10- 100 kg por tonelada neta de remolacha; en general es más elevada durante la primera parte de la recolección porque las hojas y los vegetales parásitos son los más desarrollados en este momento.

## 9.3 Descarga de la remolacha

Antes de la descarga se toma una muestra que es enviada al laboratorio de recepción donde se analizará la cantidad de sacarosa de la materia prima. De la misma manera esta descarga puede realizarse sin separador de tara o con separador de tara.

La separación de tara se efectúa la mayoría de las veces con tamices vibrantes o en cribas de rodillo. Estos separadores, que eliminan una buena parte de las tierras no adherentes y de los desechos orgánicos, presentan las siguientes ventajas:

- a) Cuando la remolacha son almacenadas durante un periodo largo, la limpieza de una buena parte de las tierras y de los desechos orgánicos facilitan la conservación y mejoran la circulación del aire.
- b) En todos los casos el separador de tara disminuye apreciablemente la cantidad de las tierras dirigidas hacia las cubetas de decantación por vías de las aguas de transporte y de lavado.

La descarga puede efectuarse de múltiples formas:

### 9.3.1. Descarga hidráulica

Este modo de descarga esta bien adaptado para los camiones con volquete fijo. Un chorro hidráulico que disgrega el montón se dirige sobre la masa de remolacha y se las lleva a un conducto de poca pendiente.

El agua utilizada es agua fangosa, ya que ha servido al lavado y transporte hidráulico, y se pone en un circuito. Esta agua, que tiene una densidad superior a 1 g/l, favorece la flotación de la remolacha.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 9.3.2 Punto fijo hidráulico.

Las remolachas son basculadas en un pequeño silo de almacenaje cuyo fondo está a 4 m del nivel de emplazamiento de los vehículos. Posteriormente son descargados regularmente en la fábrica con ayuda de un gran chorro de agua por vía de un conducto de poca pendiente.

La denominación “punto fijo” se explica porque el punto de descarga de remolachas enviadas a fábrica es siempre el mismo.

### 9.3.3 Descarga en seco.

Para los vehículos no autobasculantes se requiere la utilización de una plataforma de basculaje. Ésta permite, según los casos, bascular los vehículos en la trasera del mismo o en un lado.

Se usa el basculaje en el lado debido a los enganches que llevan tractores y remolques, ya que presenta la ventaja de evitar o reducir las maniobras de desenganche de éstos.

Para los vehículos autobasculantes la descarga de la remolacha se efectúa a consecuencia del levantamiento del volquete en la trasera del vehículo.

## **9.4 Almacenamiento de remolacha**

Para unas buenas condiciones en el almacenamiento se deberá tener en cuenta:

- a) Los vehículos de recolección serán construidos para entregar remolacha con un mínimo de tara; con taras elevadas, un separador

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

de tara mejorará las condiciones de conservación sobre todo si el almacenamiento es de larga duración (almacenaje de varias semanas).

- b) Los equipamientos de mantenimiento y almacenamiento serán diseñados y utilizados de manera que las alturas de caídas sean lo menor posible. Especialmente en el punto final de la caída es útil utilizar sondas de contacto, creadas para obtener una caída que no exceda de 1 a 2 metros entre el extremo de la cinta y el montón de remolacha.
- c) Repartir regularmente el punto de caída de la remolacha en el recinto de almacenamiento especialmente por el desplazamiento sistemático de la cinta. Así se evitarán acumulaciones excesivas de tierras obtenidas cuando el punto de vertido no es modificado en un período prolongado.
- d) Limitar lo más posible la duración del almacenamiento. Asegurar especialmente la rotación regular del silo con el fin de que las primeras remolachas almacenadas sean las primeras en abandonar el mismo.
- e) Limitar los calentamientos internos en el montón de remolacha limitando la altura del almacenaje y/o ventilando intensamente los montones.

### 9.4.1. Silos de almacenamiento

La forma de los silos depende esencialmente de la importancia de la evaluación inicial de la remolacha, dependerá de si se trata de algunos días o algunas semanas, del emplazamiento disponible, de los equipos de ensilado y

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

de desensilado. Existen distintos tipos de silos, los tipos más comunes se muestran a continuación:

### · SILOS CIRCULARES

Se emplean para una capacidad de almacenamiento de algunos días, adaptándose adaptan bien para ensilar y desensilar fácilmente de un modo automático. Están diseñados para permitir un avance continuo sin retroceso permitiendo la utilización del silo a su máxima capacidad.

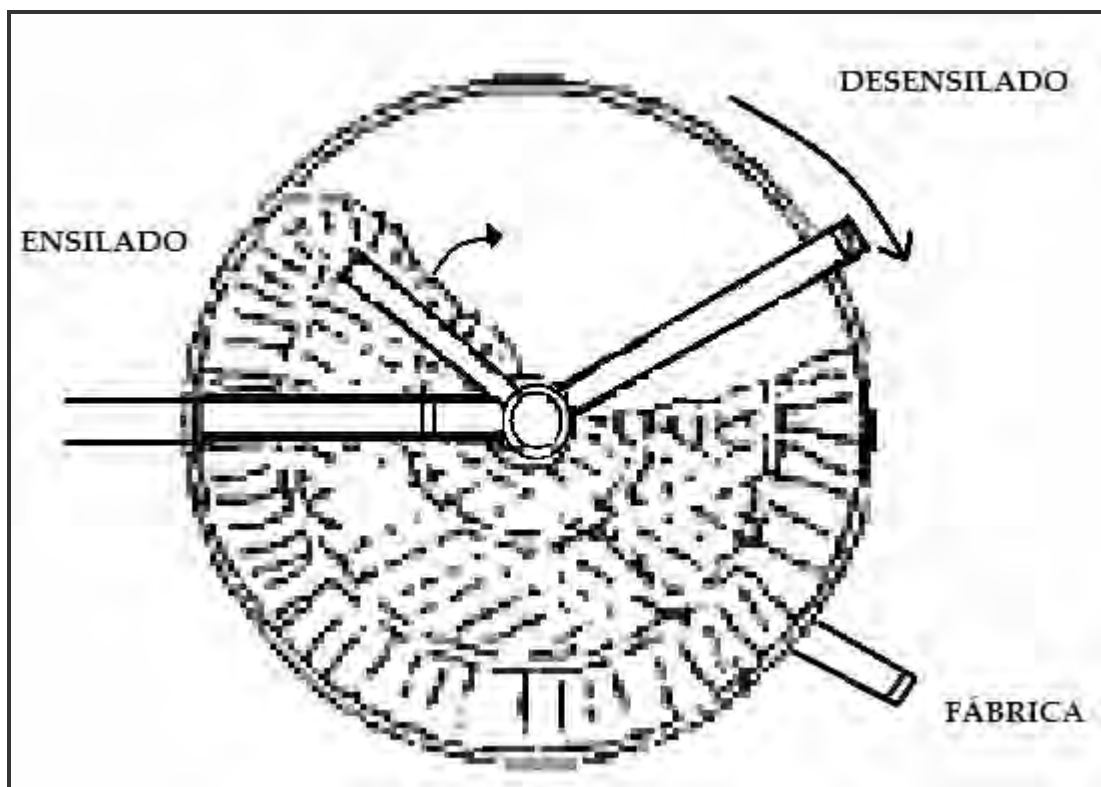


Figura 9.4.1. Ensilado y desensilado de silos circulares

Fuente: Azucarera Ebro

### · SILOS RECTANGULARES

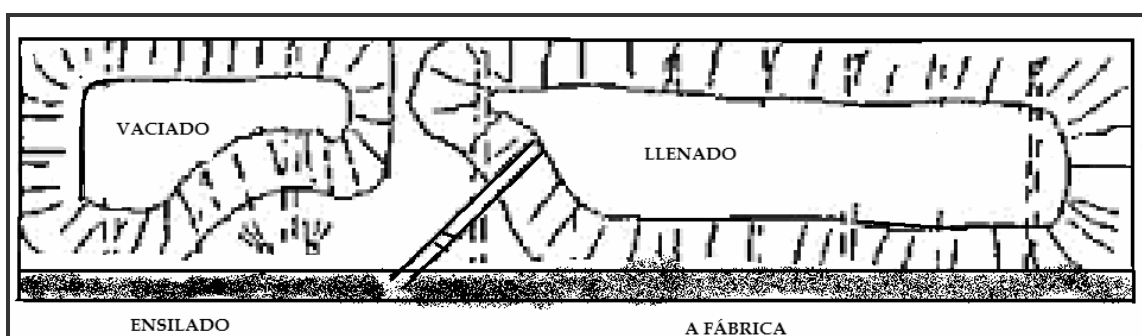
Es la disposición más adoptada porque permite generalmente una mejor utilización de las superficies disponibles de suelo y porque se adapta fácilmente a las extensiones posibles.



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Los diversos sistemas de mantenimiento de remolacha pueden ser utilizados fácilmente para el llenado de los silos rectangulares (equipos fijos y móviles).

En cuanto al desensilado, se puede realizar hidráulicamente (es el caso más frecuente) o en seco. Cuando se efectúa el desensilado por derribo hidráulico la disposición más favorable consiste en disponer los canales de vaciado perpendicularmente en la largura del rectángulo.



**Figura 9.4.2.** Ensilado y desensilado de silos rectangulares

**Fuente:** Azucarera Ebro

En el presente Proyecto el almacenamiento de la remolacha se realizará en silos circulares, ya que éstos tienen la facilidad de ensilar y desensilar de modo automático ahorrando en el personal encargado de la recepción de remolacha. El silo tendrá un volumen superior a la capacidad total necesitada para la producción de jarabe de azúcar; este volumen será de aproximadamente 1.800 m<sup>3</sup> con un radio igual a 9,508 m.

### 9.5 Laboratorio de recepción

Este laboratorio tiene como misión evaluar la cantidad la remolacha que entra en los silos de almacenamiento, así como su tanto por ciento en sacarosa. Con estos datos se tendrá un control continuo de la remolacha que se está

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

procesando en fábrica. Este laboratorio es de vital importancia puesto que modifica los parámetros de operación en fábrica.

## **9.6 Alimentación a la estación de lavado**

### **9.6.1 Alimentación hidráulica**

La remolacha se traslada de silos a lavaderos mediante una red de canales hidráulicos necesitándose de 9 a 10 litros de agua por kg. de remolacha para su transporte y lavado.

Se dispone de una bomba de remolacha, ya que éste dispositivo es sin duda el más cómodo de instalar, mecánicamente simple y económico de mantener. Por otra parte, esta bomba envía simultáneamente las aguas de transporte y las remolachas a la etapa posterior donde se efectúan los posteriores tratamientos de limpieza (eliminación de piedras hojas, raíces y raicillas...).

Dentro del diseño del transporte hidráulico de la remolacha al lavadero hay que considerar otros aspectos como son: Inclinación del canal, anchura del canal, lanzas de aceleración que provocan la limpieza del canal impulsando aire en el sentido de la progresión de la remolacha. Se instalan en lugares críticos, por ejemplo en puntos de convergencia de dos canales, en general en aquellos lugares donde se producen más fácilmente depósitos de tierras y piedras.

La remolacha (1,05 a 1,09 g/L) tiene una densidad ligeramente superior al agua por ello y para no provocar atascos en el canal, se utiliza agua cenagosa (1.15 g/L) que además defavorecerla flotación éstas en el agua, permite optimizar el consumo de agua ya que se pone en un circuito el agua del lavado para su reutilización en el transporte hidráulico. Este circuito consta de un

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

decantador para los lodos producidos por el lavado de remolacha. La remolacha, una vez conducida por la bomba, será conducida hacia las distintas fases de acondicionamiento a través de cintas transportadoras.

Este será el método elegido para la alimentación a planta, por su fácil instalación y su posibilidad de variación en un futuro a largo plazo. Además, este tipo de método ha sido utilizado en plantas similares con muy buenos resultados debido a las bajas pérdidas de sacarosa durante el transporte y lavado. [Veáse **Capítulo 10**]. Por otra parte, con el sistema de alimentación hidráulica, se elimina una parte de las impurezas en la etapa de transporte, por lo que el lavadero puede ser menos complejo y más económico.

### 9.6.2 Alimentación en seco

Este tipo de alimentación ha de emplearse cuando el tipo de descarga es de punto fijo. La remolacha, con todas sus impurezas se eleva por mediación de cintas transportadoras, hasta el lavadero. La regulación de la cantidad de remolacha a fábrica se realiza mediante una cinta de goma equipada con un motor de velocidad variable, situada bajo la tolva de descarga. Dependiendo de las necesidades la velocidad varía y dará más o menos cantidad de remolacha.

## 9.7 Canal de Limpieza

En esta fase la remolacha atraviesa un despedrador, que están compuesto por una serie de cangilones que giran continuamente. En la parte baja se deposita la piedra y, en la parte superior del giro, la piedra se retira del proceso.

Los diferentes tipos de despedradores difieren esencialmente en el sistema de extracción de piedras y gravas. La siguiente figura representa los diferentes esquemas de los dispositivos de extracción.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

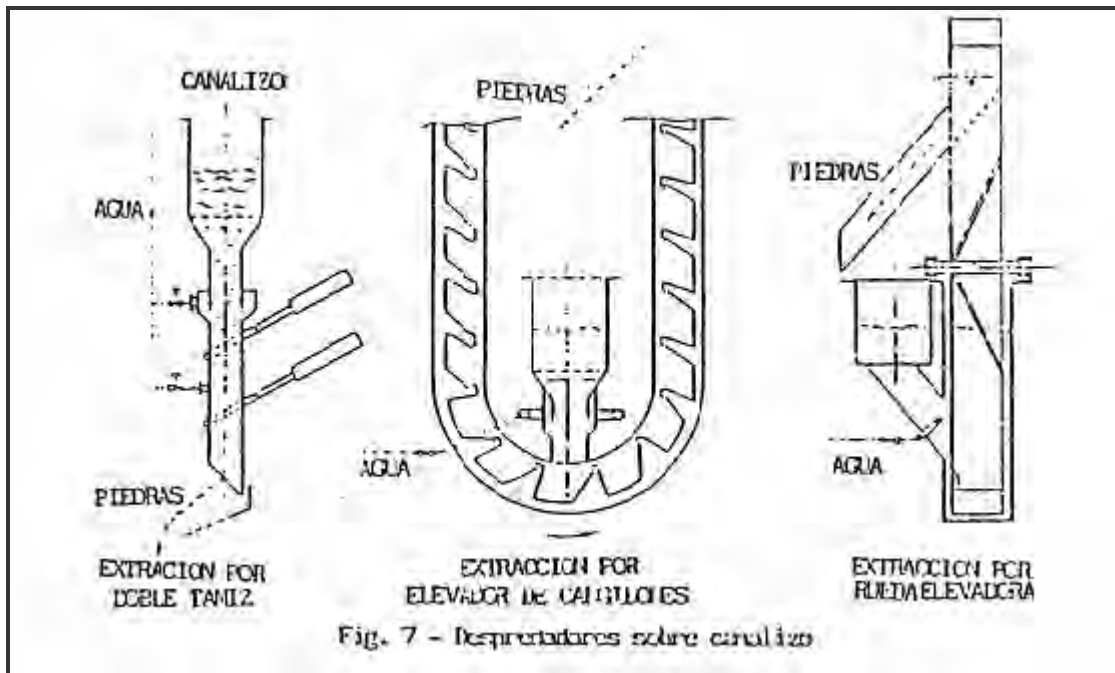


Figura 9.7.1. Esquemas de despedradores

Fuente: Azucarera Ebro

Posteriormente las remolachas pasan a los desyerbadores a través de una cinta transportadora (CIN-O1), donde se realiza la última separación. En esta unidad se separan hojas, hierbas y raicillas, que se clasifican en dos categorías:

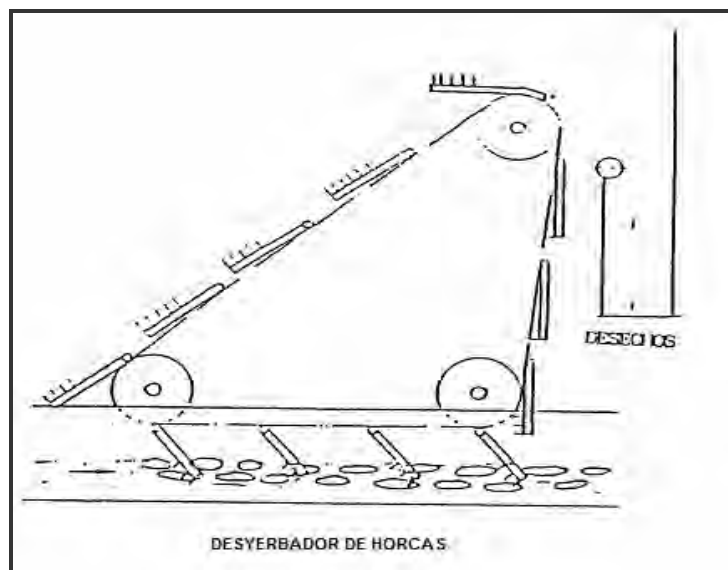
- Desechos cortos: Longitud menor de 10 cm. Constituye el tonelaje más importante de los desechos que hay que extraer. Estos desechos son normalmente extraídos en el circuito de las aguas de transporte.
- Desechos Largos: Longitud superior a 10 cm. Esta fracción constituye del 15 al 20% del total de los desechos orgánicos.

Los desyerbadores se componen de un conjunto de horcas deslizantes de dos cadenas sinfín o por una correa continua que circula en el sentido opuesto al del flujo del agua y de la remolacha. Cada horca se compone de varios rastrillos que se mueven libremente alrededor de un eje soporte. Cada rastrillo puede así, levantar y rascar la superficie de la remolacha y recoger entre sus dientes las hierbas, hojas y otros cuerpos flotantes.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Después de haber barrido una cierta longitud del canal, los rastrillos son remontados y enviados a la cabeza del aparato. En el trayecto cada rastrillo es sometido a un choque importante realizado de forma que suelte los desechos adherentes.

Estos desechos se recogen en una canaleta de evacuación que los retira del lado del canal agua-remolacha. La figura siguiente muestra sistemáticamente como sería esta unidad.



**Figura 9.7.2** Esquema de un desyerbador

**Fuente:** Azucarera Ebro

En el presente proyecto, la remolacha pasará por un despedrador de tambor marca PUSTCH® TSA3000 y un desyerbador marca PUTSCH® modelo TYP BZK-1000.

## 9.8 Estación de lavado

La importancia de un buen lavado afecta principalmente a una reducción del consumo de cuchillas en los molinos, reducción de infecciones y desgaste en el difusor, mejora de la filtración y evaporación del jugo, reducción de desgaste en prensas y reducción de las pérdidas de sacarosa en el proceso.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Los tipos de lavaderos más utilizados son: lavaderos de brazos tornantes, lavaderos de tambor y lavaderos de chorro. Durante el lavado de la remolacha existe una pérdida de azúcar que varía esencialmente con el tipo de lavadero y de cómo sea el transporte hacia él. Las pérdidas de sacarosa son mayores en el lavadero de chorro, pero la efectividad es mayor por lo que el tiempo de lavado disminuye.

La función del lavadero es hacer un primer lavado de la remolacha. El lavado se efectúa por movimiento rotativo, las remolachas se frotran unas con otras en un lecho de agua constantemente alimentado.

Los datos esenciales relativos a un lavado correcto son la tara residual [Veáse **Anexo VIII**] y la pérdida de azúcar [Veáse **Capítulo 10**].

### **9.8.1 Lavadero de brazos tornantes**

El lavadero de brazos tornantes o giratorios es el tipo más clásico, sin embargo el caudal capaz de soportar, hace disminuir la duración del lavado, por lo que también reduce la calidad de lavado.

Está constituido por un pilón atravesado longitudinalmente por uno o dos ejes giratorios con brazos cuyas palas se inclina para hacer progresar la remolacha. El agua recorre el lavadero en el sentido opuesto al de la remolacha.

### **9.8.2 Lavadero de tambor**

El lavadero industrialmente más utilizado es el *lavadero de tambor* que optimiza perfectamente el tiempo de lavado y las pérdidas de sacarosa. Está compuesto por tres partes:

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- La primera parte cuenta con una virola exterior con chapa perforada que sirve como separador de agua de transporte y de desagüe. El agua de transporte lleva consigo casi la mayor parte de las impurezas.

- La segunda parte, sirve como malaxador de la remolacha para eliminar la tara adherente; está equipada en el interior con paletas giratorias para no dañar la remolacha.

- La tercera parte tiene forma de doble tronco cónico perforado parcialmente y que permite la evacuación del agua del lavado y el aclarado de agua limpia.

En el presente Proyecto, se utilizará un Lavador de Tambor, marca PUSTCH® modelo 2800, para el acondicionamiento de la remolacha antes de su entrada a la difusión. Se ha elegido por las siguientes razones:

- ❖ Debido al transporte hidráulico diseñado en la planta, no es necesario un lavador excesivamente complejo, siendo el lavador de tambor, el más económico, fácil de instalar y de escaso mantenimiento.
- ❖ El frecuente uso de este tipo de lavador en las industrias azucareras y sus buenos resultados.

### **9.9. Tolvas de remolacha**

Una vez que la remolacha se ha lavado la remolacha cae en la tolva de molino. Esta tolva dispone en la parte baja de una salida para el molino corta-raíces. De la misma manera la columna de remolacha ejerce una presión tal que facilita la mezcla y la circulación de las cosetas y el jugo.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

La tolva de remolacha se utiliza como almacenamiento, aunque la capacidad de ésta sólo permite alimentar la fábrica por poco tiempo. La tolva no tiene bordes pronunciados puesto que pueden romper la remolacha al golpearse contra las paredes. Deben ser de paredes lisas y las separaciones entre molinos han de tener uniones lo más estrecha posible.

En el presente proyecto se dispone de una tolva marca PUTSCH® modelo 14.000/60, que se adapta a las necesidades de la planta y del molino elegido.

### 9.10. Molturación de la remolacha

Para obtener una mayor concentración de sacarosa en el jarabe de azúcar, es preciso cortar la remolacha en finas tiras (cosetas) por las siguientes razones:

- Para calentarla hasta 72 ° C, ya que a esta temperatura las paredes de la remolacha se hacen más permeables y la sacarosa las atraviesa más fácilmente.
- Por otra parte la sacarosa saldrá tanto más deprisa cuando la distancia a recorrer para alcanzar la superficie de la coseta sea más corta y la superficie de contacto sea mayor.
- Las tiras deben ser finas y tener la mayor superficie de contacto, de esta manera dejan pasar la sacarosa contenida en el interior de la remolacha.
- Si las tiras son demasiados finas y delgadas se pegarán unas con otras y se dificulta la salida de sacarosa.
- La idea sería fabricar cosetas en forma de teja en “V”. Éstas tienen la ventaja de presentar gran superficie



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

En base a todo, se puede afirmar que una buena molturación la produce una máxima producción de cosetas en “teja”. Los molinos que se utilizan para la molturación y corte pueden ser de dos tipos fundamentalmente:

➤ **Molinos de platos.** Consisten en dos discos de distintos diámetros. Pueden estar en posición vertical u horizontal siendo los más comunes los discos verticales, en los cuáles un disco generalmente se mueve y el otro está fijo. Los molinos de disco generalmente son buenos para moliendas gruesas y en algunos casos para una molienda media, la molienda fina no se realiza con molinos de disco. Sin embargo, muchos factores influyen para lograr éxito en una molienda fina, como los platos que se usen, la velocidad o capacidad del motor, condición y presión de los platos, la velocidad de alimentación.

➤ **Molinos de tambor.** [Véase Capítulo 13.1.5]

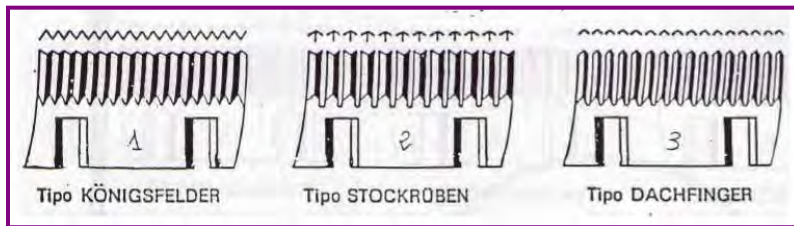
Conforme al molturado, la remolacha descenderá de forma que se colocará exactamente longitudinalmente a la cuchilla. Este posicionamiento se hace de forma natural debido a la carga que soporta la remolacha.

Con el funcionamiento normal del molino se va produciendo una acumulación de raicillas, hierbecillas, trozos de remolachas, etc. sobre las cuchillas con lo que el rendimiento del molino se viene abajo. Por ello hay que limpiar de forma continua el molino. En estos casos se utiliza aire a presión (aproximadamente 4-5 kg/cm<sup>2</sup>) que se distribuye a lo largo de todo el tambor y en sentido contrario al corte de la remolacha. Esta limpieza se realizará cada poco tiempo, dependiendo de las revoluciones que tenga que alcanzar el molino para conseguir la consigna de la molienda.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El rendimiento de un molino depende de multitud de factores de los que cabe destacar:

Tipo de cuchillas. Entre éstas últimas cabe destacar, en la **figura 9.10.1**, el TIPO KÖNIGSFELDER para remolacha normal.

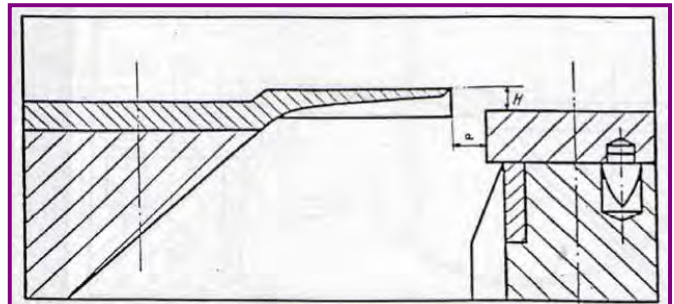


**Figura 9.10.1**

Tipos de cuchillas para molino de tambor.

**Fuente.** Azucarera Ebro

Colocación de cuchillas. Con relación a la placa del porta-cuchillas se puede colocar a una altura y distancia variable. De la altura (H) depende la calidad de la coqueta [Veáse **Capítulo 9.10.1**] y suele estar entre los valores de 5 - 7,5 mm de la distancia (a) depende el agotamiento de la coqueta, suele variar entre 4,5 - 6 mm.



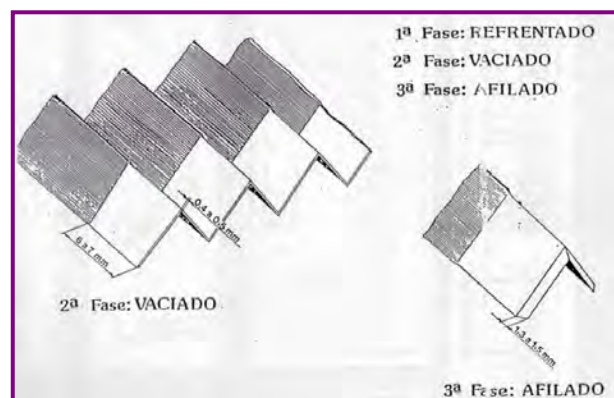
**Figura 9.10.2.** Colocación de la cuchilla

**Fuente.** Azucarera Ebro.

Afilado de cuchillas. El afilado consta de tres partes, refrentado, vaciado y afilado.

**Figura 9.10.3.** Afilado de cuchillas

**Fuente.** Azucarera Ebro



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Cambio de cuchillas. Las cuchillas deben de ser desechadas cuando tienen menos de 75 mm de anchura por las nuevas que tienen 90 mm.

Además de todo se tiene en cuenta los requerimientos del propio fabricante. [Veáse **Capítulo 13.1.5**].

En el presente proyecto se dispone de un molino de tambor marca PUTSCH®, modelo TSM 1600-42-600, que se adapta al diseño de la planta.

### 9.10.1 Calidad de la coqueta

La calidad de la coqueta viene dada por una serie de parámetros de vital importancia para el proceso de fabricación. La coqueta, una vez molturada, sigue manteniendo un 60 % de células vivas. Aquellas coquetas que resulten dañadas y/o rotas generarán en el jugo de difusión impurezas que tendrán que ser eliminadas en la etapa de depuración.

Con una coqueta fina se obtiene: mayor cantidad de células rotas y por tanto mayor cantidad de no azúcar que se tiene que eliminar en etapas posteriores a la difusión; continuos atascos en el difusor, debido a la sedimentación lo que conlleva a peor avance mecánico y mayor extracción de no-azúcar de las células.

## 9.11 Difusión

La difusión es una de las principales etapas de la planta. Durante la misma, las coquetas se ponen en contacto con agua caliente, aproximadamente a 75 °C, y jugo. Todo ello se consigue con un sistema de difusión en el que se introducen a contracorriente las coquetas y el agua.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El difusor tiene un movimiento de forma que la coseta siga un camino ascendente. Dispone de un sistema de extracción de pulpa agotada y de esta manera el agua baja por gravedad a contracorriente con la coseta y sale sustituyendo el jugo de difusión. El jugo de circulación para calentar a las cosetas es extraído del bagazo existente en el difusor y enviado al macerador mediante control automático.

Por lo tanto, en la cabeza del difusor se encuentra la coseta conteniendo gran cantidad de sacarosa y, por la cola del difusor la coseta agotada. Así existe siempre un gradiente de concentración entre la coseta y el agua. Es imprescindible que se mantenga un buen contacto entre fases coseta-agua para que se produzca una buena extracción.

### **9.11.1 Objetivos de la difusión**

El principal objetivo de la difusión es extraer el azúcar de la remolacha, para lo cual es importante tener en cuenta: perder la mínima cantidad de azúcar posible, el jugo producido tiene que ser lo más puro posible, si no es así, la depuración puede ser incompleta y dificultaría la filtración posterior y por último, las pulpas deben estar lo más agotada posibles en torno a 1% de contenido en sacarosa en cuanto se mejora la prensabilidad de éstas.

## **9.12 Depuración de jugos**

El jugo de difusión que sale del difusor está compuesto principalmente por sacarosa, materias minerales disueltas (potasio, sodio, calcio, magnesio, fosfatos, sulfatos, cloruros, sílice, aluminio, hierro), materias orgánicas no nitrogenadas disueltas (ácido láctico, oxálico, cítrico, málico), materias orgánicas nitrogenadas disueltas (aminas, amidas) y materias orgánicas nitrogenadas coloidales (proteínas, gomas, pectinas).

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El jugo de difusión, con un Brix de aproximadamente 19.1 [Azucarera Ebro], es negro-grisáceo y opalescente. Difícilmente se obtiene de él jarabe de azúcar por evaporación sin una previa depuración, ya que:

- Contiene partículas en suspensión que se adhieren a otras durante el calentamiento y a grupos de materias proteicas coaguladas que es necesario eliminar para que no aparezcan mezcladas en el producto final.
- El jugo de difusión es ligeramente ácido (pH 5.8 – 6.1) y, si se calienta directamente para evaporar el agua, se produciría una sensible inversión de la sacarosa, por lo que es preciso neutralizarlo por medio de un álcali, que en la industria azucarera es siempre cal. La cal presenta a su vez un alto poder depurante y es muy económico.
- El jugo de difusión tiene mucho lodo y es imposible evaporarlo tal cuál. Éste jugo contiene una serie de impurezas disueltas o en suspensión coloidal que hay que tratar de eliminar porque tienen por efecto obstaculizar la obtención de un jarabe con alto contenido en sacarosa.

### 9.12.1 Objetivos de la depuración.

Por todo lo anterior, los principales objetivos de la depuración son: por una parte, eliminar todas las partículas en suspensión contenidas en el jugo de difusión; por otra, neutralizar el jugo hasta convertirlo en un jugo alcalino para la obtención de jarabe; y eliminar, en la gran mayoría, los no- azúcares (disueltos o en estado coloidal) evitando al máximo la destrucción de la sacarosa.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 9.12.2 Depuración calco-carbónica.

En la mayoría de las industrias, la cal constituye el agente de defecación utilizado por todos. La cal tiene numerosos efectos sobre los componentes del jugo de difusión reaccionando con la sacarosa para formar distintos compuestos llamados *sacaratos*. Éstas combinaciones son solubles en agua y actúan igualmente sobre las distintas impurezas que lleve el jugo de la siguiente forma:

- Impurezas minerales disueltas. La cal precipita ciertos aniones, fosfatos y sulfatos eliminándolos del jugo. Estos aniones se encuentran principalmente bajo la forma de fosfatos alcalinos, principalmente *sodio y potasio*, que provienen de la remolacha y que liberados en la depuración dan al jugo una alcalinidad natural.

- Impurezas orgánicas no nitrogenadas disueltas. Ciertos ácidos orgánicos son igualmente precipitados por la cal. En este caso los azúcares reductores juegan un papel importante en razón de su inestabilidad frente a la temperatura ya que podrían causar problemas en el curso de la producción de fábrica. Estos azúcares reductores, si se calientan en medio alcalinos, se descomponen dando lugar a ácidos que se combinan con la cal y precipitan.

- Impurezas nitrogenadas solubles. Se pueden considerar los aminoácidos dentro de este grupo. Son abundantes en la remolacha en los años secos o después de un almacenaje prolongado. Éstos forman con la cal sales solubles no eliminadas en la depuración. Algunos de ellos poseen tales impurezas que, en presencia de la cal, liberan amoníaco que en parte se disuelve en el jugo y parte se libera y produce el olor a amoníaco característico de la azucarera, sobre todo en años de sequía.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- Impurezas nitrogenadas coloidales. Están constituidas por proteínas que vienen de células rotas o dañadas. Durante una de las etapas de la depuración se pasa por toda una gama de pH y de concentraciones de calcio que constituyen los valores óptimos para la floculación de la mayoría de los coloides. La cal añadida al jugo permite así la eliminación de la mayoría de las impurezas coloidales y la clarificación del jugo para su posterior tratamiento en el intercambiador iónico.

Otro de los agentes importantes en la depuración es el CO<sub>2</sub>. La acción de éste en el proceso de depuración es obtener el mayor provecho de la insolubilidad con el carbonato de cal para eliminar la impureza que constituye la cal disuelta en el jugo.

El carbonato de calcio formado posee la propiedad de absorber gran parte del no-azúcar y de los colorantes, por lo que produce un efecto de depuración. Por otra parte, constituye un perfecto coadyuvante de filtración.

Por la bajada de pH durante la adición de cal, el jugo llega a la columna y el dióxido de carbono descompone los sacaratos liberando sacarosa. Este dióxido de carbono no se puede añadir de una sola vez, puesto que los coloides floculados se disuelven en un pH demasiado bajo. Se añade una primera cantidad de CO<sub>2</sub> hasta la obtención de un jugo carbonatado de 1ª y después se filtra para eliminar los coloides. Posteriormente se añade una segunda cantidad de dióxido de carbono en una etapa posterior, para eliminar al máximo la cal disuelta. Es muy importante medir cuidadosamente el dióxido de carbono añadido en esta segunda carbonatación, ya que el precipitado principal, carbonato cálcico, se puede convertir en bicarbonato soluble si excede la cantidad.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Durante la carbonatación, el sodio y potasio liberados en la primera etapa de la depuración, que constituyen la alcalinidad natural del jugo, se transforman en carbonato de sodio y potasio que son solubles y quedan en el jugo.

### 9.12.2.1 Preencalado

La primera fase de la depuración calco-carbónica es la denominada preencalado. Una vez que se tiene el jugo de difusión despulpado y, aproximadamente a una temperatura de entre 40-50 °C, comienza la depuración en el preencalado.

Consiste en la adición de lechada de cal, que se obtiene por tratamiento con agua de la cal viva obtenida del horno [Veáse **Capítulo 9.14.1**]. Se realiza en un cilindro con fondo cónico en cuyo interior contiene diferentes compartimentos y separaciones de chapa horizontales. Estas separaciones van provistas de una apertura lateral y de varias periféricas las cuales permiten el paso del jugo de un compartimento a otro.

Este tipo de preencalado tiene una serie de ventajas ya que se obtiene un líquido con gran homogeneidad además de la imposibilidad de creación de zonas muertas, atasco reducido, sencillez de funcionamiento, gran flexibilidad y fácil mantenimiento.

### 9.12.2.2 Encalado

El encalado en frío consiste en un depósito con agitación en el cual se introduce jugo que proviene del preencalado y exceso de lechada. Mecánicamente no tiene más elementos por lo que su mantenimiento es bastante simple. Este equipo es relativamente moderno puesto que hasta hace poco no se utilizaba en el proceso de depuración de jugos azucarados. La principal ventaja del encalado en frío es que se dispone de un depósito pulmón para la fábrica, lo



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

que permite absorber fluctuaciones en los departamentos anteriores, sobre todo en la difusión.

La utilización del encalado en frío nos lleva a una mejora de la depuración debido a que se aumenta el tiempo de contacto entre la lechada, introducida en el preencalador, y el jugo.

La cantidad de lechada de cal que se introduce en el encalado es mucho mayor que en el preencalado. En el tanque, la lechada actúa bajando el pH del jugo, como agente floculante y formando sales solubles e insolubles.

### 9.12.2.3 Carbonatación de primera

El objetivo fundamental de la primera carbonatación es transformar el exceso de lechada adicionada durante el encalado, en un precipitado de carbonato cálcico eliminando de esta forma la impureza que constituye la cal disuelta y precipitada en el jugo. Este carbonato formado es fácilmente filtrable y decantable.

Además por la acción del  $\text{CO}_2$  en el carbonato de cal que se está formando y la bajada de pH que la lechada ha generado en el jugo en la etapa anterior, el  $\text{CO}_2$  descompone los sacaratos solubles liberando sacarosa.

La etapa se compone de un depósito principal donde se le hace borbotear el  $\text{CO}_2$  de tal manera que aumente la absorción del gas y se obtenga un engordamiento de cristal de carbonato con vistas a la posterior filtración y obtención de espumas. Antes de la primera carbonatación el jugo es sometido a un recalentamiento hasta incrementar su temperatura a  $90^\circ \text{C}$ . Así, por una parte se obtiene una decantación y filtración convenientes y por otra, se evita la formación de bicarbonatos en la carbonatación de segunda, tal como se ha explicado en el **Capítulo 9.12.2** de la presente Memoria Descriptiva.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 9.12.2.4 Filtración de primera

Una vez el jugo ha sido carbonatado se debe eliminar todo el flóculo que se ha formado, *espumas*, para ello se dispond de filtros de membrana especiales [Véase **Capítulo 13.3.3**].

La característica fundamental de estos filtros es que pueden trabajar por tiempo o por densidad de lodos o espumas formados. Esta última forma de control es la más importante, ya que si no se asegura una determinada densidad se puede provocar el mal funcionamiento de los filtros. Esta forma de trabajar asegurará una concentración adecuada de lodos.

El jugo filtrado de primera tiene que tener la pureza más alta posible con el fin de obtener el máximo rendimiento en la evaporación. Por otro lado se obtendrán las espumas, que no serán más que compuestos de carbonato cálcico y otras impurezas.

El funcionamiento de estos filtros es por ciclos ya que, desde sala de control, se deberán ajustar para que la obtención de la densidad de las espumas sea la adecuada.

### 9.12.2.5 Carbonatación de segunda

El objetivo de la segunda carbonatación es eliminar la impureza que constituye la cal disuelta en el jugo filtrado de primera carbonatación, ya que si no eliminamos la cal se producirían incrustaciones durante la evaporación.

Un factor importante a controlar en esta carbonatación son las sales de cal, puesto que el jugo deberá contener las mínimas posibles para que posteriormente no existan depósitos de carbonatos en las tuberías y telas

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

filtrantes y se puedan obstruir. Una temperatura elevada en esta unidad evitará la formación de bicarbonatos solubles en el jugo.

### 9.12.2.6 Filtración de segunda

El jugo turbio de segunda carbonatación tiene que ser filtrado antes de la etapa de evaporación, para ello se utiliza nuevamente los filtros de membrana como en la filtración de primera y su funcionamiento será exactamente igual.

En esta etapa los filtros trabajan por tiempo, puesto que ahora no se van a obtener espumas o serán poco abundantes y generalmente se reciclarán a la carbonatación de primera.

### 9.12.2.7 Sulfatación del jugo

En determinadas ocasiones se introduce  $\text{SO}_2$  ya que, por una parte reduce la alcalinidad que aún pueda tener el jugo; por otra, reacciona con los productos colorantes clarificando los jugos y, por último, reduce la viscosidad del jugo.

El  $\text{SO}_2$  será líquido, en bombonas y con una instalación capaz de gasificar y aprovechar al máximo el gas. Se suele sulfatar antes de la filtración de segunda por si se crea algún precipitado se recoge en la filtración. De la misma manera también se sulfatará el jarabe de salida de evaporación, antes de su entrada al tanque de almacenamiento.

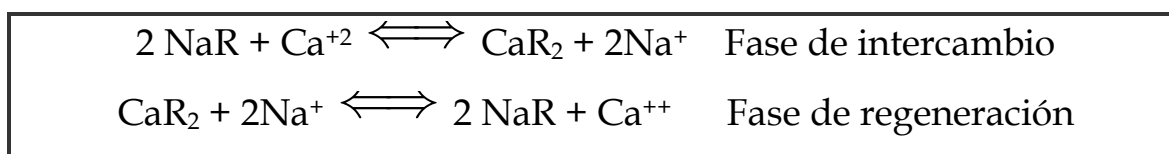
### 9.12.3 Descalcificación

El jugo filtrado de segunda carbonatación contiene aún un elevado número de sales de cal que no se han eliminado durante la etapa de depuración calco-carbónica y pueden ser origen de incrustaciones en la etapa de evaporación. Estas incrustaciones ocasionan en el evaporador una disminución

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

del coeficiente global de transmisión de calor y, con ello, un elevado coste energético como combustible.

Para ello se hace pasar el jugo filtrado de segunda carbonatación por una instalación de descalcificación de jugo compuesta por descalcificadores con resinas catiónicas con un determinado volumen en su interior. La resina de intercambio catiónico es una sustancia granular insoluble compuesta fundamentalmente de un soporte de poliestireno. Las reacciones fundamentales que tienen lugar en el intercambio son las siguientes:



Se trata de una reacción reversible, en donde la afinidad del intercambiador es mucho mayor por el calcio que por el sodio, y será mayor esa afinidad cuánto más diluida sea la solución.

Se pueden eliminar hasta el 100% de las sales cálcicas con los intercambiadores de iones; sin embargo, se deja una pequeña concentración de calcio en el jugo para evitar problemas de corrosión en la evaporación.

### 9.12.3.1 Fases del proceso de descalcificación

- a) Intercambio Catiónico Sodio-Calcio. En esta etapa el jugo a descalcificar bombeado desde el tanque pulmón 02, entra en los descalcificadores y atraviesa la capa de resinas. El jugo descalcificado se conduce por un colector al tanque de almacenamiento antes de la evaporación. Esta etapa puede durar entre 4- 6 horas dependiendo del contenido de sales de cal del jugo entrante.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- b) Lavado inicial. Transcurrido el tiempo de intercambio se pasa al lavado de las resinas. Esta fase tiene como objetivo lavar las resinas que se hayan podido apelmazar en la primera fase del tratamiento, como fase preparatoria para su regeneración.
- c) Regeneración. Esta fase se lleva a cabo con sosa cáustica al 50%. En esta etapa se producen las reacciones inversas que en la etapa de intercambio. Se llevará a cabo con exceso de sosa.
- d) Lavado final. El objetivo fundamental de esta fase es la eliminación del exceso de sosa que queda en contacto con las resinas después de la etapa de regeneración. Para ello se hará pasar agua nuevamente por las resinas catiónicas.

Todos los residuos procedentes de la fase de intercambio iónico se destinarán a un tanque de almacenamiento de residuo para su posterior retirada.

En el presente Proyecto se dispone de una instalación de intercambiadores dispuestos en serie de la marca DUPLEX - INDUSTRIAL, NSTA100/ION2. Modelo 218901. Todas las fases llevadas a cabo en los intercambiadores de iones se verifican con control de caudal y tiempos, ajustados automáticamente en el intercambiador de iones.

### 9.13 Evaporación

La última etapa del proceso sería la evaporación. En ésta, se concentra el jugo previamente depurado y descalcificado mediante la vaporización de la mayor parte de agua del jugo, utilizando como medio calefactor vapor condensante.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Tras esta última etapa, el jugo pasa de un Brix de 15-20 a un jarabe con un Brix 70-72. La fase de purificación del jugo, se ha diseñado para que se obtenga un jugo lo más puro posible por lo que, en la etapa de evaporación, las propiedades del jugo tampoco pueden verse alteradas. Hay que tener en cuenta que:

- ❖ No se pueden formar azúcares reductores porque ya han sido eliminados en la fase de depuración calco-carbónica (encalado en frío).
- ❖ Se puede destruir sacarosa por la formación de caramelos, con la consecuencia directa de incrustaciones en la caja de evaporación. [Veáse **capítulo 10.2.2**]

La evaporación se llevará a cabo en una caja de evaporación. Previamente se calentará el jugo procedente de la carbonatación de segunda hasta una temperatura de 125 °C para llevar este líquido a la caja de evaporación a su temperatura de ebullición y favorecer la expansión de jugo.

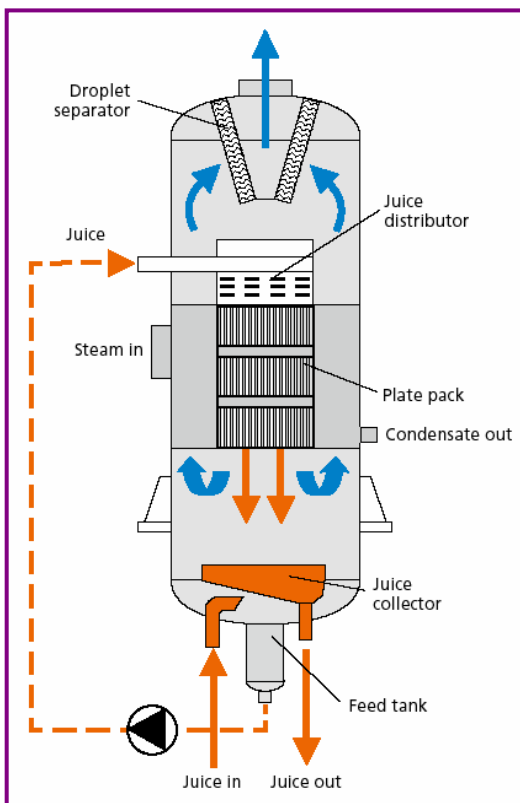
Este equipo está constituido por una cámara de vapor, atravesada por un haz tubular vertical. El vapor de calentamiento se condensa por el interior de los tubos, mientras que por el exterior se concentra el jugo en ebullición. El intercambio de calor se da entre el vapor y el jugo, ya que la temperatura del vapor es superior a la del jugo.

El jugo depurado y descalcificado, entra de forma continua por la parte inferior del evaporador. El jugo cae a través de unos distribuidores a un haz tubular, donde se efectúa la separación del jugo concentrado y del vapor condensado formado. Finalmente, el jugo cae en un colector, en el cuál existe un orificio de salida hacia el tanque de almacenamiento. En la figura **9.13.1**, se muestra el esquema.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

La ebullición es muy intensa en una caja de evaporación. El vapor formado por ebullición del jugo es evacuado en la parte superior, después de haber atravesado una serie de deflectores, que recupera las gotas de jugos arrastradas y vuelve a la caldera.

Debajo de la placa tubular, hay uno o varios orificios para evacuar las aguas condensadas, que se producen del vapor de calentamiento. Si no se extrae este vapor de la cámara de calentamiento se acumula, con la consecuente caída de la evaporación en el proceso productivo.



**Figura 9.13.1.** Esquema evaporador  
EVAPLUS

**Fuente.** Empresa GEA PHE SYSTEMS

### 9.14 Equipos auxiliares del proceso

En toda planta industrial existen equipos auxiliares necesarios e igualmente útiles para llevar a cabo el proceso. En el caso del presente Proyecto, existen los siguientes equipos auxiliares:

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

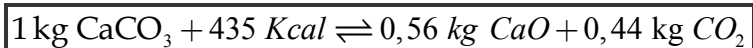
- Hornos de cal y taller de lechada.
- Calderas de vapor.
- Recalentadores de jugo.
- Tanques de almacenamiento.

### 9.14.1 Hornos de cal y taller de lechada

El compuesto principal de la depuración del jugo, etapa siguiente a la difusión, es la cal. Posteriormente esta cal es neutralizada con CO<sub>2</sub> producido también en el horno. [Veáse **Capítulo 9.12.2**].

El horno de cal es un elemento imprescindible para el diseño de la planta, puesto que es donde se obtendrá la cal y el CO<sub>2</sub> necesario para la etapa de depuración, a partir de la piedra caliza (CaCO<sub>3</sub>) tal y como se ha descrito en el **Capítulo 7**.

La reacción que se da en el horno de cal sería:



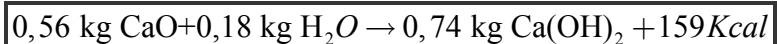
Esta reacción es endotérmica, es decir necesita un aporte de calor que se proporcionará quemando gasoleo. Es reversible y el equilibrio de la reacción depende de la presión y la temperatura. A la presión en la superficie de la piedra, la disociación no es realizable más que a una temperatura de 910 ° C [Azucarera Ebro].

Al ser la reacción reversible, cuando se recombina el CO<sub>2</sub> y el CaO antes de la disociación se recupera el calor en dos fases:

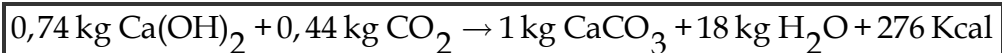


## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 1. Durante la formación de lechada de cal



### 2. Durante la carbonatación



Sin embargo, la neutralización del jugo encalado exige, teóricamente, la cantidad de CO<sub>2</sub> liberada en el horno de cal por la disociación de la piedra, pero del horno saldrá un exceso de CO<sub>2</sub> que servirá para compensar pérdidas sufridas durante el borboteo del gas en el jugo.

El horno está constituido por un cilindro ligeramente cónico, tapizado en su interior con ladrillo refractario. En la parte inferior se sitúa una apertura para la extracción de la cal viva. Consta de tres partes claramente diferenciales:

- 1) Zona Superior o de recalentamiento: En esta zona la carga de piedra caliza absorbe el calor.
- 2) Zona Central: En esta zona, las condiciones del horno hacen que se disocie la piedra en sus dos componentes: CaO y CO<sub>2</sub>.
- 3) Zona Inferior: Esta es la zona de enfriamiento en la cuál el efecto refrigerador del aire es mayor que el efecto de calefacción del fuego.

En el presente Proyecto se instalará un horno de cal de la marca EMISON, modelo CAL20, que se ajusta perfectamente a las necesidades de la planta objeto de diseño.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

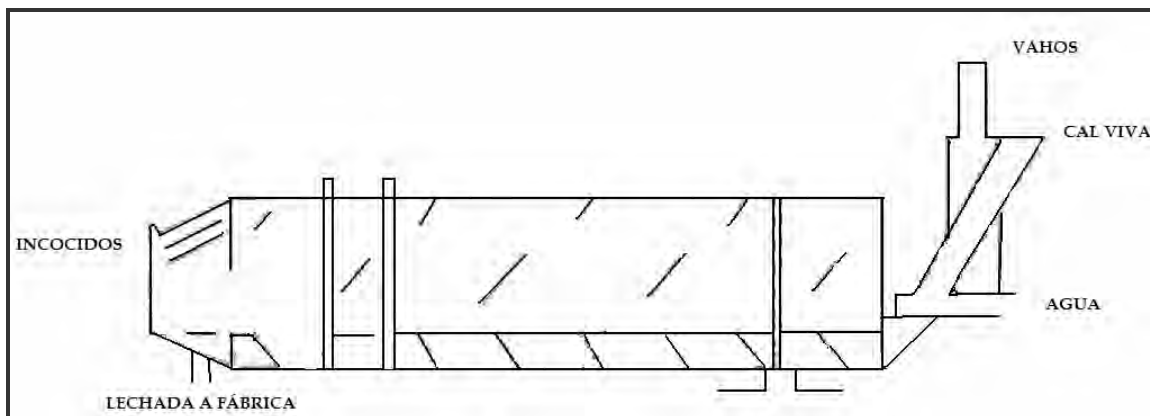
### 9.14.1.1 Gas anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>)

Este gas, como ya se mencionó en el **Capítulo 9.12.2**, se utiliza en las carbonataciones de la planta diseñada, por lo que tiene que cumplir una serie de condiciones para su integración.

Este gas llega a carbonataciones después de un lavado de gases hasta una temperatura de aproximadamente 25 ° C [**Azucarera Ebro**]. Las bombas de gas, colocadas en la salida de gases del horno provocan vacío en el horno que vence la presión mínima por la columna de líquido en las carbonataciones, si no se alcanza esta presión, el gas no sale por el distribuidor de la carbonatación, quedando el jugo sin carbonatar.

### 9.14.1.2 Cal viva (CaO)

La cal viva que se obtiene del horno es un sólido muy poroso. En el proceso, la cal exige su transformación en lechada de cal (suspensión de hidróxido cálcico en agua). El apagado de la cal viva (piedra cocida) extraída del horno, se realiza con agua. La fabricación de la lechada se realiza en un tanque de mezcla denominado *Mick*.



**Figura 9.14.1.** Tanque para fabricación de lechada de cal

**Fuente.** Azucarera Ebro

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Dicho equipo está constituido por un tambor horizontal que gira mediante unos rodillos. La cal se va disgregando a lo largo del recorrido del tambor. A la salida se recoge la lechada de cal por desbordamiento y los incocidos de la piedra caliza. La concentración de lechada de cal, se realiza dependiendo de multitud de factores, uno de ellos, es el equipo al que esté destinada.

En el proyecto objeto de estudio se dispondrá de un tanque lavador de tambor marca PUSTCH® modelo 2800, puesto que es similar a este tipo de tanque para la fabricación de lechada.

### **9.14.2 Calderas de vapor**

El vapor que se necesita en la evaporación se genera a partir de las calderas de vapor. Las calderas son máquinas o dispositivos de ingeniería que están diseñados para generar vapor saturado. A través de una transferencia de calor a presión constante en la cual el fluido, agua, se calienta y cambia de estado.

Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, las calderas son muy utilizadas en la industria para generarlo. Aplicaciones como calentar otros fluidos, generar electricidad a través de un ciclo Rankine y proporcionar vapor a unidades del proceso, como por ejemplo, un evaporador.

En el presente Proyecto se dispone de una caldera de vapor de la empresa SERVITEC, GARIONI-NAVAL serie GPT. Caldera de vapor de tres pasos de humo con mampara posterior húmeda, que se ajusta perfectamente al diseño del presente Proyecto. El vapor condensado procedente del evaporador, se retornará a las calderas para su posterior reutilización.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 9.14.3 Intercambiadores de calor

En el paso del jugo por las distintas unidades del proceso, se debe ir aumentando su temperatura para acondicionarlo a las distintas etapas del mismo.

Un equipo muy utilizado es el recalentador. Está formado por una cámara de vapor atravesada por un haz tubular en el interior del cual circula el jugo a recalentar. El haz tubular es generalmente vertical, el jugo que pasa por los tubos no experimenta cambio de fase. También puede utilizarse agua caliente para calentar el jugo, en su caso se denomina *intercambiador*.

Para realizar un buen intercambio de calor entre el agua y el jugo será necesario la circulación a contracorriente de los dos jugos y el uso de bombas debido a las elevadas pérdidas de carga en el intercambiador.

En el presente Proyecto se dispondrá de tres intercambiadores de placas con empaques, marca Schmidt, que se ajusta a las necesidades de la planta proyectada.

## CAPITULO 10. PÉRDIDAS DE SACAROSA EN EL PROCESO PRODUCTIVO

En el momento que las remolachas son entregadas en fábrica, se realiza un análisis exhaustivo para determinar su concentración de sacarosa. Estos análisis se llevarán a cabo en el laboratorio de recepción y sirven para conocer con precisión el balance de materia que entra en la planta.

El acondicionamiento de la materia lleva consigo una pérdida de sacarosa en el producto final. La planta proyectada se diseñará para obtener la menor cantidad de pérdidas de sacarosa en el producto final. Estas pérdidas se han clasificado en pérdidas por causa del diseño de la planta (*pérdidas por diseño*) y pérdidas debidas a la naturaleza química de la sacarosa (*pérdidas químicas*).

### 10.1 Pérdidas por diseño

Estas pérdidas son debidas al diseño de la planta: tipo de transporte, tipo de equipos instalados, tipo de tecnología utilizada, fugas, desbordamientos, taponamientos en bombas, etc. A continuación se expondrán brevemente.

#### 10.1.1 Transporte de remolacha al canal de lavado

Según el diseño de la planta, se dispondrá de transporte hidráulico al lavadero. Así, se mejora la pérdida de sacarosa debido a que se provoca menos daño a la remolacha en su transporte; sin embargo, los daños y roturas causados en el ensilado y desensilado del silo provocan un aumento de las impurezas a las aguas de transporte con la consecuente disminución de la concentración de sacarosa. Estas pérdidas se estiman entre 10-30 g sacarosa/min. En la **gráfica 10.1.1**, se muestra las pérdidas de azúcar dependiendo del tiempo del transporte hidráulico.

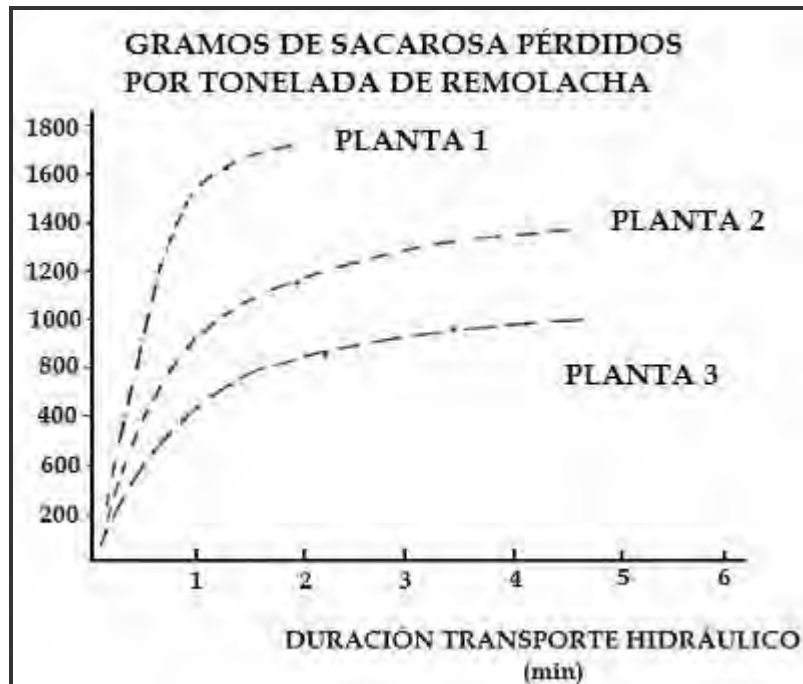


Gráfico 10.1.1. Pérdidas sacarosa durante el transporte  
Fuente. Azucarera Ebro

### 10.1.2 Tipo de lavadero

Según se ha descrito en el presente Proyecto, se utilizan tres tipos de lavaderos en la industria: lavaderos de brazos tornantes, lavadero de tambor y lavadero de chorro [Veáse **Capítulo 9.8**]. Las pérdidas de azúcar en estos lavaderos van en aumento, siendo los lavaderos de chorros donde se produce una mayor pérdida. Además, estas pérdidas son proporcionales a la duración del lavado.

Así pues, se tendrán que evaluar las pérdidas globales (transporte y lavado). Las pérdidas varían entre 250 - 500 g. de azúcar por tonelada de remolacha, por lo que si la alimentación es de 14 t/h, según se describe en el **Capítulo 12.1** del presente Proyecto, esta pérdida, a causa de la estación de lavado y transporte, sería de 3,5 a 7 kg/h.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### **10.1.3 Pérdidas en el difusor.**

Durante la extracción en el difusor se producen pérdidas por dos corrientes distintas: el jugo de difusión y las pulpas agotadas.

- ✦ El jugo de difusión tendrá que salir lo más puro posible, esto es, que el agua caliente consiga extraer al máximo la sacarosa de las cosetas. Si esto no ocurre así, posteriormente, las pulpas no estarán lo suficientemente agotadas y quedará un porcentaje de sacarosa en las pulpas.
- ✦ No es conveniente que la composición de sacarosa disminuya del 1% en la pulpa, ya que con ello se extraería también parte del no azúcar, perjudicial para el proceso.

### **10.1.4 Pérdidas en la etapa de purificación.**

Las espumas obtenidas de los filtros de membrana tienen un alto contenido en azúcar, por lo que se deberá trabajar intentando que las espumas no superen el 1% de azúcar, ya que sería una pérdida importante.

### **10.1.5 Pérdidas en la etapa de evaporación.**

Éstas pérdidas pueden ser causadas por un mal contacto entre la fase vapor-líquido, generándose pérdidas por la corriente de vapor condensado. Sin embargo, estas pérdidas serán pequeñas ya que el circuito vapor-agua es un circuito cerrado y el vapor condensado vuelve a calderas.

## 10.2 Pérdidas químicas

Estas pérdidas se deben a la naturaleza química de la sacarosa presente en la remolacha. La molécula de sacarosa está formada por moléculas de glucosa y fructosa (azúcares reductores) unidos entre sí por un puente débil. A continuación se detalla cada una de éstas pérdidas.

### 10.2.1 Pérdidas por inversión de la sacarosa.

La estructura química de la molécula de la sacarosa puede verse afectada por la acción de fermentos, en el almacenamiento de la remolacha, o en el mismo proceso productivo debido a la acción de la acidez, provocando una inversión de la molécula irreversible que se denomina “azúcar invertido”.

Factores como una variación en el pH del jugo o una reacción en cadena, afectan a la formación del azúcar invertido. Por su parte, el pH se modifica con la temperatura; un aumento de la temperatura de la solución disminuye el pH de ésta favoreciendo la acidez del jugo y por tanto, aumenta la probabilidad de romper el enlace de la molécula.

Los propios azúcares reductores que se han formado en la inversión de la sacarosa (fructosa y glucosa) son susceptible de formar ácidos; es decir, primero se forman azúcares reductores, éstos se transforman en ácidos por variación de temperatura en el jugo y estos ácidos forman más reductores.

Con el fin de disminuir las pérdidas por inversión de la sacarosa, todas las medidas que disminuyan las temperaturas en el proceso y la duración de la evaporación trabajan en sentido favorable.

Además, se pueden bloquear los azúcares reductores ya formados para evitar que se produzca la reacción en cadena, antes comentada. Para ello se



Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

puede introducir en el jugo gas sulfuroso o sulfito de sodio, dependiendo de la composición de la remolacha.

### **10.2.2 Caramelización**

La sacarosa presente en el jugo puede estar sometida a procesos de caramelización, formando polímeros que poseen color y aromas perjudiciales para el jugo y la pérdida de sacarosa. Además de crear incrustaciones en los tubos de la evaporación.

## CAPITULO 11. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO

En el proceso de producción de jarabe de azúcar existen multitud de corrientes a tratar: jugos, vapores, productos químicos, etc. Los distintos diagramas de flujo se visualizan en el **Documento Planos. Planos 3, 4, 5 y 6.**

En la figura inferior se muestran las principales etapas del proceso con los diferentes datos de composición, temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), presión ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) y caudal másico ( $\text{kg}/\text{h}$ ) de cada una de las corrientes implicadas en el proceso.

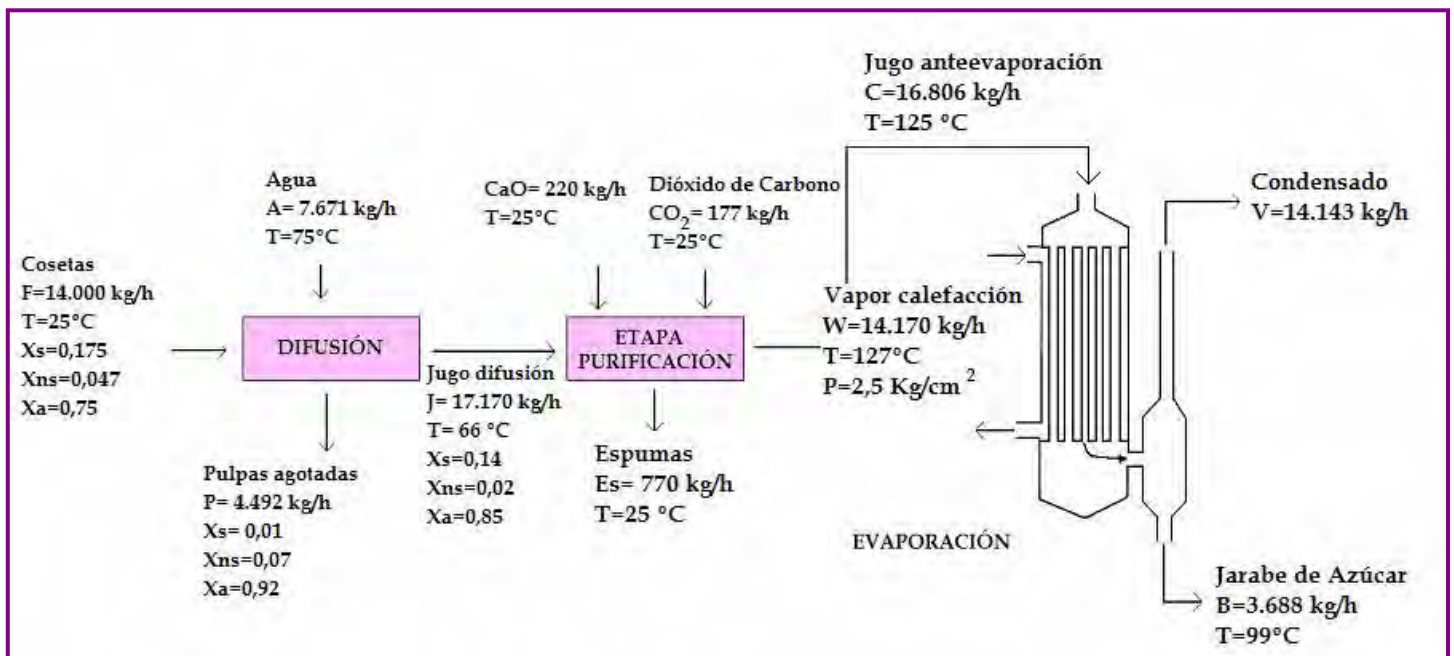


Figura 11.1. Diagrama de flujo de la planta

## CAPITULO 12. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ELEGIDA

### 12.1 Alimentación del proceso

Según un informe del Ministerio de Agricultura y Pesca y Alimentación (MAPA), la estimación de remolacha cultivada en España en el año 2009 es de 155.000 hectáreas. Un 35 % de la remolacha total cultivada, se produce en Zona Sur de Andalucía y Badajoz. Existen dos tipos de remolacha, *secano* y *regadío*. El 60 % de la zona sur es cultivada con remolacha de *secano* y se encuentran mayoritariamente en las zonas de Sevilla, Cádiz y Huelva.

Para el diseño del presente Proyecto se realizan las siguientes estimaciones:

1. Se estima una molturación de aproximadamente unas 2.000 t/año.
2. El período de funcionamiento de la planta se estima en 60 días.
3. En período de campaña se funciona en continuo las 24 horas del día.
4. La alimentación de remolacha es de 14.000 kg /h.

### 12.2 Etapa de difusión

La etapa de difusión consta de: *macerador* y el *difusor*. El primero de ellos no es más que un mezclador en el cual se introducen las cosetas que llegan del molino, y normalmente viene integrado en el equipo de difusión donde se produce la extracción de sacarosa propiamente dicha.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 12.2.1 Macerador

Las cosetas entran al macerador a través de cintas transportadoras pesadoras (CIN-02) que regula para el control continuo de cosetas de entrada. En el macerador deben permanecer entre 10-15 minutos. Así, las cosetas absorben el calor del jugo de circulación (bombeado por el difusor automáticamente). Éstas se encuentran a temperatura ambiente equiparándose así a la temperatura a la de difusión y mejorando el bombeo de jugo y coseta.

El macerador estará dimensionado para que pueda circular jugo de recirculación y cosetas sin crearse caminos preferenciales y tampoco se produzca un intercambio de calor desfavorable. Una vez transcurrido el tiempo necesario, la mezcla coseta y jugo de recirculación se bombea hacia la entrada del difusor a una temperatura aproximada de 72 ° C. El macerador será un equipo como el que muestra la figura inferior.



**Figura 12.2.1** Macerador  
**Fuente.** Azucarera Ebro.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### **12.2.2 Difusor**

Un difusor es un cilindro horizontal de muy grandes proporciones en cuyo interior están montadas dos hélices estáticas de chapas perforadas y que giran con él.

Como ya se ha explicado en la presente Memoria Descriptiva, se introduce las cosetas y el agua a contracorriente. Se formará el jugo de difusión, que se destina a la etapa de purificación con un Brix comprendido entre 15-20 y las cosetas agotadas (residuos de la planta). Éstas deben salir a una temperatura aproximadamente entre 65-68 ° C, de tal manera que mejore la prensabilidad de las pulpas.

En el presente Proyecto se dispone de un difusor UNY SISTEMAS CDU2-W30 que se ajusta a las necesidades de la planta proyectada.

### **12.2.3 Factores que influyen en la difusión**

En la difusión parámetros como la calidad de la coseta obtenida, la temperatura en el interior del difusor, la cantidad de agua de aporte y contaminaciones en el difusor tienen que ser controlados.

La temperatura en el difusor controla la velocidad de la difusión y puede favorecer contaminaciones. De la misma manera, la cantidad de agua de aporte puede provocar una extracción de no-azúcares en el jugo, impurezas que posteriormente tienen que ser depuradas.

Un factor importante a tener en cuenta es la contaminación del difusor. Existen microorganismos que producen una bajada del pH favoreciendo la aparición de azúcares reductores, con la consecuente inversión de la sacarosa. La

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

tierra adherida de la remolacha, es una de las causas más importantes que favorece la contaminación del jugo.

#### **12.2.4 Condiciones óptimas de la etapa de difusión**

<b>CORRIENTE</b>	<b>CONDICIONES FAVORABLES</b>
<b>Cosetas</b>	Finas en forma de teja
<b>Temperatura jugo entrada a difusión</b>	Entre 70-75 ° C
<b>Temperatura jugo salida pulpas</b>	Entre 65-68 ° C
<b>pH jugo de difusión</b>	5,8-6,1
<b>Brix salida jugo de difusión</b>	13-19

**Tabla 12.2.2** Condiciones favorables en la difusión

**Fuente:** Azucarera Ebro

#### **12.2.5 Datos obtenidos del diseño a la etapa de difusión**

Los datos obtenidos en los balances de materia [Véase **Anexo I**] de la etapa de difusión son los siguientes:

<b>A, AGUA (kg/h)</b>	7.671
<b>J, JUGO DIFUSIÓN (kg/h)</b>	17.179
<b>P, PULPA AGOTADA (kg/h)</b>	4.492

### **12.3 Etapa de purificación**

La etapa de purificación, es sin duda, la etapa más importante del proceso. Difícilmente se puede obtener jarabe de azúcar a partir del jugo de difusión sin antes ser depurado. La depuración calco-carbónica se explicó paso a paso en el **Capítulo 9.12.2**, por lo que, en este apartado, se definirá las condiciones óptimas de los equipos para aprovechar el jugo de difusión en su totalidad.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Los objetivos de esta etapa serán: eliminar toda partícula en suspensión que haya podido pasarse al jugo de difusión, neutralizar el jugo hasta un pH alcalino; y eliminar, en su mayoría las impurezas disueltas o en estado coloidal evitando la destrucción de la sacarosa.

En el presente proyecto se estima que la cantidad necesaria para la depuración del jugo es de 13 g CaO/L (piedra cocida), [Azucarera Ebro]. Esta es la cantidad necesaria para la depuración completa (preencalado y encalado), sin tenerse en cuenta la cantidad de CaO que se añade a cada equipo en particular, que, en el caso del preencalador, es de 2,5 g CaO/L y en el tanque de encalado 10,5 g CaO/L. Además, por la constitución física del agente depurante, el diseño de la planta obliga a implantar una etapa de tratamiento de cal viva para el acondicionamiento de ésta y posterior tratamiento del jugo.

Se conoce la reacción que se da en el tanque de lechada (Mick). Esta ecuación servirá para el diseño de tuberías, bombas y pérdidas de carga, además será útil para el cálculo de algunas variables, tales como el caudal de agua necesaria en la fabricación de lechada y caudal de lechada (suspensión líquida de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) hacia depuración.

### **12.3.1 Preencalador Naveau**

El preencalador será del tipo Naveau. Está constituido por un cilindro con fondo cónico, en su interior lleva unas separaciones horizontales de chapa que determinan los distintos compartimentos (13). Estas separaciones van provistas de aperturas centrales y periféricas, a partir de las cuáles se produce el paso del jugo de un compartimento a otro. Cada dos compartimentos existe uno provisto de paletas de agitación fijas al árbol central. Los compartimentos restantes van provistos de aletas regulables, todas unidas por una biela la cuál les asegura un desplazamiento idéntico.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El preencalador dispone de 6 tomas de muestra para poder medir el pH y la alcalinidad. De esta forma se puede comprobar en cada momento la curva de preencalado, cuyos valores ideales son:

	<b>Toma1</b>	<b>Toma 2</b>	<b>Toma 3</b>	<b>Toma 4</b>	<b>Toma 5</b>	<b>Toma 6</b>
<b>pH</b>	8,8	9,2	9,6	10,1	10,5	11,2
<b>Alcalinidad (g CaO/L)</b>	0,3	0,5	0,9	1,5	2	2,5

**Tabla 12.3.1.** Condiciones favorables preencalador  
**Fuente:** Azucarera Ebro

En la tabla inferior se recogen las condiciones favorables del jugo en el preencalador Naveau.

<b>Tiempo de permanencia</b>	20 minutos
<b>Temperatura</b>	40 -50 ° C
<b>Alcalinidad Final</b>	2,5 g CaO /L

**Tabla 12.3.2.** Condiciones favorables preencalador  
**Fuente:** Azucarera Ebro

### 12.3.2 Tanque de encalado

La cantidad de hidróxido de calcio que se introduce en el tanque de encalado es la mayor de la fase de purificación. Se realiza de este modo para aumentar el tiempo de permanencia del jugo de difusión con la cal. Se forma así un precipitado de carbonato cálcico que conlleva la bajada del pH.

El tanque de encalado consiste en un depósito con agitación en el cual se introduce jugo que procede del preencalado y lechada.



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

En la tabla 12.3.3 se recogen las condiciones favorables del tanque de encalado.

<b>Tiempo de permanencia</b>	20 minutos
<b>Alcalinidad Final</b>	13 g CaO /L

**Tabla 12.3.3.** Condiciones favorables tanque encalado  
**Fuente:** Azucarera Ebro

### 12.3.3 Columnas de carbonatación

Una vez introducida la cantidad necesaria de agente depurante en las etapas anteriores y formado un precipitado de carbonato cálcico que ha absorbido todas las impurezas, se tiene que eliminar este precipitado. Para ello el jugo se introduce en las distintas columnas de carbonatación con dióxido de carbono. Se aprovecha la solubilidad del CO<sub>2</sub> con el carbonato cálcico, de esta manera se absorbe el precipitado y se extrae la sacarosa tal como se ha descrito en la presente Memoria Descriptiva **Capítulo 9.12.2.**

Para llevar a cabo este proceso se dispone de dos columnas de carbonatación en las cuales se adiciona dióxido de carbono, que se ponen en contacto con el jugo que procede del tanque de encalado.

### 12.3.4 Factores que afectan a las columnas de carbonataciones

Numerosos factores afectan a esta etapa del proceso: la densidad del jugo procedente del tanque de encalado, temperatura del jugo, regularidad en la entrada del gas, presión y pureza del gas, lavador de gases instalado en el horno, la presión que ejercen las bombas de gas y la densidad de la lechada de cal.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

En el presente Proyecto, la empresa **PUTSCH®**, líder en construir plantas azucareras completas, se encarga de construir la etapa de purificación al completo, preencalador, tanque encalado y las dos columnas de carbonatación a partir del diseño propuesto en el presente Proyecto.

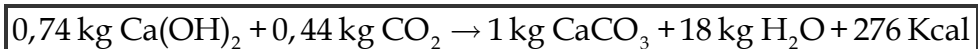
### **12.3.5 Absorción de gases**

La absorción de gases es una operación unitaria por la que los componentes solubles (absorbatos) de una mezcla gaseosa se disuelven en un líquido, la operación inversa se denomina desorción o desabsorción. Para conseguir el contacto íntimo entre las fases líquido y gas, se utiliza el mismo tipo de equipo que en la rectificación. Normalmente, las operaciones de absorción, desorción y rectificación se realizan en las llamadas torres de columnas, que son recipientes cilíndricos esbeltos, en posición vertical y en cuyo interior se incluyen los dispositivos como bandejas o lechos de relleno.

Generalmente, el gas y el líquido fluyen en contracorriente por el interior de la torre, cuyos dispositivos internos promueven el contacto entre las fases y el desarrollo de la superficie interfacial a través de la cual se producirá la transferencia de materia.

Los procesos de absorción se pueden dividir en dos grupos: con reacción química y sin reacción química. Muchos procesos implican sistemas en cuya fase líquida tienen lugar reacciones químicas. En general, tales reacciones químicas aumentan la velocidad de absorción y la capacidad de la fase líquida para disolver al soluto, si se comparan con sistemas con absorción físicas puras.

En el caso del presente Proyecto, se trata de un sistema de absorción con reacción química, en el cual se dará la siguiente reacción:



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 12.3.5.1 Tipos de torres de absorción

Existen dos tipos principales de torres de absorción, cada una de ellas presenta una serie de características.

PLATOS	RELLENO
<ul style="list-style-type: none"><li>-Admite un amplio rango de caudales</li><li>- Mayor certeza del término Eficacia de plato</li><li>- Para caudales de gas elevado</li><li>- Contacto intermitente de líquido y gas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- No está indicada para operar con caudales bajos.</li><li>-Poca fiabilidad del término Altura Equivalente de Plato Teórico</li><li>-Idóneo para servicios corrosivos</li><li>-Se aprecia menos el arrastre de líquido</li><li>- Más apropiado para operaciones con sistemas propensos a la formación de espumas.</li><li>-Menores caídas de presión</li><li>- Más conveniente para trabajar a vacío</li></ul>

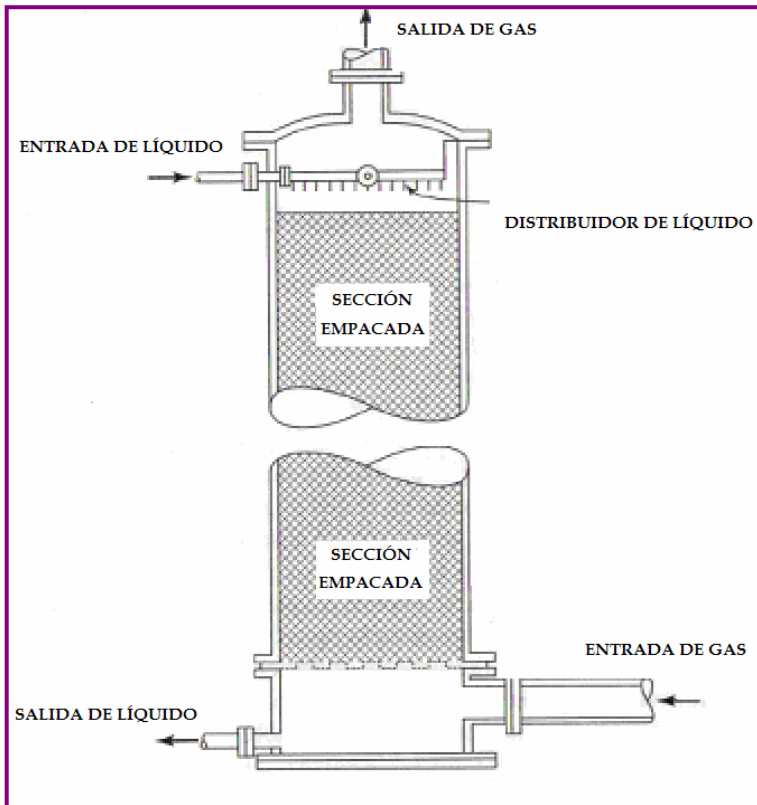
#### 12.3.4. Ventajas e inconvenientes de las torres de absorción

**Fuente.** Perry, 7 ed

En el presente Proyecto, se diseñará la columna con relleno, puesto que el sistema con el que operará la unidad es propenso a la formación de espumas, además el sistema es muy corrosivo en cuanto a la cal que contiene el jugo.

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## 12.3.5.2 Columnas de relleno



Una columna de relleno consiste en una columna cilíndrica o torre equipada con: una entrada de gas y un espacio de distribución en la parte inferior, una entrada de líquido y un distribuidor en la parte superior; y salidas de gas y líquido por la parte superior e inferior respectivamente.

**Figura 12.3.5.** Esquema general torres empacadas  
**Fuente.** Mc Cabe, 7 ed

El líquido entrante, ya sea puro o una solución diluida del soluto con el solvente, en la planta objeto de estudio, (jugo de difusión con exceso de lechada de cal) se introduce por la parte superior mediante un distribuidor y, en la operación ideal, moja de manera uniforme el empaque. En la figura anterior, el distribuidor que se presenta es una placa perforada con tubos instalados en cada perforación. En torres grandes son más comunes las boquillas rociadoras o los platos distribuidores con un vertedero de desbordamiento. Para torres muy grandes de aproximadamente 9 metros, existe un plato distribuidor con tubos goteadores individuales.

El "gas rico" entra en el espacio de distribución por la parte inferior de la torre y asciende por los intersticios del empaque en contracorriente con el flujo del líquido, favoreciendo así un contacto íntimo entre las fases. El soluto

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

contenido en el líquido es absorbido por el “gas rico” y abandona la torre por la parte superior, este gas se denomina ahora “gas pobre”. El líquido, por el contrario, se enriquece en soluto y abandona la torre por la parte inferior.

El principal requisito de la absorción de gases es conseguir un contacto íntimo del gas y el líquido y, sobre todo, en torres grandes. De manera ideal, el líquido, una vez distribuido en la parte superior del empaque, fluye en forma de película delgada sobre la superficie del mismo durante todo el recorrido de descenso a través de la torre. En la realidad, las películas tienden a aumentar de espesor en algunos lugares y disminuir en otros. De esta forma el líquido se agrupa en pequeñas corrientes y fluye a lo largo de trayectorias localizadas a través del empaque. Cuando se registran bajas velocidades de líquido, una buena parte de la superficie del empaque puede estar seca o, con más frecuencia, recubierta por una película estacionaria de líquido. Este efecto se conoce con el nombre de “canalización” y es la principal razón del mal funcionamiento de las grandes torres empacadas.

La canalización sucede a menudo en torres con empaque ordenado, por ello, casi no se utilizan. Sin embargo, ocurre menos en empaques aleatorios, como es el caso del presente Proyecto. En torres de tamaño moderado, la canalización se minimiza si el diámetro de la torre es al menos ocho veces el diámetro del empaque. Si esta relación es menor, el líquido tiende a desplazarse hacia afuera del empaque y descender por la pared de la columna. En torres grandes, la distribución inicial es especialmente importante. Pero, aun con una adecuada distribución inicial, se incluyen redistribuidores para el líquido cada 5 o 10 metros de torres, sobre todo, inmediatamente encima de la sección empacada. La mejora en la distribución del líquido ha hecho posible el uso efectivo de las torres empacadas con diámetros de 9 metros.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 12.3.5.3 Tipos de rellenos

Los distintos empaques de las torres de relleno se dividen en tres clases: los que son cargados de forma aleatoria en la torre, los que son colocados a mano y empaques ordenados o estructurados.

Los empaques aleatorios consisten en unidades de 6 a 75 mm (1/4 a 3 in) en su dimensión mayor. Los empaques inferiores a 25 mm se utilizan principalmente en columnas de laboratorio o plantas pilotos. Las unidades de empaque ordenado son de tamaños comprendidos entre 50 a 200 mm (2 a 8 in).

La mayoría de los empaques aleatorios de las torres se construyen con materiales baratos e inertes tales como: arcilla, porcelana o diferentes plásticos. A veces se utilizan anillos metálicos de pared delgada de acero o aluminio. En la figura 12.3.6 se ilustran empaques comunes:



Hélices



Anillos Pall



Sillas Berl



Sillas Intalox



Anillos Raschig



Anillos de vidrio



Anillos Fenske

**Figura 12.3.6.** Tipos de empaques  
Fuente. Página web

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El aspecto clave en el diseño de una columna de relleno, además del contacto íntimo entre el gas y el líquido, es la elección del material de relleno, que debe proporcionar un contacto eficaz entre las fases sin producir excesiva pérdida de carga. Se dispone de numerosos rellenos comerciales, cada uno de los cuales presenta ventajas específicas en coste, desarrollo superficial, regeneración de interfase, pérdida de carga y resistencia a la corrosión. Las distintas ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos de relleno se muestran en la **tabla 12.3.7**

	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<b>A Azar</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caída de presión moderada</li> <li>2. Escaso arrastre</li> <li>3. Puede fabricarse con materiales resistentes a la corrosión</li> <li>4. Relación precio/volumen moderada</li> <li>5. Adecuado para servicios con espumas</li> <li>6. Fácil de instalar y desmontar.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Baja eficiencia</li> <li>2. Presenta, en algunos casos, mezclado axial</li> </ol>
<b>Estructurado</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Baja caída de presión</li> <li>2. Elevada capacidad de vapor</li> <li>3. Elevada eficiencia</li> <li>4. Poco arrastre</li> <li>5. Adecuado para servicios con espumas</li> <li>6. Instalación rápida</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sensible a la corrosión</li> <li>2. Elevada relación precio/volumen</li> <li>3. Baja resistencia mecánica</li> <li>4. Elevada mezcla axial, en algunos casos</li> <li>5. Inhabilitado para la inspección</li> <li>6. Desmontaje complicado</li> </ol>
<b>Rejilla</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Baja caída de presión</li> <li>2. Gran resistencia al ensuciamiento</li> <li>3. Elevada capacidad para el líquido y el vapor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Muy baja eficiencia</li> </ol>

**Tabla 12.3.7.** Ventajas e inconvenientes de los tipos de relleno

**Fuente.** Perry, 7 ed.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 12.3.5.4 Aspectos de diseño de las columnas de absorción.

El diseño de una columna de absorción implica tres etapas principales:

- 1) Determinación del disolvente. En el presente Proyecto, el disolvente empleado será  $\text{CO}_2$ , debido a la solubilidad de éste con el carbonato cálcico del jugo. Además, a partir del horno de cal se obtiene las dos materias primas necesarias para la depuración calcocarbónica,  $\text{CaO}$  y  $\text{CO}_2$ , disminuyendo los costes de la planta.
- 2) Determinación del diámetro de la columna. El cálculo de la sección de la columna, y por tanto del diámetro de la misma, se determina para el punto de inundación. Para calcular el diámetro de la torre se recurre a la Correlación de Eckert- Leva modificada por Stringle, un método gráfico que permite conocer el área transversal de la torre y por tanto, su diámetro. La correlación generalizada de condiciones de inundación frente a pérdidas de carga, de Eckert modificada por Stringle se muestra en el **Anexo VII. Tabla 22.**
- 3) Determinación de la altura necesaria para la zona de contacto. Esta determinación implica el cálculo de parámetros de transferencia de materia, como las alturas de las unidades de transferencia y las eficacias de piso, así como los parámetros de equilibrio o de velocidad de transferencia. Para llevar a cabo el cálculo de la altura de la torre se considera un elemento diferencial de volumen de la misma, a la que se aplica un balance de materia. Se considera la columna de relleno de sección transversal (S) y el volumen diferencial en la altura dZ (SdZ). Si se considera que el cambio en la velocidad del flujo molar V es despreciable, la cantidad absorbida en la sección dZ es  $-Vdy$ , que es igual a la velocidad de absorción multiplicada por el volumen diferencial, tal como se muestra en la **figura 12.3.8.**

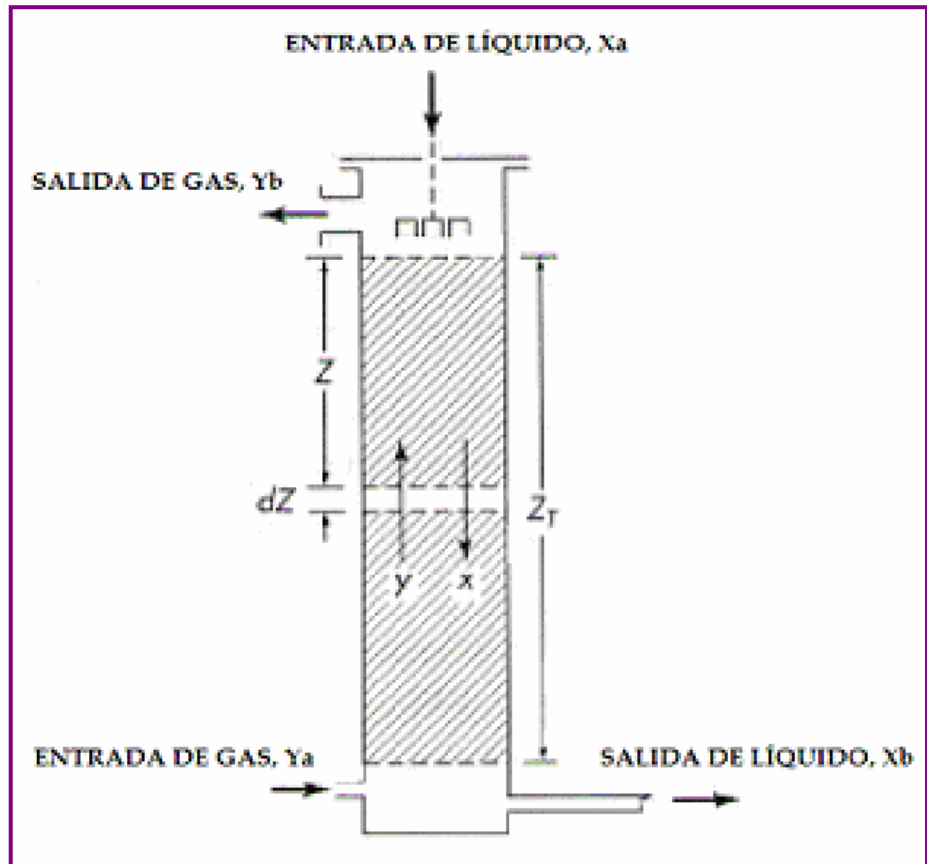


Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Figura 12.3.8.**

Elemento diferencial de volumen en torres de absorción.

**Fuente.** Mc Cabe, 7 ed



$$-Vx \cdot dy = K_y \cdot a(y-y^*) \cdot SdZ \quad (\text{M.12.3.1})$$

Esta ecuación se reordena para su integración, agrupando los factores constantes con  $dZ$  e invirtiendo los límites de integración para eliminar el signo negativo. La parte derecha de la ecuación puede integrarse directamente en algunos casos o determinarse de forma numérica.

→ Números de unidades de transferencia. La ecuación para la altura de la columna se escribe de la manera siguiente. La integral en la ecuación representa el cambio de concentración el vapor dividido entre la fuerza impulsora promedio y se llama número de unidades de transferencia (NUT). La otra parte de la ecuación tiene unidades de longitud y se llama altura de la unidad de transferencia (HTU). Luego:

$$Z_t = \text{HTU} \cdot \text{NUT} \quad (\text{M.12.3.2})$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El número de unidades de transferencia es similar al número de etapas ideales. El número de unidades de transferencia de la fase líquida no es el mismo que el número de unidades de transferencia de la fase gaseosa, a menudo se eligen los coeficientes de la fase gaseosa. La ecuación de diseño para el cálculo del número de unidades de transferencia es: [Mc Cabe, 7 ed].

$$NUT = Y_1 - Y_2 + \ln \frac{Y_1}{Y_2} \quad (\text{M.12.3.3})$$

Donde:  $Y = \frac{y}{1-y}$  (M.12.3.4)

Los coeficientes implicados en las expresiones anteriores hacen referencia a la fase gaseosa y su significado es:

- NUT: número de unidades de transferencia
- Y: Razón molar del soluto en el gas
- y: fracción molar del soluto en el gas
- 1: Corriente gaseosa a la entrada
- 2: Corriente gaseosa a la salida.

→ Altura de la unidad de transferencia

La altura global de una unidad de transferencia se define como la altura de una sección empacada que se requiere para conseguir un cambio de concentración igual a la fuerza impulsora promedio existente en la sección.

La ecuación de diseño para el cálculo de la altura de la unidad de transferencia viene dada por:

$$AUT = \frac{\left(\frac{G'}{S}\right)}{Kg \cdot a} \quad (\text{M.12.3.5})$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Donde;

- AUT: altura de la unida de transferencia (m)
- G': caudal molar de inerte en la fase gaseosa (mol/h)
- S: sección de la columna de relleno (m<sup>2</sup>)
- Kga: coeficiente global de transferencia de materia (mol/m<sup>3</sup>h).

→ Fondo superior e inferior. La torre de absorción estará provista de un fondo superior y un fondo inferior de tipo toriesférico, que son las más utilizadas industrialmente. Dentro de las tapa toriesféricas, las de mayor aceptación son las de tipo Klopper y las de tipo Korbbogen. Dependerá de las condiciones de operación, siendo las de tipo Korbbogen las más adecuadas para procesos con:

- Presión de diseño superior a 3 kg/cm<sup>2</sup>
- Temperatura de diseño superior a 350° C
- Recipientes verticales con relación altura/diámetro superior a 10.

En el presente Proyecto las tapas más adecuadas serán las de tipo Klopper puesto que no se cumple ninguna de las tres condiciones anteriores.

→ Aislamiento térmico de la columna. El material aislante seleccionado es la fibra de vidrio en formato colcha. Este material se caracteriza por su baja conductividad térmica y ligereza; además, es fácil de cortar y manejar, tiene alta resistencia al fuego y posee un precio bastante asequible. El acabado consiste en una lámina de aluminio de pequeño espesor.

→ Código de construcción. El código por el que se regirá la construcción de la columna de absorción será el Reglamento de recipientes a Presión.

A continuación se resumen los aspectos de diseños más importantes para el cálculo y construcción de la torre de absorción.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<b>Tipo de flujo</b>	Contracorriente
<b>Modo de alimentación</b>	Continuo
<b>Forma de relleno</b>	Relleno al azar
<b>Tipo de relleno</b>	Anillos Rashing
<b>Material del relleno</b>	Cerámica
<b>Tamaño de relleno</b>	Tamaño intermedio, 25 mm
<b>Material de construcción</b>	Acero inoxidable 304
<b>Material de aislamiento</b>	Colcha fibra de vidrio
<b>Material de acabado</b>	Lámina de aluminio
<b>Fondos superior e inferior</b>	
<b>Tipo</b>	Klopper
<b>Forma</b>	Toriesférico
<b>Datos del diseño</b>	
<b>Temperatura de jugo</b>	80-90 ° C
<b>Brix salida jugo</b>	19-20
<b>Temperatura del CO<sub>2</sub></b>	20-25 ° C
<b>Presión en la columna (atm)</b>	1,691
<b>Lechada</b>	Exenta de Sílice
<b>CO<sub>2</sub></b>	Sin partículas sólidas

**Tabla 12.3.9.** Aspectos de diseño de la columna de carbonatación  
**Fuente.** Mc, Cabe, 7 ed, Azucarera Ebro

### 12.3.5.5 Principales problemas de la columna de absorción.

El principal problema que existirá en la columna será la formación de espumas. El flujo turbulento del líquido dentro del proceso genera la formación de espumas. Esta formación de espuma en las etapas de equilibrio tiende a modificar el coeficiente de transferencia de materia entre la fase gas y la fase líquida. Para solventar este inconveniente se puede recurrir al uso de un

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

antiespumante, con el inconveniente de la posibilidad de obstrucción en los sistemas de filtración a largo plazo.

Usualmente la presencia de espuma en el absorbedor puede determinarse fácilmente cuando la caída de presión se dispara. Sin embargo, no genera cambios de presión a lo largo de la columna, tan sólo afecta a los mecanismos de reacción, sobre todo en aquellas etapas que tienen lugar en la fase gas. Para disminuir el problema se puede buscar soluciones en la base de la naturaleza superficial de este fenómeno, en lugar de recurrir al uso de antiespumantes, o también disminuir el caudal de líquido para no favorecer el flujo turbulento.

### 12.3.6 Datos obtenidos en la etapa de purificación

Un resumen de los datos obtenidos en la etapa de purificación son los siguientes [Véase **Anexo I**]

CaO (kg/h)	220
CO <sub>2</sub> (kg/h)	177
ESPUMAS, E (kg/h)	770
JUGO ANTEEVAPORACIÓN, C (kg/h)	16.806

## 12.4 Etapa de Evaporación

Como ya se ha comentado en la presente Memoria Descriptiva (**Capítulo 9.13**), la etapa de evaporación consiste en concentrar el jugo ya depurado y descalcificado. Para ello se vaporiza la mayor parte del agua que contiene este jugo utilizando como medio calefactor vapor procedente de las calderas. Tras esta etapa, el jugo pasa de un Brix de aproximadamente 15-20 un Brix de 62-65.

El jugo descalcificado es bombeado al depósito de anteevaporación (tanque 03). Antes de la entrada a la evaporación, el jugo pasa por un

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

intercambiador de calor en el cual se aumenta su temperatura de 80-90 °C a 125 - 130 °C.

### **12.4.1 Proceso de evaporación**

El objetivo de la evaporación reside en concentrar una solución consistente en un soluto no volátil y un solvente volátil. En la mayoría de las evaporaciones el solvente es el agua. La evaporación se realiza vaporizando una parte del solvente para producir una solución concentrada de licor espeso. La evaporación difiere del secado en que el residuo es un líquido, a veces altamente viscoso, como es el caso del jugo de la planta proyectada; difiere de la destilación en que el vapor es generalmente un solo componente y, aun cuando el vapor sea una mezcla, en la evaporación no se intenta separar el vapor en fracciones; difiere de la cristalización en que su interés reside en concentrar una solución y no concentrar cristales. En la evaporación, por lo general, el producto valioso es el licor concentrado, mientras que el vapor se condensa y se desecha o vuelve a las calderas para el posterior calentamiento y puesta de nuevo en el proceso.

#### **12.4.1.1 Características del líquido**

A continuación se comentan algunas de las propiedades más importantes de los líquidos que se evaporan.

- ❖ **Concentración.** Aunque una solución de alimentación que entra como licor a un evaporador puede estar suficientemente diluida teniendo muchas de las propiedades físicas del agua. La densidad y la viscosidad aumentan con el contenido de sólidos hasta que la solución se transforma en saturada o el licor se vuelve demasiado viscoso para una transferencia de calor adecuada. La ebullición continuada de una solución saturada da lugar a la formación de cristales, que es preciso separar, pues de lo

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

contrario los tubos se obstruyen. La temperatura de ebullición de la solución puede también aumentar en forma considerable el contenido de sólidos, de modo que la temperatura de ebullición de una solución concentrada puede ser mucho mayor que la del agua a la misma presión.

- ❖ **Formación de espumas.** Algunos materiales, en especial las sustancias orgánicas, forman espumas durante la vaporización. Una espuma estable acompaña al vapor que sale del evaporador causando un fuerte arrastre.
- ❖ **Sensibilidad a la temperatura.** Muchos productos químicos, productos farmacéuticos y alimentos se deterioran cuando se calientan a temperaturas moderadas durante tiempos relativamente cortos. En la concentración de productos se necesitan técnicas especiales para reducir tanto la temperatura del líquido como el tiempo de calentamiento.
- ❖ **Incrustaciones.** Algunas soluciones depositan costras sobre la superficie de calentamiento. En estos casos, el coeficiente global disminuye progresivamente hasta que llega un momento en que es preciso interrumpir la operación del evaporador y limpiar los tubos.
- ❖ **Materiales de construcción.** Siempre que es posible, los evaporadores se construyen con algún tipo de acero. Sin embargo, muchas soluciones atacan a los metales ferrosos y se produce contaminación. En estos casos se utilizan materiales especiales tales como cobre, níquel, acero inoxidable, aluminio, grafito y plomo. Debido a que los materiales son caros, resulta especialmente deseable obtener elevadas velocidades de transferencia de calor con el fin de minimizar los costos del equipo. El diseñador de un evaporador debe tener en cuenta muchas otras características del líquido. Algunas de ellas son el calor específico, el calor de concentración, la temperatura de congelación, la liberación del gas durante la ebullición, la toxicidad, los peligros de explosión, la radiactividad y la necesidad de operación estéril. Debido a la gran

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

variedad de propiedades de soluciones, se han desarrollado diferentes tipos de evaporadores. La elección para el caso de un problema específico depende esencialmente de las características del líquido.

### 12.4.1.2 Operación de simple y múltiple efecto

La mayoría de los evaporadores se calientan con un vapor de agua que condensa sobre tubos metálicos. Generalmente el vapor es de baja presión, inferior a 3 atm absolutas, y con frecuencia el líquido que hierve se encuentra a un vacío moderado, con presión tan baja hasta 0.05 atm absolutas. Al reducir la temperatura entre el vapor y el líquido en ebullición aumenta la velocidad de transferencia de calor en el evaporador.

Cuando se utiliza un solo evaporador, el vapor procedente del líquido en ebullición se condensa y se desecha. Este método recibe el nombre de *evaporación simple*. Si el vapor procedente de uno de los evaporadores se introduce como alimentación en el elemento calefactor de un segundo evaporador, y el vapor procedente de éste se envía al condensador, la operación recibe el nombre de *evaporación de doble efecto*. Es posible añadir efectos de la misma forma.

La mayoría de industrias azucareras utilizan este tipo de evaporación debido a las cantidades de jugo a concentrar. Normalmente disponen de evaporaciones de 4 efectos, donde se sigue el método explicado. Sin embargo, en el caso de la planta proyectada, las cantidades de jugo a procesar son tales que la optimización entre los costes de varios evaporadores y la cantidad de vapor necesario exige la utilización de un solo evaporador.



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### **12.4.2 Tipos de evaporadores**

Los principales tipos de evaporadores tubulares calentados con vapor de agua que se utilizan actualmente son: evaporadores de tubos largos verticales (flujo ascendente, flujo descendente y circulación forzada) y evaporadores de película agitada.

#### **12.4.2.1 Evaporadores con un paso y de circulación**

En los evaporadores se puede operar con unidades de un paso o con unidades de circulación. En la operación con un paso, el líquido de alimentación pasa una sola vez a través de los tubos, libera el vapor y sale de la unidad como una solución concentrada. Toda la evaporación tiene lugar en un solo paso. La relación de evaporación a la alimentación está limitada en una unidad de un solo paso, por lo tanto, estos evaporadores se adaptan bien a la operación de múltiple efectos. Los evaporadores con un solo paso son especialmente útiles para materiales sensibles al calor. Al operar a vacío elevado es posible mantener baja la temperatura del líquido. Con un solo paso rápido a través de los tubos, la solución concentrada está a la temperatura de evaporación, pero solamente durante un corto periodo y puede enfriarse rápidamente en cuanto sale del evaporador.

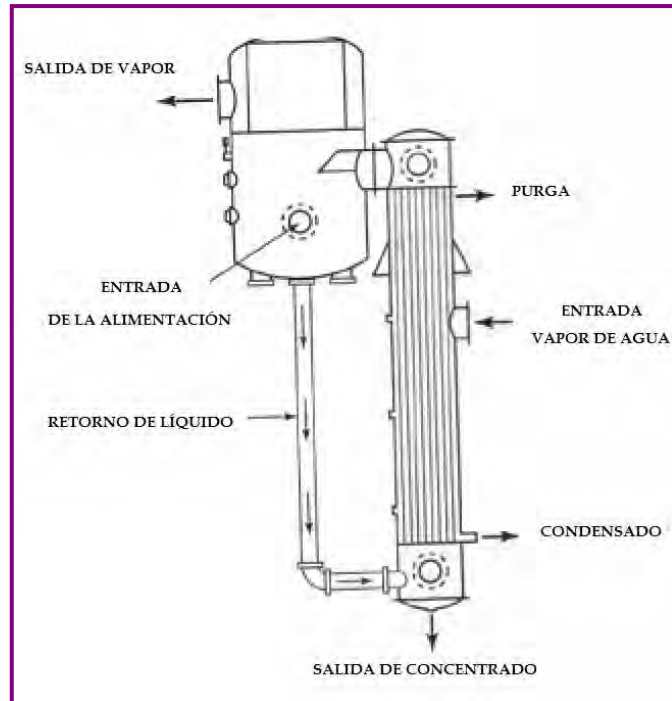
En los evaporadores de circulación se mantiene una masa de líquido dentro del equipo. La alimentación que entra se mezcla con la masa global de líquido y después pasa a través de los tubos. El líquido no evaporado descarga de los tubos y retorna al equipo, de forma que en cada paso solamente ocurre una parte de la evaporación total. Todos los evaporadores de circulación forzada operan en esta forma. Los evaporadores de película ascendente son generalmente unidades de circulación.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 12.4.2.2 Evaporadores de tubos largos con flujo ascendente

En la **figura 12.4.4**, se muestra un evaporador de tubos largo típico, con flujo ascendente de líquido.

**Fuente.** Mc Cabe, 7 ed



Las partes esenciales de este tipo de evaporador son:

- Intercambiador de calor tubular con vapor de agua en el lado de la coraza y el líquido que se desea concentrar en el interior de los tubos.
- Un separador o espacio de vapor para separar el líquido arrastrado por el vapor.
- Cuando opera como una unidad de circulación, existe un brazo de recirculación para el líquido desde el separador hasta el fondo del intercambiador. Existen entradas para el líquido de alimentación y el vapor de calentamiento y salidas para el vapor, la solución concentrada, el vapor condensado y los gases no condensables procedentes del vapor de calentamiento.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

La alimentación diluida entra al sistema y se mezcla con el líquido que retorna del separador; la solución concentrada es retirada por el fondo del calentador; el resto de la solución es parcialmente vaporizada conforme sube a través de los tubos. La mezcla de líquido y vapor fluye desde arriba de los tubos dentro del separador, donde su velocidad se reduce de forma considerable. Para ayudar a eliminar las gotas de líquido, el vapor golpea sobre ellas y entonces pasa alrededor de placas deflectoras colocadas antes de la salida del separador.

El evaporador que se muestra en la **figura 12.4.4**, sólo puede ser utilizado como una unidad de circulación. Los evaporadores de tubos largos verticales son especialmente efectivos para concentrar líquidos que tienden a formar espuma. La espuma se rompe cuando la mezcla de líquido y vapor de alta velocidad choca contra las paredes deflectoras de la carga de vapor. Los tubos son largos, tienen por lo general de 25 a 50 mm (1 o 2 in) de diámetro y de 3 a 10 m (10 a 32 ft) de longitud.

### 12.4.2.3 Evaporadores de película descendente

La concentración de materiales altamente sensibles al calor, tales como el jugo de naranja requieren un tiempo mínimo de exposición a una superficie caliente. Esto se consigue con evaporadores de película descendente de un solo paso, en los que el líquido entra por la parte superior, desciende por el interior de los tubos calentados por el vapor de agua, como una película y sale por el fondo. Los tubos son largos, de 20 a 250 mm (2 a 10 in) de diámetro.

El vapor procedente del líquido generalmente es arrastrado hacia abajo con el líquido y sale por el fondo de la unidad. Estos evaporadores parecen largos intercambiadores tubulares verticales con un separador de líquido y vapor en el fondo y un distribuidor de líquido en la parte superior.

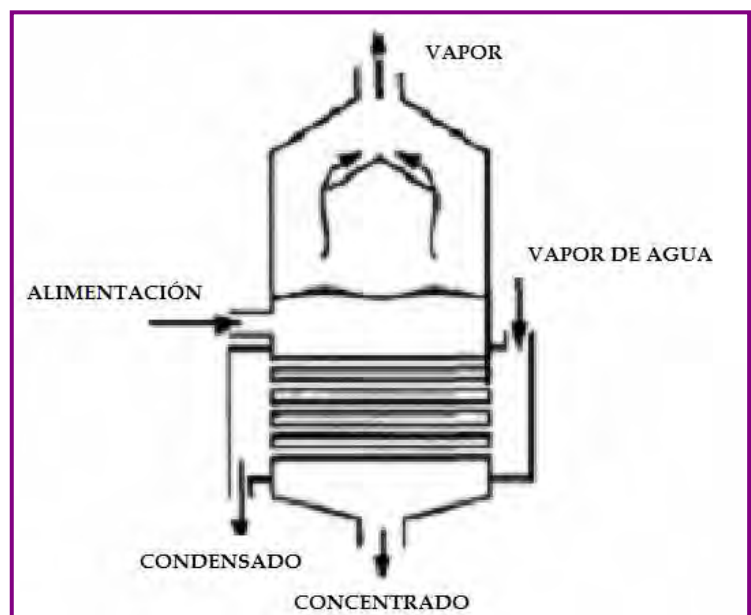
## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El principal problema de un evaporador de película descendente es la distribución uniforme del líquido como en forma de película dentro de los tubos. Esto se consigue mediante unas placas metálicas perforadas situadas sobre una placa tubular cuidadosamente nivelada, por medio de inserciones en los extremos de los tubos que generen un flujo uniforme en cada tubo, o mediante distribuidores del tipo *araña*, con brazos radiales que distribuyen con velocidad constante la alimentación sobre la superficie interior de cada tubo. Otra forma consiste en utilizar una boquilla individual de pulverización dentro de cada tubo.

Cuando es posible recircular sin dañar el líquido, la distribución de éste hacia los tubos se facilita por una recirculación moderada del mismo en la parte superior de los tubos. Esto proporciona un volumen de flujo a través de los tubos mayor que en una operación de no recirculación. Durante la operación, la cantidad de líquido se reduce constantemente en la medida en que éste fluye hacia abajo, pero una reducción muy grande puede llevar a secciones secas cerca del fondo del tubo. De este modo, la cantidad de concentración que se puede lograr en una pasada es limitada. Los evaporadores de película descendente, sin recirculación y cortos tiempos de permanencia, manipulan productos sensibles que no se pueden concentrar de otra manera. También se adaptan muy bien para la concentración de líquidos viscosos.

**Figura 12.4.5.** Evaporador tubos largos verticales, flujo descendente

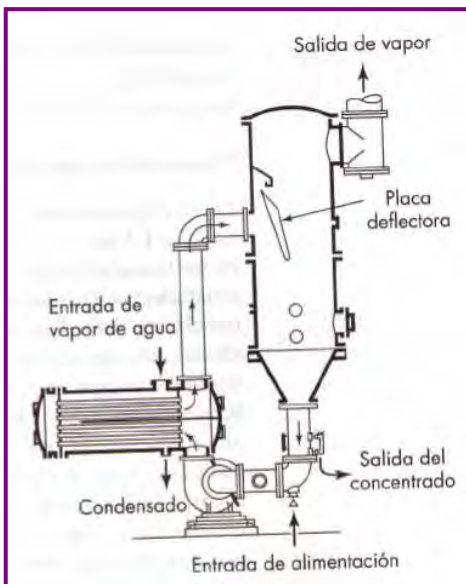
**Fuente.** Mc Cabe, 7 ed



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 12.4.2.4 Evaporadores de circulación forzada

En un evaporador de circulación natural, el líquido entra a los tubos a una velocidad de 0,3 a 1,2 m/s (1 a 4 ft/s). La velocidad lineal aumenta muy rápido al formarse vapor en los tubos, de forma que por lo general las velocidades de transferencia de calor son satisfactorias. Sin embargo, con líquidos viscosos, el coeficiente global en una unidad de circulación natural quizá será demasiado bajo desde el punto de vista económico. Coeficientes más elevados se obtienen en evaporadores de circulación forzada, como es el caso de la **figura 12.4.6** mostrada a continuación.



**Figura 12.4.6.**Evaporador de circulación forzada

**Fuente.** Mc Cabe, 7 ed

En este caso, la bomba centrífuga impulsa el líquido a través de los tubos entrando con una velocidad de 2 a 5,5 m/s (6-18 ft/s). Los tubos están sometidos a una carga estática suficiente para asegurar que no se produzca ebullición en los mismos. El líquido comienza a sobrecalentarse a medida que se reduce la carga estática con el flujo desde el calentador hasta el espacio de vapor, y se genera una mezcla de vapor-líquido pulverizado a la salida del intercambiador, justo antes de entrar en el cuerpo del evaporador. La mezcla de vapor y el líquido choca contra una placa deflectora en el espacio vapor. El líquido retorna a la entrada de la bomba, donde se mezcla con la alimentación

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

fresca; el vapor sale por la parte superior del cuerpo evaporador hacia el condensador, al siguiente efecto. La parte de líquido que abandona el separador se retira de forma continua como concentrado.

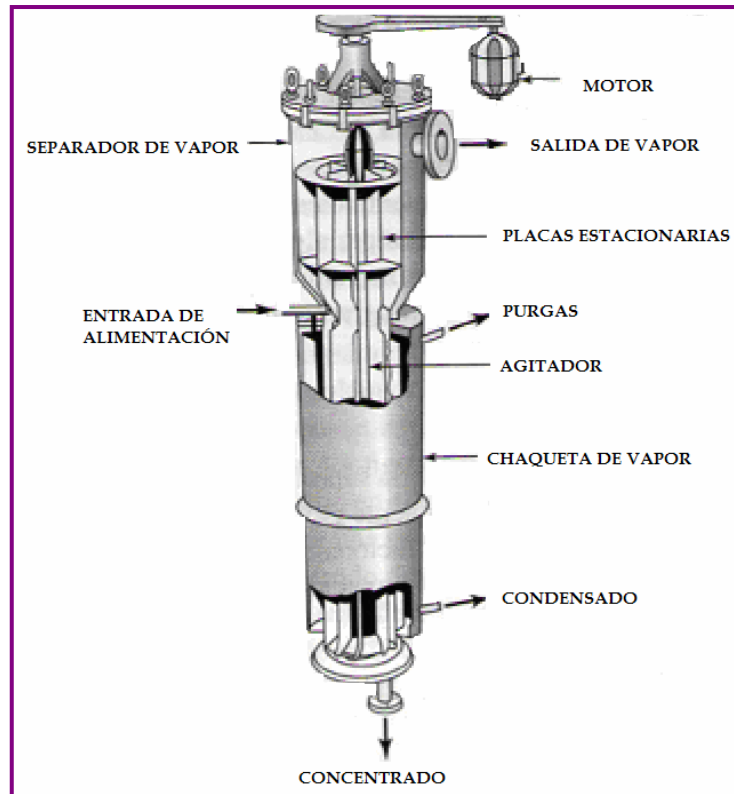
En la figura anterior, el intercambiador tiene tubos horizontales y es de dos pasos, tanto del lado de los tubos como del de la coraza. En otros diseños se utilizan intercambiadores verticales de un solo paso. En ambos casos, los coeficientes de transferencia de calor son elevados, especialmente con líquidos poco viscosos; pero los mejores resultados con respecto a la evaporación de circulación natural se producen con líquidos viscosos. En el caso de los líquidos pocos viscosos, la mejora que se obtiene con circulación forzada no compensa los costos adicionales de bombeo con respecto a la circulación natural; sin embargo, sí se compensa con líquidos viscosos, en especial, cuando hay que utilizar como materiales de construcción metales costosos.

Debido a las altas velocidades con las que opera un evaporador de circulación forzada, el tiempo de residencia del líquido en los tubos es corto (alrededor de 1 a 3 segundos), de forma que es posible concentrar líquidos moderadamente sensibles al calor. También son efectivos para concentrar soluciones salinas o que tienden a formar espumas.

### 12.4.2.5 Evaporadores de película agitada

La principal resistencia a la transferencia de calor global desde el vapor de agua que condensa hasta el líquido que hierve en un evaporador reside del lado del líquido. Una forma de reducir la resistencia, especialmente con líquidos viscosos, es por la agitación mecánica de película líquida, como en el evaporador mostrado en la **figura 12.4.7**

**Figura 12.4.7** Evaporador de película agitada  
**Fuente.** Mc Cabe, 7 ed



Este evaporador es de película descendente modificado con un solo tubo enchaquetado que contiene un agitador interno. La alimentación entra por la parte superior de la sección enchaquetada y se dispersa en forma de película altamente turbulenta mediante palas verticales del agitador. El concentrado sale por la parte inferior de la sección enchaquetada; el vapor asciende desde la zona de vaporización hasta un separador no enchaquetado cuyo diámetro es algo mayor que el tubo de la evaporación. En el separador, las palas del agitador proyectan hacia afuera el líquido arrastrado que choca contra unas placas verticales estacionarias. Las gotas coalescen sobre estas placas y retornan a la sección de evaporación mientras que el vapor exento de líquido sale a través de los orificios situados en la parte superior de la unidad.

La principal ventaja de un evaporador de película agitada es su capacidad para conseguir elevadas velocidades de transferencia de calor con líquidos viscosos. El producto llega a tener una viscosidad tan elevada como

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

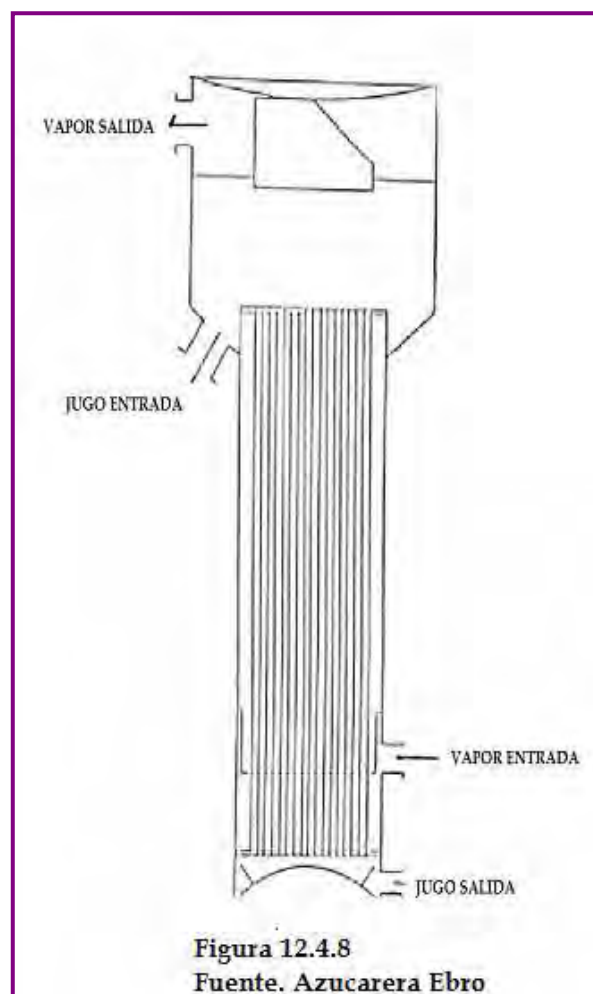
1000 poise a la temperatura de evaporación. Para líquidos moderadamente viscosos se estima el coeficiente. En otros evaporadores, el coeficiente global disminuye a medida que aumenta la viscosidad, pero en este diseño la disminución es lenta. Con materiales altamente viscosos, el coeficiente es apreciablemente mayor que en los evaporadores de circulación forzada y mucho mayor que en las unidades de circulación natural. El evaporador de película agitada es particularmente efectivo con materiales viscosos sensibles al calor tales como gelatina, látex de caucho, antibióticos y jugos de frutas. Sus desventajas son el elevado costo; las partes internas móviles que requieren un mantenimiento considerable; y la baja capacidad de cada unidad que muy inferior a la de los evaporadores multitubulares.

### 12.4.3 Tipos de evaporadores industriales

Los modelos de cajas evaporadoras que se utilizan en este tipo de industrias, son de dos tipos:

#### a) Cajas Robert

Consta de una cámara de vapor atravesada por un haz vertical tubular y una cámara llamada calandria. En servicio, el vapor de calentamiento condensa en el exterior de los tubos, mientras que en el interior de los mismos el jugo en ebullición se concentra. El paso de calor se verifica del vapor al jugo, dado que la temperatura de éste es superior a la del jugo.





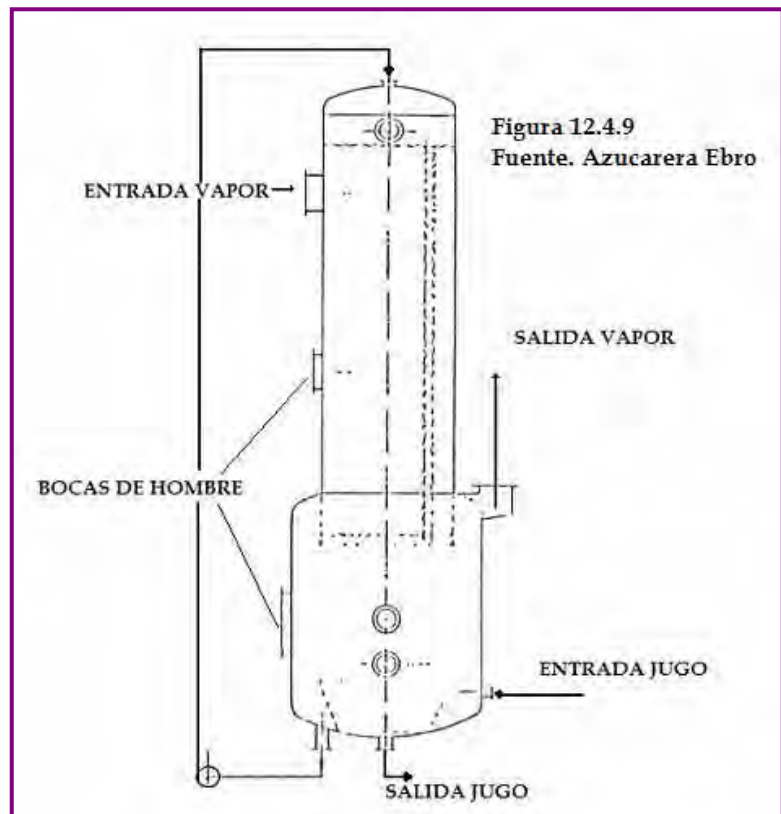
## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El jugo entra de forma continua en la parte inferior del aparato repartido uniformemente bajo la placa tubular, ascendiendo por el interior de los tubos bajo una emulsión de jugo-vapor.

Esta emulsión desemboca en la parte superior en una cámara llamada calandria donde se efectúa la separación del jugo concentrado y del vapor formado. El jugo cae finalmente sobre la placa superior y se recoge en un tubo central de gran diámetro, debajo del cuál se encuentra el orificio de salida. El vapor formado por la ebullición del jugo es evacuado por la cima de la calandria después de haber atravesado un sistema de recuperación de gotas de jugo. Por encima de la placa tubular inferior hay varios orificios para evacuar las aguas condensadas, que proceden del vapor de calentamiento, y confluyen en un colector común que desemboca en unos balones para su posterior utilización en fábrica, no objeto del presente Proyecto. La **figura 12.4.8** muestra esquemáticamente este tipo de cajas Robert.

### b) Cajas Fallstrom

Estas cajas pertenecen al grupo de evaporadores de flujo descendente. El jugo entra de forma continua en la cámara inferior y es bombeado a la parte superior de la caja para ser repartido uniformemente sobre la placa tubular superior. Posteriormente desciende rápidamente a lo largo de las paredes de los tubos con las burbujas de



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

vapor producidas por su evaporación. Jugo y vapor se separan en la cámara inferior; el jugo cae en el cono central donde se desborda y se envía junto con el jugo entrante a la cima del evaporador. La bomba de circulación debe de estar diseñada con el fin de poder asegurar un permanente mojado de las paredes del tubo. La evacuación de las aguas condensadas se realiza por la parte baja de la cámara de vapor. Éstas son conducidas a los balones para su posterior utilización en la fábrica, no siendo objeto del presente Proyecto. Estos evaporadores tienen un coeficiente de transmisión de calor superior al de los evaporadores de tipo Robert, especialmente a Brixes medios y altos, lo que permite reducir la superficie necesaria. En la **figura 12.4.9** se muestra esquemáticamente este tipo de caja.

En el presente Proyecto, la empresa GEA PHE SYSTEMS se encargará de la implantación del sistema de evaporación en su totalidad. Han trabajado para industrias con materia primas como la remolacha y son líderes en este tipo de sistemas. Además, se les proporcionará los datos necesarios para que el diseño se adapte a las necesidades de la planta proyectada, siendo el tipo evaporador de tubos largos verticales con flujo descendente, en caja tipo Robert, el utilizado.

### **12.4.4 Factores que influyen en la evaporación**

Multitud factores influyen en la etapa de la evaporación. Algunos de los más importantes se exponen a continuación:

❖ Condiciones de entrada del vapor de calefacción. Si este vapor no entra en las condiciones necesarias en la caja de evaporación, la temperatura dentro de la caja no es la suficiente para producir la concentración del jugo. Estos valores son aproximadamente:

- $P = 2,5 \text{ Kg/cm}^2$
- $T = 125- 130 \text{ }^\circ \text{C}$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- ❖ Temperatura de entrada de jugo. Del mismo modo que en el apartado anterior, la temperatura de entrada del jugo no debe sobrepasar la temperatura de entrada del vapor de calefacción. Se producirán pérdidas de sacarosa por inversión y caramelización produciendo obstrucciones en los tubos de la caja evaporadora, con el consiguiente coste de mantenimiento y pérdidas debido a la disminución progresiva del coeficiente global de transferencia de calor. Por este motivo el jugo debe ser recalentado a su salida del tanque pulmón (TAN-03), para su correcto acondicionamiento a la entrada del evaporador.
  
- ❖ Flujo continuo de vapor de calefacción. Para ello se dispone de una caldera que atiende a las condiciones de vapor necesarias para la concentración del jugo, como ya se ha comentado en el **apartado 9.14.**
  
- ❖ Formación de espumas. Debido a la naturaleza del jugo y al flujo turbulento, se crean espumas dentro del evaporador, generando una pérdida en la concentración de jugo.

### **12.4.5 Condiciones óptimas de la evaporación**

En la caja de evaporación presente en la planta proyectada, las condiciones de jugo y vapor se muestran en la tabla inferior, **12.4.10.**

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

DATOS DEL EVAPORADOR	
Tipo de operación	Simple efecto
Tipo de evaporador	Evaporador de tubos largos verticales
Circulación del vapor	Interior tubos
Circulación del jugo	Exterior tubos
VAPOR	
Presión entrada (kg/cm <sup>2</sup> )	2,5
Temperatura entrada (° C)	126,8
JUGO ANTEEVAPORACIÓN	
Brix	17,5
Temperatura (°C)	125
JARABE SALIDA	
Brix	62-65

**Tabla 12.4.10.** Datos de diseño de evaporador  
**Fuente.** Azucarera Ebro, Mc Cabe, 7ed.

De esta manera se consigue obtener un jarabe de salida con alto contenido en sacarosa que es lo que se busca con el diseño del presente Proyecto.

### 12.4.6 Aspecto de diseño de los evaporadores tubulares

Las principales características de funcionamiento de un evaporador tubular, calentado con vapor de agua, son la capacidad y la economía. La *capacidad* se define como el número de kilogramos de agua vaporizada por hora y la *economía* como el número de kilogramos vaporizados por kilogramo de vapor de calentamiento que entra en la unidad. En un evaporador de simple efecto la economía es algo menor que 1, pero en los evaporadores de múltiple efecto se considera mayor. También es importante tener en cuenta el consumo de vapor de calentamiento, en kilogramos por hora, que es igual a la capacidad dividida entre la economía.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 12.4.6.1 Capacidad de un evaporador tubular

La velocidad de transferencia de calor,  $q$ , a través de la superficie de calentamiento de un evaporador y de acuerdo con la definición de coeficiente global de transferencia de calor, es el producto de tres factores:

- a) El área de la superficie de transferencia de calor,  $A$
- b) El coeficiente global de transferencia de calor,  $U$
- c) La caída global de la temperatura  $\Delta T$

O bien:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{M.12.4.1})$$

Si la alimentación que entra en el evaporador está a la temperatura de ebullición correspondiente a la presión absoluta existente en el espacio vapor, todo el calor transferido a través de la superficie de calentamiento es utilizado en la evaporación y la capacidad es proporcional a  $q$ . Si la alimentación está fría, el calor que se requiere para calentarla hasta su temperatura de ebullición tal vez será considerable y, en consecuencia, se reduce la capacidad para un valor dado de  $q$ , toda vez que el calor utilizado para calentar la alimentación no está disponible para la evaporación. Por el contrario, si la alimentación está a una temperatura superior a la de ebullición en el espacio vapor, una parte de la alimentación se evapora en forma espontánea mediante equilibrio adiabático. Con la presión del espacio de vapor, y la capacidad será superior a la correspondiente a  $q$ . Este proceso recibe el nombre de *evaporación instantánea*.

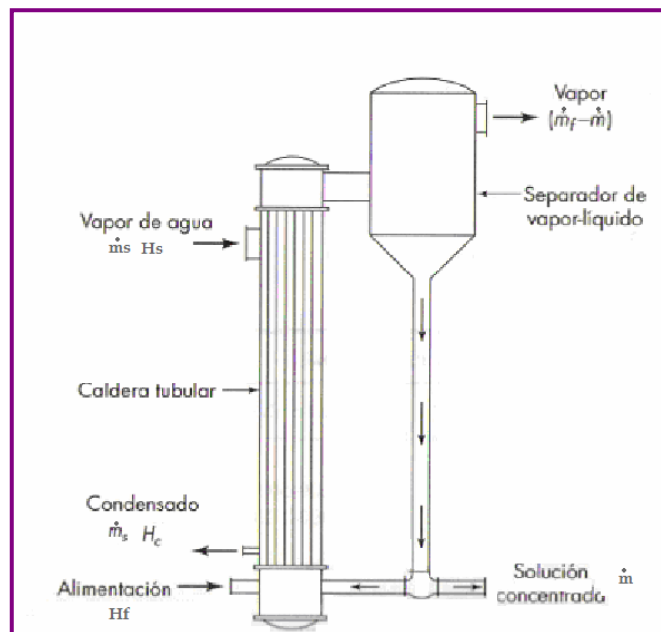
La caída real de temperatura a través de la superficie de calentamiento depende de la solución que se evapora, de la diferencia de presión entre la cámara de vapor y el espacio de vapor situado encima del líquido en ebullición, así como la altura del líquido sobre la superficie de calentamiento. En algunos evaporadores, la velocidad del líquido en los tubos también influye sobre la

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

caída de temperatura debido a que la pérdida por fricción en los tubos aumenta la presión efectiva del líquido. Cuando la solución tiene las características del agua pura, su temperatura de ebullición se obtiene a partir de las tablas del vapor si se conoce la presión, así como también la temperatura de condensación del vapor.

### 12.4.6.2 Balances de entalpía para un evaporador de simple efecto

En un evaporador de simple efecto, el calor latente de condensación del vapor es transferido a través de una superficie de calentamiento para vaporizar agua de una solución en ebullición. Se necesitan dos balances de entalpía, uno para el vapor de agua y otro para el lado del líquido. La figura 12.4.11 inferior muestra esquemáticamente un evaporador de tubos verticales de simple efecto.



**Figura 12.4.11.** Balance esquemático a un evaporador de simple efecto  
**Fuente.** Mc Cabe 7 ed

La velocidad de flujo del vapor y del condensado es  $m_s$ , la de la solución diluida o alimentación es  $m_f$  y la del líquido concentrado es  $m$ . La velocidad del flujo de vapor hacia el condensador, suponiendo que no precipitan sólidos del licor, es  $m_f - m$ . Por otra parte,  $T_s$  es la temperatura de condensación del vapor de

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

agua,  $T$  la temperatura de ebullición del líquido en el evaporador y  $T_f$  la temperatura de la alimentación.

Se supone que no hay fugas o arrastre, que el flujo de los no condensables es despreciable, y no se considerarán las pérdidas de calor del evaporador. La corriente de vapor de agua entre en la cámara de condensación puede ser sobrecalentado el condensado generalmente abandona la cámara de condensación algo subenfriado por debajo de su temperatura de ebullición. Sin embargo, tanto sobrecalentamiento del vapor de agua como el subenfriamiento del condensado son pequeños y resulta aceptable despreciarlos al aplicar un balance de entalpía. Los pequeños errores que se cometen al despreciarlos se compensa al no tener en cuenta las pérdidas de calor desde la cámara de vapor.

Con estas suposiciones, la diferencia entre la entalpía del vapor de agua y la del condensado es simplemente  $\lambda_s$ , el calor latente de condensación del vapor de agua. El balance de entalpía para el lado del vapor es:

$$Q_s = m_s (H_s - H_c) = m_s \cdot \lambda_s \quad (\text{M.12.4.2})$$

Donde;

- $Q_s$  = velocidad de transferencia de calor a través de la superficie de calentamiento desde el vapor de agua, kcal/h
- $H_s$  = entalpía específica del vapor de agua, kcal/kg
- $H_c$  = entalpía específica del vapor condensado, kcal/kg
- $\lambda_s$  = Calor latente de condensación del vapor de agua, kcal/kg
- $m_s$  = velocidad de flujo del vapor de agua, kg/h

El balance de entalpía del lado del licor es

$$Q = (m_f - m) \cdot H_v - m_f \cdot H_f + m \cdot H \quad (\text{M.12.4.3})$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Donde;

- $Q$  = velocidad de la transferencia de calor desde la superficie de calentamiento hacia el líquido, kcal/h
- $m$  = velocidad de flujo de la solución concentrada, kg/h
- $m_f$  = velocidad de flujo de la alimentación del evaporador, kg/h
- $H_v$  = Entalpía específica del condensado, kcal/kg
- $H$  = Entalpía específica de la solución concentrada, kcal/kg
- $H_f$  = entalpía específica de la alimentación , kcal/kg

En ausencia de pérdidas de calor, el calor transferido desde el vapor de calentamiento hacia los tubos es igual al transferido desde los tubos hacia el licor y, por tanto  $Q_s = Q$ . Así, combinando las ecuaciones **M.12.4.2** y **M.12.4.3** se tiene:

$$Q = m_s \lambda_s = (m_f - m) H_v - m_f H_f + m H \quad (\text{M.12.4.4})$$

Las entalpías del lado de la solución  $H_v$ ,  $H_f$  y  $H$  dependen de las características de la solución que se concentra. La mayor parte de las soluciones cuando se mezclan o se diluyen a temperatura constante no producen un gran efecto térmico. Esto se cumple para soluciones de sustancias inorgánicas. Así, el azúcar, la sal común y las soluciones de fábricas de papel no poseen calores de solución o de mezcla apreciables. Por otra parte, el ácido sulfúrico, el dióxido de carbono y el cloruro de calcio, especialmente en soluciones concentradas, desarrollan una cantidad de calor considerable y no puede ser despreciado.



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 12.4.7 Datos obtenidos de diseño de la etapa de evaporación

Los datos obtenidos de la etapa de evaporación son los siguientes:

W (kg/h)	B (kg/h)	H <sub>b</sub> (kcal/kg)	X <sub>s</sub> ) <sub>B</sub>	X <sub>ns</sub> ) <sub>B</sub>	Brix
14.170	3.688	58,47	64,2	5,8	70

El área de transferencia de calor es de aproximadamente:

$$A = 2.160,892 \text{ m}^2$$

### 12.5 Destino final de los residuos de la planta

Los residuos generados en la planta diseño de estudio serían:

- ❖ Por una parte los procedentes de la etapa de acondicionamiento de la remolacha. En esta etapa se puede encontrar *hierbas, raicillas*, etc. Estos residuos, perfectamente acondicionados, pueden venderse a las ganaderías como alimento de ganado. El *agua* procedente del lavado de la remolacha se decanta y se utiliza nuevamente en el transporte de la remolacha al canal de limpieza, tal como se ha explicado en la presente Memoria Descriptiva. Los *lodos* que se generan por el lavado de la remolacha pueden ser vertidos al colector de la red y enviados a una EDAR pública.
- ❖ Por otro lado, los residuos procedentes de la etapa de difusión son las *cosetas agotadas* (pulpas). Las pulpas pueden tratarse para obtener unos gránulos de pulpa secada y prensada, *pellets*, con alto contenido orgánico. Los pellets sirven como alimento de ganado vacuno debido al alto contenido de materia seca que contienen.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- ❖ En la etapa de purificación los residuos que se obtienen son las *espumas*. Estos residuos contienen grandes cantidades de carbonato cálcico, aditivo perfecto en fábricas de cemento para su fabricación. Por otro lado, también existen emisiones de CO<sub>2</sub> pobre de las columnas de carbonatación. Otros residuos procedentes de esta fase, son los del intercambiador de iones, hidróxido cálcico. Éste, junto con el agua de lavado se destinan a un tanque de vertido (TAN-06) para su posterior entrega a las Autoridades competentes encargada de su recogida.
- ❖ En la etapa de evaporación se genera un vapor condensado. Este vapor se puede recoger en tanques diseñados por la misma empresa del evaporador (GEA PHE SYSTEMS) para su posible reutilización en el proceso. Se necesita aproximadamente entre 4-6 m<sup>3</sup> de agua de refrigeración por tonelada de materia prima [Azucarera Ebro]. Este vapor condensado puede destinarse a calentar los intercambiadores de calor.

La reutilización o venta de los propios residuos generados en planta, así como la posibilidad de implantar equipos para el tratamiento de residuos, evita en su mayoría, tasas por vertidos y emisiones. Además, genera ventas de productos secundarios, con el consiguiente aumento de los ingresos económicos.

## **CAPÍTULO 13. ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS EN PLANTA**

LA elección de los equipos se realiza atendiendo a las distintas etapas del proceso (difusión, purificación y evaporación) así como al acondicionamiento de la materia prima y la necesidad de los equipos auxiliares.

### **13.1 Acondicionamiento de la materia prima**

En esta fase, se prepara y se lava la remolacha para su posterior molturado. La empresa encargada de la mayoría de los equipos de la fase de acondicionamiento será la empresa PUTSCH®, empresa líder en el sector remolachero. Los equipos necesarios son:

1. Despedrador
2. Desyerbador
3. Lavador de tambor
4. Tolva de remolacha
5. Molino de corte
6. Decantador

Además, como equipos auxiliares de esta etapa se tiene el silo de almacenamiento y dos cintas transportadoras (CIN-01 y CIN-02) una que conecta el despedrador con el lavador de tambor pasando por el desyerbador y otra, para conectar con el último con el difusor.

#### **13.1.1 Despedrador**

Los despedradores de la marca PUSTCH® están diseñados para eliminar gran parte de las rocas y piedrecillas existentes en la remolacha.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Los diferentes tipos de despedradores existentes en la empresa son los siguientes:

	TSA 3000	TSA 3500	TSA 4000	TSA 4500	TSA 5200
<b>Measurements:</b>					
Length (Bucket width 800 mm):	131.9" (3350 mm)	136.5" (3466 mm)	138.5" (3517 mm)	154.3" (3920 mm)	170.5" (4330 mm)
Width:	130.4" (3312 mm)	148.1" (3763 mm)	174.5" (4433 mm)	195.9" (4976 mm)	220.9" (5612 mm)
Height:	119.4" (3033 mm)	141.7" (3598 mm)	164.5" (4178 mm)	184.4" (4684 mm)	205.9" (5230 mm)
<b>Weights:</b>					
Empty weight:	19841 lb (9000 kg)	24250 lb (11000 kg)	29542 lb (13400 kg)	54013 lb (24500 kg)	80909 lb (36700 kg)
Operating weight:	57320 lb (26000 kg)	70547 lb (32000 kg)	32673 lb (37500 kg)	123458 lb (56000 kg)	165346 lb (75000 kg)

**Tabla 13.1.1.** Tipos de despedradores de tambor  
**Fuente.** Empresa PUSTCH®

El despedrador elegido para formar parte de la planta será de tipo tambor, PUSTH® -TSA3000 construido de acero al carbono (**Figura 13.1.2**). Se ha elegido este despedrador por ser el más utilizado en este tipo de plantas obteniéndose buen rendimiento en ellas. Se adapta a las necesidades de alimentación de 14.000 kg/h, teniendo una capacidad máxima de 17.000 kg. Además, se usa en plantas con transporte hidráulico, donde el tambor se apoya dentro de un alojamiento soldado a la tubería de transporte de agua y remolacha, tal como indica la **figura 13.1.3**.



**Figura. 13.1.2.** Despedrador en línea

**Fuente.** Azucarera Ebro

El tambor del despedrador realiza dos tipos de operaciones: elimina las piedras de la corriente flujo y agua mediante un sistema de levantamiento y por otro lado, elimina las piedras del tambor.

Una de las ventajas de este tipo de despedrador es que existe una menor interrupción del flujo en el equipo, debido al sistema de levantamiento que separa las piedras y arenas existentes en la corriente de agua. Otra de las grandes ventajas es el diseño del propio equipo que permite la limpieza de éste de forma sencilla. En la **figura 13.1.3** se muestra el despedrador TSA3000.



**Figura 13.1.3.** Despedrador TSA3000  
**Fuente.** Empresa PUSTH®

### 13.1.2 Desyerbador

El desyerbador consiste en un bidón construido mayoritariamente de acero al carbono, que está montado sobre cojinetes de rodillos. La remolacha entra al desyerbador y se elimina todo tipo de raicillas, hierbas y hojillas, que aún no han sido eliminadas con los anteriores equipos.

Está formado por cajas de cuchillas soldadas, lo que permite la seguridad en todo momento cuando objetos extraños se introducen en el equipo. Las cuchillas se cambian cuando el desgaste por el uso es significativo. La parte delantera del equipo se extrae para el mantenimiento, limpieza e inspección del equipo.

En la **figura 13.1.4** se muestran dos desyerbadores montados en línea. La carga de la remolacha sería por la parte superior, mientras que la descarga de la misma sería por la parte inferior.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha



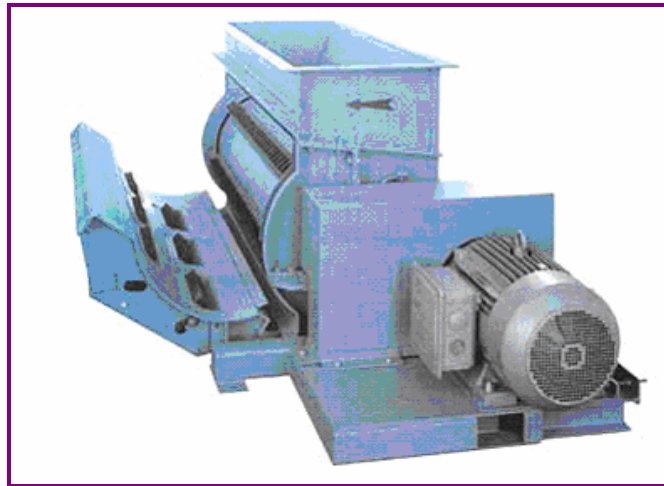
**Figura 13.1.4.** Desyerbadores montados en línea  
**Fuente.** Empresa PUSTCH®

Los distintos modelos de la empresa PUSTCH® se muestran en la **tabla 13.1.5:**

<b>Technical Data*</b>				
	<b>Typ BZK 500</b>	<b>Typ BZK 750</b>	<b>Typ BZK 1000</b>	<b>Typ BZK 1500</b>
<b>Measurements:</b>				
Length:	63" (1600 mm)	72.8" (1850 mm)	82.7" (2100 mm)	102.4" (2600 mm)
Width:	43.3" (1100 mm)	47.2" (1200 mm)	47.2" (1200 mm)	47.2" (1200 mm)
Height:	39.4" (1000 mm)	39.4" (1000 mm)	39.4" (1000 mm)	39.4" (1000 mm)
<b>Weights:</b>				
Empty weight:	1984 lb (900 kg)	2315 lb (1050 kg)	2646 lb (1200 kg)	3307 lb (1500 kg)
Operating weight:	3968 lb (1800 kg)	4630 lb (2100 kg)	5291 lb (2400 kg)	6614 lb (3000 kg)
<b>Machine performance:</b>				
	16535 lb/h (7500 kg/h)	24802 lb/h (11250 kg/h)	33069 lb/h (15000 kg/h)	55116 lb/h (25000 kg/h)

**Tabla 13.1.5.** Modelos de desyerbadores  
**Fuente.** Empresa PUSTCH®

El equipo elegido es el modelo Typ BZK1000. Este equipo se elige atendiendo a la cantidad de remolacha procesada siendo ésta de 15.000 kg/h, con lo cual se adapta perfectamente a los requerimientos de la planta. El equipo se muestra en la figura inferior:



**Figura 13.1.6.** Desyrbador Typ BZK1000  
**Fuente.** Empresa PUSTCH®

### 13.1.3 Lavador de tambor

En la planta proyectada se elige un lavador tipo tambor, debido a las pequeñas pérdidas de sacarosa. Nuevamente la empresa PUSTCH® se encarga de los equipos necesarios para la planta.

El lavador de tambor está construido en acero al carbono sobre cuatro rodillos que hacen girar el tambor sobre su eje, de esta manera la remolacha gira y se frota unas con otras favoreciéndose el lavado. Los rodillos sobre los que se apoya el tambor son montados sobre un revestimiento de acero, evitando la corrosión y el desgaste. Existe una pantalla metálica donde se separan las aguas de transporte que van al decantador.

El agua utilizada para lavar las remolachas suele ser del orden de 9-10 litros por tonelada de remolacha. En la **figura 13.1.7** se muestra un lavador de tambor.





**Figura 13.1.7.** Lavadero de tambor  
**Fuente.** Empresa PUSTCH®

Los distintos modelos de lavaderos que dispone dicha empresa son:

<b>Technical Data*</b>					
<b>Wash drum diameter (mm)</b>	<b>2800</b>	<b>3000</b>	<b>3300</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>
Length:	393" (10 m)	433" (11 m)	492" (12,5 m)	590" (15 m)	984" (25 m)
<b>Weighths:</b>					
Empty weight:	77161 lb (35000 kg)	79366 lb (36000 kg)	90389 lb (41000 kg)	242508 lb (110000 kg)	590838 lb (268000 kg)
Operating weight:	103617 lb (47000 kg)	138891 lb (63000 kg)	147709 lb (67000 kg)	352739 lb (160000 kg)	859801 lb (390000 kg)

**Tabla 13.1.8.** Tipos de lavaderos de tambor  
**Fuente.** Empresa PUSTCH®

El lavadero de tambor elegido para formar parte de la planta proyectada es el modelo 2800. Este modelo dispone de una capacidad de 12.000 kg. ya que no se supera nunca dicha cantidad en cada lavado en la planta proyectada.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 13.1.4 Tolva de remolacha

Para un buen tratamiento de la remolacha antes de ser cortada y enviada al difusor, se necesita un espacio de almacenamiento hasta su posterior corte en cosetas. Este equipo se conecta al molino de corte por la parte superior y servirá para almacenar la remolacha una vez termine su acondicionamiento, tal como se ha explicado en la presente Memoria Descriptiva.

La tolva elegida será proporcionada por la empresa PUTSCH®, líder en fabricación de tanques y tolvas de plástico y acero inoxidable, aptos para industria alimentaria. Están contruidos siguiendo las normas de ISO-9001/2000.

La tolva elegida se adapta a las características de la planta proyectada y al molino elegido [Veáse **Capítulo 13.1.5**]. Proporcionan una solución a las necesidades de manejo de sólidos que requieran ser vaciados de manera dosificada y/o en su totalidad. Además, se evitan posibles contaminaciones del producto debido a los materiales de construcción.

La tolva elegida para la planta será de la marca PUTSCH, modelo TOL 14.000/60, con los siguientes datos técnicos:

MODELO	MEDIDAS		
	Longitud (mm)	Anchura(mm)	Altura (mm)
TOL-14.000/60,	1.270	1.200	4.180

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 13.1.5 Molino de corte

El molino, que será el encargado de molturar la remolacha para su posterior tratamiento, será de la marca PUSTCH® modelo TSM 1600-42-600, así como de las cuchillas. En la **figura 13.1.9** se muestran dos molinos de molturación en línea.



**Figura 13.1.9.** Molino de molturación TSM 1800-18-600  
**Fuente.** Empresa PUTSCH®

Los datos técnicos más significativos son los siguientes (para más especificaciones véase **Anexo IX**).

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<b>MODELO</b>	
TSM 1600-42-600	
<b><u>Medidas</u></b>	
<b>Longitud</b>	116,14'' (2.950 mm)
<b>Anchura</b>	86,61'' (2.200 mm)
<b>Altura</b>	81,89'' (2.080 mm)
<b><u>Conexión de la Tolva</u></b>	
<b>Longitud</b>	50'' (1.270 mm)
<b>Anchura</b>	47,24'' (120 mm)
<b>Altura</b>	164,6'' (4.180 mm)
<b>Número de cajas de cuchillas: 42</b>	
<b>Dimensiones de cuchillas: 28,74'' x 4,72'' (730 mm x 120 mm)</b>	
<b><u>Caudal másico</u></b>	
- Cuchillas de remolacha con de 19 divisiones.	
- Ancho de paso de 0.19" (5 mm),	
- Distancia del cuchillo 0.27" - 0.31" (7-8 mm)	< 5.512 t/día
<b><u>Potencia consumida</u></b>	
<b>Motores del molino</b>	165 Kw
<b>Instalación Hidráulica</b>	1,1 Kw
<b>Otros</b>	0,75 Kw
<b><u>Revoluciones</u></b>	
2.200 min <sup>-1</sup>	

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El molino elegido para la planta proyectada se muestra en la figura inferior:



**Figura 13.1.10.** Molino TSM 1600-42-600  
**Fuente.** Empresa PUTSCH®

Las remolachas deben ser cortadas de forma óptima para obtener la extracción máxima de la sacarosa durante la etapa de difusión. El empleo de cuchillas de la empresa PUTSCH® garantiza extraer la máxima cantidad de azúcar, con más de 125 años de experiencia, siendo el fabricante de cuchillas de remolacha de más alta calidad. La empresa suministrará de forma inmediata las cuchillas de todos los modelos, divisiones y longitudes comúnmente usados en toda planta azucarera.

En la figura inferior se muestra los distintos tipos de cuchillas existentes. Para más especificaciones de los distintos molinos existentes y de las cuchillas véase **Anexo IX**.



**Figura 13.1.11.** Tipos de cuchillas  
**Fuente.** Empresa PUTSCH®

### **13.1.6 Decantador**

El decantador elegido en la planta proyectada será la empresa ERAL®, modelo T05, con una superficie de 20 m<sup>2</sup> y una capacidad entre 98- 196 m<sup>3</sup>/h, que se adapta a las necesidades de la planta. Además, los clarificadores ERAL®, son de gran efectividad en los tratamientos de vertidos de efluentes, escorrentías, aguas de procesos residuales (para más especificaciones véase **Anexo IX**).

### **13.1.7 Cintas transportadoras**

Las cintas transportadoras de la empresa PUTSH® se diseñan a medida para cada tipo de industria. Esta empresa asegura una vida larga de la cinta y un trabajo efectivo para las necesidades de la planta. Están realizadas en acero inoxidable, lo que evita la corrosión de las mismas. El funcionamiento de éstas es sencillo y se pueden utilizar para muchas funciones, como por ejemplo, en

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

alimentación en seco por debajo de las tolvas, para transportar la remolacha de unas unidades a otras con o sin agua, transporte de azúcar blanco, etc. En la **figura 13.1.12** se muestran distintas cintas transportadoras:



**Figura 13.1.12.** Cintas transportadoras de remolacha  
**Fuente.** Empresa PUTSCH®

La empresa se encargará de las cintas hechas a medida dependiendo de los datos de diseño de la planta objeto de estudio. Se necesitan:

1. Transporte de agua y remolacha del despedrador al lavador de tambor, pasando por el desyerbdor. **CIN-01.**
2. Transporte de cosetas del molino al difusor. **CIN- 02.**
3. Transporte de cal viva del horno al tanque de lechada. **CIN-03.**

### **13.1.8 Silos de remolacha**

Aunque su construcción no es objeto de diseño del presente Proyecto, la empresa PUTSCH®, se encargará de proporcionar los equipos necesarios para la construcción del mismo. En las distintas figuras se muestran imágenes de la parte inicial de acondicionamiento de la remolacha.

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha



DATOS DE DISEÑO	
VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	1.800
RADIO (m)	9,508





## 13.2 Etapa de difusión

La etapa de difusión es una de las más importantes, puesto que sin ella, no se extraería sacarosa y se produciría el jugo que se procesa. En esta etapa se necesita de diferentes equipos para su correcto funcionamiento, que son los siguientes:

1. Difusor
2. Intercambiador de calor (INT01)
3. Tanque de almacenamiento de jugo de difusión (TAN-01)

### 13.2.1 Difusor

En la planta objeto de estudio, se dispondrá de un difusor que cumple todos los requisitos para el uso en la planta proyectada. El difusor será de la marca UNISYSTEMS CDU-2 W 30. Las principales características del equipo son las siguientes (para más especificaciones véase **Anexo IX**).

<b>CAPACIDAD (t/h)</b>	< 30
<b>DISTANCIAS ENTRE EJES (m)</b>	61,5
<b>CONSUMO DE ENERGÍA (Kw)</b>	137.374
<b>TEMPERATURA DE OPERACIÓN (°C)</b>	70-90
<b>EXTRACCIÓN DE SACAROSA (%)</b>	< 80
<b>INDICE DE CÉLULAS MUERTAS (%)</b>	> 89

El difusor lleva en su interior un tanque mezclador para atemperar las cosetas a la entrada de la etapa de difusión (macrador). En la **figura 13.2.1**, se muestra una imagen del difusor por la parte exterior e interior.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha



**Figura 13.2.1.** Imágenes del difusor  
**Fuente.** Empresa UNYSYSTEMS

En la **figura 13.2.2** se muestra una imagen de un difusor montado en una planta de Brasil en el año 2006 de las mismas características, en cuanto a capacidad, que el que sería implantado en la planta objeto de estudio.



**Figura 13.2.2.** Imagen difusor CDU2 W30  
**Fuente.** Empresa UNYSYSTEMS

### **13.2.2 Intercambiador de calor**

Los intercambiadores de calor, necesarios para el calentamiento de jugo y agua, que serán implantados en la planta serán suministrados por la empresa API HEAT TRANSFER®. Esta empresa tiene numerosas certificaciones internacionales, además de haber trabajado en grandes plantas industriales. [Véase catálogo en **Anexo IX**].

En la planta proyectada se necesitará tres intercambiadores de calor para:

- 1) Calentamiento del agua introducida en el difusor
- 2) Calentamiento del jugo posterior al encalado a su entrada a las columnas de carbonataciones.
- 3) Calentamiento del jugo a la entrada de la evaporación.

Existen tres intercambiadores de calor, con similares características en la planta. A continuación se explicará detalladamente cada uno. El intercambiador de calor que se incluirá en la etapa de acondicionamiento es el siguiente:

#### **1) Calentamiento del agua introducida en el difusor, INT01**

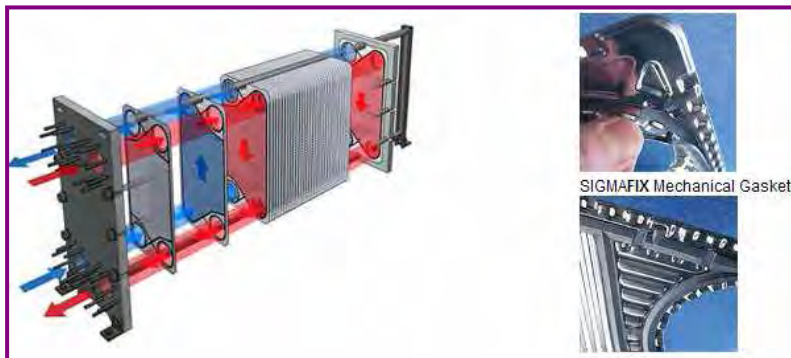
API HEAT TRANSFER®, proporciona un tipo de intercambiador de placas con empaques con un alto rendimiento energético. Éstos intercambiadores utilizan platos ondulados que alternan para obtener presiones de operación máximas. Como casi toda la materia es utilizada para la transferencia de calor, los intercambiadores de calor de placas pueden tener cantidades grandes de superficie efectiva de transferencia de calor en una pequeña área. El patrón único de diseño en cada placa térmica de Schmidt produce la tasa más alta de transferencia de calor asegurando el flujo sumamente turbulento y la distribución líquida excelente a través de la superficie entera. El área de transferencia de calor necesaria en el sistema de la

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

planta se calcula a partir de un programa "Plate Exchanger Design". Los principales datos técnicos son los siguientes:

PARÁMETROS DE OPERACIÓN		
TEMPERATURA (° C)	-40, 200°	
CONEXIONES (in)	1''- 14''	
CAUDALES FLUJO ADMITIDO (m <sup>3</sup> /h)	1,136-1,998	
EMPAQUES		
ESPECIALES	AISI 316	
PLACAS (2. SERIES)		
ESTÁNDAR AISI 304/304L	ÁREA POR PLACA (m <sup>2</sup> )	1,430
ÁREA NECESARIA (m <sup>2</sup> )	138,71	
CONEXIONES		
ESTÁNDAR	AISI 316	
MARCO		
ACERO AL CARBÓN PINTADO DE ACERO INOXIDABLE		

En la **figura 13.2.3** se muestra detalladamente los intercambiadores de calor de Schmidt:



**Figura 13.2.3** Detalles de los empaques del intercambiador

**Fuente.** Empresa API HEAT TRANSFER®

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

La línea de intercambiadores de calor de placa de Schmidt, incorpora las siguientes características:

- Los empaques quedan precisamente en las ranuras de la placa para asegurar el sello y para mantenimiento más fácil.
- Diseño superior de empaque con clip que asegura un encaje apropiado cuando se cierra la unidad.
- Diseño de sello doble que previene la posibilidad de mezclar los dos líquidos del proceso.
- Los artículos de ferretería son cubiertos con zinc para proporcionar vida larga.



**Figura 13.2.4.** Diferentes tamaños de los intercambiadores

**Fuente.** Empresa API HEAT TRANSFER

### 2) Calentamiento del jugo posterior al encalado, INT02

Para una buena absorción del jugo encalado, a la entrada de las columnas de carbonatación, se necesita un aumento de la temperatura del jugo hasta aproximadamente 90 °C, de esta manera se favorece la absorción del gas.

Del mismo modo que para el calentamiento del agua en la entrada en la difusión, se utiliza un intercambiador de calor de placas con empaques de la empresa API HEAT TRANSFER®, modelo Schmidt, ya que se adapta a las condiciones de la planta proyectada.

### 3) Calentamiento del jugo a la entrada de la evaporación, INT03

El jugo necesita llegar hasta una temperatura próxima a la ebullición para que se produzca la evaporación. Esta temperatura es de 125 °C a la entrada de la evaporación. Para ello nuevamente se incorporará otro intercambiador de calor de la misma empresa, ya que cumple los requisitos necesarios.

#### 13.2.3 Tanques de almacenamiento

En el presente Proyecto se necesita de una serie de tanques de almacenamiento de distintos tipos y diversos tamaños. Por una parte, están los tanques de almacenamiento incluidos dentro del proceso y, por otra, los tanques de almacenamiento de productos químicos necesarios para el buen funcionamiento de éste. Se definen los siguientes tanques:

- 1) **Tanque 01.** Tanque de almacenamiento del jugo de difusión.
- 2) **Tanque 02.** Tanque de almacenamiento del jugo claro.
- 3) **Tanque 03.** Tanque de almacenamiento de jugo descalcificado.
- 4) **Tanque 04.** Tanque de almacenamiento de jarabe.
- 5) **Tanque 05.** Tanque de almacenamiento de sosa.
- 6) **Tanque 06.** Tanque de vertido.
- 7) **Cisterna de agua de red**

Distintas empresas proporcionarán los distintos tanques de almacenamiento teniendo en cuenta los volúmenes requeridos y las características del fluido.

## **TANQUES 01, 02, 03, 04**

Para estos tres tanques la empresa AQUA PURIFICATIONS SYSTEMS, pone a disposición su serie de tanques marca TECNOPLAS fabricados con acero inoxidable de alta tecnología, certificados conforme a las normas y códigos actuales. Entre sus mayores aplicaciones se encuentra el almacenaje de productos químicos, alimentarios, efluentes, etc.

La capacidad total del tanque se ha definido para una hora de parada en planta, por motivos ajenos al tanque, puesto que en condiciones normales estos tanques no debería de superar un volumen más del 50% del mismo. Mediante simples cálculos se estima que el volumen necesario para cada estos tres tanque pulmón sería de 17.172 l. La marca TECNOPLAS dispone del modelo TAN 25000/ESTÁNDAR, cuyos datos de diseño son los siguientes:

### **TECNOPLAS, TAN25000/ESTÁNDAR**

Diámetro: 3 m

Altura: 3.52 m

Material de construcción: Acero inoxidable, 304

Tuberías: 1'' a 14''

Volumen tanque: 25 m<sup>3</sup>

### **TECNOPLAS, TAN5000**

Para el tanque de jarabe de azúcar (TAN04) se sabe que el volumen de jarabe de salida es aproximadamente unos 3939.84 m<sup>3</sup>. Se sobredimensiona este volumen y se utiliza un tanque de aproximadamente 5000 m<sup>3</sup>.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Diámetro: 20 m

Altura: 12 m

Material de construcción: Acero inoxidable, 304

Tuberías: 1'' a 14''

Volumen tanque: 5000 m<sup>3</sup>

Todos los tanques de la marca TECNOPLAS de los que se dispone en la planta son similares a los que muestra la **figura 13.2.5**



**Figura 13.2.5** Tanques de almacenamiento

**Fuente.** Empresa AQUA PURIFICATION SYSTEMS

### TANQUE 05

El tanque de sosa proporciona a la batería de intercambiadores iónicos este producto para su correcto funcionamiento en la etapa de regeneración. Para el cálculo del volumen necesario se ha supuesto que cada intercambiador iónico dura en torno a 4 - 5 horas en el proceso completo (intercambio, regeneración, lavado), por lo que al día realizará 5 ciclos completos. Con un sencillo cálculo se estima que el volumen de este tanque está en torno a los 1000 l.



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Para ello la marca TECNOPLAS pone a disposición su serie de tanques. Para este tanque se elegirá el TAN1000/ESTANDAR, con las siguientes características:

### TECNOPLAS, TAN1000/ESTÁNDAR

Diámetro: 1.1 m

Altura: 1.36 m

Material de construcción: Acero inoxidable, 304

Tuberías: 1'' a 14''

Volumen tanque: 1.3 m<sup>3</sup>

### TANQUE 06

En este caso este tanque se utiliza como almacenaje de los residuos procedentes de la etapa de intercambio. Por una parte se recoge el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que se ha formado a causa de la fase de intercambio, y por otra el agua con restos químicos procedente del lavado. La empresa AQUA PURIFICATION, es la encargada de proporcionar dicho tanque, siendo éste de iguales características que el tanque de NaOH.

### CISTERNA DE AGUA

De la misma manera se elegirá la cisterna de la empresa TOTAGUA, ya que se adapta perfectamente a las necesidades de la planta diseñada. El modelo elegido será el tanque vertical modelo CVCFP-150, con un diámetro de 4000 mm y una longitud de 12.350 mm. (Véase catálogo en **Anexo IX**).

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

En la figura inferior se muestra este tipo de cisternas montadas en una planta depuración de aguas urbanas.

**Figura 13.2.6.** Cisternas verticales de agua.

**Fuente.** Empresa TOTAAGUA



La cisterna abastecerá de agua de red a todos los equipos que necesiten de agua: lavador, difusor, tanque de lechada, calderas, etc.

### 13.3 Etapa de purificación

En esta etapa, el jugo de difusión es procesado para la obtención de jarabe de azúcar en la evaporación. Esta etapa conlleva una serie de equipos que se nombran a continuación:

1. Preencalador
2. Encalador
3. Columnas de carbonatación
4. Intercambiador de calor, INT 02
5. Filtros PKF
6. Tanque de almacenamiento, TAN02

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

7. Intercambiador iónico
8. Tanque de almacenamiento de sosa. TAN05
9. Tanque vertido.TAN06
10. Tanque de almacenamiento, TAN03

### **13.3.1 Preencalador y encalador**

Como ya se ha mencionado en la presente Memoria Descriptiva, la empresa PUTSCH®, encargada de suministrar equipos industriales a plantas similares a esta, será la encargada de diseñar la fase de purificación en el presente Proyecto. Se dispondrá de un preencalador Tipo Naveau diseñado según las normas y códigos legislativos. Para el caso del tanque de encalado, también se encargará esta empresa de su diseño y construcción.

### **13.3.2 Columnas de carbonatación**

Estas columnas se diseñan de forma que todo el proceso quede totalmente optimizado. Las columnas se diseñarán de acuerdo a los aspectos de diseño que se calculan en el **Anexo III**. Un resumen de estos datos se muestra en la **tabla 13.3.1**:

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<b>Tipo de flujo</b>	Contracorriente
<b>Modo de alimentación</b>	Continuo
<b>Forma de relleno</b>	Relleno al azar
<b>Tipo de relleno</b>	Anillos Rashing
<b>Material del relleno</b>	Cerámica
<b>Tamaño de relleno</b>	Tamaño intermedio, 25 mm
<b>Material de construcción</b>	Acero inoxidable 304
<b>Material de aislamiento</b>	Colcha fibra de vidrio
<b>Material de acabado</b>	Lámina de aluminio
<b>Fondos superior e inferior</b>	
<b>Tipo</b>	Klopper
<b>Forma</b>	Toriesférico
<b>Datos del diseño</b>	
<b>Temperatura de jugo (°C)</b>	80-90
<b>Temperatura del CO<sub>2</sub> (°C)</b>	20-25
<b>Presión en la columna (atm)</b>	1,691
<b>Lechada</b>	Exenta de Sílice
<b>CO<sub>2</sub></b>	Sin partículas sólidas

**Tabla 13.3.1.** Aspectos de diseño de las columnas de carbonatación

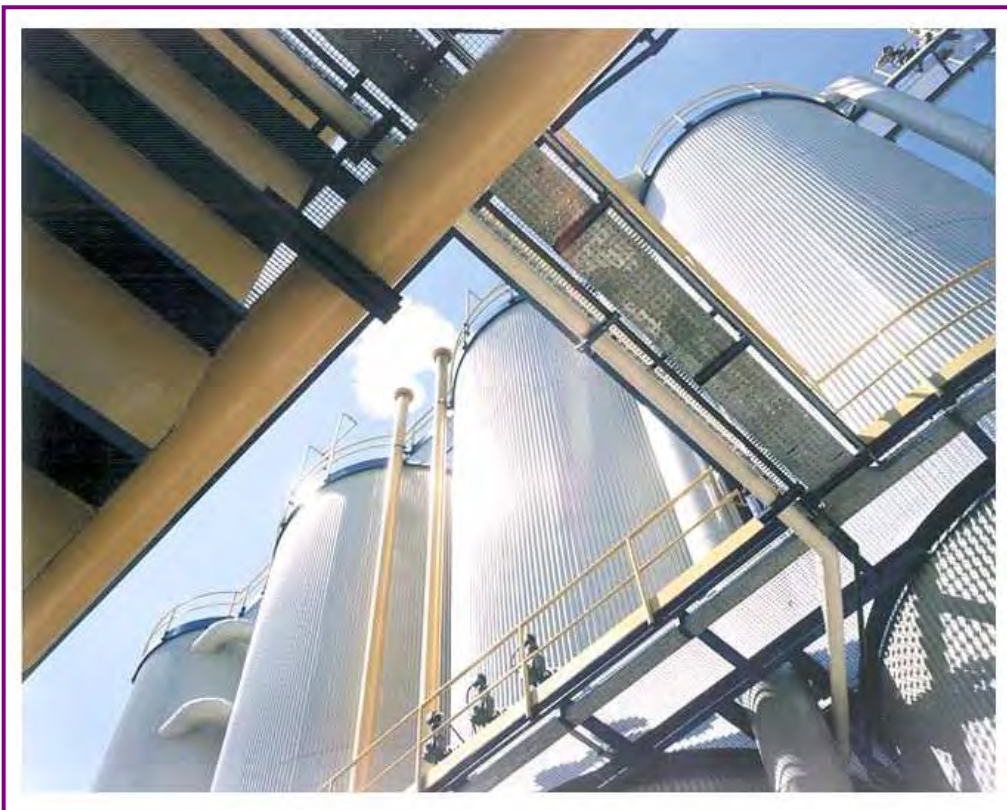
A continuación se muestra una tabla con los datos de diámetro y altura, así como otra tabla con los caudales de entrada y salida hallados para el diseño de la columna.

<b>DATOS DE DISEÑO DE LAS COLUMNAS DE CARBONATACIÓN</b>	
<b>DIÁMETRO (m)</b>	4,342
<b>ALTURA (m)</b>	9,601
<b>CAUDAL LÍQUIDO (kg/h)</b>	18.201
<b>CAUDAL GAS (kg/h)</b>	177,064

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

En las **figuras 13.3.2** y **13.3.3** se muestran torres de carbonatación en línea en distintas plantas ya instaladas.

**Figura 13.3.2.** Torres de carbonatación planta de producción de azúcar en Turquía.



**Figura 13.3.3.** Torres de carbonatación vistas desde abajo

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## 13.3.3 Filtros

En la planta objeto de estudio se necesita filtrar el jugo de primera carbonatación y el jugo claro que procede de la segunda carbonatación, puesto que se forma un líquido clarificado pero con restos de sacaratos. Para ello se utilizan filtros de membrana (filtros PKF).

Estos generan, por una parte, tortas de cal (espumas), y por otro, el jugo claro de primera que se envía a los intercambiadores de iones en la última etapa de la depuración antes de la carbonatación.

El sistema de filtros que se implantan en la planta son de la empresa PUTSCH®. Estos filtros han sido utilizados en plantas similares a la proyectada con un buen funcionamiento y con pocas pérdidas de sacarosa en las tortas. La empresa PUTSCH® dispone de los siguientes modelos:

Type:	PKF 100		PKF 140		PKF 300 for Soil filtration
Design of Filter Plates:	Membrane Filter Plates with Pressure Filter Plates		Membrane Filter Plates with Pressure Filter Plates		Membrane Filter Plates with Pressure Filter Plates
Filter Plate Size:	47.24" x 47.24" (1200 mm x 1200 mm)		51.18" x 51.18" (1300 mm x 1300 mm)		59.05" x 59.05" (1500 mm x 1500 mm)
Cake Thickness:	1.3" (33 mm)	1.8" (45 mm)	1.3" (33 mm)	2.0" (50 mm)	1.3" (33 mm)
Filter Area:	1026 ft <sup>2</sup> (95.3 m <sup>2</sup> )	931 ft <sup>2</sup> (86.5 m <sup>2</sup> )	1496 ft <sup>2</sup> (139 m <sup>2</sup> )	1378 ft <sup>2</sup> (128 m <sup>2</sup> )	3014 ft <sup>2</sup> (280 m <sup>2</sup> )
Chamber Volume:	398.4 gal (1508 l)	487.4 gal (1845 l)	564.0 gal (2135 l)	786.2 gal (2976 l)	1228.4 gal (4650 l)
Number of Chambers:	42	38	50	46	84
Operating Pressure:	116 psi (8 bar)		116 psi (8 bar)		116 psi / 217.5 psi (8 bar / 15 bar)
Dimensions:					
Length:	281.9" (7160 mm)		348.8" (8860 mm)		492.1" (12500 mm)
Width:	106.3" (2700 mm)		113.8" (2890 mm)		122.4" (3110 mm)
Height:	125.6" (3190 mm)		139.6" (3545 mm)		165.3" (4200 mm)
Weight Empty, approx.:	25628 lb. (11625 kg)		29431 lb. (13350 kg)		70547 lb. (32000 kg)
Operating Weight, approx.:	31801 lb. (14425 kg)		39242 lb. (17800 kg)		80468 lb. (36500 kg)
Electrical Power requ.:	15 kVA		15 kVA		53 kVA
Pressure of the Cleaning Unit:	580 psi (40 bar)		580 psi (40 bar)		580 psi (40 bar)

**Tabla 13.3.4.** Tipos de filtros PKF

**Fuente.** Empresa PUTSCH®

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El equipo elegido según las características del diseño de la planta objeto de estudio es el PKF100 presenta los siguientes datos técnicos:

PKF100	
DISEÑO DE FILTROS	Platos con membranas
TAMAÑO DE PLATOS (mm)	1.200X1.200
TAMAÑO TORTA (mm)	33x45
DIMENSIÓN EQUIPO	Longitud: 7.160 mm Anchura: 2.700 mm Altura: 3.190 mm
CONSUMO ELÉCTRICO	15 kw
CAPACIDAD	100 t/h



**Figura 13.3.5.** Filtros PKF  
**Fuente.** Empresa PUTSCH®

### 13.3.4 Intercambiadores Iónicos

En la última fase se tiene que eliminar el calcio del jugo que provocaría incrustaciones en el evaporador. En el presente Proyecto se dispone de 3 baterías de dos intercambiadores iónicos cada uno colocados en paralelo. Estos

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

intercambiadores eliminan el calcio del jugo y lo sustituyen por sodio, evitando así precipitaciones.

Según se ha explicado en la presente Memoria Descriptiva, las etapas de intercambio son: intercambio, lavado, regeneración. Los intercambiadores estarán dispuestos de forma que mientras que una batería lava, otra intercambia y otra regenera. Un ciclo dura en cada batería entre 4-5 horas, por lo que al día cada batería realiza 5 ciclos. El esquema sería el siguiente:

CICLOS	BATERÍA 1	BATERÍA 2	BATERÍA 3
1	INTERCAMBIO	LAVADO	REGENERACIÓN
2	LAVADO	REGENERACIÓN	INTERCAMBIO
3	REGENERACIÓN	INTERCAMBIO	LAVADO
4	INTERCAMBIO	LAVADO	REGENERACIÓN
5	LAVADO	REGENERACIÓN	INTERCAMBIO



**Figura 13.3.6.** Planta de descalcificación, con tres baterías en paralelo

**Fuente.** Empresa Duplex - Industrial

El equipo será proporcionado por DUPLEX-INDUSTRIAL, modelo NSTA100 -ION2, con las siguientes características técnicas:



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<b>DUPLEX INDUSTRIAL NSTA100 ION2</b>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>	Hasta 100
<b>Temperatura de operación °C</b>	4-120
<b>Consumo sosa regeneración (m<sup>3</sup>/ciclo)</b>	4-5
<b>Consumo de agua intercambiadores (m<sup>3</sup>)</b>	500-600
<b>Volumen de resina cada batería (m<sup>3</sup>)</b>	170
<b>Diámetro tubería (in)</b>	1-2
<b>Consumo eléctrico (in)</b>	24 Hz

### 13.4 Etapa de evaporación

En la etapa de evaporación el jugo descalcificado se calienta hasta cerca de la temperatura de ebullición y se comienza a evaporar para eliminar toda el agua que se le ha ido añadiendo durante el proceso, y obtener el jarabe de azúcar. Los equipos necesarios en esta etapa para el correcto funcionamiento de la planta son los siguientes:

1. Intercambiador de calor, INT03
2. Evaporador
3. Caldera
4. Tanque de almacenamiento, TAN04

#### 13.4.1 Evaporador

La empresa GEA PHE SYSTEMS es la encargada del diseño del evaporador, atendiendo a las condiciones del proceso objeto de estudio. Dicha empresa está especializada en intercambiadores de calor de placas.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Se encargan de dos tipos de evaporadores esencialmente: evaporadores de película, "Plate falling film evaporators" y evaporadores de película agitada, "Concitherm plate rising evaporators".

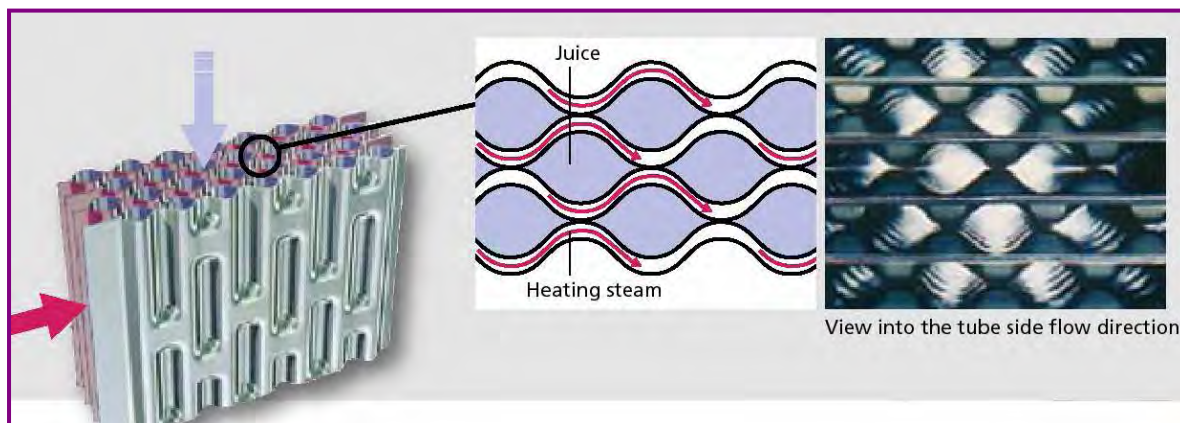
El modelo elegido para el presente Proyecto, es EVAPLUS "Plate falling film evaporators" (véase **Anexo IX. Catálogos**), ya que están especializados en el diseño de éste, como concentrador de zumos, jugo de remolacha, etc. Su aumento de rendimiento, se basa en la unión de los platos y tubos. El convencional evaporador Robert se adapta para obtener una mayor tecnología para productos sensibles y viscosos. Su uso en industrias similares a la diseñada obtiene buenos resultados, permitiendo la optimización del costo de sistemas existentes.

Un resumen de los datos técnicos encontrados en el catálogo es:

<b>PLATE FALLING FILM EVAPORATORS, EVAPLUS</b>	
<b>ÁREA DE INTERCAMBIO (m<sup>2</sup>)</b>	1.000-10.000 por unidad
<b>TEMPERATURA (°C)</b>	de -200 hasta 900
<b>CIRCULACIÓN VAPOR</b>	Interior de tubos
<b>CIRCULACIÓN JUGO</b>	Exterior tubos
<b>TAMAÑO DE TUBOS (mm)</b>	6-9

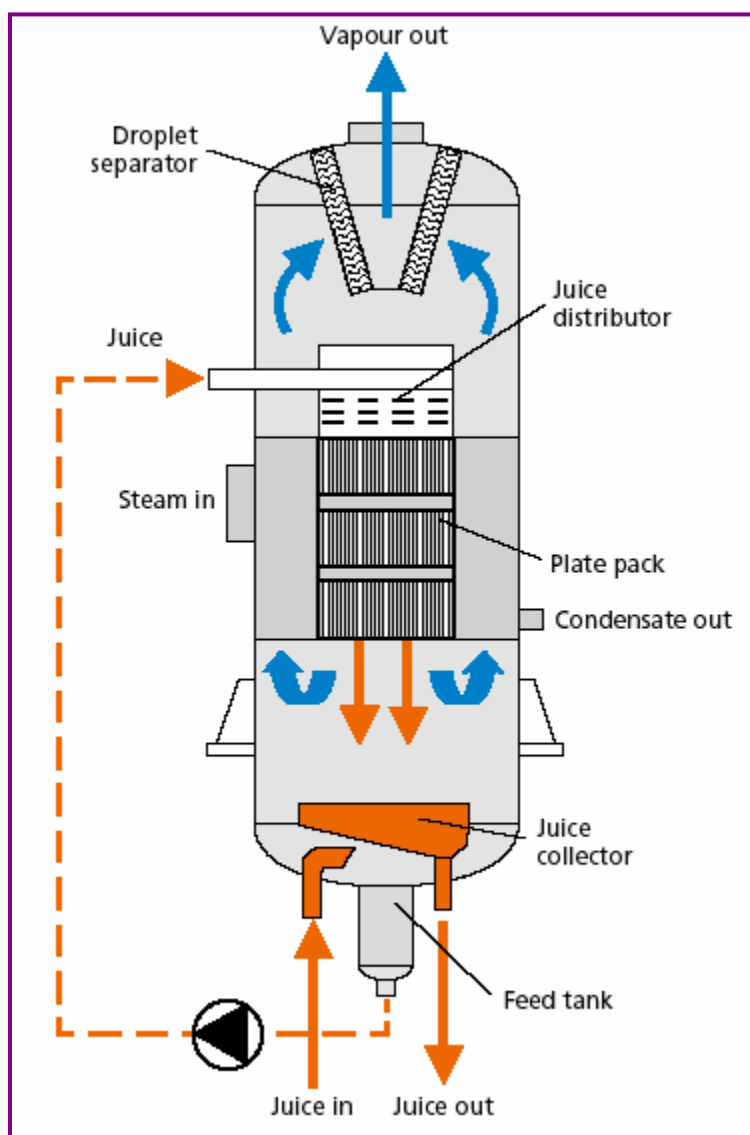
En las siguientes figuras, se muestra un esquema de la distribución en el evaporador.

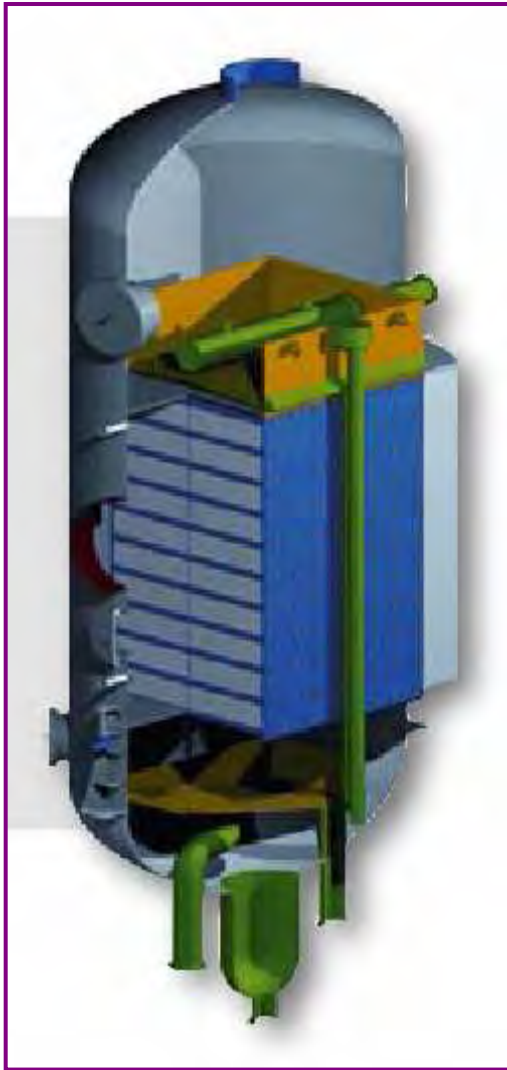
## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha



**Figura 13.4.1** Distribución del jugo en el interior  
**Fuente.** Empresa GEA PHE SYSTEMS

**Figura 13.4.2.** Esquema interno del evaporador EVApplus  
**Fuente.** Empresa GEA PHE SYSTEMS





**Figura 13.4.3** Esquema interno en 3D  
evaporador EVAPPLUS  
**Fuente.** Empresa GEA PHE SYSTEMS



**Figura 13.4.4.** Evaporador Robert  
exterior  
**Fuente.** Empresa GEA PHE  
SYSTEMS

## 13.5 Equipos auxiliares

Se necesitan de otros equipos en planta para el correcto funcionamiento de la misma. Estos equipos son:

1. Horno de cal
2. Caldera

### 13.5.1 Horno de cal

El horno de cal forma parte de los equipos auxiliares necesarios durante la etapa de purificación. Este descompone la piedra caliza para formar CaO (cal viva) y CO<sub>2</sub>, necesarios para la purificación del jugo.

Se elige un horno rotativo continuo para la empresa EMISON. Estos hornos se han estudiado específicamente para el tratamiento de este tipo de materia prima obteniendo muy buenos resultados. Como consecuencia ofrecen una alta rentabilidad, con la mínima inversión inicial.

Ofrecen mínimo mantenimiento, funcionamiento constante, fácil manipulación y control del trabajo. El horno se entrega listo y preparado para empezar a funcionar inmediatamente y rentabilizar rápidamente la inversión. Permiten la máxima repetitividad de los procesos de fabricación, lo que se traduce en la máxima calidad de los procesos. EMISON dispone de una empresa propia servicio técnico, SATE, que puede encargarse de formar al personal encargado del funcionamiento del horno, y realizar el mantenimiento preventivo y correctivo. Esta serie de hornos está especialmente estudiada para la obtención de cal a partir de residuos de carbonato cálcico o calcitas naturales.

Los residuos se almacenan en una tolva y, mediante un sinfín, se introducen en el horno. Un automatismo se encarga de regular la entrada de

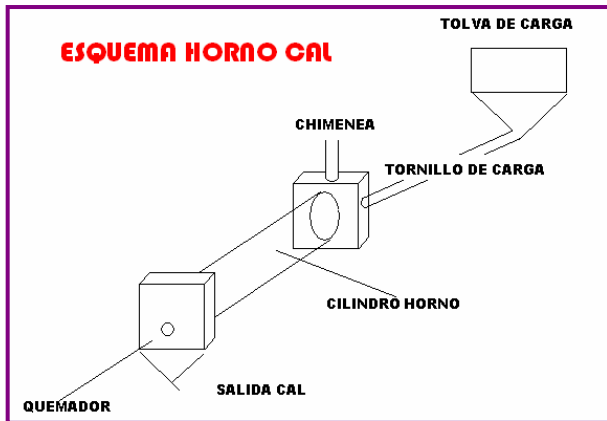
## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

gasóleo y piedra en función la relación de combustión necesaria. La piedra se pone en contacto con el combustible y atraviesa el horno longitudinalmente. Por la acción del quemador alcanzan los 1.000 ° C, temperatura controlada por un pirómetro.

1. CONTROL DE TEMPERATURA. El control de temperatura se consigue mediante un equipo automático de regulación con preselección de temperatura, visualizador digital y un termopar incorporado al horno.
2. AISLAMIENTO. El aislamiento se realiza mediante fibras cerámicas de baja masa térmica y gran poder calorífico, cuidadosamente dispuestas en estratos para reducir las pérdidas de calor. El perfecto aislamiento conseguido permite un ambiente fresco de trabajo, una gran rapidez en alcanzar la temperatura programada y un extraordinario ahorro energético.
3. DESCRIPCIÓN DEL HORNO. El horno es de construcción metálica, electro soldado, a partir de chapas y perfiles de acero con un tratamiento especial anticorrosivo, de gran robustez, con avanzado diseño y protección con imprimación fosfocromatante y pintura epoxídica de agradables tonos, lo que le confiere una larga vida y un acabado estéticamente agradecido.

El aislamiento se realiza mediante hormigones refractarios aislantes, fibras minerales y cerámicas de baja masa térmica y gran poder calorífico, cuidadosamente dispuestas en estratos para reducir las pérdidas de calor; con chimenea para la evacuación de gases y previsión para conectar a sistema de depuración de humos, si es necesario, o recuperación de calor o CO<sub>2</sub>. La carga del material, generalmente triturado en trozos de tamaño inferior a 5 cm, se realiza a través de un tronillo sin fin alimentado por una tolva.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha



El horno consta de la parte rotativa, con una zona de entrada de residuos y salida de humos y una zona de evacuación donde se instala el quemador. La cal cae a una tolva para su posterior evacuación.

4. CALENTAMIENTO. El calentamiento se realiza por combustión, mediante quemadores adaptados al combustible (gasóleo). La cámara de combustión está construida mediante hormigones refractarios de alta resistencia mecánica para garantizar una larga vida. El aislamiento se realiza mediante fibras minerales y cerámicas de baja masa térmica y gran poder calorífico, cuidadosamente dispuestas en estratos para reducir las pérdidas de calor.

La calefacción puede realizarse mediante gasóleo, gas natural, Biogás u otros combustibles. Permite también utilizar como combustible coque, carbón en polvo, maderas, papeles, restos de embalajes, etc., sin sobrepasar la capacidad máxima del horno ni la temperatura máxima de operación (1.100 °C).

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<b>HORNOS PARA CAL</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Potencia en Kcal/H</b>	<b>Ø interior</b>	<b>Longitud cilindro</b>	<b>Producción l/h</b>
<b>CAL - 20</b>	<b>100.000</b>	<b>60</b>	<b>250</b>	<b>275</b>
<b>CAL - 40</b>	<b>200.000</b>	<b>70</b>	<b>350</b>	<b>500</b>
<b>CAL - 60</b>	<b>300.000</b>	<b>80</b>	<b>400</b>	<b>700</b>
<b>CAL - 100</b>	<b>500.000</b>	<b>100</b>	<b>440</b>	<b>1.000</b>
<b>CAL - 150</b>	<b>750.000</b>	<b>120</b>	<b>440</b>	<b>1.400</b>
<b>CAL - 200</b>	<b>1.000.000</b>	<b>130</b>	<b>500</b>	<b>1.700</b>
<b>CAL - 300</b>	<b>1.500.000</b>	<b>150</b>	<b>600</b>	<b>2.500</b>
<b>CAL - 400</b>	<b>2.000.000</b>	<b>165</b>	<b>650</b>	<b>3.000</b>

**Figura 13.5.1.** Modelos de hornos de cal (dimensiones en cm).

**Fuente.** Empresa EMISON

El modelo elegido para formar parte de la planta es el CAL-20. Para la planta proyectada se elige como combustible el gasóleo. La figura 13.5.2 se muestra como sería un horno de estas características.



**Figura 13.5.2.** Horno de cal 20  
**Fuente.** Empresa EMISON

### 13.5.1.1 Tanque de lechada, Mick

Para la transformación de la piedra viva en lechada, se necesita de un tanque rotatorio, que se denomina Mick, pero al ser difícil su búsqueda, se implantará un lavador de tambor similar al lavador de remolacha, puesto que el principio es el mismo.



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 13.5.1.2 Cintas transportadoras

Se necesita el uso de otra cinta transportadora para transportar la cal viva desde el horno hacia el tanque similar a las del acondicionamiento de materia prima. [Véase **Capítulo 13.1.7**]. Su disposición en planta se localiza en el **Documento Planos** (planos 2, 3 y 5).

### 13.5.2 Caldera

Para la producción del vapor usado en el evaporador se dispondrá de una caldera de vapor que abastecerá vapor durante la campaña. La caldera es de la empresa SERVITEC, GARIONI NAVAL, serie GPT, caldera de vapor de tres pasos de humo con mampara posterior húmeda. La figura inferior muestra la caldera.



**Figura 13.5.3**  
Caldera de tres  
pasos de humos.

**Fuente.** Empresa  
SERVITEC

Las calderas de vapor de tubos de humos serie GPT, con tres pasos con mampara posterior húmeda y con cartelas redondeadas, son una de las más competentes del mercado. La gama de modelos va desde las 2 hasta las 15 t/h. Han sido diseñadas para tener un elevado rendimiento y bajas emisiones de NOx. Estas calderas pueden proveerse de quemadores de mercado con cualquier combustible y bajo cualquier tipo de modulación.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Realizada con la última tecnología en procesos de soldadura estas calderas son ideales para su uso en situaciones difíciles y en rangos de trabajos medio-altos, donde la fiabilidad es el factor más importante. Debido al perfecto y completo uso de las superficies de calefacción a lo largo de los tres pasos de humos, las cartelas redondeadas permiten la dilatación de los tubos sin forzar la estructura de la caldera. Utilizan un mínimo imprescindible de cemento refractario y aislamientos. Debido a la baja carga térmica de la caldera proporciona mucha fiabilidad. Tienen una baja emisión de NO<sub>x</sub> y debido a las cuatro puertas se pueden limpiar y verificar los tubos fácilmente y sin necesidad de desmontar parte alguna de la caldera. Están fabricadas bajo la certificación de calidad ISO-9002. Los datos técnicos de la caldera son los siguientes:

<b>GARIONINAVAL, SERIE GPT, CALDERA DE TRES PASOS</b>	
<b>MODELO</b>	GPT15000
<b>PRODUCCIÓN DE VAPOR (kg/h)</b>	15.000
<b>POTENCIA (kcal/h)</b>	7.800.000
<b>POTENCIA (Kw)</b>	9.070
<b>PRESIÓN (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	< 12
<b>ANCHO (cm)</b>	2.850
<b>LARGO (cm)</b>	7.500
<b>ALTO (cm)</b>	3.300
<b>DIÁMETRO CHIMENEA (cm)</b>	850

En la figura inferior se muestra detalle de los controladores, manómetro y temperatura, así como de las válvulas de la caldera.



**Figura 13.5.4.** Detalles de caldera  
**Fuente.** Empresa SERVITEC

### 13.6 Resumen de equipos elegidos

En la **tabla 13.6.1** se muestran los equipos existentes en la planta:

EQUIPO	MARCA/MODELO	UNIDADES
DESPEDRADOR	PUTSCH, TSA3000	1
DESYERBADOR	PUTSCH, TYP-BZK1000	1
LAVADOR TAMBOR	PUTSCH, 2800	2
TOLVA DE REMOLACHA	PUTSCH, TOL14.000/60	1
MOLINO	PUTSCH, TSM 1600-42-600	1
CINTAS	PUTSCH, a medida	3
DECANTADOR	ERAL, T05	1
DIFUSOR	UNISYSTEMS, CDU-2 W30	1
FILTROS PKF	PUTSCH, PKF100	2
INTERCAMBIADOR IÓNICO	DUPLEX INDUSTRIAL-NSTA-IÓN2	3 BATERIAS
EVAPORADOR	GEA PHE SYSTEMS, EVAPLUS	1
CALDERA	SERVITEC, SERIE GPT5000	1
INTERCAMBIADOR DE CALOR	API HEAT TRANSFER, SCHIMIDT CON EMPAQUES	3

**Figura 13.6.1.** Resumen de equipos integrados en la planta (1/2)

**Fuente.** Diversas empresas

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

EQUIPO	MARCA/MODELO	UNIDADES
TANQUES 01,02,03	AQUA PURIFICATION SYSTEMS, TECNOPLAS, TAN22.000/ESTÁNDAR	3
TANQUE 04	AQUA PURIFICATION SYSTEMS, TECNOPLAS, TAN5000	1
TANQUE 05	AQUA PURIFICATIONS SYSTEMS, TECNOPLAS, TAN1000/ESTANDAR	1
TANQUE 06	AQUA PURIFICATIONS SYSTEMS, TECNOPLAS, TAN1000/ESTANDAR	1
CISTERNA AGUA	TOTAAGUA, CVCFP-150	1
HORNO DE CAL	EMISON,CAL 20	1

**Figura 13.6.1.** Resumen de equipos integrados en la planta (2/2)

**Fuente.** Diversas empresas

## CAPÍTULO 14. TUBERÍAS DE LA PLANTA

En la mayoría de los procesos industriales, la elección adecuada del tipo de tuberías a utilizar depende de multitud de factores, además representa una fracción sustancial de la inversión total y, en ese caso se justifica los métodos elaborados por computadora para optimizar el tamaño de la tubería.

La elección de la tubería depende de:

1. Tiempo de vida útil
2. Períodos de mantenimiento
3. Esfuerzo a las temperaturas de trabajo
4. Adecuada resistencia a la corrosión y oxidación.
5. Coste de equipos.

### 14.1 Material de fabricación

Las conducciones del presente Proyecto han sido diseñadas de acuerdo a la norma ANSI B 31.3, como en la mayoría de las tuberías de los procesos, ("Code for pressure piping") patrocinado por el código ASME, el más extendido para el diseño de las tuberías. Se dispone de tuberías y conducciones sin costuras. Los sistemas de tuberías industriales, que incluyen aceros maleables, aceros al carbono y aceros inoxidable son los más utilizados y disponen de mayor cobertura por parte de las normas nacionales. Las tuberías de transporte de fluidos en la planta son diseñadas en acero inoxidable.

Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Todos disponen de una excelente resistencia a la corrosión y oxidación, excelente factor de higiene y limpieza, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico y se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El acero AISI304 y el AISI306 son muy utilizados dentro de sus diversas aplicaciones para la industria alimentaria. En el caso de una solución azucarada, la bibliografía recomienda un material resistente a la oxidación. El material más económico calidad-precio y el más adecuado para las condiciones del proceso es el acero AISI304, ya que la necesidad de mantener el jugo en óptimas condiciones microbiológicas es fundamental en este tipo de planta.

Para tuberías que transportan agua se utilizará acero al carbono SA-53B, ya que no necesitan un material con propiedades específicas a la corrosión y a la infección, ni altas temperaturas, y es el material más económico.

Los diámetros normalizados de este tipo de tuberías van desde 1/8 a 30 pulgadas. Para tuberías pequeñas (1/8 a 12 in), el diámetro exterior es algo superior al diámetro nominal, mientras que para tuberías mayores de 14 in, el diámetro exterior es idéntico al nominal.

La planta dispone de conducciones con diámetros nominales comprendidos entre  $\frac{1}{4}$  a 12. En la **tabla 14.1.1** se representan las conducciones y los diámetros utilizados.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

LÍNEA	CONDUCCIÓN	FLUIDO	DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO EXTERNO (in)	MATERIAL DE FABRICACIÓN
1	1.1, 1.2	Agua y remolacha	2	2,375	SA-53B
2	2.1, 2.2, 2.3	Jugo Difusión	2 1/2	2,875	AISI304
3	3	Jugo Preenalado	2 1/2	2,875	AISI304
4	4.1, 4.2, 4.3	Jugo Encalado	3	3,500	AISI304
5	5	Jugo carbonatado de 1ª	3	3,500	AISI304
6	6.1, 6.2	Jugo filtrado de 1ª	2 1/2	2,875	AISI304
7	7	Jugo carbonatado de 2ª	3	3,500	AISI304
8	8.1, 8.2	Jugo filtrado de 2ª	2 1/2	2,875	AISI304
9	9	Jugo claro	2 1/2	2,875	AISI304
10	10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5	Jugo anteevaporación	2 1/2	2,875	AISI304
11	11	Jarabe de Azúcar	1 1/4	1,660	AISI304
12	12.1, 12.2, 12.3	Lechada	3/4	1,050	AISI304
13	13.1, 13.2, 13.3, 13.4	Dióxido de Carbono	2	2,375	AISI304
14	14.1, 14.2	Hidróxido sódico	2	2,375	SA-53B
15	15.1, 15.2, 15.3, 15.4, 15.5	Agua cisterna	8	8,625	SA-53B
16	16.1, 16.2, 16.3	Agua cisterna	2	2,375	SA-53B
17	17.1, 17.2, 17.3	Agua cisterna	1/2	0,840	SA-53B
18	18.1, 18.2	Agua cisterna	1/4	0,405	SA-53B
19	19	Vapor de agua	12	12,750	AISI316

**Tabla 14.1.1.** Conducciones, diámetros y material de tuberías integradas en planta.

El espesor de la pared vendrá dado por el número de cédula o Shedule, el cuál lleva asociado un valor determinado de espesor en función del diámetro nominal. Las tuberías de la planta objeto de estudio presentan Shedule mayoritariamente de 10S, aunque también hay de 5S, 40S y 80S.

## **14.2 Aislamiento térmico**

Las tuberías necesitan de un aislante térmico para evitar pérdidas por variación de temperatura en el fluido que transportan. Para ello se utilizará fibra de vidrio preformado, por ser la más económica y opción más efectiva para evitar pérdidas.

El aislamiento térmico es necesario para algunas conducciones y algunos tramos. Éstos se mencionan a continuación.

1. **Tramo 4.3.** Salida de intercambiador hacia entrada de carbonatación 1.
2. **Conducciones 5, 6, 7.** Carbonatación
3. **Tramo 10.5.** Entrada jugo anteevaporación al evaporador

## **14.3 Accesorios y válvulas**

Los sistemas de tuberías están contruidos no sólo por las propias tuberías sino también por multitud de accesorios y válvulas capaces de cambiar las direcciones de las líneas, cambiar el diámetro de éstas, conectar diferentes ramas, cerrar o abrir el paso del fluido, etc. En la instalación proyectada se encuentran los siguientes accesorios:

### **14.3.1 Codos de 90°**

Los cambios de dirección de la misma tubería se realizarán con codos de 90 °. Al ser el flujo en los codos y en las curvas más turbulento que en las tuberías rectas, se produce en dichas zonas un aumento de la corrosión y la erosión. Para contrarrestar tal efecto se emplearían codos de radio largo, con radio de curvatura grande.



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 14.3.2 Tipos de válvulas

Las válvulas son elementos que pueden realizar algunas de las siguientes funciones:

1. Impedir la circulación de un fluido por un tubería o permitirla
2. Variar la pérdida de carga que sufre un fluido al atravesar la válvula, con lo cual puede regular el caudal de la tubería.
3. Permitir la circulación de un fluido a través de la válvula en un único sentido.

En la planta diseñada se necesitan válvulas para cumplir dichas funciones. Los tipos de válvulas necesarios son:

#### a) Válvulas de asiento o compuerta

Se utilizan para detener el flujo. Este tipo de válvulas resulta poco recomendable para una regulación rigurosa del flujo, aunque es muy adecuada para servicios que requieren grandes aperturas o cierres.

El órgano de cierre es un disco perpendicular a la dirección del flujo que se mueve verticalmente, sin girar, bajo la acción del husillo. El disco tiene forma de cuña y se adapta a un asiento que tiene la misma forma. Cuando se abre la válvula, el disco se eleva hasta que queda completamente fuera de la trayectoria del fluido, por lo que cuando está totalmente abierta deja una sección de paso igual al diámetro de la tubería, u no produce variación en la dirección del flujo. Una válvula de compuerta, por lo tanto, genera una despreciable caída de presión.



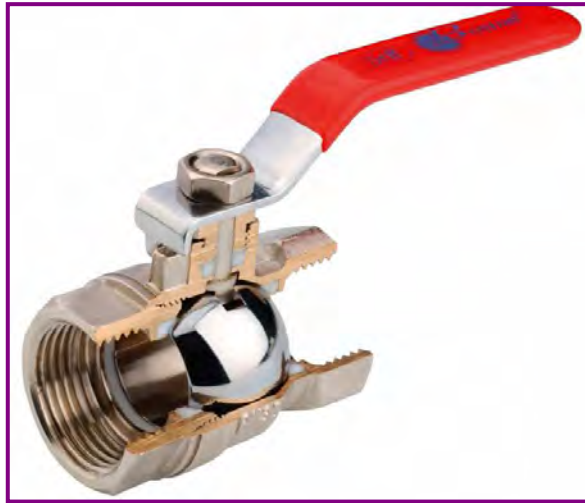
## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El tipo de válvula de compuerta más común es la de husillo y puente con cuña sólida. Se utilizarán entonces para impedir el paso del fluido en los casos en los que sea necesario aislar a un equipo o una tubería para el mantenimiento de los mismos.

### b) Válvulas de retención

Tienen como función principal el paso del fluido en un solo sentido. Se abren debido a la presión del fluido que circula en un determinado sentido.

Cuando se detiene el flujo o tiende a invertirse, la válvula se cierra automáticamente por gravedad o por medio de un resorte que presiona el disco. El tipo más utilizado es la válvula de bola, en la cual, el órgano de cierre es una bola con una perforación de igual sección que la de la tubería. Cuando está totalmente abierta, la pérdida de



presión es muy pequeña y no hay alteración en la dirección del flujo.

Estas válvulas se limitan a temperaturas bajas, aquellas que no afecten a los asientos de plásticos. Puesto que el elemento sellador es una bola, su alineación con el eje del vástago no es esencial para el cierre hermético.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### c) Válvulas de mariposa

Estas válvulas son de construcción extremadamente simple, tienen su aplicación fundamental en la regulación del caudal en tuberías de gran tamaño, y se prestan muy bien al accionamiento neumático, hidráulico, etc. El órgano de cierre es un disco de igual sección que la tubería, que gira alrededor de su diámetro horizontal (o vertical) accionado por un eje solidario que sale al exterior. Pueden utilizarse tanto para líquidos como para gases. Las válvulas de mariposa



crean una insignificante pérdida de carga en la línea cuando están completamente abiertas. Estas válvulas se emplearán en el circuito de gas, dióxido de carbono, para aislar equipos y tuberías. El material de las válvulas será acero inoxidable, por su aceptable resistencia a la corrosión y su fácil mecanizado.

En la **Tabla 14.3.1** se muestra los tipos de válvulas así como el número de unidades existentes en la planta. La localización de las válvulas se pueden observar en los distintos planos.

TIPOS DE VÁLVULA	UNIDADES	MATERIAL
Asiento o compuerta	7	Acero inoxidable AISI304
Mariposa	2	Acero inoxidable AISI304
Retención	3	Acero inoxidable AISI306

**Tabla 14.3.1.** Tipos de válvulas de la planta

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

La empresa encargada de suministrar las válvulas y accesorios para tuberías es COMEVAL, dedicada al control de fluidos y válvulas industriales. [Véase **Anexo IX. Catálogos**]

### 14.4.3 Uniones en las tuberías

La conexión de tramos de tubería entre sí y la conexión de tuberías con válvulas, recipientes, bombas, etc. se hará por medio de bridas. Son dos discos iguales o anillos de metal unidos mediante tornillos que comprimen una junta situada entre sus caras, permitiendo así las distintas conexiones de las tuberías.



La conexión se realizará por medio de bridas y no de soldadura puesto que éstas últimas son herméticas y no se pueden realizar cambios, por tanto las bridas facilitaran los trabajos que se requieran de mantenimiento y sustitución de tuberías en la planta.

## CAPÍTULO 15. BOMBAS EN PLANTA

Las bombas son los equipos más comunes para el desplazamiento de líquidos en las plantas de proceso. Las bombas incrementan la energía mecánica del líquido, aumentando su velocidad, presión y/o elevación. De acuerdo a su principio de funcionamiento, y de forma general, se pueden clasificar en dos grandes grupos: bombas de desplazamiento positivo y bombas centrífugas.

[Mc Cabe et al, 7 ed].

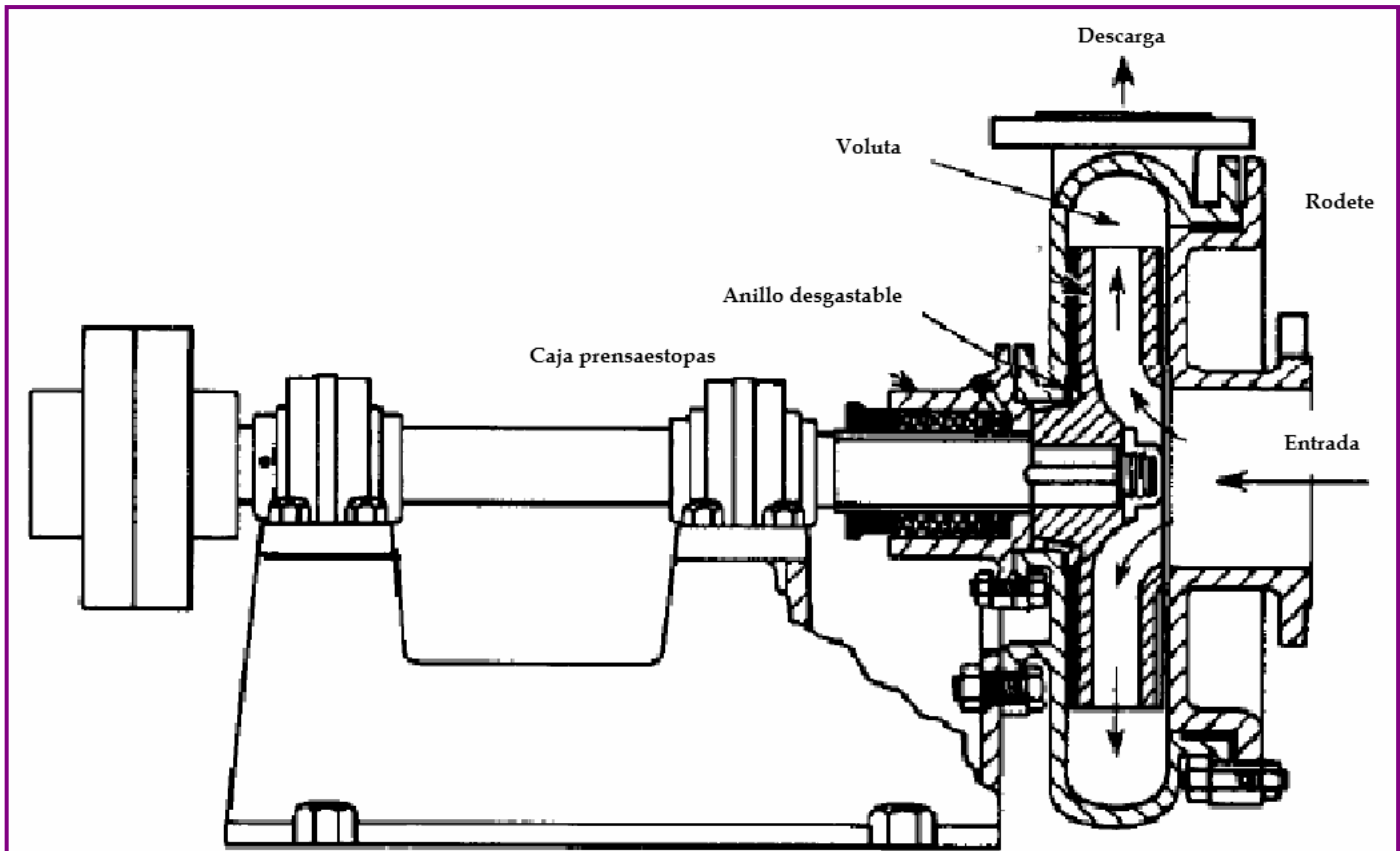
### 15.1 Tipos de bombas industriales

Las bombas de desplazamiento positivo aplican presión directamente al líquido por un pistón reciprocante o por miembros rotatorios, los cuales forman cámaras alternadamente llenas o vacías convirtiendo la energía cinética resultante del líquido en energía de presión. Estas bombas se dividen a su vez en dos tipos: bombas alternativas y rotatorias. En la primera de ellas la cámara es un cilindro estacionario que contiene un émbolo, mientras que en la segunda la cámara se mueve desde la entrada hasta la descarga y regresa nuevamente a la entrada.

En las bombas centrífugas, la energía mecánica del líquido se aumenta por la acción de una centrífuga. El esquema sencillo de la bomba se muestra en la **figura 15.1.1**. El líquido penetra a través de una unión concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, rodete. El rodete está provisto de unos álabes radiales. El líquido circula hacia afuera, por el interior de los espacios que existen entre los álabes, y abandona el rodete con una velocidad mucho mayor que a la entrada del mismo. En una bomba que funciona normalmente, el espacio comprendido entre los álabes está totalmente lleno de líquido que circula sin cavitación. El líquido que sale periféricamente del rodete se recoge en una carcasa espiral, voluta, y sale de la bomba a través de la conducción tangencial de descarga. La voluta, la carga de velocidad del líquido procedente

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

del rodete, se convierte en carga de presión. El fluido recibe energía del rodete, que a su vez es transmitida al mismo mediante el par de un eje giratorio, generalmente accionado mediante conexión directa a un motor de velocidad constante, del orden de 1.750 r.p.m.



**Figura 15.1.1.** Esquema de voluta  
**Fuente.** Mc Cabe, 7 ed

En la planta se instalarán en su mayoría bombas centrífugas, por ser apropiadas para las aguas con sólidos en suspensión y permitir grandes caudales. Además su sencillez, bajo coste inicial, flujo uniforme, bajos costes de instalación y mantenimiento y pequeño espacio hacen su uso muy común en todo tipo de procesos. Las bombas se localizan en una sala de bombas para mejorar el mantenimiento. El cebado está asegurado por gravedad ya que todos los depósitos de aspiración están por encima del plano de la bomba.

## 15.2 Elección de bombas

Se diseñan un total de 16 bombas en la planta objeto de estudio, su disposición pueden observarse en los distintos planos. La elección de las bombas se hace en base a naturaleza del líquido que se va a bombear, la capacidad requerida, la carga total de la bomba y el precio de la misma. Los cálculos al respecto, se encuentran en el **Anexo V**. En la siguiente tabla se muestra los distintos tipos de bombas elegidas para cada línea del proceso así como la potencia consumida del motor. [Véase **Anexo IX. Catálogo**].

Nº BOMBA	LINEA	FLUIDOS	MARCA	MODELO	POTENCIA MOTOR (Kw)
1	1	Agua transporte	PUTSCH®	DN 150 (6")	4,5
2	15	Agua lavado	CALPEDA®	N4-80-250B	5,5
3	2	Jugo difusión	CALPEDA®	N4-40-160C	0,37
4	4	Jugo encalado	CALPEDA®	N4-40-160C	0,37
5	6	Jugo filtrado de 1ª	CALPEDA®	N4-40-160C	0,37
6	8	Jugo filtrado de 2ª	CALPEDA®	N4-40-160C	0,37
7	10	Jugo- Anteevaporación	CALPEDA®	N4-32-125A	0,37
8	12	Lechada	DEBEM®	MB-80	0,37
9	12	Lechada	DEBEM®	MB-80	0,37
10	13	CO <sub>2</sub>	MAPNER®	R.12.N	7,5
11	13	CO <sub>2</sub>	MAPNER®	R.12.N	7,5
12	14	Hidróxido sódico	CALPEDA®	N4-32-125A	0,37

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

13	15	Agua a lavadero	CALPEDA®	N4-32-125A	0,37
14	16	Agua a difusor	CALPEDA®	N4-40-160C	0,75
15	17	Agua descalcificadores	DEBEM®	MB-80	0,37
16	18	Agua a tanque lechada	DEBEM®	MB-80	0,37

Tabla 15.1.2. Marcas y modelos de bombas instaladas.

Fuente. Pag. Web Direct Industry

Dentro de las bombas existentes en la planta, la bomba que impulsa la remolacha hacia el lavadero es especial. Su función es alimentarse de la impulsión de otra bomba y disgregar el montón existente de remolacha en el silo. La figura 15.1.3 muestra dicha bomba.



Figura 15.1.3. Bomba de remolacha.

Fuente. Empresa PUTSCH®



## **CAPÍTULO 16. MANTENIMIENTO DE LA PLANTA**

El mantenimiento en planta se puede dividir en dos períodos diferenciados, campaña e intercampaña. Estos dos períodos son diferenciados en este tipo de industria debido a la recogida de la materia prima, la remolacha. En el sur, esta recogida tiene lugar en el período de abril a junio, empezando a producir a finales de junio. Por lo tanto existe dos tipos de programas de mantenimiento, uno para el período de campaña y otro para el período de intercampaña.

La determinación de un programa de mantenimiento se basa en las recomendaciones de uso dadas por los fabricantes de los equipos instalados, así como en función y el comportamiento observado en período de campaña.

### **16.1 Período de intercampaña**

Este período comienza cuando la industria deja de producir y es el período más largo, puesto que la producción abarca aproximadamente 60 días. Por lo tanto será crucial llevar a cabo un mantenimiento adecuado en intercampaña para evitar al máximo los problemas que puedan surgir durante el período de campaña.

El objetivo principal de este programa de mantenimiento es dimensionar los fallos ocurridos durante el proceso en campaña, plan periódico de revisiones de equipos e instalaciones, elaborar planes de mejora de acuerdo al trabajo en equipo de los operadores de planta y personal de mantenimiento y establecer un stock de repuestos en almacén que prevenga faltas durante la campaña. Todos estos análisis deben ir acompañados de informes estadísticos que permita cuantificar la frecuencia de los fallos.

A continuación se exponen una serie de instrucciones generales:

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Todos los equipos, bombas, canaletas, estanques, etc. deberán limpiarse íntegramente extrayendo al máximo la suciedad e incrustaciones. Cualquier elemento extraño que se presente puede dañar las bombas, equipos e instrumentos.

Se deben verificar válvulas y bombas para evitar que presenten fugas. Será obligatorio revisar la lubricación de todos los equipos y de ser posible revisar antes de la puesta en marcha los circuitos eléctricos y de instrumentación.

### **16.2 Período de campaña**

Este período dura aproximadamente 60 días. Durante el funcionamiento en operación normal, la estrategia de mantenimiento se ve reducida a seguir un plan de revisión de equipos diariamente. Por los propios operarios de planta. Se entregarán los informes con los parámetros actuales de operación comparándolos con los informes iniciales.

Este mantenimiento diario se basa en lubricación de equipos si fuese necesario, revisión de motores, revisión de medidores, válvulas y limpieza de tuberías.

## **CAPÍTULO 17. SEGURIDAD E HIGIENE EN PLANTA**

Uno de los objetivos primordiales de este capítulo es promover la mejoría de las condiciones físicas y ambientales en que se desempeña el trabajo, para contribuir al beneficio mutuo de trabajadores y empresa.

Con las técnicas de seguridad e higiene industrial se genera un medio ambiente laboral seguro y productivo en cuanto se abaten los índices de riesgo de enfermedades y facilita al empresario y al trabajador disposiciones legales para contribuir al aumento de la productividad y bienestar de los trabajadores.

Los principales riesgos existentes en la planta objeto de estudio son, por una parte, los riesgos provocados por el uso de máquinas y equipos: riesgo por el uso de equipos a presión, riesgos eléctricos, riesgo de incendio, riesgo por agresiones químicas, riesgo de atrapamiento, etc. Por otra parte, existen los riesgos debidos al personal de trabajo: riesgo por manipulación de cargas, riesgo de exposición de ruido, riesgos por el uso indebido de los equipos de protección personal, etc.

La máxima seguridad en la industria depende de la formación que haya recibido cada una de las personas que integren el equipo de trabajo, así como del entrenamiento correcto en práctica de evacuación y de una supervisión adecuada. Por parte de la empresa se intentarán, en la medida de lo posible, protecciones colectivas en vez de individuales.

Todo trabajador deberá de estar formado e informado de los riesgos a los que estarán expuestos en su puesto de trabajo, cuáles son las posibles enfermedades laborales de su puesto, así como de los límites de exposición en el caso que así fuese. Además, deberá de saber actuar en un momento de emergencia. Por lo tanto se deberán impartir cursos tanto a todos como cada uno de los trabajadores que integran la planta. Estos cursos deberán tratar los siguientes aspectos:

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- ❖ Localización y uso de los equipos de protección personal (IPIs): fuente lavaojos, hidrantes de emergencia, equipo contra incendio, alarmas, equipos de emergencia, etc.
- ❖ Localización de medios para evitar inhalación de vapores.
- ❖ Formas de actuar y procedimientos a seguir.
- ❖ Primeros auxilio, etc.

De forma general, todo lo necesario para prevenir la existencia de un posible accidente laboral o una futura enfermedad profesional.

Como ya se ha mencionado anteriormente, se intentará, en la medida de lo posible, hacer uso de protección colectiva, en cuanto mejora el bienestar de los trabajadores en el puesto de trabajo. Sin embargo, existen ocasiones que no es posible llevar a cabo una medida preventiva colectiva, para ello se hace uso de los equipos de protección individual. Existen multitud de equipos de protección individual dependiendo del riesgo al que se esté exponiendo el trabajador. Los más comunes se nombran a continuación:

### ❖ **Protección para los ojos**

Anteojos de seguridad. Se suelen usar en aquellos sitios donde se necesite una seguridad continua en los ojos.

Goggles, gafas de seguridad antiácidos. Deben ser cuidadosamente ajustados y equipados con lentes de plástico o vidrio.

Caretas de plástico de cobertura total. Pueden ser utilizadas en lugares donde existe riesgo de impacto en los ojos.

### ❖ **Protección respiratoria**

Equipo de aire autónomo. Permite al portador llevar una cantidad de oxígeno o aire comprimido.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Mascarillas con manguera y aire a presión suministrado por sopladores que no requieren lubricación interna. Deben estar localizadas en área libre de contaminación.

Mascarillas de filtros. El filtro varía dependiendo del ambiente a proteger.

Todo aquel personal que trabaje en las inmediaciones del horno de cal, deberá llevar máscaras protectoras respiratorias; el polvo generado por la piedra caliza provoca enfermedades de pulmón.

### ❖ **Protección para la cabeza**

El casco de seguridad es por lo general el equipo de protección individual más utilizado en la industria. Se debe usar para evitar posibles impactos en la cabeza.

### ❖ **Protección para oídos**

Existen multitud de tipos de protección contra el ruido en las industrias. Existen tapones desechables premoldeados y moldeables.

Protectores auriculares. Este dispositivo encierra por completo el pabellón auditivo externo y se aplica herméticamente a la cabeza. Se consigue una atenuación aproximadamente de 40 dB.

Cascos envolventes con orejeras. Son orejeras acopladas a un casco protector.

### ❖ **Protección para pies, piernas, manos y brazos.**

El calzado de seguridad constituye el elemento de protección de extremidades inferiores de uso más generalizado. En este tipo de planta se deberá usar zapatos con punteras de seguridad, antideslizantes y resistentes a perforaciones.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Con respecto a los brazos y manos, se deberán usar en cada puesto de trabajos aquellos para los que su uso esté especificado. Por ejemplo, en la limpieza del tanque de lechada, los operarios necesitarán guantes específicos para productos químicos abrasivos.

# DOCUMENTO 1

## MEMORIA

### *Anexos a la memoria*

## INDICE ANEXOS

<b>Anexo I. Balances de Materia.....</b>	<b>168</b>
A.1.1 Balance al difusor.....	169
A.1.2 Balance a la etapa de purificación.....	172
A.1.2.1 Consumo de CaO.....	173
A.1.2.2 Producción espumas.....	173
A.1.2.3 Consumo CO <sub>2</sub> .....	174
<b>Anexo II. Balances de Energía.....</b>	<b>177</b>
A.2.1 Balance al difusor.....	177
A.2.2 Balance a la etapa de purificación.....	180
A.2.3 Balances a la etapa de evaporación.....	183
A.2.3.1 Área de intercambio.....	188
<b>Anexo III. Diseño columnas de carbonatación.....</b>	<b>191</b>
A.3.1 Cálculo diámetro de la columna.....	191
A.3.2 Cálculo altura de la columna.....	194
A.3.2.1 Número de unidades de transferencia.....	194
A.3.2.2 Altura de la unidad transferencia.....	195
A.3.2.3 Altura de la torre.....	196
<b>Anexo IV. Diseño de tuberías de la planta.....</b>	<b>198</b>
A.4.1 Diseño del sistema de tuberías.....	198
A.4.2 Cálculos del sistema de tuberías.....	208
A.4.3 Pérdidas de carga en tuberías.....	217



**Anexo V. Bombas, soplantes y compresores.....229**

A.5.1. Diseño sistema de bombas.....229

A.5.2. Cálculo sistema de bombas.....235

**Anexo VI. Legislación.....242**

A.6.1. Fichas técnicas productos químicos.....242

A.6.2. Reglamento técnico-sanitario.....251

**Anexo VII. Gráficos y tablas.....255**

**Tabla 1.** Propiedades químicas de alimentos

**Tabla 2.** Relación grados Brix y calor específico

**Tabla3.** Relación grados Brix y densidad

**Tabla 4.1.**Propiedades termofísicas del vapor de agua saturado

**Tabla 4.2.** Propiedades termofísicas del agua saturada

**Gráfico 5.** Efecto de la temperatura de ebullición en el coeficiente de transferencia de calor para distintos evaporadores

**Tabla 6.** Velocidades medias de circulación recomendadas para distintos fluidos

**Tabla 7.** Propiedades de las tuberías de acero

**Tabla 8.** Tipos de juntas soldadas

**Tabla 9.** Valores del coeficiente Y

**Tabla 10.** Espesores económicos para el aislamiento de equipos industriales

**Tabla 11.** Tensiones máximas admisibles para metales.

**Tabla 12.** Gráfico de Moody para la rugosidad relativa

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Tabla 13.** Gráfico de Moody

**Tabla 14.** Nomograma de longitudes equivalentes en accesorios

**Tabla 15.** Pérdidas de carga en válvulas y accesorios

**Tabla 16.** Coeficiente de viscosidad en soluciones de sacarosa

**Tabla 17.** Estimación de la viscosidad de un gas a partir de su temperatura

**Tabla 18.** Propiedades termodinámicas del CO<sub>2</sub> húmedo

**Tabla 19.** Propiedades físico-químicas del hidróxido de sodio líquido

**Tabla 20.** Propiedades físico químicas del CO<sub>2</sub>

**Tabla 21.** Características de empaques de torres

**Tabla 22.** Correlación generalizada de la caída de presión en torres de relleno

**Anexo VIII. Química Azucarera.....289**

**Anexo IX. Catálogos de equipos.....293**

**Anexo X. Tablas para Presupuesto.....334**

***ANEXO I. Balances de materia***

## ANEXO I. BALANCES DE MATERIA

En este documento se exponen todos los cálculos referidos a los balances de materia de la planta. Los cálculos se dividirán según las etapas correspondientes en difusión, purificación y evaporación. El diagrama de flujo simplificado de la planta sería el siguiente:

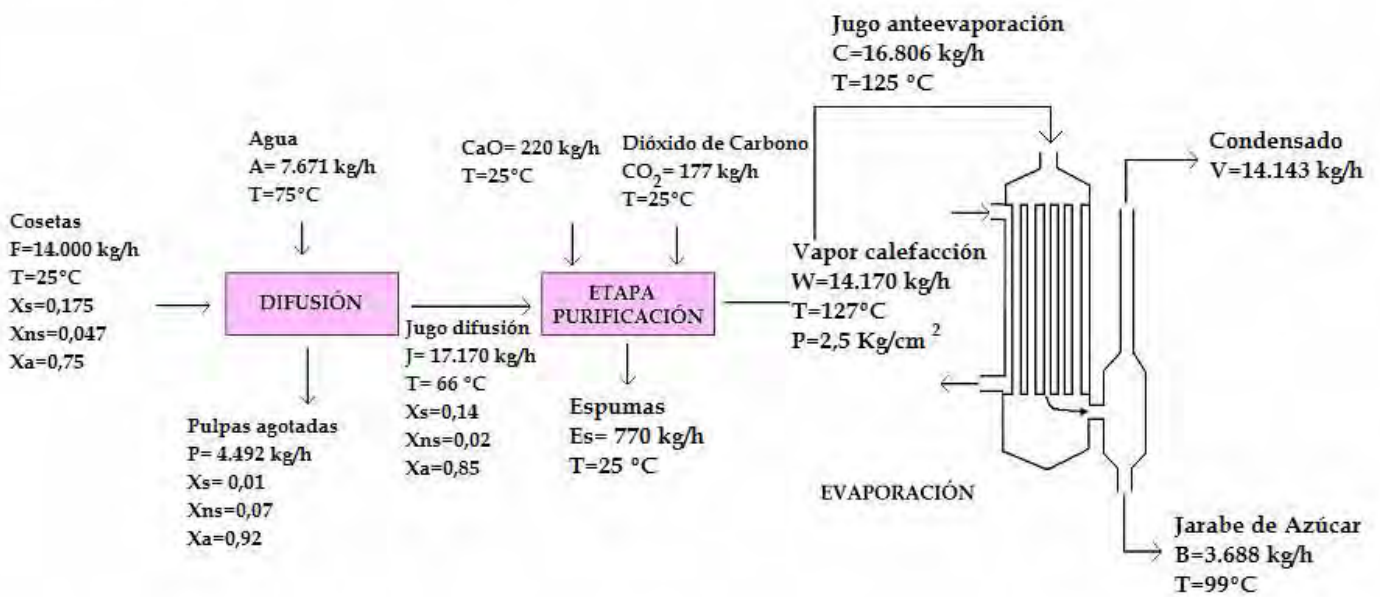


Figura 1.1.1. Diagrama de flujo global

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## 1.1 BALANCE AL DIFUSOR

En el extractor sólido-líquido se introduce remolacha con un contenido en sacarosa, impurezas y agua. Se definirá entonces cada uno de los componentes:

$X_s$ : contenido en sacarosa en el flujo (%)

$X_{ns}$ : Contenido de impurezas en el flujo (%)

$X_a$ : Contenido en agua en el flujo (%)

Se define los diferentes caudales de entrada y salida del difusor:

- ❖  $F$  = Caudal másico de entrada de remolacha, kg/h
- ❖  $A$  = Caudal másico de aporte de agua a la difusión, kg/h
- ❖  $J$  = Caudal másico de salida de jugo de la difusión, kg/h
- ❖  $P$  = Caudal másico de salida de pulpa agotada, kg/h

El porcentaje de sacarosa, no-sacarosa y agua en la remolacha están medidos y son los siguientes [Zuckerindustrie, pag web].

	<b>F</b>
<b><math>X_s</math></b>	17,5
<b><math>X_{ns}</math></b>	4,7
<b>A</b>	75

Se sabe que la cantidad de sacarosa no puede estar por encima del 1% en cuánto se disminuye la prensabilidad de las pulpas en los filtros prensas. Además, el porcentaje de sacarosa a la entrada de la purificación no puede ser menor del 10% ya que se tendría que añadir mayor cantidad de cal para el

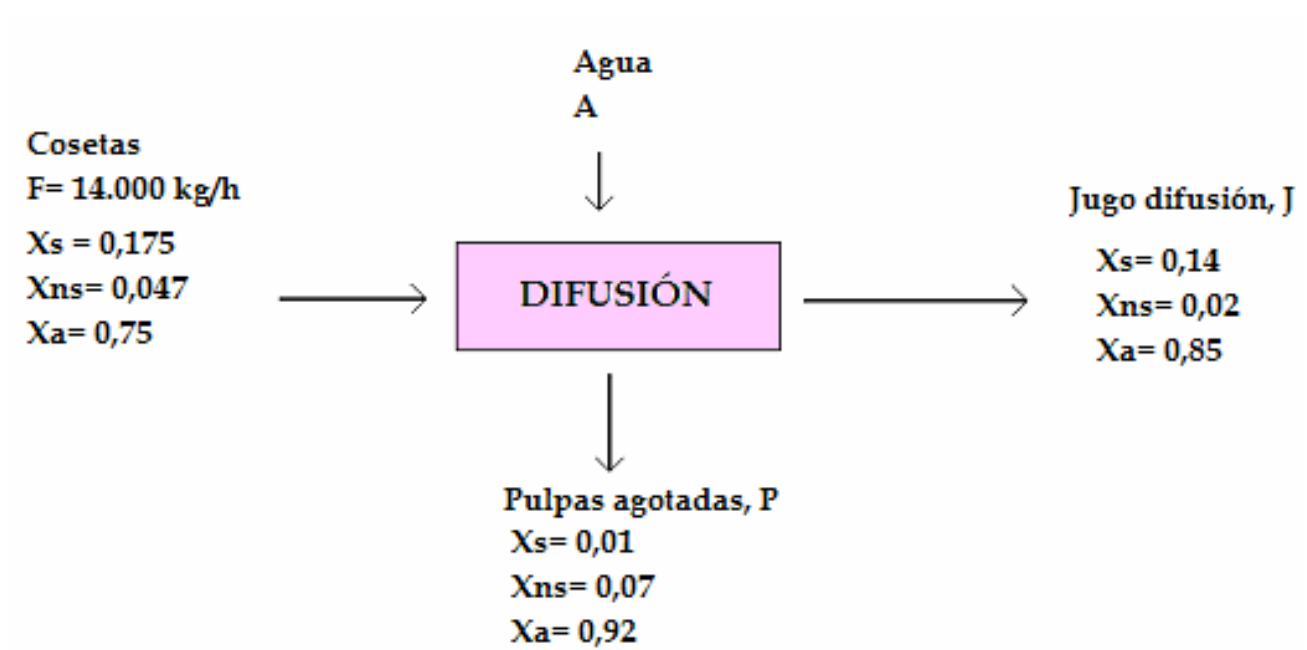
## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

mismo jugo a tratar con el consiguiente aumento de las incrustaciones en los equipos. [Azucarera Ebro].

Se estiman los siguientes datos:

	J	P
$X_s$	14	1
$X_{ns}$	2	7
$X_a$	85	92

El diagrama de flujo inicial del difusor sería:



**Figura 1.1.1.** Diagrama de flujo de materia. Etapa difusión

Se tiene una alimentación de  $14.000 \text{ kg/h}$  según se ha descrito en la Memoria Descriptiva **Capítulo 12.1.**

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Las ecuaciones de balance de materia serían:

<b>Global</b>	$F + A = J + P$	(1)
<b>Balance de sacarosa</b>	$X_s)_f * F + X_s)_a * A = X_s)_j * J + X_s)_p * P$	(2)
<b>Balance no sacarosa</b>	$X_{ns})_f * F + X_{ns})_a * A = X_{ns})_j * J + X_{ns})_p * P$	(3)

1. Se sustituye los datos en las ecuaciones (2) y (3), y se tiene:

$$\left. \begin{aligned} 0,175 * 14 &= 0,14 * J + 0,01 * P \\ 0,047 * 14 &= 0,02 * J + 0,07 * P \end{aligned} \right\}$$

Del sistema de ecuaciones se obtiene J y P:

$$J = 17,179 \text{ t/h} = 17.179 \text{ kg/h}$$

$$P = 4,492 \text{ t/h} = 4.492 \text{ kg/h}$$

2. Se sustituye en la ecuación (1) y se obtiene la cantidad de agua del proceso.

$$A = 7,671 \text{ t/h} = 7.671 \text{ kg/h}$$

Los datos del balance de materia obtenidos son los siguientes:

<b>A, AGUA (kg/h)</b>	7.671
<b>J, JUGO DIFUSIÓN (kg/h)</b>	17.179
<b>P, PULPA AGOTADA (kg/h)</b>	4.492

## 1.2 BALANCE A LA ETAPA DE PURIFICACIÓN

Se definen los siguientes caudales de entrada y salida a la etapa de purificación:

- ❖ J = Caudal másico de salida de jugo de la difusión, kg/h
- ❖ CaO = Caudal másico de aporte de Óxido de Calcio, kg/h
- ❖ CO<sub>2</sub> = Caudal másico de aporte de CO<sub>2</sub>, kg/h
- ❖ C = Caudal másico de jugo de anteevaporación, kg/h
- ❖ L = Caudal másico de lodos o espumas, kg/h

El diagrama de flujo de la etapa de la purificación es:

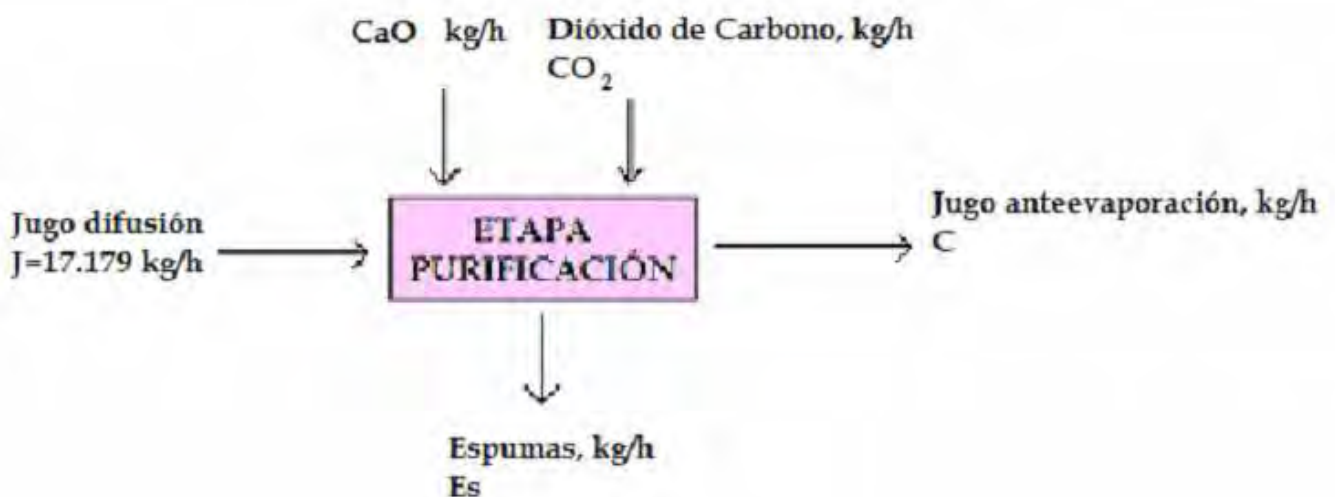


Figura 1.2.1. Diagrama de flujo etapa de purificación

La ecuación del balance de materia sería:

<b>Ecuación Global</b>	$J + CO_2 + CaO = C + L$	(4)
<b>Reacción en el horno</b>	$1 CaCO_3 + 435 kcal \Leftrightarrow 1 CaO + 1 CO_2$	(5)



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 1.2.1 Consumo CaO

Se estima que toda la producción de CaO y CO<sub>2</sub> del horno se consume durante la etapa de purificación. Como ya se ha explicado en la Memoria Descriptiva del presente proyecto en la etapa de purificación se introducen aproximadamente 13 g CaO/L de jugo para la purificación del jugo (**Capítulo 9.14**). Mediante la **Tabla 3 del Anexo VII** se obtiene la densidad en función del Brix:

1. Conociendo la densidad se calcula el caudal volumétrico del jugo de, difusión, este valor es de:

$$J = 17.179 \text{ kg/h} = 16.902 \text{ l/h}$$

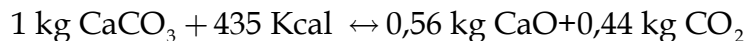
2. Por lo tanto, si para un litro de jugo se añaden 13 g de CaO, para el jugo de difusión se añadirá:

$$16.902 \text{ l/h} * 13 \text{ g CaO /L} = 219.7 \text{ g CaO /h} = 220 \text{ kg/h}$$

$$\text{CaO} = 220 \text{ kg/h}$$

### 1.2.2 Producción de espumas, Es

Por otra parte también se conoce la reacción química que se da en el horno:



Según la bibliografía de Azucarera Ebro se sabe que 1 kg de espuma contienen 0,546 de CaCO<sub>3</sub> por lo tanto:

$$\frac{1 \text{ kg espumas}}{0,546 \text{ kg CaCO}_3} * \frac{1 \text{ kg CaCO}_3}{0,56 \text{ kg CaO}} = 3,3 \frac{\text{kg espuma}}{\text{kg CaO}}$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

A esta cantidad se le añadirá la cantidad de materias no azucaradas que precipitan, por lo que aproximadamente: **1 parte de CaO equivale a 3.5 de espumas.**

Una vez calculada la cantidad de cal necesaria para el jugo de difusión y la cantidad de espumas que se generan según la cantidad de CaO que se introduzca en el horno, se tiene:

$$\frac{3,5 \text{ kg espumas}}{1 \text{ kg CaO}} * 220.000 \frac{\text{g CaO}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ kg CaO}}{1000 \text{ g CaO}} = 770 \frac{\text{kg espumas}}{\text{h}}$$

$$E = 770 \text{ kg/h}$$

### 1.2.3 Consumo de CO<sub>2</sub>

A partir de la reacción dada en el horno se tiene:

$$\frac{0,44 \text{ kg CO}_2}{0,56 \text{ kg CaO}} * 220 \frac{\text{kg CaO}}{\text{h}} = 177,065 \frac{\text{kg CaCO}_3}{\text{h}}$$

Nuevamente, se hace uso de la reacción que se da en el horno para calcular la cantidad de piedra caliza necesaria para producir CaO y CO<sub>2</sub>.

$$\frac{1 \text{ kg CaCO}_3}{0,56 \text{ kg CaO}} * 220 \frac{\text{kg CaO}}{\text{h}} = 393 \frac{\text{kg CaCO}_3}{\text{h}}$$

Si se tiene en cuenta que la piedra caliza que se compra es de una pureza de 97,5 %, se necesita 402,421 kg piedra caliza /h.

Por último se sustituye todos los valores en la ecuación (4) se tiene:

$$C = 16.806 \text{ kg/h}$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Los datos del balance de materia obtenidos en la etapa de purificación son los siguientes:

<b>CaO (kg/h)</b>	220
<b>CO<sub>2</sub> (kg/h)</b>	177
<b>ESPUMAS, E (kg/h)</b>	770
<b>JUGO ANTEEVAPORACIÓN, C (kg/h)</b>	16.806

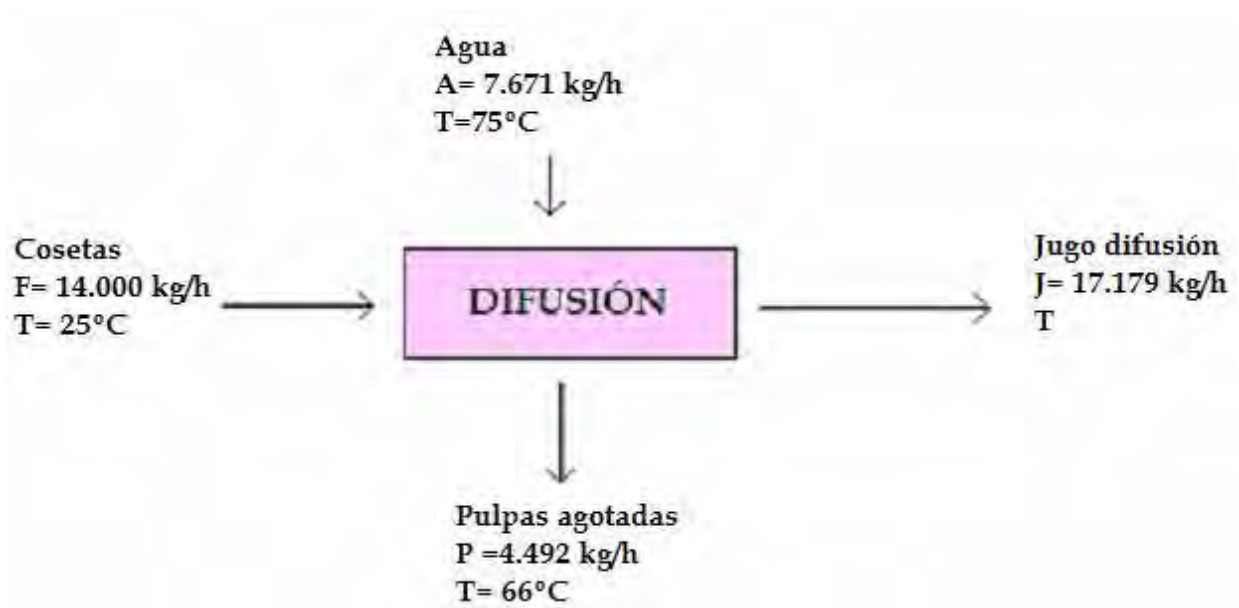
*ANEXO II. Balances de Energía*

## ANEXO 2. BALANCES DE ENERGÍA

A continuación se exponen los balances de energía para las distintas etapas. Se conoce que las cosetas tienen que entrar en el difusor a una temperatura tal que, posteriormente, se produzca adecuadamente la extracción. Además, el jugo en la entrada del evaporador tiene que ser calentado para su correcta concentración, como ya se ha explicado en la presente Memoria Descriptiva del Proyecto.

### 2.1 BALANCE AL DIFUSOR

El diagrama de flujo de energía se muestra en la **Figura 2.1.1**:



**Figura 2.1.1.** Diagrama de flujo etapa difusión

Donde;

- ❖  $Q_F$  = Calor procedente de la corriente de las cosetas, kcal/kg
- ❖  $Q_A$  = Calor procedente de la corriente de agua, kcal /kg
- ❖  $Q_P$  = Calor procedente de la corriente pulpas agotadas, kcal/kg
- ❖  $Q_J$  = Calor procedente de la corriente de jugo de difusión, kcal/Kg

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Los datos necesarios para el balance de energía serán los siguientes:

	T (°C)	Calor específico (kcal/kg · °C)
<b>F, entrada de remolacha al macerador</b>	25	0,902
<b>A, entrada de agua</b>	75	1,000
<b>J, salida jugo difusión</b>	--	0,896
<b>P, salida pulpa agotada</b>	66	0,982

Los calores específicos de las distintas corrientes se calculan sabiendo el Brix y utilizando la **Tabla 2 del Anexo VII** del presente Proyecto.

Se sabe que la corriente de prensas tiene que salir aproximadamente alrededor de 65-68 °C puesto que así se mejora la prensabilidad de las pulpas .Se estima la temperatura de salida en 66°C. **[Azucarera Ebro]**.

Las ecuaciones del balance de materia serán:

<b>Balance Global</b>	$Q_F + Q_A = Q_J + Q_P$	(6)
<b>Balance corriente de entrada, F</b>	$Q_F = F * C_{pF} * (T - T_{ref})$	(7)
<b>Balance corriente entrada de agua, A</b>	$Q_A = A * C_{pA} * (T - T_{ref})$	(8)
<b>Balance corriente salida de pulpas, P</b>	$Q_P = P * C_{pP} * (T - T_{ref})$	(9)
<b>Temperatura salida de jugo</b>	$T_J = Q_J / J * C_{pJ}$	(10)

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Se procede como sigue:

1. Se calculan los calores de las distintas corrientes a partir de las ecuaciones (7), (8) y (9). Se utilizan los datos calculados en el **Anexo 1.1**. Se tiene:

CORRIENTES	RESULTADOS (kcal/h)
$Q_F$	315.700
$Q_A$	575.325
$Q_P$	291.136

2. Se calcula  $Q_J$  a partir de la ecuación (6), se obtiene:

CORRIENTE	RESULTADOS (kcal/h)
$Q_J$	599.889

3. El calor disociado ( $Q_D$ ) en la difusión se supone del 10% del total, por tanto:

$$Q_D = 59.989 \text{ kcal/kg}$$

Por lo que finalmente se obtiene:

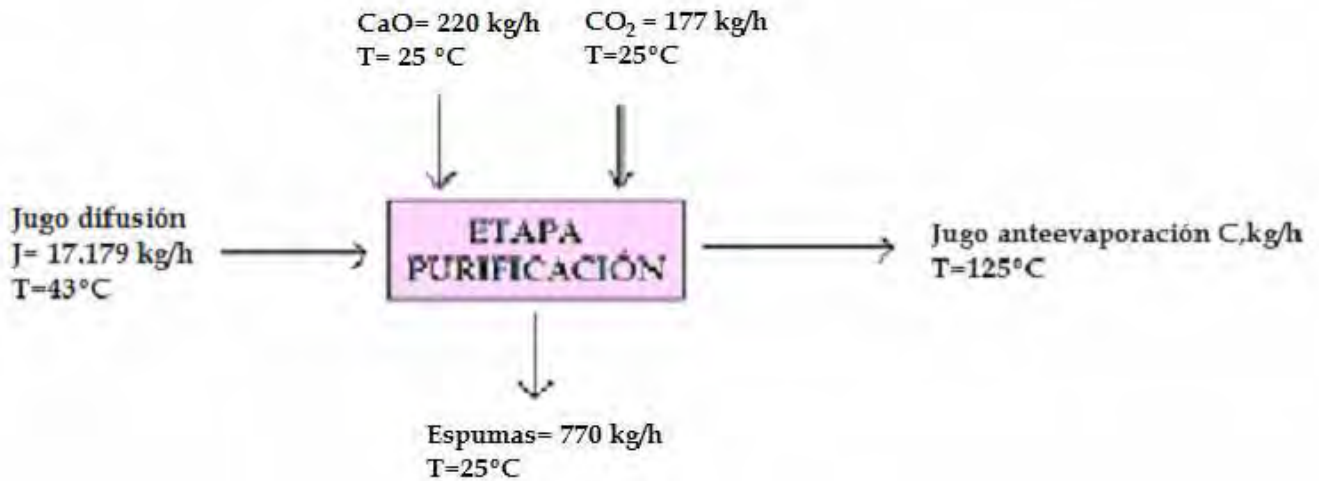
CORRIENTE	RESULTADOS (kcal/h)
$Q_J$	659.878

4. Por último, se calcula la temperatura de salida del jugo a partir de la ecuación (10).

$$T = 42,8 \text{ }^\circ\text{C} \approx 43 \text{ }^\circ\text{C}$$

## 2.2 BALANCE A LA ETAPA DE PURIFICACIÓN

El diagrama de flujo de la etapa de purificación es el siguiente:



**Figura 2.2.1.** Diagrama de flujo etapa purificación

Se definen los siguientes parámetros

- ❖  $Q_J$  = Calor procedente de la corriente del jugo de difusión, kcal/kg
- ❖  $Q_R$  = Calor procedente de la piedra del horno, kcal /kg
- ❖  $Q_C$  = Calor procedente de la corriente jugo claro, kcal/kg
- ❖  $Q_E$  =Calor procedente de las espumas, kcal/kg

Los datos necesarios para el balance energético de la etapa de purificación son los siguientes:

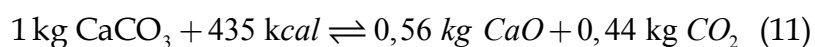


## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

	Temperatura (°C)	Calor específico (kcal/kg · °C)
J, jugo difusión	43	0,896
C, Jugo anteevaporación	90	0,903
Es, Espumas	25	0,931
Q <sub>J</sub> (kcal/h)	659.878	

Los calores específicos del jugo de difusión y jugo claro se obtienen a partir de la **Tabla 2 del Anexo VII**. El calor procedente de la corriente del jugo de difusión, se calculó en **Anexo 1.1**. El calor procedente de las piedras se calcula, para ello se hace uso de la reacción que transcurre en el horno

Se hace uso de la reacción que transcurre en el horno, esta es:



$$Q_R = \text{Cantidad de piedras en el horno} \times 435 \text{ kcal} \quad (12)$$

Se conoce la cantidad de piedras necesarias para la producción de la cantidad exacta de CaO. Esta se calculó en el **Anexo 1.2**. Por lo tanto, se aplica la ecuación (12) y se obtiene:

$$Q_R = 175.052 \text{ kcal/ kg}$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Se tienen las siguientes ecuaciones:

<b>Balance Global</b>	$Q + Q_R + Q_J - Q_C - Q_E = 0$	(13)
<b>Balance corriente jugo claro</b>	$Q_C = C * C_p)_C * (T_C - T_{ref})$	(14)
<b>Balance corriente de espumas</b>	$Q_E = E * C_p)_E * (T_E - T_{ref})$	(15)

Se procede como sigue:

- 1) Se calcula  $Q_C$  y  $Q_E$  a partir de las ecuaciones (14) y (15).

$$Q_C = 1.365.824 \text{ kcal/h}$$

$$Q_E = 17.922 \text{ kcal/h}$$

- 2) Haciendo uso de la ecuación (13) se calcula  $Q$  total.

$$Q = 584.816 \text{ kcal/h}$$

### 2.3 BALANCE A LA ETAPA DE EVAPORACIÓN

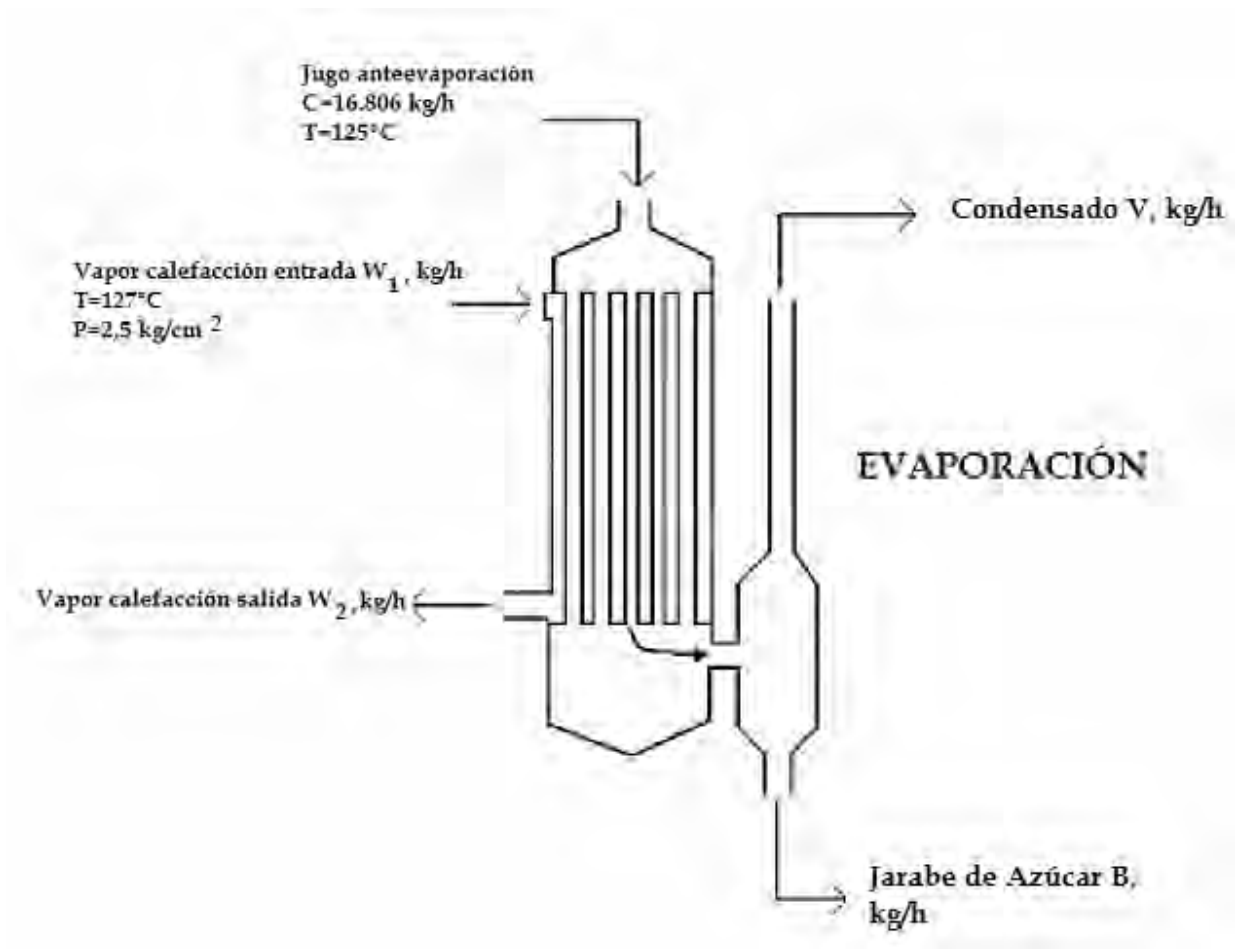


Figura 2.3.1. Diagrama de flujo de la evaporación

Se define los siguientes parámetros:

- ❖  $C$  = caudal másico de jugo anteevaporación,  $\text{kg/h}$
- ❖  $W_1$  = caudal másico de entrada de vapor de calefacción,  $\text{kg/h}$
- ❖  $W_2$  = caudal másico de salida de vapor de calefacción,  $\text{kg/h}$
- ❖  $V$  = caudal másico de condensado, en  $\text{kg/h}$
- ❖  $B$  = caudal másico de jarabe, en  $\text{kg/h}$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Las ecuaciones para el evaporador de simple efecto de tubos largos verticales son:

<b>Balance Entálpico</b>	$W \cdot \lambda_w = (C-B) \cdot H_v - C \cdot h_c + B \cdot h_b$	(16)
<b>Balance sacarosa al jugo anteevaporación</b>	$X_{s)c} \cdot C = X_{s)v} \cdot V + X_{s)b} \cdot B$	(17)
<b>Balance no sacarosa al jugo anteevaporación</b>	$X_{ns)c} \cdot C = X_{ns)v} \cdot V + X_{ns)b} \cdot B$	(18)
<b>Balance de Materia</b>	$C = V + B$	(19)

A continuación se muestran los datos que serán útiles en el diseño.

- VAPOR DE CALEFACCIÓN**

	<b>P vapor (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>T vapor (° C)</b>	<b>Hvapor (kcal/kg)</b>
W <sub>1</sub> , entrada vapor evaporación	2,5	127	648,3

	<b>h vapor condensado (kcal/kg)</b>
W <sub>2</sub> , salida vapor evaporación	127,1

Por lo tanto:

$$\lambda_w = 648,3 - 127,1 = 521,2 \text{ kcal/kg}$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- **JUGO ANTEEVAPORACIÓN**

	T jugo (°C)	Cp jugo (kcal/kg ° C)	h jugo (kcal/kg)
<b>C, jugo anteevaporación</b>	125	0,896	112

Las condiciones de entrada al evaporador de presión y temperatura se fijan por el diseño, según se ha explicado en la presente Memoria Descriptiva [Véase **Capítulo 12.4.5**]. Los datos de entalpías del vapor de calefacción son los obtenidos a partir de la **Tabla 4 del Anexo VII**.

El calor específico se calcula a partir de la **Tabla 2 del Anexo VII**. La temperatura se fija sabiendo que ésta tiene que ser inferior a la temperatura del vapor para que se produzca la evaporación. La entalpía del jugo se calcula a partir de la ecuación:

<b>Entalpía jugo, hc</b>	$hc = Cp * (T-Tref)$	(20)
--------------------------	----------------------	------

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

1. Se despeja B de la ecuación (16) y queda:

$$B = \frac{W * \lambda_w + C(h_c - H_v)}{h_b - H_v} \quad (21)$$

2. Para distintos caudales (kg/h) de W se procede :

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- Se supone un valor de calor específico. Se utilizará el calor específico inicial del jugo que entra en el evaporador.
  - Se calcula entalpía del jugo mediante la ecuación (20) en kcal/kg °C.
  
  - Se calcula B con la ecuación (21).
  
  - Haciendo uso de las ecuaciones (17) y (18) se obtiene las componentes en sacarosa y no sacarosa de la corriente (B) y en consiguiente el Brix.
  
  - Mediante la **Tabla 2 del Anexo VII**, se calcula el calor específico. Si el calor específico supuesto es distinto al calor específico calculado se vuelve al inicio, utilizando el calor específico calculado como punto de partida.
3. Una vez que los calores específicos sean iguales se observa el Brix que se obtiene, si no cumple las condiciones de diseño (Brix 70) se vuelve a empezar desde el punto 2, para otro valor de caudal de vapor distinto al anterior.

Se muestran tres iteraciones de los cálculos realizados del balance al evaporador:

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

W (kg/h)	Cp)supuesto (kcal/kg · °C)	B (kg/h)	Hb (kcal/kg)	Xs) <sub>B</sub>	Xns) <sub>B</sub>	Brix	Cp)calculado (kcal/kg · °C)
10.000	0,896	7.774	88,70	30,5	2,8	33,3	0,732
	0,732	7.556	72,52	31,4	2,8	34,23	0,737
14.000	0,896	4.049	88,70	58,6	5,3	63,9	0,613
	0,613	3.856	60,73	61,5	5,55	67,04	0,608
	0,608	3.853	60,17	61,6	5,6	67,02	0,608
<b>14.170</b>	0,896	3.891	88,70	60,9	5,5	66,4	0,612
	0,612	3.705	60,55	64	5,8	69,9	0,591
	0,591	<b>3.688</b>	58,47	<b>64,2</b>	5,8	<b>70</b>	0,591

Los resultados del balance de materia al evaporador son los siguientes:

W (kg/h)	B (kg/h)	H <sub>B</sub> (kcal/kg)	Xs) <sub>B</sub>	Xns) <sub>B</sub>	Brix
14.170	3.688	58,47	64,2	5,8	70

Por tanto se definen:

- ❖ **Qvapor** = Calor que cede la corriente de vapor procedente de calderas, kcal/h.
- ❖ **Qjugo** = Calor que absorbe la corriente de jarabe que se concentra, kcal/h

Tal como se ha explicado en la Memoria Descriptiva, **Capítulo 12.4.6**, se tiene las siguientes ecuaciones para el cálculo de los calores en el evaporador de tubos largos tubulares:

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Calor vapor (kcal/h)	$Q_w = W * \lambda_w$	(22)
Calor jarabe (kcal/h)	$Q_{\text{jarabe}} = (W * H_v) - (C * h_c) + (B * h_b)$	(23)
$Q_w = Q_{\text{jarabe}}$		(24)

La mecánica de cálculo es la siguiente:

1. Haciendo uso de las ecuaciones (22) y (23) se obtiene:

$$Q_{\text{vapor}} = 7.385.404 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{\text{jarabe}} = 7.387.499 \text{ Kcal/h}$$

2. Se observa que se cumple la ecuación (24), por lo que el diseño del evaporador es correcto. Sin embargo siempre existen pérdidas que corresponden a:

$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{jarabe}} - Q_{\text{vapor}} \quad (25)$$

$$Q_{\text{perdido}} = 2.095 \text{ kcal/h}$$

### 2.3.1 Área de intercambio

Se define un parámetro muy importante a tener en cuenta en el diseño del evaporador de tubos largos verticales, el área de transferencia de calor. Esta área se calcula a partir de la ecuación de Fourier:

$$Q = U * A * \Delta T \quad (26)$$

$$A = \frac{Q}{U * \Delta T} \quad (27)$$



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Se define:

- ❖  $Q$  = Calor intercambiado en el evaporador, kcal/h
- ❖  $U$  = Coeficiente global de transmisión de calor,  $\frac{kcal}{h * m^2 * K}$
- ❖  $A$  = Área de la superficie de transferencia de calor.
- ❖  $\Delta T$  = Diferencia de temperaturas entre el vapor y el líquido, K

Para ello se procede como sigue:

1. Se estima el coeficiente de transferencia de calor,  $U \left( \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C} \right)$ . Para

ello se hace uso de la **Gráfica 5 del Anexo VII**. Esta gráfica la obtuvo Kerr a partir de datos de plantas con evaporadores de tamaño normal para caña de azúcar. Se necesita la temperatura de la cámara de condensación,  $T = 125^\circ C$ , y se calcula para un evaporador tipo D. Aproximadamente se obtiene:

$$U = 1.898,754 \frac{kcal}{h * m^2 * K}$$

2. Se calcula el  $\Delta T$  entre el vapor de agua que condensa y el punto de ebullición del líquido,  $T_w - T_L$

$$\Delta T = 126,8 - 125 = 1,8^\circ C = 1,8 K$$

3. Sustituyendo en la (27) se obtiene:

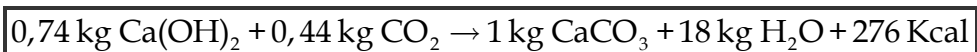
$$A = 2.160,892 m^2$$

*Anexo III. Columna de  
carbonatación*

### ANEXO III. COLUMNAS DE CARBONATACIÓN

El objetivo de las columnas de carbonatación es eliminar gran parte del carbonato formado durante el proceso de preencalado y encalado poniendo en contacto a contracorriente el jugo de difusión carbonatado y dióxido de carbono, procedente del horno de cal.

En dichas columnas se lleva a cabo la siguiente reacción química:



Se calcula el diámetro y la altura de dichas columnas. La empresa PUTSCH® se encargará de construir ambas.

#### A.3.1. Cálculo del diámetro de las columnas

La determinación del diámetro de la columna requiere de un cierto número de cálculos que dependen del relleno elegido y de la caída de presión a lo largo de la columna.

El cálculo de la sección de columna, por tanto, el diámetro de la misma se calcula para el punto de inundación, tal como se describió en el **apartado 12.3.3** de la presente Memoria descriptiva.

Los datos iniciales para determinar el diámetro de la columna son los siguientes:

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

$L'$ (lb/h)	8.256,363
$G'$ (lb/h)	80,316
$G'$ (m <sup>3</sup> /h)	90,360
$G'$ (ft <sup>3</sup> /s)	2,559
$\rho_G$ (lb/ft <sup>3</sup> )	31,397
$\rho_L$ (lb/ft <sup>3</sup> )	17.015,098
$\mu_L$ (mPas)	1,500
$\mu_L$ (cP)	1,369

**Tabla A.3.1.** Datos iniciales para el diseño de las columnas de carbonatación

El factor de relleno,  $F_p$ , se determina empíricamente para cada tipo y tamaño del relleno. Los valores de  $F_p$  se encuentran en la **Tabla 21. Anexo VII.**

En el caso del presente Proyecto se ha escogido un relleno compuesto por anillos Raschig de 50 mm con las siguientes características:

$F_p$	213
Área (m <sup>2</sup> )	92

Una vez detallados los datos, se recurre a la Correlación de Eckert-Leva, un métodos gráfico que permitirá conocer el área transversal de la torre y por tanto su diámetro.

Se representa en el eje de las ordenadas,  $C_s$ :

$$C_s = U_t \left[ \frac{\rho_G}{\rho_L \cdot \rho_G} \right]^{0,50} * F_p^{0,50} * \nu^{0,05} \quad \mathbf{A.3.1.1}$$

Donde;

$U_t$  = velocidad superficial del gas ( ft/s)

$\rho_G$ , = densidad del gas (lb/ft<sup>3</sup>) o (kg/m<sup>3</sup>)

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

$\rho_L$ = densidad del gas y del líquido (lb/ft<sup>3</sup>) o (kg/m<sup>3</sup>)

$F_P$ = factor de relleno

$\nu$ : viscosidad cinemática del líquido, cS

En la escala de abscisas se representa el parámetro de flujo  $F_{LG}$   
(adimensional)

$$F_{LG} = \frac{L}{G} \left( \frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0,5} \quad \text{A.3.1.2}$$

La mecánica de cálculo seguida es la siguiente:

### A) Cálculo de $F_{LG}$

A partir de la **A.3.1.2.** y conociendo todos los valores de las corrientes implicadas, se calcula el valor de  $F_{LG}$ .

### B) Cálculo del valor del parámetro, $C_s$

A partir de la **Tabla 2 Anexo VII** y considerando la pérdida de carga para el punto de inundación, de 1,5 in H<sub>2</sub>O/ft, se obtiene un valor en el eje de ordenadas. Una vez determinado este valor, con la expresión existente en el eje de abscisas se resuelve el valor de  $C_s$

### C) Cálculo de la velocidad lineal del gas, $U_t$

Sustituyendo en la ecuación **A.3.1.1** se obtiene la velocidad lineal del gas.

#### D) Cálculo del área transversal de la columna, A

Estableciendo la relación existente entre el área transversal y la velocidad lineal del gas, se obtiene dicha área. Esta ecuación es la siguiente:

$$A * U_t = G \quad \text{A.3.1.3}$$

Conociendo el área del círculo,  $A = \Pi * \frac{D^2}{4}$  **A.3.1.4**, se despeja D, diámetro de la columna (ft).

Una vez conocida la mecánica de cálculo se procede a calcular el diámetro de las columnas.

<b>F<sub>LG</sub> (adimensional)</b>	4,416
<b>C<sub>S</sub> (adimensional)</b>	0,027
<b>U<sub>t</sub> (ft/s)</b>	3,519
<b>Diámetro (m)</b>	<b>4,342</b>

### A.3.2. Cálculo de la altura de la columna

Para el cálculo de la altura de la torre es necesario calcular una serie de parámetros anteriores, tal y como se comentó en la presente Memoria descriptiva. A continuación se calcula dichos parámetros:

#### A.3.2.1 Número de unidades de transferencia.

La ecuación para el cálculo del número de unidades de transferencia es la siguiente [Mc Cabe, 7ed]:

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

$$NUT = Y_1 - Y_2 + \ln \frac{Y_1}{Y_2} \quad \text{A.3.2.1}$$

Donde;

$$Y = \frac{y}{1-y} \quad \text{A.3.2.2}$$

NUT: número de unidades de transferencia

Y: razón molar del soluto en el gas

y : fracción molar del soluto en el gas

1: corriente gaseosa entrada

2: corriente gaseosa salida

### A.3.2.2. Altura de la unidad de transferencia

La ecuación a utilizar para el cálculo de la altura de la unidad de transferencia viene dada por:

$$AUT = \frac{\left(\frac{G'}{S}\right)}{K_G a} \quad \text{A.3.2.3}$$

Donde;

AUT = Altura de la unidad de transferencia (m)

G' = caudal molar de inerte en la fase gaseosa (mol/h)

S = sección de la columna de relleno (m<sup>2</sup>)

K<sub>G</sub>a = coeficiente global de transferencia de materia (mol/m<sup>3</sup>h). En el caso del presente Proyecto este dato lo proporciona Azucarera Ebro a partir de estudios de investigación del departamento I+D+i

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### **A.3.2.3. Altura de la torre**

La altura de las columnas de carbonatación viene dada por:

$$Z_t = NUT * AUT \quad \mathbf{A.3.2.4}$$

La mecánica de cálculo es la siguiente:

#### **A) Cálculo de NUT**

Para el cálculo de NUT tanto a la fase líquida como a la gaseosa se sustituye los datos en la ecuación **A.3.2.1** y **A.3.2.2**. Estos datos son los siguientes:

$$Y_1 = 0,709$$

$$Y_2 = 0.0004$$

$$NUT = 8,185$$

#### **B) Cálculo de AUT**

Para el cálculo de AUT se utiliza la ecuación **A.3.2.3** obteniendo:

$$K_{Ga} = 232 \text{ mol/m}^3\text{h}$$

$$AUT = 1,173$$

#### **C) Cálculo de la altura de la columna**

Para el cálculo de la altura de la columna se utiliza la ecuación **A.3.2.4**, y se obtiene:

$$Z_t = 9,601 \text{ m}$$



***ANEXO IV. Tuberías***

## ANEXO IV: DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS DEL PROCESO

### A.4.1. Diseño del sistema de tuberías

El sistema de tuberías de la planta está estructurado en diversas líneas de trasvase de fluidos, cada una de las cuales está formada por tramos que conectan los equipos con los dispositivos de impulsión, así como los accesorios y demás equipos. Las líneas consideradas se enumeran en las siguientes tablas:

LÍNEA	DESCRIPCIÓN	CONDUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Transporte de agua y remolacha	1	Tramo que va desde la salida del silo de remolacha hasta la entrada del despedrador
2	Transporte de jugo de difusión	2.1	Tramo que va desde la salida del difusor a la bomba 03.
		2.2	Tramo que va desde la bomba 03 al tanque pulmón 01.
		2.3	Tramo que va desde la salida del tanque 01 a la entrada del preencalador.
3	Transporte jugo preencalado	3	Tramo que va desde la salida del preencalador a la entrada del encalado en frío.

**Tabla A.4.1.1** Descripción de las líneas de fluidos y conducciones (1/6)

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

LÍNEA	DESCRIPCIÓN	CONDUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
4	Transporte del jugo encalado.	4.1	Tramo que va desde la salida del encalado en frío a la bomba 04.
		4.2	Tramo que va desde la bomba 04 al intercambiador 02.
		4.3	Tramo que va desde el intercambiador 02 a la columna de carbonatación 01.
5	Transporte jugo carbonatado de 1ª	5	Tramo que va desde la columna de carbonatación 01 a los Filtros PKF 01.
6	Transporte jugo filtrado de 1ª.	6.1	Tramo que va desde la salida de los Filtros PKF 01 a la bomba 05.
		6.2	Tramo que va desde la bomba 05 a la columna de carbonatación 02.
7	Transporte de jugo carbonatado de 2ª	7	Tramo que va desde la columna de carbonatación 2ª a los Filtros PKF 02.
8	Transporte jugo filtrado de 2ª (jugo claro)	8.1	Tramo que va desde los Filtros PKF 02 a la bomba 06.
		8.2	Tramo que va desde la bomba 06 al tanque pulmón 02.
9	Transporte de jugo claro	9	Tramo que va desde la salida del tanque pulmón 02 al intercambiador iónico.

**Tabla A.4.1.1.** Descripción de las líneas de fluidos y conducciones (2/6)

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

LÍNEA	DESCRIPCIÓN	CONDUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
10	Transporte de jugo descalcificado (jugo anteevaporación).	10.1	Tramo que va desde el intercambiador iónico a la bomba 07.
		10.2	Tramo que va desde la bomba 07 al tanque pulmón 03.
		10.3	Tramo que va desde el tanque pulmón 03 a la bomba 08.
		10.4	Tramo que va desde la bomba 08 al intercambiador 03.
		10.5	Tramo que va desde el intercambiador 03 al evaporador.
11	Transporte de jarabe de azúcar.	11	Tramo que va desde la salida del evaporador hasta el tanque de almacenamiento de jarabe 04.
12	Transporte de lechada	12.1	Tramo que va desde el tanque de lechada (mick) hasta las bombas 09 y 10.
		12.2	Tramo que va desde la bomba 09 hasta el preencalador.
		12.3	Tramo que va desde la bomba 10 al encalador.

Tabla A.4.1.1 Descripción de las líneas de fluidos y conducciones (3/6)

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

LÍNEA	DESCRIPCIÓN	CONDUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
13	Transporte de CO <sub>2</sub>	13.1	Tramo que va desde la salida del horno a la bomba 11.
		13.2	Tramo que va desde la salida del horno a la bomba 12.
		13.3	Tramo que va desde la bomba 11 a la columna de carbonatación 01.
		13.4	Tramo que va desde la bomba 12 a la columna de carbonatación 02.
14	Transporte de NaOH	14.1	Tramo que va desde el tanque 05 a la bomba 13.
		14.2	Tramo que va desde la bomba 13 a la entrada por cabezas de la batería de intercambiadores.
		14.3	Tramo que va desde la salida por colas de la batería de intercambiadores al tanque 06.

**Tabla A.4.1.1.** Descripción de las líneas de fluidos y conducciones (4/6)

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

LÍNEA	DESCRIPCIÓN	CONDUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
15	Transporte de agua de red	15.1	Tramo que va desde la cisterna de agua hasta la bomba 14.
		15.2	Tramo que va desde la bomba 14 al lavadero de tambor.
		15.3	Tramo que a desde el lavadero de tambor al decantador.
		15.4	Tramo que va desde el decantador a la bomba (02).
		15.5	Tramo que va desde la bomba (02) a la bomba de remolacha (01)
16	Transporte de agua de red	16.1	Tramo que va desde la cisterna hasta la bomba 15.
		16.2	Tramo que va desde la bomba 15 al intercambiador de calor 01.
		16.3	Tramo que va desde el intercambiador de calor 01 a la entrada del difusor.

**Tabla A.4.1.1** Descripción de las líneas de fluidos y conducciones (5/6)

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

LÍNEA	DESCRIPCIÓN	CONDUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
17	Transporte de agua de red	17.1	Tramo que va desde la cisterna de agua hasta la bomba 16.
		17.2	Tramo que va desde la bomba 16 a la entrada del intercambiador iónico por colas.
		17.3	Tramo que va desde la salida del intercambiador iónico por cabeza al tanque 06.
18	Transporte de agua de red	18.1	Tramo que va desde la cisterna a la bomba 17.
		18.2	Tramo que va desde la bomba 17 al tanque de lechada (mick-20).
19	Transporte de vapor	19.1	Tramo que va desde la caldera a la entrada del evaporador.
		19.2	Tramo que va desde la salida del evaporador hasta la entrada en caldera.

**Tabla A.4.1** Descripción de las líneas de fluidos y conducciones (6/6)

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El diseño del sistema de tuberías de la planta se divide en los siguientes pasos:

### A) Estimación del diámetro interno

Para ello se utilizará la siguiente ecuación en función de del caudal y la velocidad media de circulación impuesta al fluido se calcula el diámetro a partir de:

$$Q = V \cdot S = V \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{V \cdot D^2}{4} \quad \text{A.4.1.1}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \quad \text{A.4.1.2}$$

Donde;

Q = caudal volumétrico del fluido, (m<sup>3</sup>/s)

V = velocidad de circulación, (m/s)

S = sección de paso de la conducción, (m<sup>2</sup>)

D = diámetro de la conducción, (m)

Se impone una velocidad al fluido tomada de la **Tabla 6 del Anexo VII**, donde se observa las velocidades medias de circulación recomendadas para distintos fluidos.

### B) Determinación del diámetro externo

Para esta fase se utiliza la **Tabla 7 del Anexo VII** de la presente Memoria Descriptiva. Esta tabla recoge los diferentes diámetros nominales que le corresponde un unico diámetro exterior de las distintas conducciones comerciales.



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Se selecciona como diámetro exterior el inmediatamente superior al que le corresponda al diámetro interior calculado en la fase A). Este será el diámetro exterior definitivo de la tubería.

### C) Cálculo del espesor mínimo por presión de la tubería

Según el código ASME B31.3 el espesor mínimo requerido por presión en las tuberías, teniendo en cuenta el sobreespesor por corrosión y la tolerancia a la fabricación, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$t = \left( \frac{P_D * D_E}{2(S * E + P_D * Y)} + C \right) * \frac{1}{1 - \frac{M}{100}} \quad \text{A.4.1.3}$$

Donde;

$D_e$  = Diámetro externo de la tubería, (in)

$P_D$  = Presión de diseño (psi)

$S$  = Máxima tensión admisible del material a la temperatura de trabajo, (psi)

$E$  = Eficiencia a la soldadura

$Y$  = Coeficiente del material

$C$  = Margen por corrosión

$M$  = Tolerancia a la fabricación

Para calcular el espesor mínimo necesario, se necesita conocer cada término de la ecuación **A.4.1.3**:

**Presión de diseño:** Se supone que la máxima sobrepresión que se va a soportar la tubería en cualquier punto de la línea es la presión de la bomba, más un 15% de sobredimensionamiento. En líneas de tuberías que tengan varias bombas, la presión de trabajo de las mismas será la presión más alta de las bombas, más el sobredimensionamiento oportuno.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Máxima tensión admisible (S):** Esta variable depende del material y de la temperatura de operación de la línea, con lo que se especifica en cada caso. La temperatura de diseño será la máxima soportado por el fluido, en este caso, 398 K.

**Eficiencia de soldadura (E):** Se diseñan tuberías sin costuras, por lo que la eficiencia a la soldadura es igual a la unidad.

**Coeficiente Y:** El factor Y viene determinado en función del tipo de material. Según la **tabla 9. Anexo VII** y teniendo en cuenta que las tuberías están construidas en acero y, la máxima temperatura de trabajo es de 398 K, este factor adquiere un valor de 0,4.

**Margen por corrosión (C):** Se estimará según el tiempo de vida útil del servicio deseado, así como del desgaste anual previsto. Se impondrá un tiempo de vida de 15 años y un desgaste anual por corrosión de 0.005 in. Por lo tanto, C será igual a 0,075 in.

**Tolerancia de fabricación (M):** Se admite para todas las tuberías de la planta fabricadas sin costura una tolerancia de fabricación de 12,5%, luego  $M = 12,5$ .

### C) Cálculo del espesor comercial

Una vez obtenido el espesor mínimo en la fase anterior, se acude a la **Tabla 7 del Anexo VII**, en la que se muestra cada diámetro exterior asociado con diferentes espesores comerciales. A su vez, este espesor comercial tiene asociado un único diámetro interno. Se admite como valor válido de espesor comercial el inmediatamente superior al obtenido para el espesor mínimo calculado en la fase B).

**D) Cálculo de la velocidad real del fluido**

Una vez fijado el diámetro exterior y el espesor de la tubería, queda asignado el diámetro interior. Se utiliza la ecuación **A.4.1.1**:

$$Q = V * S = V * \pi * r^2 = \frac{V * D^2}{4}$$

Despejando de la ecuación el valor de la velocidad, se puede calcular puesto que los valores han sido concretados anteriormente.

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad \mathbf{A.4.1.4}$$

Una vez establecida la mecánica de cálculo se procede a aplicarla para cada línea del transporte de fluido.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### A.4.2 Cálculos del sistema de tuberías

La **tabla A.4.2.1** muestra los datos necesarios de partida para llevar a cabo el diseño del sistema de tuberías.

LINEA	SUSTANCIA	MATERIAL	S(psi)	Brix	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	PRESIÓN DISEÑO(psi)
1	AGUA + REMOLACHA	SA-53B	17.100	--	1.150,2	3,38e-03	8,532
2	JUGO DIFUSIÓN	AISI304	20.000	15,0	1.059,2	4,77e-03	4,075
3	JUGO PREENCALADO	AISI304	20.000	15,4	1.060,9	4,77e-03	5,438
4	JUGO ENCALADO	AISI304	20.000	15,7	1.062,2	4,76e-03	5,102
5	JUGO CARBONATADO DE 1 <sup>a</sup>	AISI304	20.000	16,0	1.063,5	4,75e-03	5,438
6	JUGO FILTRADO DE 1 <sup>a</sup>	AISI304	20.000	16,4	1.065,2	4,75e-03	4,720
7	JUGO CARBONATADO DE 2 <sup>a</sup>	AISI304	20.000	16,8	1.066,9	4,74e-03	5,438
8	JUGO FILTRADO DE 2 <sup>a</sup>	AISI304	20.000	17,2	1.068,7	4,73e-03	3,847
9	JUGO CLARO	AISI304	20.000	17,2	1.068,7	4,73e-03	5,438
10	JUGO ANTEEVAPORACION	AISI304	20.000	17,5	1.070,1	4,63e-03	5,438
11	JARABE DE AZUCAR	AISI304	20.000	70	1.347,5	7,60e-04	5,438
12	LECHADA	AISI304	20.000	--	200	3,05e-04	6,358
13	CO2	AISI304	20.000	--	1,960	2,51e-02	27,328
14	HIDROXIDO SÓDICO	SA-53B	17.100	--	1.510	2,81e-03	6,358
15	AGUA LAVADO	SA-53B	17.100	--	1.150	3,69e-02	5,048
16	AGUA CISTERNA	SA-53B	17.100	--	1.000	2,48e-03	7,914
17	AGUA CISTERNA	SA-53B	17.100	--	1.000	2,48e-03	4,013
18	AGUA CISTERNA	SA-53B	17.100	--	1.000	2,01e-05	10,097
19	VAPOR AGUA	SA-53B	17.100	--	1,316	2,990	56,593

**Tabla A.4.1.** Datos iniciales para el diseño del sistema de tuberías

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Siguiendo el procedimiento explicado en la presente Memoria Descriptiva, se realiza el cálculo para cada línea de transporte de fluidos. Se tiene que aclarar que, cuando ambas conducciones sean del mismo material y trabajen en iguales condiciones, se tomarán como válidos los mismos valores característicos de la línea.

### **LÍNEA 1. Transporte de agua y remolacha desde silo hasta el despedrador.**

**Diámetro Nominal (in)= 2**

**Diámetro Externo (in)= 2,375**

**Diámetro Interior (in)= 2,157**

**Espesor tubería (in)=0,109**

**Velocidad fluido (m/s)= 1,434**

**Shedule = 10S**

### **LÍNEA 2. Transporte de jugo de difusión desde el difusor hasta el preencalador.**

**Diámetro Nominal (in)= 2 1/2**

**Diámetro Externo (in)= 2,875**

**Diámetro Interior (in)= 2,635**

**Espesor tubería (in)= 0,120**

**Velocidad fluido (m/s)= 1,357**

**Shedule = 10S**

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LINEA 3. Transporte de jugo preencalado desde el preencalador hasta el tanque de encalado**

**Diámetro Nominal (in)= 2<sup>1/2</sup>**

**Diámetro Externo (in)= 2,875**

**Diámetro Interior (in)= 2,635**

**Espesor tubería (in)= 0,120**

**Velocidad fluido (m/s)=1,355**

**Shedule = 10S**

**LÍNEA 4. Transporte de jugo encalado desde el tanque de encalado hasta la entrada a columna de carbonatación 01.**

**Diámetro Nominal (in)= 3**

**Diámetro Externo (in)= 3,5**

**Diámetro Interior (in)= 3,26**

**Espesor tubería (in)= 0,120**

**Velocidad fluido (m/s)=0,884**

**Shedule = 10S**

**LÍNEA 5. Transporte de jugo carbonatado de 1<sup>a</sup> desde la columna de carbonatación 01 a filtros PKF 01.**

**Diámetro Nominal (in)= 3**

**Diámetro Externo (in)= 3,5**

**Diámetro Interior (in)= 3,26**

**Espesor tubería (in)= 0,120**

**Velocidad fluido (m/s)= 0,883**

**Shedule = 10S**

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LINEA 6. Transporte de jugo filtrado de 1<sup>a</sup> desde los filtros PKF01 hasta la columna de carbonatación 02.**

**Diámetro Nominal (in)= 2<sup>1/2</sup>**

**Diámetro Externo (in)= 2,875**

**Diámetro Interior (in)= 2,635**

**Espesor tubería (in)= 0,120**

**Velocidad fluido (m/s)= 1,349**

**Shedule = 10S**

**LÍNEA 7. Transporte de jugo carbonatado de 2<sup>a</sup> desde la columna de carbonatación 02 hasta los filtros PKF02.**

**Diámetro Nominal (in)= 3**

**Diámetro Externo (in)= 3,5**

**Diámetro Interior (in)= 3,260**

**Espesor tubería (in)= 0,120**

**Velocidad fluido (m/s)= 0,880**

**Shedule = 10S**

**LÍNEA 8. Transporte de jugo filtrado de 2<sup>a</sup> carbonatación (jugo claro) a tanque pulmón02.**

**Diámetro Nominal (in)= 2<sup>1/2</sup>**

**Diámetro Externo (in)= 2,875**

**Diámetro Interior (in)= 2,635**

**Espesor tubería (in)= 0,120**

**Velocidad fluido (m/s)= 1,345**

**Shedule = 10S**

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LÍNEA 9. Transporte de jugo claro desde la salida del tanque pulmón 02 hasta la entrada a etapa de descalcificación.**

Diámetro Nominal (in)= 2<sup>1/2</sup>

Diámetro Externo (in)= 2,875

Diámetro Interior (in)= 2,635

Espesor tubería (in)= 0,120

Velocidad fluido (m/s)= 1,345

Shedule = 10S

**LÍNEA 10. Transporte de jugo descalcificado (jugo “anteevaporación”) desde la etapa de descalcificación hasta el tanque pulmón 03.**

Diámetro Nominal (in)= 2<sup>1/2</sup>

Diámetro Externo (in)= 2,875

Diámetro Interior (in)= 2,635

Espesor tubería (in)= 0,120

Velocidad fluido (m/s)= 1,316

Shedule = 10S

**LÍNEA 11. Transporte de jarabe de azúcar desde la salida del evaporador al tanque de almacenamiento 04.**

Diámetro Nominal (in)= 1<sup>1/4</sup>

Diámetro Externo (in)= 1,660

Diámetro Interior (in)= 1,442

Espesor tubería (in)= 0,109

Velocidad fluido (m/s)= 0,722

Shedule = 10S



Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LÍNEA 12. Transporte de lechada desde el tanque de lechada hasta el preencalador y tanque de encalado.**

Diámetro Nominal (in)= 3/4

Diámetro Externo (in)= 1,050

Diámetro Interior (in)= 0,824

Espesor tubería (in)= 0,113

Velocidad fluido (m/s)= 0,887

Shedule = 40S

**LÍNEA 13. Transporte de CO<sub>2</sub> desde la salida del horno hasta las columnas de carbonatación 01 y 02.**

Diámetro Nominal (in)= 2

Diámetro Externo (in)= 2,375

Diámetro Interior (in)= 2,157

Espesor tubería (in)= 0,109

Velocidad fluido (m/s)= 10,644

Shedule = 10S

**LÍNEA 14. Transporte de NaOH desde la salida del tanque 05 hasta el tanque 06.**

Diámetro Nominal (in)= 2

Diámetro Externo (in)= 2,375

Diámetro Interior (in)= 2,067

Espesor tubería (in)= 0,154

Velocidad fluido (m/s)= 1,300

Shedule = 40S

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LINEA 15. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna de agua hasta su salida al silo de almacenamiento de remolacha.**

**Diámetro Nominal (in)= 8**

**Diámetro Externo (in)= 8,626**

**Diámetro Interior (in)= 8,407**

**Espesor tubería (in)= 0,109**

**Velocidad fluido (m/s)= 1,032**

**Shedule = 5S**

**LINEA 16. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna de agua hasta su entrada en el difusor.**

**Diámetro Nominal (in)= 2**

**Diámetro Externo (in)= 2,375**

**Diámetro Interior (in)= 2,157**

**Espesor tubería (in)= 0,109**

**Velocidad fluido (m/s)= 1,051**

**Shedule = 10S**

**LÍNEA 17. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna hasta su entrada al tanque 06.**

**Diámetro Nominal (in)= 1/2**

**Diámetro Externo (in)= 0,840**

**Diámetro Interior (in)= 0,622**

**Espesor tubería (m)= 0,109**

**Velocidad fluido (m/s)= 0,815**

**Shedule = 40S**

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LINEA 18. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna de agua hasta su entrada al tanque de lechada.**

Diámetro Nominal (in)= 1/4

Diámetro Externo (in)= 0,405

Diámetro Interior (in)= 0,215

Espesor tubería (in)= 0,095

Velocidad fluido (m/s)= 0,859

Shedule = 80S

**LÍNEA 19. Transporte de vapor desde su salida en caldera hasta su entrada al evaporador.**

Diámetro Nominal (in)= 12

Diámetro Externo (in)= 12,750

Diámetro Interior (in)= 12,438

Espesor tubería (in)= 0,156

Velocidad fluido (m/s)= 38,155

Shedule = 5S

En la **Tabla A.4.1.2** se muestra un resumen con los distintos diámetros, nominales y exterior, su espesor comercial y velocidad calculada.

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

LÍNEA	FLUIDO	DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO EXTERIOR (in)	ESPESOR (m)	VELOCIDAD (m/S)
1	AGUA + REMOLACHA	2	2,375	0,109	1,434
2	JUGO DIFUSIÓN	2 1/2	2,875	0,120	1,357
3	JUGO PREENCALADO	2 1/2	2,875	0,120	1,355
4	JUGO ENCALADO	3	3,500	0,120	0,884
5	JUGO CARBONATADO 1 <sup>a</sup>	3	3,500	0,120	0,883
6	JUGO FILTRADO 1 <sup>a</sup>	2 1/2	2,875	0,120	1,349
7	JUGO CARBONATADO 2 <sup>a</sup>	3	3,500	0,120	0,880
8	JUGO FILTRADO 2 <sup>a</sup>	2 1/2	2,875	0,120	1,345
9	JUGO CLARO	2 1/2	2,875	0,120	1,345
10	JUGO ANTEEVAPORACION	2 1/2	2,875	0,120	1,316
11	JARABE DE AZUCAR	1 1/4	1,660	0,109	0,722
12	LECHADA	3/8	1,050	0,113	0,887
13	CO2	2	2,375	0,109	10,644
14	HIDROXIDO SODICO	2	2,375	0,154	1,300
15	AGUA CISTERNA	8	8,635	0,109	1,032
16	AGUA CISTERNA	2	2,375	0,109	1,051
17	AGUA CISTERNA	1/2	0,840	0,109	0,815
18	AGUA CISTERNA	1/8	0,405	0,095	0,859
19	VAPOR DE AGUA	12	12,750	0,156	38,155

Tabla A.4.2.2 Resumen de diámetros del sistema de tuberías

### A.4.3. Pérdidas de carga en tuberías

A continuación se detallan los cálculos para determinar la pérdida de carga que se produce en el sistema de tuberías diseñado. Para determinar estas pérdidas de carga se hace uso de la fórmula de Darcy-Weisbach para tramos de tuberías rectas. La expresión A.4.3.1 es para fluidos líquidos, mientras que para gases se calcula según la ecuación A.4.3.2.

$$h_{f_{tubería}} = (4f) * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{A.4.3.1}$$

$$h_{f_{tubería}} = (4f) * \frac{L + Leq}{D} * h_i \quad \text{A.4.3.2}$$

De donde;

**h<sub>f</sub>** = Pérdida de carga en tuberías (m)

**4f** = Factor de Darcy (adimensional)

**L** = Longitud de la tubería

**D** = Diámetro interno de la tubería (m)

**v** = velocidad del fluido por la conducción (m/s)

**g** = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

**Leq** = longitud equivalente en accesorios, m

**h<sub>i</sub>** = energía de velocidad de un gas (h<sub>i</sub>), en m.c.a, 
$$h_i = \left( \frac{v}{140} \right)^2 * \gamma_a$$

donde  $\gamma_a$  : peso específico  $\left( \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T} \right)$ , kg/m<sup>3</sup>

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

La mecánica de cálculo es la siguiente:

### A) Cálculo de la rugosidad relativa, $\epsilon / D$

Se tiene, por una parte, el diámetro interior de la tubería y, por otra, el material de fabricación de la misma. Se hace uso de la **Tabla 12 del Anexo VII** y se obtiene la rugosidad relativa para cada línea del sistema de tuberías.

### B) Cálculo del factor de Darcy, $4f$

Para calcular el factor de Darcy se distingue entre flujo laminar y flujo turbulento. En el caso que sea flujo laminar, sólo se necesita conocer el número de Reynolds, se hace uso de la siguiente expresión:

$$4f = \frac{64}{Re} \quad \text{A.4.3.3}$$

En caso de flujo turbulento se hace uso del Diagrama de Moody (**Tabla 13. Anexo VII**). Para ello es necesario conocer la rugosidad relativa ( $\epsilon/D$ ), hallada anteriormente, y el número del Reynolds.

El número de Reynolds se obtiene de las siguientes expresiones: así la expresión **A.4.3.4** es para fluidos líquidos, mientras que la **A.4.3.5** es para gases. La velocidad y el diámetro se han hallado al inicio del presente anexo.

$$Re = \frac{\rho^* v^* D_i}{\mu} \quad \text{A.4.3.4}$$

$$Re = \frac{0,4245 * Q}{D * \mu} \quad \text{A.4.3.5}$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

De donde

$\rho$  = densidad del fluido, kg/m<sup>3</sup>

$v$  = velocidad del fluido, m/s

$D$  = diámetro interno, m

$\mu$  = viscosidad del fluido, N·s/m<sup>2</sup>

$Q$  = caudal volumétrico, m<sup>3</sup>/min

$\mu_{\text{gas}}$  = viscosidad del gas, cP

### C) Cálculo de la pérdida de carga en accesorios

Para llevar a cabo este cálculo se hace uso de la siguiente expresión:

$$h_{f_{\text{accesorios}}} = (4f) * \frac{L_{eq}}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{A.4.3.6}$$

Donde;

$L_{eq}$  = longitud equivalente, m

Para hallar este parámetro se hace uso de la **Gráfico 14.1 del Anexo VII** o en el caso de que no apareciera en la **Tabla 14.2 del Anexo VII**.

Para hallar las pérdidas globales, se pueden unificar las ecuaciones **A.4.3.1** y **A.4.3.2** con la ecuación **A.4.3.6** en una sola y se obtiene:

$$h_{f_{\text{tubería}}} = (4f) * \frac{L + L_{eq}}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{A.4.3.7}$$

$$h_{f_{\text{tubería}}} = (4f) * \frac{L + L_{eq}}{D} * h_i \quad \text{A.4.3.8}$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Los datos necesarios en el cálculo de las pérdidas de carga en el sistema de tuberías diseñado se muestran en la **Tabla A.4.3.1**

LÍNEA	FLUIDO	$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$\mu$ ( $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$ )	$\varnothing$ Interior (m)	L (m)	Velocidad (m/s)	Accesorios
1	AGUA + REMOLACHA	1.150	1,75e-03	0,055	6	1,434	--
2	JUGO DIFUSIÓN	1.059,2	1,32e-03	0,067	26	1,357	3 codos de 90° y válvula de retención
3	JUGO PREENCALADO	1.060,9	1,50e-03	0,067	1	1,355	--
4	JUGO ENCALADO	1.062,2	1,50e-03	0,083	30	0,884	1 codo de 90° y válvula de compuerta
5	JUGO CARBONATADO DE 1ª	1.063,5	1,50e-03	0,083	2	0,883	Válvula de compuerta
6	JUGO FILTRADO DE 1ª	1.065,2	1,50e-03	0,067	28	1,349	1 codo y válvula de compuerta
7	JUGO CARBONATADO DE 2ª	1.066,9	1,50e-03	0,083	2	0,880	Válvula de compuerta
8	JUGO FILTRADO DE 2ª	1.068,7	1,50e-03	0,067	22	1,345	2 codos de 90° y válvula de retención
9	JUGO CLARO	1.068,7	1,50e-03	0,067	6	1,345	1 codo de 90°
10	JUGO ANTE-EVAPORACION	1.070	1,75e-03	0,067	60	1,316	4 codos de 90° y válvula de compuerta y de retención
11	JARABE DE AZUCAR	1.347,5	1,34e-01	0,037	8	0,722	--

**Tabla 4.3.1** Datos iniciales en el cálculo de pérdidas de carga (1/2)



Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

LÍNEA	FLUIDO	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (N·s/m <sup>2</sup> )	$\emptyset$ Interior (m)	L (m)	Velocidad (m/s)	Accesorios
12	LECHADA	200	4,50e-04	0,021	66	0,887	6 codos y 2 válvula de compuerta
13	CO2	1,96	1,50e-05	0,043	33	10,644	5 codos y 2 válvula de mariposa
14	HIDRÓXIDO SÓDICO	1.510	5,00e-02	0,053	39	1,300	3 codos de 90°
15	Agua a lavadero	1.150	8,91e-04	0,214	41	1,032	1 codo de 90°
16	Agua a difusor	1.000	8,91e-04	0,055	49	1,051	2 codos de 90° y válvula de compuerta
17	Agua descalcificadores	1.000	8,91e-04	0,016	34	0,815	3 codos de 90°
18	Agua a tanque lechada	1.000	8,91e-04	0,005	41	0,859	3 codos de 90°
19	VAPOR DE AGUA	1,316	1,32e-05	0,316	46	38,155	2 codos de 90°

Tabla A.4.3.1 Datos iniciales en el cálculo de pérdidas de carga (2/2)

Los datos utilizados en la **Tabla A.4.3.1** han sido obtenidos a partir de las tablas del **Anexo VII**. Una vez explicada la mecánica de cálculo, se procede a exponer los datos obtenidos.

**LÍNEA 1. Transporte de agua y remolacha desde silo hasta el despedrador.**

**Reynolds (adimensional) = 51.829**

**Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0008**

**Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,019**

**Longitud equivalente (m) = 0**

**Pérdidas de carga globales (m) = 0,218**

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LÍNEA 2. Transporte de jugo de difusión desde el difusor hasta el preencalador.**

Reynolds (adimensional) = 72.949

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0007

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,018

Longitud equivalente (m) = 11,5

Pérdidas de carga globales (m) = 0,946

**LINEA 3. Transporte de jugo preencalado desde el preencalador hasta el tanque de encalado.**

Reynolds (adimensional) = 64.195

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0007

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,018

Longitud equivalente (m) = 0

Pérdidas de carga globales (m) = 0,025

**LÍNEA 4. Transporte de jugo encalado desde el tanque de encalado hasta la entrada a columna de carbonatación 01.**

Reynolds (adimensional) = 51.956

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0004

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,016

Longitud equivalente (m) = 31,9

Pérdidas de carga globales (m) = 0,476

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LÍNEA 5. Transporte de jugo carbonatado de 1<sup>a</sup> desde la columna de carbonatación 01 a filtros PKF 01.**

Reynolds (adimensional) = 51.956

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0004

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,016

Longitud equivalente (m) = 30

Pérdidas de carga globales (m) = 0,245

**LINEA 6. Transporte de jugo filtrado de 1<sup>a</sup> desde los filtros PKF01 hasta la columna de carbonatación 02.**

Reynolds (adimensional) = 64.195

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0007

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,018

Longitud equivalente (m) = 24,5

Pérdidas de carga globales (m) = 1,223

**LÍNEA 7. Transporte de jugo carbonatado de 2<sup>a</sup> desde la columna de carbonatación 02 hasta los filtros PKF02.**

Reynolds (adimensional) = 51.956

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0004

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,016

Longitud equivalente (m) = 30

Pérdidas de carga globales (m) = 0,244

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LÍNEA 8. Transporte de jugo filtrado de 2ª carbonatación (jugo claro) a tanque pulmón02.**

Reynolds (adimensional) = 64.195

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0007

Factor de Darcy,  $4f$  (m)= 0,018

Longitud equivalente (m) = 10

Pérdidas de carga globales (m)= 0,793

**LÍNEA 9. Transporte de jugo claro desde la salida del tanque pulmón 02 hasta la entrada a etapa de descalcificación.**

Reynolds (adimensional) = 64.195

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0007

Factor de Darcy,  $4f$  (m)= 0,018

Longitud equivalente (m) = 1,5

Pérdidas de carga globales (m)= 0,174

**LÍNEA 10. Transporte de jugo descalcificado (jugo "anteevaporación") desde la etapa de descalcificación hasta el tanque pulmón 03.**

Reynolds (adimensional) = 53.900

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0007

Factor de Darcy,  $4f$  (m)= 0,018

Longitud equivalente (m) = 33

Pérdidas de carga globales (m)= 2,195

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LÍNEA 11. Transporte de jarabe de azúcar desde la salida del evaporador al tanque de almacenamiento 04.**

Reynolds (adimensional) = 269

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,238

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,238

Longitud equivalente (m) = 0

Pérdidas de carga globales (m) = 1,369

**LÍNEA 12. Transporte de lechada desde el tanque de lechada hasta el preencalador y tanque de encalado.**

Reynolds (adimensional) = 8.279

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,001

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,008

Longitud equivalente (m) = 6,48

Pérdidas de carga globales (m) = 1,074

**LÍNEA 13. Transporte de CO<sub>2</sub> desde la salida del horno hasta las columnas de carbonatación 01 y 02.**

Reynolds (adimensional) = 9.912

Rugosidad relativa (adimensional) = --

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,0065

Longitud equivalente (m) = 16,5

Pérdidas de carga globales (m) = 0,029

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LÍNEA 14. Transporte de NaOH desde la salida del tanque 05 hasta el tanque 06.**

Reynolds (adimensional) = 2.081

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0008

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,018

Longitud equivalente (m) = 1,11

Pérdidas de carga globales (m) = 1,160

**LINEA 15. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna de agua hasta su salida al silo de almacenamiento de remolacha.**

Reynolds (adimensional) = 284.964

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0001

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,0014

Longitud equivalente (m) = 5

Pérdidas de carga globales (m) = 0,140

**LINEA 16. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna de agua hasta su entrada en el difusor.**

Reynolds (adimensional) = 64.877

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0008

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,019

Longitud equivalente (m) = 22,6

Pérdidas de carga globales (m) = 1,394

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**LÍNEA 17. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna hasta su entrada al tanque de vertido.**

Reynolds (adimensional) = 14.635

Rugosidad relativa (adimensional) = 0,0013

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,020

Longitud equivalente (m) = 1,11

Pérdidas de carga globales (m) = 1,487

**LINEA 18. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna de agua hasta su entrada al tanque de lechada.**

Reynolds (adimensional) = 4.820

Rugosidad relativa (adimensional) = --

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,013

Longitud equivalente (m) = 1,11

Pérdidas de carga globales (m) = 4,210

**LÍNEA 19. Transporte de vapor desde su salida en caldera hasta su entrada al evaporador.**

Reynolds (adimensional) = 18.257

Rugosidad relativa (adimensional) = --

Factor de Darcy,  $4f$  (m) = 0,004

Longitud equivalente (m) = 0,74

Pérdidas de carga globales (m) = 0,004

***ANEXO V. SISTEMA DE  
BOMBEO***



## ANEXO V: DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO

### A.5.1. Diseño del sistema de bombas

En el presente anexo se determinará la potencia que deben tener las bombas, soplantes y compresores que son necesarios para impulsar los fluidos del proceso a través del sistema de tuberías. En la planta diseñada se tienen un total de 16 bombas. Su disposición en planta se observan en los distintos planos.

Para el cálculo de la potencia y presión de trabajo en tuberías se emplea la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho} + g * Z_1 + \frac{v_1^2}{2} + \eta W_{bomba} = \frac{P_2}{\rho} + g * Z_2 + \frac{v_2^2}{2} + h_f \quad \text{A.5.1.1}$$

Despejando el término de  $\eta W_p$

$$\eta W_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho * g} + (Z_2 - Z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 * g} + h_f \quad \text{A.5.1.2}$$

Siendo el punto 1 el de aspiración de la bomba y el punto 2 el de descarga, y expresando cada uno de los términos en unidades del S.I, se tiene:

$\frac{P_2 - P_1}{\rho * g}$  : Carga debida a la diferencia de presiones entre los puntos

considerados, (m)

$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 * g}$  : Carga debida a la diferencia de velocidad entre los puntos

considerados, (m)

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

$(Z_2-Z_1)$ : Carga debida a la diferencia de altura entre los puntos considerados, (m)

$h_f$  = Carga debida a la fricción entre los puntos considerados, (m)

$\eta W_p$  : Trabajo neto suministrado al fluido, m

La potencia hidráulica de la bomba ( $W$ ) es la potencia precisada por la bomba exclusivamente para bombear el fluido, es decir la potencia necesaria para impulsar el caudal a su altura útil. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W = \eta W_p * Q * \rho * g \quad \mathbf{A.5.1.3}$$

Donde;

$\eta W_p$  : Trabajo neto suministrado al fluido, m

$Q$ : caudal que suministra la bomba,  $m^3/s$

$\rho$  : densidad del fluido,  $kg/m^3$

$g$ : aceleración de la gravedad,  $m/s^2$

Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se considera que la presión en el punto de descarga ( $P_2$ ) y la presión en el punto de succión ( $P_1$ ) es la presión atmosférica.
- La velocidad de descarga ( $v_2$ ) se considera nula debido a la diferencia de volumen respecto al de la tubería.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

La mecánica de cálculo seguida es la siguiente:

### A) Cálculo del trabajo neto suministrado al fluido

Para el cálculo del trabajo de la bomba se aplica la ecuación **A.5.1.2**, en dos puntos que estén al principio y al final de la línea. Se tiene que tener en cuenta las consideraciones mencionadas. Para este cálculo se conocen algunos datos calculados en apartados anteriores, la velocidad en el punto de succión y pérdidas de carga en la línea de tuberías.

### B) Cálculo de la potencia hidráulica de la bomba

Para el cálculo de la potencia hidráulica necesaria se hace uso de la ecuación **A.5.1.3**. Se conoce la densidad y caudal del fluido que impulsa la bomba.

### C) Cálculo de la presión ejercida por la bomba al fluido

Para el cálculo de la presión ejercida por la bomba al fluido se vuelve a aplicar la ecuación de Bernoulli, **A.5.1.2**, pero esta vez entre un punto inmediatamente anterior y posterior a la bomba. Ahora, todo el trabajo de la bomba se traduce en aumentar la presión del fluido entre la entrada y la salida de la bomba. Por lo tanto se tiene:

1. El término de trabajo de la bomba es conocido.
2. El término de altura neta es cero, ya que se considera que los puntos de carga y descarga están a la misma altura.
3. El término de velocidad se considera nulo, puesto que las tuberías de succión y descarga son de igual diámetro y, por tanto, las velocidades de succión y descarga son las mismas.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

4. El término de pérdida de carga se considera despreciable, ya que entre los dos puntos sólo interviene el paso a través de la bomba.
5. La succión de la bomba en el punto de entrada arrastra al fluido y la presión a la salida empuja al fluido hasta el final de la línea.
6. Se sobredimensiona esta presión ya que los motores eléctricos de la bomba deben tener un margen de seguridad que le permita cierta tolerancia a la sobrecarga. Este sobredimensionamiento es del 15 %.

Con todos estos cálculos queda establecida la presión de diseño en las tuberías en función de la resistencia mecánica del mismo y, por tanto, su espesor.

### D) Cálculo de la altura de aspiración neta disponible, $NPSH_d$

La cavitación es el fenómeno por el cual la presión total a la entrada de la bomba (lugar de más baja presión en el sistema) alcanza la presión de vapor del líquido bombeado, a la temperatura de trabajo; el líquido hierve y forma burbujas que se mueven del área de más baja presión de la bomba hacia el área de la más alta presión de la bomba y el vapor regresa nuevamente a la fase líquida. Esta condensación genera una poderosa onda de choque en el líquido que puede llegar a retirar partículas de la carcasa de la bomba, creando cavidades.

La altura de aspiración neta disponible ( $NPSH_d$ ) es la carga total medida en la succión de la bomba menos la presión de vapor del líquido. Es un análisis de las condiciones energéticas de la bomba, para conocer si el líquido se evaporará en el punto de presión más bajo. La expresión para el cálculo es la siguiente:

$$NPSH_d = \frac{P_1 - P_v}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} - h_{f_{a-e}} + (Z_a - Z_b) \quad \mathbf{A.5.1.4}$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Donde;

$P_1$ : Presión en el punto de succión de la bomba (Pa)

$P_v$ : presión de vapor del líquido a la temperatura de trabajo (Pa)

$v_1$ : velocidad en el punto de aspiración (m/s)

$h_{f\ a-e}$  :pérdidas de carga entre la superficie de aspiración y la entrada de la bomba (m)

$Z_a$  = altura del punto de succión (m)

$Z_e$ = altura de la entrada de la bomba (m)

Se supone que:

- La presión de vapor será evaluada a la temperatura más desfavorable del fluido.
- La presión en el punto de succión es la presión atmosférica en todas las líneas.
- La altura de la entrada a todas las bombas será de 0,30 m.
- Las pérdidas de carga entre la superficie de succión de la bomba y la entrada de la bomba han sido calculadas con la misma mecánica de cálculo que las pérdidas totales de la tubería. [Véase **Anexo IV. A.4.3**]

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Para el cálculo del sistema de bombeo se hace uso de datos calculados en anexos anteriores. Estos datos están resumidos en la **Tabla A.5.1.1**

Nº BOMBA	LINEA	FLUIDOS	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta z$ (m)	h <sub>f</sub> - totales	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	Velocidad fluido (m/s)
1	1	Agua transporte	3,69e-02	4,5	0,140	1.150	1,434
2	15	Agua Lavado	3,69e-03	1,0	0,140	1.150	1,032
3	2	Jugo difusión	4,77e-03	1,5	0,946	1.059,2	1,357
4	4	Jugo encalado	4,77-03	2,5	0,476	1.062,2	0,884
5	6	Jugo filtrado de 1 <sup>a</sup>	4,75-03	2,5	0,244	1.066,9	0,880
6	8	Jugo filtrado de 2 <sup>a</sup>	4,73-03	1,5	0,793	1.068,7	1,345
7	10	Jugo- Anteevaporación	4,63e-03	1,5	2,195	1.070	1,316
8	12	Lechada	3,05e-04	1,5	1,074	200	0,887
9	12	Lechada	3,05e-04	1,0	1,074	200	0,887
12	14	Hidróxido sódico	2,81e-03	1,5	1,160	1.510	1,300
13	15	Agua a lavadero	3,69e-03	3,0	0,140	1.000	1,032
14	16	Agua a difusor	2,48e-03	3,5	1,394	1.000	1,051
15	17	Agua descalcificadores	1,60e-04	1,0	1,487	1.000	0,815
16	18	Agua a tanque lechada	2,01e-05	2,0	4,210	1.000	0,859

**Tabla A.5.1.1.** Datos iniciales para el cálculo del sistema de bombeo

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### **A.5.2. Cálculos del sistema de bombeo**

**BOMBA 01. Transporte de agua y remolacha desde silo hasta el despedrador.**

El cálculo de esta bomba, implica un caudal distinto al caudal de la línea 1, (agua y remolacha). [Véase **Capítulo 15.3**]. Se utiliza el mismo caudal de impulsión de la bomba 02 puesto que es una bomba especial para el transporte de la remolacha. Véase **Anexo A.5.3**

**Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 4,035**

**Potencia Hidráulica (W)= 1.887,898**

**Presión ejercida al fluido (psi)= 7,419**

**Presión diseño en tubería (psi)= 8,532**

**NPSH<sub>d</sub>= 6,053**

**BOMBA 02. Transporte de jugo de difusión desde el difusor hasta el preencalador.**

**Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 1,086**

**Potencia Hidráulica (W)= 452,492**

**Presión ejercida al fluido (psi)= 1,176**

**Presión trabajo en tuberías (psi)= 2,042**

**NPSH<sub>d</sub>= 6,053**

**BOMBA 03. Transporte de jugo difusión desde el difusor hasta tanque de almacenamiento 01.**

**Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 2,352**

**Potencia Hidráulica (W)= 116,669**

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Presión ejercida al fluido (psi)= 3,544

Presión trabajo en tuberías (psi)= 4,075

NPSH<sub>d</sub>= 2,831

**BOMBA 04. Transporte de jugo encalado desde el tanque de encalado hasta la entrada a columna de carbonatación 01.**

Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 2,936

Potencia Hidráulica (W)= 146,311

Presión ejercida al fluido (psi)= 4,436

Presión trabajo en tuberías (psi)= 5,102

NPSH<sub>d</sub>= 3,958

**BOMBA 05. Transporte de jugo filtrado de 1<sup>a</sup> desde los filtros PKF01 hasta la columna de carbonatación 02.**

Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 2,704

Potencia Hidráulica (W)= 134,356

Presión ejercida al fluido (psi)= 4,104

Presión trabajo en tuberías (psi)= 4,720

NPSH<sub>d</sub>= 2,993

**BOMBA 06. Transporte de jugo filtrado de 2<sup>a</sup> carbonatación (jugo claro) a tanque pulmón02.**

Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 2,201

Potencia Hidráulica (W)= 109,162

Presión ejercida al fluido (psi)= 3,346

Presión trabajo en tuberías (psi)= 3,847

NPSH<sub>d</sub>= 2,674



Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**BOMBA 07. Transporte de jugo descalcificado (jugo “anteevaporación”) desde el tanque de almacenamiento 03 al evaporador.**

Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 3,107

Potencia Hidráulica (W)= 150,950

Presión ejercida al fluido (psi)= 4,728

Presión trabajo en tuberías (psi)= 5,438

NPSH<sub>d</sub>= 1,855

**BOMBAS 08 y 09. Transporte de lechada desde el tanque de lechada hasta el preencalador y tanque de encalado respectivamente.**

Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 2,534

Potencia Hidráulica (W)= 1,517

Presión ejercida al fluido (psi) = 0,721

Presión trabajo en tuberías (psi)= 0,829

NPSH<sub>d</sub>= 14,942

**BOMBAS 10 y 11. Transporte de CO<sub>2</sub> desde la salida del horno hasta las columnas de carbonatación 01 y 02 respectivamente.**

Los gases a la salida del horno de cal son conducidos a las columnas de carbonatación. Esta columna trabaja a una presión de 27,3280 psi, por lo que se requiere de un sistema de impulsión de gas. Este sistema tiene que ser capaz de vencer el vacío del horno y aumentar su presión para superar la presión ejercida por la columna de líquido en ambas columnas. Si no se alcanza dicha presión el jugo se quedaría sin carbonatar.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Para ello se instala un compresor en la línea de forma que la potencia requerida por el compresor para impulsar los gases desde el horno hasta la columna de carbonatación 01 y 02.

$$P = Q * \frac{P_1}{4555 * \eta} * 2,302 * \log \frac{P_2}{P_1} \quad \mathbf{A.5.1.5}$$

Donde;

Q: caudal de gases  $\left( \frac{m^3}{\text{min}} \right)$

P<sub>1</sub> : presión de succión en el punto P<sub>1</sub>,  $\left( \frac{kg}{m^2} \right)$

P<sub>2</sub>: presión de descarga en P<sub>2</sub>,  $\left( \frac{kg}{m^2} \right)$

H: Rendimiento del turbocompresor. Suele considerarse para cálculos teóricos entre 0,6 y 0,7. Se toma un valor medio.

Sustituyendo los datos en la ecuación **A.5.1.5** se tiene:

$$P = 0,0251 \frac{m^3}{\text{min}} * \frac{10.332,7}{4.555 * 0,65} * 2,302 * \log \frac{19.218}{10332,7}$$

$$P = 3,261 \text{ CV} = 2,4 \text{ Kw}$$

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**BOMBA 12. Transporte de NaOH desde la salida del tanque 05 hasta el tanque 06.**

Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 2,574

Potencia Hidráulica (W)= 107,307

Presión ejercida al fluido (psi)= 5,528

Presión trabajo en tuberías (psi)= 6,358

NPSH<sub>d</sub>= 6,132

**BOMBA 13. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna de agua hasta su entrada en el lavador de tambor.**

Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 3,086

Potencia Hidráulica (W)= 75,020

Presión ejercida al fluido (psi)= 4,389

Presión trabajo en tuberías (psi)= 5,048

NPSH<sub>d</sub>= 6,940

**BOMBA 14. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna de agua hasta su entrada en el difusor.**

Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 4,838

Potencia Hidráulica (W)= 171,795

Presión ejercida al fluido (psi)= 6,881

Presión trabajo en tuberías (psi)= 7,914

NPSH<sub>d</sub>= 6,193

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**BOMBA 15. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna hasta su entrada a las baterías del intercambiador iónico.**

Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 2,453

Potencia Hidráulica (W)= 3,844

Presión ejercida al fluido (psi)= 3,489

Presión trabajo en tuberías (psi)= 4,013

NPSH<sub>d</sub> = 6,290

**BOMBA 16. Transporte de agua de red desde la salida de la cisterna de agua hasta su entrada al tanque de lechada.**

Trabajo neto suministrado al fluido,  $\eta W_p$  (m) = 6,172

Potencia Hidráulica (W)= 1,218

Presión ejercida al fluido (psi)= 8,780

Presión trabajo en tuberías (psi)= 10,097

NPSH<sub>d</sub>= 3,549

***ANEXO VI. Legislación***

## A.6.1. Fichas Técnicas de productos

### a) Dióxido de carbono



## DIÓXIDO DE CARBONO

### HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Revisión: 00  
Vigencia: 20/04/05  
Código: HDS-05  
Página 1 de 2

#### 1. Identificación de la sustancia química y del proveedor

Razón social: Airlíquide Chile S.A  
Dirección: Casa Matriz Av. Kennedy 5454 of. 1004, Vitacura Santiago  
Teléfono- fax: (56-2) 465 7600 – Fax: (56-2) 465 7640  
Fono emergencia: 800 47 1200  
E-mail: alchile@airliquide.cl

#### 2. Información sobre la sustancia o mezcla

Sustancia o mezcla: Sustancia  
Nombre químico (IUPAC): Dióxido de carbono  
Sinónimo: Anhídrido carbónico  
Fórmula química: CO<sub>2</sub>  
Número CAS: 00124-38-9  
Número UN: 1013

#### 3. Identificación de los riesgos



Clasificación de riesgo: 2.2 gas comprimido no inflamable

Identificación de riesgos: Gas licuado. Insuficiencia circulatoria, asfixia, congelamiento, irritante para los ojos.

#### 4. Medidas de primeros auxilios

**Inhalación:** A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la conciencia o de la movilidad. La víctima puede no haberse dado cuenta de la asfixia. Concentraciones pequeñas (3 a 5%) provocan aumento de la frecuencia respiratoria y dolor de cabeza. Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando puesto el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al doctor. Aplicar respiración artificial si se detiene la respiración.

**Contacto con la piel y los ojos:** Lavar inmediatamente los ojos con agua durante al menos 15 minutos. En caso de congelación rociar con agua durante 15 minutos. Aplicar vendaje estéril. Obtener asistencia médica.

**Ingestión:** La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.

#### 5. Medidas para el combate del fuego

**Riesgos específicos:** La exposición al fuego puede causar la rotura o explosión de los recipientes. No inflamable.

**Productos peligrosos de la combustión:** Ninguno

**Medios de extinción adecuados:** Se pueden utilizar todos los extintores conocidos.

**Métodos específicos:** Si es posible detener la fuga del producto. Colocarse lejos del recipiente y enfriarlo con agua desde un recinto protegido.

**Equipo de protección especial para la actuación en incendios:** En espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva.

#### 6. Medidas para controlar derrames o fugas

**Precauciones personales:** Evacuar el área. Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entre en el área a menos que esté comprobado que la atmósfera es segura. Asegurar la adecuada ventilación del aire.

**Precauciones para la protección del medio ambiente:** Intentar para el escape/derrame. Prevenir la entrada en alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o en cualquier otro lugar donde la acumulación pueda ser peligrosa.

**Métodos de limpieza:** Ventilar el área.

#### 7. Manipulación y almacenamiento

**Precauciones:** Debe prevenirse la filtración del agua al interior del recipiente. No permitir el retroceso hacia el interior del recipiente. Utilizar sólo el equipo específicamente apropiado para este producto, para su presión y temperatura, en caso de duda contacte al proveedor. Solicitar al proveedor las instrucciones de manipulación de los contenedores. Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en lugar bien ventilado.

#### 8. Control de exposición/protección personal

**Protección personal:** Asegurar ventilación adecuada. Usar lentes de seguridad, calzado de seguridad, guantes según tarea, ropa de algodón.

#### 9. Propiedades físicas y químicas

Peso molecular: 44  
Color: Incoloro  
Olor: Inodoro  
Temperatura de fusión: -56.6 °C  
Temperatura de ebullición: -78.5 °C  
Temperatura crítica: 30 °C  
Densidad relativa del gas (aire =1): 1.52  
Densidad relativa del líquido (agua = 1): 0.82  
Presión de vapor a 20°C: 57.3 bar  
Solubilidad en agua (mg/l): 2000

**Otros datos:** El vapor es más pesado que el aire. Puede acumularse en espacios confinados, particularmente al nivel del suelo o en sótanos.

#### 10. Estabilidad y reactividad

**Estabilidad y reactividad:** Estable en condiciones normales.



## DIÓXIDO DE CARBONO

### HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Revisión: 00  
Vigencia: 20/04/05  
Código: HDS 05  
Página 2 de 2

#### 11. Información toxicológica

**General:** A elevadas concentraciones producen una rápida insuficiencia respiratoria. Los síntomas son dolor de cabeza, náuseas, vómitos, los cuales pueden conducir a la inconciencia.

#### 12. Información ecológica

**General:** Cuando se descarga en grandes cantidades puede contribuir al efecto invernadero.

**Factor calentamiento global:** 1

#### 13. Consideraciones sobre disposición final

**General:** No descargar dentro de ningún lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa. A la atmósfera en lugar bien ventilado. Se debe evitar descargar a la atmósfera en grandes cantidades. Contactar el proveedor si necesita información.

#### 14. Información sobre transporte

**Nombre propio para el transporte:** Dióxido de carbono

**Número UN:** 1013

**Clase y división:** 2.2

**Otras informaciones:** Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimiento del conductor. Asegurar que el conductor esté enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce que hacer en caso de un accidente o emergencia. Antes de transportar los cilindros, asegurarse que las válvulas están cerradas y no fugan, asegurarse que la tulipa está adecuadamente apretada, asegurar una ventilación adecuada. Asegúrese de cumplir con la legislación vigente.

#### 15. Información reglamentaria

##### Normas nacionales

Decreto N° 298 Transporte de cargas peligrosas por calles y caminos.

Nch 2179 Of. 91 Gases comprimidos - Dióxido de carbono - Clasificación, requisitos de calidad y métodos de muestreo y análisis

#### 16. Otras informaciones

Asfixiante en altas concentraciones. Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado. No respirar los gases. El contacto con el líquido puede causar quemaduras por frío o congelación. Asegúrese que se cumplen las normativas nacionales y locales. El riesgo de asfixia es a menudo despreciado y debe ser recalorado durante la formación de los operarios. Antes de utilizar el producto en un nuevo proceso o experimento, debe llevarse a cabo un estudio completo de seguridad y compatibilidad de materiales. Esta información proviene de las Fichas de Datos de Seguridad de Air Liquide Internacional y fue adaptada a la normativa chilena.

b) Lechada de cal



CALES DE PACHS, S.A.

Montaña San Jaime, s/n (afueras)  
Tel: 93 890 30 11 - 93 890 32 89  
Fax: 93 890 36 89  
e-mail: pachspachs@calespachs.com  
www.calespachs.com  
08736 Pineda del Penedès (Barcelona)



**LECHADA DE CAL**

Ficha técnica de producto

<b>IDENTIFICACIÓN</b>			
Nombre Químico:	HIDRÓXIDO DE CALCIO	Fórmula Química:	Ca(OH) <sub>2</sub>
Nº de registro CAS:	1305 - 62 - 0	Estado Físico:	Suspensión al 35%
(Chemical Abstract Service Registry Number)		Peso Molecular:	74,08
Nº EINECS:	215 - 137 - 3	Nombre Común:	Lechada de cal
(European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances)		Fabricado en:	Pacs del Penedès (Barcelona)

<b>CONSTITUYENTES</b>	
Sustancia de dos componentes, HIDROXIDO DE CALCIO y AGUA, con pequeños porcentajes de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO y CO <sub>3</sub> Ca, procedentes de la materia prima caliza de carácter natural.	
Producto natural obtenido por mezcla de óxido de calcio y agua.	

<b>PROPIEDADES GENERICAS</b>	
Aspecto:	Líquido blanco inodoro.
pH:	12,4 en solución saturada a 25°C
Tº descomposición:	580 °C formando óxido de calcio y agua.
Peso específico:	2,20 Kgs/l a 20 °C
Solubilidad:	Soluble en ácidos, glicerina y soluciones de sacarosa. Ligeramente soluble en agua.
Reactividad:	Reacción exotérmica con ácidos para formar sales de calcio.

<b>CONSTITUYENTES</b>	
Sustancia de dos componentes, HIDROXIDO DE CALCIO y AGUA, con pequeños porcentajes de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO y CO <sub>3</sub> Ca, procedentes de la materia prima caliza de carácter natural.	
Producto natural obtenido por mezcla de óxido de calcio y agua.	

<b>PROPIEDADES GENERICAS</b>	
Aspecto:	Líquido blanco inodoro.
pH:	12,4 en solución saturada a 25°C
Tº descomposición:	580 °C formando óxido de calcio y agua.
Peso específico:	2,20 Kgs/l a 20 °C
Solubilidad:	Soluble en ácidos, glicerina y soluciones de sacarosa. Ligeramente soluble en agua.
Reactividad:	Reacción exotérmica con ácidos para formar sales de calcio.

<b>PRESENTACIÓN Y SUMINISTRO</b>
Cubicontenedores de 1000 lts.

<b>APLICACIONES</b>
Producto diseñado, principalmente, para pequeñas instalaciones de tratamientos físico-químicos de aguas residuales y residuos líquidos e inertización de los mismos, lodos de depuración, gases contaminados y purines. Para su neutralización, desfosfatación, precipitación de metales pesados, desulfuración y descarbonatación, según cada caso..

<b>NORMATIVA</b>
UNE-EN 12518 "Productos químicos utilizados en el tratamiento del agua destinada al consumo humano – Cal".

	<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b> (sobre muestra seca)			<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b> (sobre muestra seca)	
	Valor medio	Desviación		Valor medio	Desviación
o CaO + MgO	92,00%	±1,10	<b>GRANULOMETRIA:</b>	o Retenido a 200 µ	-
o CO <sub>2</sub>	1,30%	±0,30		o Retenido a 80 µ	0,04%
o Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20%	±0,05		o Retenido < 80 µ	99,96%
o Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,60%	±0,05			
o SiO <sub>2</sub>	0,80%	±0,15			
o H <sub>2</sub> O humedad	0,60%	±0,10			
o Ca(OH) <sub>2</sub> util	> 85%				

Esta información no es una especificación, debido a que la materia prima es un producto natural.  
El producto hidróxido cálcico en forma de lechada de cal se mantiene en suspensión por un tiempo no superior a cuatro semanas.



c) NaOH líquido, 50%



**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD  
(HDS)**

**Hidróxido de sodio 50%**

**SECCIÓN I - DATOS GENERALES DE LA HDS**

Fecha de Elaboración: 01/08/96	Fecha de Actualización: 20/10/2008	Próxima fecha de revisión: 20/10/2009
-----------------------------------	---------------------------------------	--

**NOMBRE DEL FABRICANTE O IMPORTADOR:** Industria Química del Istmo S.A. de C.V.

**SECCIÓN II - DATOS DE LA SUSTANCIA QUIMICA**

<b>Nombre del Producto:</b>	Solución de hidróxido de sodio 50%	<b>Familia química:</b>	Hidróxidos alcalinos
<b>Formula química:</b>	NaOH	<b>Sinónimo:</b>	Líquido de sosa cáustica 50%, lejía de sodam líquido cáustico, hidrato de sodio.
<b>Nombre Comercial:</b>	Hidróxido de sodio 50%		

**SECCION III - IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA QUIMICA**



**IDENTIFICACION:**

<b>No. CAS:</b>	1310-73-2	<b>LMPE-CT(TLV-STEL):</b>	2 mg/m3
<b>No. ONU:</b>	UN-1824	<b>LMPE-P(TLV-C):</b>	2 mg/m3
<b>LMPE-PPT(TLV-TWA)</b>	2 mg/m3	<b>IPVS(IDLH):</b>	10 mg/m3

**CLASIFICACION DEL GRADO DE RIESGO (Rombo NFPA):**

<b>Salud (S):</b>	3	<b>Inflamabilidad (I):</b>	0
<b>Reactividad (R):</b>	1	<b>Riesgo Especiales (RE):</b>	

**COMPONENTES:**

Hidróxido de sodio	49-51%
--------------------	--------

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### SECCIÓN IV - PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Temperatura de Ebullición:	140 °C (284 °F) solución al 50%
Temperatura de Fusión:	12 °C (53.6°F) solución al 50%
Temperatura de Inflamación:	NA No es combustible
Temperatura de Autoignición:	NA No es combustible
Densidad:	1510 kg/m <sup>3</sup>
pH	14 (solución acuosa 5%) 13 (solución acuosa 0.5 %) 12 (solución acuosa 0.05%)
Peso molecular:	40.01
Olor:	Inodoro
Velocidad de Evaporación:	NA
Solubilidad (en agua):	Soluble en todas las proporciones
Presión de Vapor:	0.2 KPa (1.5 mm Hg) @ 20 °C (68 °F) solución al 50%
Porcentaje de volatilidad	NA
Límite inferior de explosividad en aire :	NA No es combustible
Límite superior de explosividad en aire :	NA No es combustible
Estado Físico:	líquido
Color:	transparente (incolore)
Densidad del vapor (aire =1):	NA
Viscosidd (cp):	50 cP
Gravedad específica:	1.53 @ 115 °C (solución al 50%)

### SECCIÓN V - RIESGO DE FUEGO O EXPLOSION

#### RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSION:

El hidróxido de sodio no se quema ni apoya la combustión. La reacción del hidróxido de sodio con agua y varios materiales comunes (vea la Sección VI) puede generar suficiente calor para encender los materiales combustibles cercanos. El hidróxido de sodio puede reaccionar con metales como el aluminio, estaño y zinc para formar gas de hidrógeno inflamable.

#### MEDIOS DE EXTINCION:

Utilice medios de extinción adecuados para el fuego circundante. Si se utiliza agua, se debe tener cuidado debido a que puede generar calor y provocar salpicaduras si se aplica directamente al hidróxido de sodio.

#### EQUIPO DE PROTECCION PARA EL COMBATE DE INCENDIOS :

La ropa protectora normal para bomberos (Equipo Bunker) no proporciona una protección adecuada. Puede ser necesaria ropa resistente a químicos (es decir, un traje contra salpicaduras químicas) y un aparato de respiración autónoma de presión positiva (aprobado por MSHA/NIOSH o su equivalente).

#### INFORMACION ESPECIAL:

Evacué el área y controle el incendio desde una distancia segura o un sitio protegido. Aproxímese al fuego con el viento a favor. Si es posible, aisle los materiales que no estén involucrados en el incendio y proteja al personal. Mueva los recipientes del área de incendio si se puede hacer sin riesgo.

Puede utilizarse agua con extrema precaución para extinguir un incendio en un área donde se almacena hidróxido de sodio. El agua no debe entrar en contacto con el hidróxido de sodio. El agua puede utilizarse en cantidades que inunden como rocío o niebla para mantener fríos los recipientes expuestos al fuego y absorber el calor. A altas temperaturas pueden generarse vapores que producen un gas fuerte y corrosivo. No entre sin utilizar equipo de protección especializado adecuado para la situación.

#### Evacuación:

Si un camión de tanque o un tanque participa en un incendio, AÍSLELO y considere la evacuación en un radio de 0.8 Km.

NOTA: Vea también la Sección VI "Estabilidad y reactividad".

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Productos de combustión y térmicos de descomposición peligrosos para la salud	óxido de sodio
Índice de quemado	No aplica
Poder explosivo	No aplica
Sensibilidad al impacto mecánico	No aplica

### SECCIÓN VI - ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**Productos de descomposición peligrosos :** Descomposición térmica: óxido de sodio.

**Estabilidad química:** Estable a temperatura ambiente. El hidróxido de sodio absorbe rápidamente el bióxido de carbono del aire, formando carbonato de sodio.

**Condiciones a evitar:** Agua. Manténgase lejos de incompatibles

**Incompatibilidad con otras sustancias :**El hidróxido de sodio reacciona fuerte, violenta o explosivamente con muchos químicos orgánicos e inorgánicos como los ácidos fuertes, nitroaromáticos, nitroparafínicos y compuestos organohalógenos, glicoles y peróxidos orgánicos. Reacciona violentamente con el agua, generando un calor importante y salpicando peligrosamente hidróxido de sodio corrosivo. Polimeriza el acetaldehído, acroleino o acrilonitrilo en forma violenta. Produce gas de hidrógeno inflamable y explosivo si reacciona con tetrahidroborato de sodio o metales como el aluminio, estaño o zinc. Puede formar espontáneamente químicos inflamables al contacto con 1,2- dicloroetileno, tricloroetileno o tetracloroetano. Puede producir monóxido de carbono al contacto con soluciones de azúcares como la fructuosa, lactosa y maltosa.

**Polimerización:** No ocurrirá. Sin embargo, puede inducir polimerización peligrosa del acetaldehído, acroleino y acrilonitrilo.

**Otras condiciones:** Es corrosivo para el aluminio, estaño, zinc, cobre y bronce. Es corrosivo para el acero a temperaturas elevadas (más de 40°C).

**Comentarios sobre la estabilidad y reactividad :** Ataca lentamente al vidrio a temperatura ambiente.

### SECCIÓN VII - RIESGO A LA SALUD Y PRIMEROS AUXILIOS

#### EFFECTOS POTENCIALES SOBRE LA SALUD.

##### **Resumen de emergencia :**

Líquido sin olor, transparente, no volátil. ¡EXTREMADAMENTE CORROSIVO! Causa severas quemaduras al contacto. Puede causar ceguera, cicatrices permanentes y muerte. Los aerosoles pueden causar daño pulmonar. Los efectos pueden ser retrasados. Altamente reactivo. Puede reaccionar violentamente con agua y numerosos materiales que se encuentran comúnmente, generando suficiente calor para incendiar los materiales combustibles cercanos. El contacto con muchos químicos orgánicos e inorgánicos puede causar incendio o explosión. Reacciona con algunos metales para soltar gas de hidrógeno, el cual puede formar mezclas explosivas con el aire. No se quema. Tóxico para organismos acuáticos. Lea toda la HDS para evaluar los peligros con mayor detalle.

##### **Ingestión:**

Dolor severo; quemaduras en boca, garganta y esófago; vómito; diarrea; colapso y posible muerte pueden ser los resultados.

##### **Inhalación:**

El hidróxido de sodio no forma vapor de inmediato y la exposición por inhalación probablemente ocurra como aerosol. Debido a su naturaleza corrosiva, los aerosoles de hidróxido de sodio pueden causar edema pulmonar (lesión pulmonar severa que ponga en peligro la vida). El desarrollo del edema pulmonar puede retrasarse hasta 48 horas después de la exposición. Los primeros síntomas de edema pulmonar incluyen falta de aire y presión en el pecho.

##### **Contato:**

con la piel: El hidróxido de sodio es extremadamente corrosivo y es capaz de causar severas quemaduras con ulceración profunda y cicatriz permanente. Puede penetrar hasta las capas profundas de la piel y la corrosión continuará hasta que se elimine. La severidad de la lesión depende en la concentración (soluciones) y la duración de la exposición. Las quemaduras pueden no ser inmediatamente dolorosas; el dolor puede retrasarse desde minutos hasta horas. Varios estudios en humanos y reportes de casos describen los efectos corrosivos del hidróxido de sodio. Una solución al 4% de hidróxido de sodio aplicada al brazo de un voluntario de 15 a 180 minutos, le provocó un daño que avanzó desde la destrucción de células de la capa dura externa de la piel en los primeros 15 minutos hasta la destrucción total de todas las capas de la piel en 60 minutos. Soluciones tan bajas como 0.12% han dañado piel saludable dentro de una hora.

con los ojos: ¡Extremadamente corrosivo! La severidad de las lesiones aumenta con la concentración, la duración de la exposición y la velocidad de penetración al ojo. El daño puede variar desde irritación

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

severa y cicatriz ligera hasta ampollas, desintegración, ulceración, cicatrización severa y oscurecimiento. Ciertas condiciones que afectan la visión, como el glaucoma y las cataratas, se consideran como posibles desarrollos retrasados. En casos severos hay una ulceración y oscurecimiento progresivo del tejido ocular que puede causar ceguera permanente.

## **Efectos crónicos:**

**PIEL:** Se espera que el contacto repetido o prolongado provoque resequedad, agrietamiento e inflamación de la piel (dermatitis).

## **Problemas médicos existentes que posiblemente se agraven por exposición :**

Problemas de asma, bronquitis, enfisema y otras enfermedades pulmonares y condiciones crónicas en nariz, sinus nasales o garganta. Puede agravarse la irritación de la piel en personas con enfermedades existentes de la piel.

## **INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA:**

**Datos toxicológicos:** Hidróxido de sodio

**Datos sobre toxicidad:** LD<sub>50</sub> oral en conejo 500 mg /kg; LD<sub>50</sub> intraperitoneal en ratón 40 mg/kg.

**Información sobre irritación:** 500 mg/24 horas severo en piel de conejo; 400 µg suave en ojos de conejo; 1 por ciento severo en ojos de conejo;

**Mutagenicidad:** No hay evidencia de potencial mutagénico.

**Carcinogenicidad:** El hidróxido de sodio no está clasificado como carcinógeno en la ACGIH (Conferencia americana de higienistas industriales gubernamentales) o la IARC (Agencia internacional de investigación sobre el cáncer), no está regulado como carcinógeno por OSHA (Administración de seguridad y salud ocupacional) y no está en listado como carcinógeno por el NTP (Programa Nacional de Toxicología).

**Efectos reproductivos:** No hay información disponible y no se anticipan efectos reproductivos adversos.

**Teratogenicidad y Fetotoxicidad:** No hay información disponible y no se anticipan efectos teratogénicos y embrionarios adversos.

## **EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS.**

### **General:**

Si no se siente bien busque consejo médico (si es posible muéstrela la etiqueta).

### **Ingestión:**

**NO INDUZCA VÓMITO.** Si la víctima está consciente y no se está convulsionando, enjuáguele la boca y proporcione tanta agua como sea posible para diluir el material (de 8 a 10 onzas). Si ocurre un vómito espontáneo, haga que la víctima se incline hacia adelante con la cabeza hacia abajo para evitar que aspire el vómito, enjuáguele la boca y adminístrele más agua. Transporte a la víctima **INMEDIATAMENTE** a un área médica.

### **Inhalación:**

Llevar al aire libre. Si se dificulta la respiración, puede ser benéfico el oxígeno si es administrado por personal capacitado, preferiblemente por consejo médico. Proporcione respiración artificial **SOLAMENTE** si la respiración ha cesado. No utilice el método de boca a boca si la víctima ingirió o inhaló la sustancia: induzca la respiración artificial con ayuda de una máscara de bolsillo equipada con válvula de una vía u otro instrumento respiratorio médico adecuado. Proporcione Resucitación Cardiopulmonar (RCP) solamente si no hay pulso NI respiración. Busque atención médica **INMEDIATAMENTE**. Los síntomas de edema pulmonar pueden aparecer hasta 48 horas después de la exposición.

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## **Contacto:**

con la piel: Enjuague la piel inmediatamente con agua corriente por lo menos durante 20 minutos, y se recomienda hasta 60 minutos de enjuague. Quite la ropa contaminada, joyas y zapatos bajo agua corriente. Si persiste la irritación, repita el enjuague. Para quemaduras consiga atención médica. Deseche la ropa y los zapatos contaminados de forma que se limite una mayor exposición.

con los ojos: Enjuague los ojos inmediatamente con agua corriente por un **mínimo** de 20 minutos, y se recomiendan hasta 60 minutos de enjuague. Mantenga los párpados abiertos durante el enjuague. Si persiste la irritación, repita el enjuague. Busque atención médica **INMEDIATAMENTE**. No transporte a la víctima hasta que el periodo de enjuague recomendado haya terminado, a menos que pueda continuar el enjuague durante el transporte.

## **SECCIÓN VIII - INDICACIONES EN CASO DE EMISION O DERRAME**

### **Derrames, fugas o descargas:**

- Restrinja el acceso al área hasta que se termine la limpieza. Asegúrese de que la limpieza sea efectuada por personal capacitado. Ventile el área.
- Utilice equipo de protección personal adecuado (vea la Sección IX). No toque el material derramado.
- Evite la entrada al drenaje o las vías de agua.
- Derrame en tierra de hidróxido de sodio: Las soluciones deben contenerse mediante diques de material inerte como la arena o la tierra. Las soluciones pueden recuperarse o diluirse cuidadosamente con agua, y neutralizarse cuidadosamente con ácidos como el ácido acético o clorhídrico.
- Derrame en agua: Neutralícelo con ácido diluido.
- Cumpla con los reglamentos federales, estatales o provinciales, y locales sobre el reporte de descargas.

**Químicas de desactivación:** Soluciones débiles de ácido (vinagre, ácido sulfúrico o clorhídrico).

**Eliminación de residuos:** Disponga del material de desecho en una instalación aprobada para el tratamiento y disposición de desechos, de acuerdo con los reglamentos aplicables. No disponga del desecho en la basura normal ni en los sistemas de drenaje.

**Nota** - El material de limpieza puede considerarse como desecho peligroso de acuerdo con LGEEPA.

## **SECCIÓN IX - PROTECCION ESPECIAL PARA SITUACIONES DE EMERGENCIA**

### **MEDIDAS PREVENTIVAS**

Las recomendaciones que se en listan en esta sección indican el tipo de equipo que proporciona protección contra la sobre exposición a este producto. Las condiciones de uso, lo adecuado de la ingeniería u otras medidas de control, así como las exposiciones reales, dictarán la necesidad de instrumentos protectores especiales en su lugar de trabajo.

### **Controles de Ingeniería:**

Se debe aplicar ventilación de escape local donde haya incidencia de emisiones en el punto de origen o dispersión de contaminantes regulados en el área de trabajo. El control de ventilación para el contaminante tan cercano como sea posible a su punto de generación es el método más económico y más seguro para minimizar la exposición del personal a los contaminantes aéreos. Las medidas más efectivas son colocar todos los procesos en un recinto de protección total y mecanizar los procedimientos de manejo para evitar todo el contacto personal.

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Mantenga fuentes para lavar los ojos y regaderas de lavado rápido en el área de trabajo. Deben establecerse requisitos detallados y específicos para el equipo personal de protección dependiendo del sitio.

### Protección respiratoria :

Hasta 10 mg/m<sup>3</sup> : Es necesario un Respirador de Aire (SAR) operado en modo de flujo continuo, protección para los ojos, o un respirador de máscara completa con filtro(s) de partículas de alta eficiencia, o un respirador motorizado purificador de aire con filtro(s) para polvo y rocío, protección para los ojos o un Aparato de Respiración Autónoma de máscara completa (SCBA); o SAR de máscara completa.

Entrada planeada o de emergencia a concentraciones desconocidas o condiciones IDLH: SAR de máscara completa, con presión positiva; o SAR de máscara completa con presión positiva con un SAR auxiliar de presión positiva.

**ESCAPE:** Respirador de máscara completa con filtro(s) de partículas de alta eficiencia; o un SCBA tipo escape.

### Protección para los ojos :

Utilice protección facial completa y lentes de seguridad contra químicos cuando exista el potencial de contacto.

### Protección de la piel:

Utilice ropa de protección personal adecuada para evitar el contacto con la piel.

### Directrices para soluciones de hidróxido de sodio de 30 a 70%:

RECOMENDADOS: (más de ocho horas de resistencia a la penetración): Hule butílico; hule natural, neopreno, caucho de nitrilo, polietileno, cloruro de polivinilo, Teflon(MR), Viton(MR), Saranex(MR), 4H(MR), Barricade(MR), CPF 3(MR), Responder(MR), Trelchem HPS(MR), Tychem 10000(MR).

NO RECOMENDADOS: para su uso (menos de una hora de resistencia a la penetración): Alcohol polivinílico.

## DIRECTRICES PARA LA EXPOSICIÓN

Producto:	Hidróxido de sodio
Límite de exposición de tope ACGIH (TLV-C):	2 mg/m <sup>3</sup>
OSHA PEL:	2 mg/m <sup>3</sup>
NIOSH IDLH:	10 mg/m <sup>3</sup>

## A.6.2. Reglamentación técnico-sanitario.

Modificación de la reglamentación técnico-sanitaria sobre determinados azúcares destinados a la alimentación humana, aprobada por el R.D. 1052/2003, de 1 de agosto.

### DISPONGO:

**Artículo único.** *Modificación de la Reglamentación técnico-sanitaria sobre determinados azúcares destinados a la alimentación humana, aprobada por el Real Decreto 1052/2003, de 1 de agosto.*

La Reglamentación técnico-sanitaria sobre determinados azúcares destinados a la alimentación humana, aprobada por el Real Decreto 1052/2003, de 1 de agosto, queda modificada como sigue:

Uno. Se inserta un nuevo apartado 5, que tendrá la redacción siguiente:

«5. Coadyuvantes tecnológicos:

5.1 Los coadyuvantes tecnológicos autorizados en la elaboración de azúcares, junto con sus condiciones de uso, son los que se recogen en la lista positiva que figura en el anexo de este real decreto.

5.2 Los coadyuvantes tecnológicos que no figuren en el anexo de este real decreto deben ser objeto de evaluación por parte del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición antes de proceder a su inclusión en el mismo.

Para ello, los interesados deberán presentar una solicitud ante la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, adjuntando la documentación necesaria que garantice la seguridad alimentaria del uso propuesto en las condiciones previstas. La Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición pondrá a disposición de los interesados información adicional para facilitar la presentación de las solicitudes.

5.3 No obstante lo dispuesto en el apartado 1, también podrán utilizarse aquellos coadyuvantes tecnológicos que estén legalmente autorizados en otros Estados miembros de la Unión Europea, con idénticas restricciones y limitaciones que allí existan, para ese mismo fin, de acuerdo con el principio de reconocimiento mutuo establecido por el Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea; todo ello sin perjuicio de la responsabilidad que los operadores de las empresas alimentarias tienen con base en lo dispuesto en el Reglamento (CE) n.º 178/2002, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria, en particular en la sección 4 sobre requisitos generales de la legislación alimentaria.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Dos. Se incorpora un anexo que tendrá la redacción que se indica a continuación:

### «ANEXO

#### PRIMERA PARTE

#### Lista positiva de coadyuvantes tecnológicos en la elaboración de azúcar

Productos para la purificación del jugo de difusión y refinación del azúcar.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Anhidrido carbónico (E-290). Hidróxido cálcico (E-526). Hidróxido sódico (E-524). Carbonato sódico (E-500i). Sulfato cálcico (E-516). Ácido sulfúrico (E-513). Ácido clorhídrico (E-507). Alcohol isopropílico. Resinas intercambiadoras de iones.	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

Productos para el control de microorganismos en los procesos de molienda, extracción y difusión del azúcar.

Coadyuvante	Condiciones de uso (dosis máxima sobre peso de caña o remolacha)
Cianoditiimidocarbonato disódico.	2,5 ppm
Etilendiamina.	2 ppm
N-metilditiocarbamato potásico.	3,5 ppm
Etilenbisditiocarbamato disódico.	3 ppm
Compuestos de amonio cuaternario.	10 ppm
Mezcla de β-ácidos naturales procedentes del extracto de lúpulo.	3 ppm

#### Antiespumantes.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Aceites y grasas vegetales alimenticios. Polietilenglicol. Polipropilenglicol. Oleato de polietilenglicol. Oleato de glicerilo. Aceite de parafina. Aceite de vaselina. Monoestearato de sorbitan (E-491).	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

#### Floculantes.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Polímeros de los ácidos acrílico y metacrílico, sus sales sódicas, ésteres, amidas y N-metil-amidas y los homo y copolímeros de los mismos.	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### Inhibidores de las incrustaciones.

Coadyuvante	Condiciones de uso (dosis máxima)
Poliacrilato sódico.	5 ppm (sobre jarabe).
Sal sódica del ácido poliaspártico (n.º CAS 181828-06-8).	5 ppm (sobre remolacha y/o caña).

### Filtrantes.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Tierra de diatomeas. Dióxido de silicio (E-551). Carbón activo. Celulosa microcristalina (E-460i). Celulosa en polvo (E-460ii). Silicatos aluminico-sódico-potásico.	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

### Ácidos para la obtención de azúcar invertido.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Ácido clorhídrico (E-507). Ácido sulfúrico (E-513).	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

### Otros productos para la obtención de azúcares invertidos.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Resinas. Enzima invertasa.	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

## SEGUNDA PARTE

### Lista positiva de coadyuvantes tecnológicos en la elaboración de otros azúcares

Productos para hidrólisis de almidones y féculas y regulación del pH en lechadas y jarabes.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Ácido sulfúrico (E-513). Ácido clorhídrico (E-507). Carbonato sódico (E-500i). Bisulfito sódico o metabisulfito sódico (E-223). Hidróxido amónico (E-527).	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

### Enzimas.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Alfa-amilasa. Beta-amilasa. Glucó-amilasa. Isomerasa. Pullulanasa. Extractos de malta.	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### Coadyuvantes de enzimas.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Cloruro magnésico (E-511). Cloruro cálcico (E-509). Hidróxido cálcico (E-526).	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

### Antiespumantes.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Aceites y grasas vegetales alimenticios.	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

### Filtrantes.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Carbón activo. Tierras de diatomeas. Silicatos aluminico-sódico-potásicos. Harina de madera lavada <sup>1</sup> .	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

1. Exenta de productos químicos ajenos a su composición natural, especialmente colorantes y plaguicidas.

### Productos para desionización de los jarabes.

Coadyuvante	Condiciones de uso
Resinas de intercambio iónico aniónicas. Resinas de intercambio iónico catiónicas.	De acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.»

Disposición derogatoria única. *Derogación normativa.*

Quedan derogados los apartados 1.2 y 2.2 del artículo 10 del Real Decreto 1261/1987, de 11 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación técnico-sanitaria para la elaboración, almacenamiento, transporte y comercialización de los azúcares destinados al consumo humano.

Disposición final primera. *Título competencial.*

Este real decreto se dicta al amparo de lo establecido en el artículo 149.1.16.ª de la Constitución, que atribuye al Estado la competencia en materia de bases y coordinación general de la sanidad.

Disposición final segunda. *Entrada en vigor.*

El presente real decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid, el 26 de septiembre de 2009.

JUAN CARLOS R.

La Vicepresidenta Primera del Gobierno  
y Ministra de la Presidencia,  
MARÍA TERESA FERNÁNDEZ DE LA VEGA SANZ

***ANEXO VII. Gráficos y tablas***

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Tabla 1. Propiedades químicas de alimentos

Alimento	% H <sub>2</sub> O	P. C. °C	Calor específico (kJ/kg °C)		Conductividad térmica (W/m °C)	Calor latente
			Por encima del punto de congelación	Por debajo del punto de congelación		
Manzanas	84	-2	3.60	1.8-1.9	0.4153 <sub>60</sub>	280-281
Albaricoques	85.4	-2	3.68	1.93	-	284
Alcachofas						
Globe	83.7	-2	-	1.88	-	279
Jerusalén	79.5	-2.3	3.48	1.84	-	265
Esparcagos	93.0	-1.2	3.94	2.01	-	310-311
Agucotes	94.0	-2.7	3.81	2.05	-	316
Plátanos	74.8	-2.2	3.35	1.76	-	251-252
Judías secas	12.5	-	1.35	1.01	-	42
Judías verdes	69.8	-18	3.94	2.39	-	297
Judías, limas, verdes	66.6	-1.1	3.08	1.68	-	219
Judías, chínganos	66.2	-1.3	3.81	1.97	-	298
Remolacha	87.6	-2.8	3.77	1.68	-	293
Frambuesa						
americana	82-83	-30	3.6-3.7	1.68-1.9	-	284
Vainilla	82.3	-1	3.6	1.88	-	275
Pan, blanco	44-45	-2	2.72-2.93	1.42	-	189-121
Broccoli	89.9	-1.6	3.85	1.97	-	302
Coles de						
Bruselas	84.9	+0.6	3.68	1.87	-	284
Rapaño	92.4	+0.3	3.94	1.97	-	306-307
Cantalupo	92.7	-1.7	3.94	2.01	-	307
Zanahoria	88.2	-1.3	3.6-3.8	1.8-1.9	-	293
Coliflor	91.7	-	3.89	1.97	-	307
Apionabo	88.3	-	3.81	1.93	-	293
Apio	93.7	-1.5	3.98	2.01	-	316
Queso	37-38	-2.2	2.09	1.30	-	126
Limburger	55	-7.2	2.93	1.68	-	200
Roquefort	55	-16.1	2.72	1.34	-	184
Suizo	55	-9.4	2.68	1.51	-	184
Magro	50	-	2.68	1.47	-	-
Cereza	83	-3.3	3.65	1.89	-	279
Recubrimiento de chocolate	55	-	1.36	2.30	-	93
Malt, seco	10.5	-	1.17	0.96	-	35
Malt, verde	73.9	-1.7	3.31	1.76	-	247
Arándano	87.4	-2.6	3.77	1.93	-	288
Nata						
Helado de	58-66	-3-18	3.3	1.88	-	121
Edulcorada	73	-	3.58	2.09	-	-
40 % de grasa	73	-2.2	3.56	1.68	-	209

Fuente. Porta, A. 1955

**Tabla 2. Relación grados Brix y calor específico**

<b>Brix</b>	0	15	40	65	70
<b>Cp (kcal/kg°C)</b>	1	0,91	0,77	0,62	0,59

**Fuente.** Porta. A, 1955

**Tabla 3. Relación Grados Brixes y densidad**

Tabla de °Brix-Densidad a 20°C de soluciones acuosas de sacarosa.

°Bx (%)	d (g/ml)	°Bx (%)	d (g/ml)	°Bx (%)	d (g/ml)	°Bx (%)	d (g/ml)	°Bx (%)	d (g/ml)
0,00	0,9982	5,00	1,0176	10,00	1,0361	15,00	1,0552	20,00	1,0610
0,10	0,9988	5,10	1,0182	10,10	1,0385	15,10	1,0596	20,10	1,0614
0,20	0,9990	5,20	1,0185	10,20	1,0389	15,20	1,0600	20,20	1,0619
0,30	0,9994	5,30	1,0190	10,30	1,0393	15,30	1,0604	20,30	1,0623
0,40	0,9997	5,40	1,0194	10,40	1,0398	15,40	1,0608	20,40	1,0626
0,50	1,0001	5,50	1,0198	10,50	1,0402	15,50	1,0613	20,50	1,0630
0,60	1,0005	5,60	1,0202	10,60	1,0406	15,60	1,0617	20,60	1,0636
0,70	1,0008	5,70	1,0206	10,70	1,0410	15,70	1,0622	20,70	1,0641
0,80	1,0013	5,80	1,0210	10,80	1,0414	15,80	1,0626	20,80	1,0645
0,90	1,0017	5,90	1,0214	10,90	1,0418	15,90	1,0630	20,90	1,0650
1,00	1,0021	6,00	1,0218	11,00	1,0422	16,00	1,0635	21,00	1,0654
1,10	1,0025	6,10	1,0222	11,10	1,0427	16,10	1,0639	21,10	1,0659
1,20	1,0028	6,20	1,0226	11,20	1,0431	16,20	1,0643	21,20	1,0663
1,30	1,0032	6,30	1,0230	11,30	1,0435	16,30	1,0646	21,30	1,0668
1,40	1,0036	6,40	1,0234	11,40	1,0438	16,40	1,0652	21,40	1,0672
1,50	1,0040	6,50	1,0238	11,50	1,0443	16,50	1,0656	21,50	1,0677
1,60	1,0044	6,60	1,0242	11,60	1,0445	16,60	1,0660	21,60	1,0681
1,70	1,0048	6,70	1,0246	11,70	1,0452	16,70	1,0665	21,70	1,0686
1,80	1,0052	6,80	1,0250	11,80	1,0456	16,80	1,0669	21,80	1,0690
1,90	1,0056	6,90	1,0254	11,90	1,0460	16,90	1,0674	21,90	1,0695
2,00	1,0060	7,00	1,0258	12,00	1,0464	17,00	1,0678	22,00	1,0699
2,10	1,0063	7,10	1,0262	12,10	1,0468	17,10	1,0682	22,10	1,0704
2,20	1,0067	7,20	1,0266	12,20	1,0473	17,20	1,0687	22,20	1,0708
2,30	1,0071	7,30	1,0270	12,30	1,0477	17,30	1,0691	22,30	1,0713
2,40	1,0075	7,40	1,0274	12,40	1,0481	17,40	1,0695	22,40	1,0717
2,50	1,0079	7,50	1,0278	12,50	1,0485	17,50	1,0700	22,50	1,0722
2,60	1,0083	7,60	1,0282	12,60	1,0490	17,60	1,0704	22,60	1,0726
2,70	1,0087	7,70	1,0287	12,70	1,0494	17,70	1,0708	22,70	1,0731
2,80	1,0091	7,80	1,0291	12,80	1,0498	17,80	1,0713	22,80	1,0735
2,90	1,0095	7,90	1,0295	12,90	1,0502	17,90	1,0717	22,90	1,0740
3,00	1,0099	8,00	1,0299	13,00	1,0506	18,00	1,0722	23,00	1,0744
3,10	1,0103	8,10	1,0303	13,10	1,0511	18,10	1,0726	23,10	1,0749
3,20	1,0107	8,20	1,0307	13,20	1,0515	18,20	1,0730	23,20	1,0754
3,30	1,0110	8,30	1,0311	13,30	1,0519	18,30	1,0735	23,30	1,0758
3,40	1,0114	8,40	1,0315	13,40	1,0523	18,40	1,0738	23,40	1,0763
3,50	1,0118	8,50	1,0319	13,50	1,0528	18,50	1,0743	23,50	1,0767
3,60	1,0122	8,60	1,0323	13,60	1,0532	18,60	1,0748	23,60	1,0772
3,70	1,0126	8,70	1,0327	13,70	1,0536	18,70	1,0752	23,70	1,0776
3,80	1,0130	8,80	1,0332	13,80	1,0540	18,80	1,0757	23,80	1,0781
3,90	1,0134	8,90	1,0336	13,90	1,0545	18,90	1,0761	23,90	1,0785
4,00	1,0138	9,00	1,0340	14,00	1,0549	19,00	1,0765	24,00	1,0790
4,10	1,0142	9,10	1,0344	14,10	1,0553	19,10	1,0770	24,10	1,0795
4,20	1,0146	9,20	1,0348	14,20	1,0557	19,20	1,0774	24,20	1,0799
4,30	1,0150	9,30	1,0352	14,30	1,0562	19,30	1,0779	24,30	1,0804
4,40	1,0154	9,40	1,0356	14,40	1,0566	19,40	1,0783	24,40	1,0808
4,50	1,0158	9,50	1,0360	14,50	1,0570	19,50	1,0788	24,50	1,0813
4,60	1,0162	9,60	1,0364	14,60	1,0574	19,60	1,0792	24,60	1,0817
4,70	1,0166	9,70	1,0368	14,70	1,0578	19,70	1,0796	24,70	1,0822
4,80	1,0170	9,80	1,0372	14,80	1,0583	19,80	1,0801	24,80	1,0827
4,90	1,0174	9,90	1,0377	14,90	1,0587	19,90	1,0805	24,90	1,0832

**Tabla 3 .Relación grados Brixes con densidad (1/4)**

**Fuente.** Azucarera Ebro

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

%Bx (%)	d (g/ml)	%Bx (%)	d (g/ml)	%Bx (%)	d (g/ml)	%Bx (%)	d (g/ml)	%Bx (%)	d (g/ml)
29.00	1,1038	30.00	1,1270	35.00	1,1813	40.00	1,1705	45.00	1,2080
29.10	1,1040	30.10	1,1272	35.10	1,1815	40.10	1,1770	45.10	1,2031
29.20	1,1042	30.20	1,1274	35.20	1,1817	40.20	1,1775	45.20	1,2027
29.30	1,1044	30.30	1,1276	35.30	1,1819	40.30	1,1780	45.30	1,2042
29.40	1,1046	30.40	1,1278	35.40	1,1821	40.40	1,1785	45.40	1,2047
29.50	1,1048	30.50	1,1280	35.50	1,1823	40.50	1,1791	45.50	1,2053
29.60	1,1050	30.60	1,1282	35.60	1,1825	40.60	1,1796	45.60	1,2058
29.70	1,1052	30.70	1,1284	35.70	1,1827	40.70	1,1801	45.70	1,2063
29.80	1,1054	30.80	1,1286	35.80	1,1829	40.80	1,1806	45.80	1,2068
29.90	1,1056	30.90	1,1288	35.90	1,1831	40.90	1,1811	45.90	1,2074
30.00	1,1058	31.00	1,1290	36.00	1,1833	41.00	1,1817	46.00	1,2079
30.10	1,1060	31.10	1,1292	36.10	1,1835	41.10	1,1822	46.10	1,2085
30.20	1,1062	31.20	1,1294	36.20	1,1837	41.20	1,1827	46.20	1,2090
30.30	1,1064	31.30	1,1296	36.30	1,1839	41.30	1,1832	46.30	1,2096
30.40	1,1066	31.40	1,1298	36.40	1,1841	41.40	1,1837	46.40	1,2101
30.50	1,1068	31.50	1,1300	36.50	1,1843	41.50	1,1842	46.50	1,2106
30.60	1,1070	31.60	1,1302	36.60	1,1845	41.60	1,1848	46.60	1,2112
30.70	1,1072	31.70	1,1304	36.70	1,1847	41.70	1,1853	46.70	1,2117
30.80	1,1074	31.80	1,1306	36.80	1,1849	41.80	1,1858	46.80	1,2123
30.90	1,1076	31.90	1,1308	36.90	1,1851	41.90	1,1863	46.90	1,2128
31.00	1,1078	32.00	1,1310	37.00	1,1853	42.00	1,1868	47.00	1,2133
31.10	1,1080	32.10	1,1312	37.10	1,1855	42.10	1,1874	47.10	1,2138
31.20	1,1082	32.20	1,1314	37.20	1,1857	42.20	1,1879	47.20	1,2144
31.30	1,1084	32.30	1,1316	37.30	1,1859	42.30	1,1884	47.30	1,2149
31.40	1,1086	32.40	1,1318	37.40	1,1861	42.40	1,1889	47.40	1,2155
31.50	1,1088	32.50	1,1320	37.50	1,1863	42.50	1,1894	47.50	1,2160
31.60	1,1090	32.60	1,1322	37.60	1,1865	42.60	1,1900	47.60	1,2165
31.70	1,1092	32.70	1,1324	37.70	1,1867	42.70	1,1905	47.70	1,2171
31.80	1,1094	32.80	1,1326	37.80	1,1869	42.80	1,1910	47.80	1,2176
31.90	1,1096	32.90	1,1328	37.90	1,1871	42.90	1,1915	47.90	1,2182
32.00	1,1098	33.00	1,1330	38.00	1,1873	43.00	1,1921	48.00	1,2187
32.10	1,1100	33.10	1,1332	38.10	1,1875	43.10	1,1926	48.10	1,2193
32.20	1,1102	33.20	1,1334	38.20	1,1877	43.20	1,1931	48.20	1,2198
32.30	1,1104	33.30	1,1336	38.30	1,1879	43.30	1,1936	48.30	1,2203
32.40	1,1106	33.40	1,1338	38.40	1,1881	43.40	1,1942	48.40	1,2209
32.50	1,1108	33.50	1,1340	38.50	1,1883	43.50	1,1947	48.50	1,2214
32.60	1,1110	33.60	1,1342	38.60	1,1885	43.60	1,1952	48.60	1,2220
32.70	1,1112	33.70	1,1344	38.70	1,1887	43.70	1,1957	48.70	1,2225
32.80	1,1114	33.80	1,1346	38.80	1,1889	43.80	1,1963	48.80	1,2231
32.90	1,1116	33.90	1,1348	38.90	1,1891	43.90	1,1968	48.90	1,2236
33.00	1,1118	34.00	1,1350	39.00	1,1893	44.00	1,1973	49.00	1,2242
33.10	1,1120	34.10	1,1352	39.10	1,1895	44.10	1,1978	49.10	1,2247
33.20	1,1122	34.20	1,1354	39.20	1,1897	44.20	1,1984	49.20	1,2253
33.30	1,1124	34.30	1,1356	39.30	1,1899	44.30	1,1989	49.30	1,2258
33.40	1,1126	34.40	1,1358	39.40	1,1901	44.40	1,1994	49.40	1,2263
33.50	1,1128	34.50	1,1360	39.50	1,1903	44.50	1,1999	49.50	1,2269
33.60	1,1130	34.60	1,1362	39.60	1,1905	44.60	1,2005	49.60	1,2274
33.70	1,1132	34.70	1,1364	39.70	1,1907	44.70	1,2010	49.70	1,2280
33.80	1,1134	34.80	1,1366	39.80	1,1909	44.80	1,2015	49.80	1,2285
33.90	1,1136	34.90	1,1368	39.90	1,1911	44.90	1,2020	49.90	1,2291

Tabla 3. Relación grados Brixes con densidad (2/4)

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

%Bx (%)	d (g/ml)	%Bx (%)	d (g/ml)	%Bx (%)	d (g/ml)	%Bx (%)	d (g/ml)	%Bx (%)	d (g/ml)
50,00	1,2366	50,00	1,2378	50,00	1,2389	50,00	1,2400	50,00	1,2411
50,10	1,2367	50,10	1,2380	50,10	1,2392	50,10	1,2403	50,10	1,2414
50,20	1,2367	50,20	1,2381	50,20	1,2394	50,20	1,2405	50,20	1,2416
50,30	1,2368	50,30	1,2382	50,30	1,2396	50,30	1,2407	50,30	1,2418
50,40	1,2368	50,40	1,2383	50,40	1,2398	50,40	1,2409	50,40	1,2419
50,50	1,2369	50,50	1,2384	50,50	1,2400	50,50	1,2411	50,50	1,2420
50,60	1,2369	50,60	1,2385	50,60	1,2402	50,60	1,2413	50,60	1,2421
50,70	1,2370	50,70	1,2386	50,70	1,2404	50,70	1,2415	50,70	1,2422
50,80	1,2370	50,80	1,2387	50,80	1,2406	50,80	1,2417	50,80	1,2423
50,90	1,2371	50,90	1,2388	50,90	1,2408	50,90	1,2419	50,90	1,2424
51,00	1,2371	51,00	1,2389	51,00	1,2410	51,00	1,2421	51,00	1,2425
51,10	1,2372	51,10	1,2390	51,10	1,2412	51,10	1,2423	51,10	1,2426
51,20	1,2372	51,20	1,2391	51,20	1,2414	51,20	1,2425	51,20	1,2427
51,30	1,2373	51,30	1,2392	51,30	1,2416	51,30	1,2427	51,30	1,2428
51,40	1,2373	51,40	1,2393	51,40	1,2418	51,40	1,2429	51,40	1,2429
51,50	1,2374	51,50	1,2394	51,50	1,2420	51,50	1,2431	51,50	1,2430
51,60	1,2374	51,60	1,2395	51,60	1,2422	51,60	1,2433	51,60	1,2431
51,70	1,2375	51,70	1,2396	51,70	1,2424	51,70	1,2435	51,70	1,2432
51,80	1,2375	51,80	1,2397	51,80	1,2426	51,80	1,2437	51,80	1,2433
51,90	1,2376	51,90	1,2398	51,90	1,2428	51,90	1,2439	51,90	1,2434
52,00	1,2376	52,00	1,2399	52,00	1,2430	52,00	1,2441	52,00	1,2435
52,10	1,2377	52,10	1,2400	52,10	1,2432	52,10	1,2443	52,10	1,2436
52,20	1,2377	52,20	1,2401	52,20	1,2434	52,20	1,2445	52,20	1,2437
52,30	1,2378	52,30	1,2402	52,30	1,2436	52,30	1,2447	52,30	1,2438
52,40	1,2378	52,40	1,2403	52,40	1,2438	52,40	1,2449	52,40	1,2439
52,50	1,2379	52,50	1,2404	52,50	1,2440	52,50	1,2451	52,50	1,2440
52,60	1,2379	52,60	1,2405	52,60	1,2442	52,60	1,2453	52,60	1,2441
52,70	1,2380	52,70	1,2406	52,70	1,2444	52,70	1,2455	52,70	1,2442
52,80	1,2380	52,80	1,2407	52,80	1,2446	52,80	1,2457	52,80	1,2443
52,90	1,2381	52,90	1,2408	52,90	1,2448	52,90	1,2459	52,90	1,2444
53,00	1,2381	53,00	1,2409	53,00	1,2450	53,00	1,2461	53,00	1,2445
53,10	1,2382	53,10	1,2410	53,10	1,2452	53,10	1,2463	53,10	1,2446
53,20	1,2382	53,20	1,2411	53,20	1,2454	53,20	1,2465	53,20	1,2447
53,30	1,2383	53,30	1,2412	53,30	1,2456	53,30	1,2467	53,30	1,2448
53,40	1,2383	53,40	1,2413	53,40	1,2458	53,40	1,2469	53,40	1,2449
53,50	1,2384	53,50	1,2414	53,50	1,2460	53,50	1,2471	53,50	1,2450
53,60	1,2384	53,60	1,2415	53,60	1,2462	53,60	1,2473	53,60	1,2451
53,70	1,2385	53,70	1,2416	53,70	1,2464	53,70	1,2475	53,70	1,2452
53,80	1,2385	53,80	1,2417	53,80	1,2466	53,80	1,2477	53,80	1,2453
53,90	1,2386	53,90	1,2418	53,90	1,2468	53,90	1,2479	53,90	1,2454
54,00	1,2386	54,00	1,2419	54,00	1,2470	54,00	1,2481	54,00	1,2455
54,10	1,2387	54,10	1,2420	54,10	1,2472	54,10	1,2483	54,10	1,2456
54,20	1,2387	54,20	1,2421	54,20	1,2474	54,20	1,2485	54,20	1,2457
54,30	1,2388	54,30	1,2422	54,30	1,2476	54,30	1,2487	54,30	1,2458
54,40	1,2388	54,40	1,2423	54,40	1,2478	54,40	1,2489	54,40	1,2459
54,50	1,2389	54,50	1,2424	54,50	1,2480	54,50	1,2491	54,50	1,2460
54,60	1,2389	54,60	1,2425	54,60	1,2482	54,60	1,2493	54,60	1,2461
54,70	1,2390	54,70	1,2426	54,70	1,2484	54,70	1,2495	54,70	1,2462
54,80	1,2390	54,80	1,2427	54,80	1,2486	54,80	1,2497	54,80	1,2463
54,90	1,2391	54,90	1,2428	54,90	1,2488	54,90	1,2499	54,90	1,2464
55,00	1,2391	55,00	1,2429	55,00	1,2490	55,00	1,2501	55,00	1,2465

Tabla 3. Relación grados Brixes con la densidad (3/4)



Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<sup>o</sup> Bx (%)	d (g/ml)	<sup>o</sup> Bx (%)	d (g/ml)	<sup>o</sup> Bx (%)	d (g/ml)	<sup>o</sup> Bx (%)	d (g/ml)	<sup>o</sup> Bx (%)	d (g/ml)
76,00	1,3794	80,00	1,4122	85,00	1,4458	90,00	1,4805	95,00	1,5169
76,10	1,3807	80,10	1,4134	85,10	1,4470	90,10	1,4817		
76,20	1,3820	80,20	1,4146	85,20	1,4482	90,20	1,4829		
76,30	1,3833	80,30	1,4158	85,30	1,4494	90,30	1,4841		
76,40	1,3845	80,40	1,4170	85,40	1,4506	90,40	1,4853		
76,50	1,3858	80,50	1,4182	85,50	1,4518	90,50	1,4865		
76,60	1,3870	80,60	1,4194	85,60	1,4530	90,60	1,4877		
76,70	1,3883	80,70	1,4206	85,70	1,4542	90,70	1,4889		
76,80	1,3895	80,80	1,4218	85,80	1,4554	90,80	1,4901		
76,90	1,3907	80,90	1,4230	85,90	1,4566	90,90	1,4913		
77,00	1,3920	81,00	1,4242	86,00	1,4578	91,00	1,4925		
77,10	1,3932	81,10	1,4254	86,10	1,4590	91,10	1,4937		
77,20	1,3944	81,20	1,4266	86,20	1,4602	91,20	1,4949		
77,30	1,3957	81,30	1,4278	86,30	1,4614	91,30	1,4961		
77,40	1,3969	81,40	1,4290	86,40	1,4626	91,40	1,4973		
77,50	1,3981	81,50	1,4302	86,50	1,4638	91,50	1,4985		
77,60	1,3994	81,60	1,4314	86,60	1,4650	91,60	1,4997		
77,70	1,3999	81,70	1,4326	86,70	1,4662	91,70	1,5009		
77,80	1,4011	81,80	1,4338	86,80	1,4674	91,80	1,5021		
77,90	1,4017	81,90	1,4350	86,90	1,4686	91,90	1,5033		
78,00	1,4029	82,00	1,4362	87,00	1,4698	92,00	1,5045		
78,10	1,4041	82,10	1,4374	87,10	1,4710	92,10	1,5057		
78,20	1,4053	82,20	1,4386	87,20	1,4722	92,20	1,5069		
78,30	1,4065	82,30	1,4398	87,30	1,4734	92,30	1,5081		
78,40	1,4077	82,40	1,4410	87,40	1,4746	92,40	1,5093		
78,50	1,4089	82,50	1,4422	87,50	1,4758	92,50	1,5105		
78,60	1,4101	82,60	1,4434	87,60	1,4770	92,60	1,5117		
78,70	1,4113	82,70	1,4446	87,70	1,4782	92,70	1,5129		
78,80	1,4125	82,80	1,4458	87,80	1,4794	92,80	1,5141		
78,90	1,4137	82,90	1,4470	87,90	1,4806	92,90	1,5153		
79,00	1,4149	83,00	1,4482	88,00	1,4818	93,00	1,5165		
79,10	1,4161	83,10	1,4494	88,10	1,4830	93,10	1,5177		
79,20	1,4173	83,20	1,4506	88,20	1,4842	93,20	1,5189		
79,30	1,4185	83,30	1,4518	88,30	1,4854	93,30	1,5201		
79,40	1,4197	83,40	1,4530	88,40	1,4866	93,40	1,5213		
79,50	1,4209	83,50	1,4542	88,50	1,4878	93,50	1,5225		
79,60	1,4221	83,60	1,4554	88,60	1,4890	93,60	1,5237		
79,70	1,4233	83,70	1,4566	88,70	1,4902	93,70	1,5249		
79,80	1,4245	83,80	1,4578	88,80	1,4914	93,80	1,5261		
79,90	1,4257	83,90	1,4590	88,90	1,4926	93,90	1,5273		
80,00	1,4269	84,00	1,4602	89,00	1,4938	94,00	1,5285		
80,10	1,4281	84,10	1,4614	89,10	1,4950	94,10	1,5297		
80,20	1,4293	84,20	1,4626	89,20	1,4962	94,20	1,5309		
80,30	1,4305	84,30	1,4638	89,30	1,4974	94,30	1,5321		
80,40	1,4317	84,40	1,4650	89,40	1,4986	94,40	1,5333		
80,50	1,4329	84,50	1,4662	89,50	1,4998	94,50	1,5345		
80,60	1,4341	84,60	1,4674	89,60	1,5010	94,60	1,5357		
80,70	1,4353	84,70	1,4686	89,70	1,5022	94,70	1,5369		
80,80	1,4365	84,80	1,4698	89,80	1,5034	94,80	1,5381		
80,90	1,4377	84,90	1,4710	89,90	1,5046	94,90	1,5393		
81,00	1,4389	85,00	1,4722	90,00	1,5058	95,00	1,5405		

Tabla 3. Relación grados Brixes con la densidad (4/4)

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Tabla 4.1 Propiedades termofísicas del vapor de agua saturado

TABLA A. 1 Propiedades termofísicas del vapor de agua saturado (entrada por presiones)						
Presión de saturación kg/cm <sup>2</sup> p	Temperatura de saturación °C t	Volumen específico del vapor s. m <sup>3</sup> /kg v'	Entalpías kcal/kg °C		Entalpías kcal/kg	
			Del líquido h'	Del vapor h <sub>g</sub>	Del líquido h <sub>f</sub>	Del vapor h <sub>g</sub>
0.01	6.70	111.7	0.0241	2.1447	6.73	600.1
0.013	12.74	89.64	0.0457	2.1084	12.76	603.8
0.02	17.50	68.27	0.0612	2.0847	17.54	604.8
0.023	20.78	55.28	0.0735	2.0635	20.80	606.4
0.03	23.77	46.53	0.0836	2.0499	23.79	607.7
0.04	26.64	39.46	0.0994	2.0253	26.65	609.8
0.05	32.55	28.73	0.1128	2.0084	32.55	611.8
0.06	35.82	24.18	0.1232	1.9908	35.81	612.9
0.08	41.16	18.45	0.1402	1.9668	41.14	613.2
0.10	45.83	14.95	0.1538	1.9478	45.41	613.0
0.12	49.06	12.60	0.1650	1.9326	49.01	612.9
0.15	53.80	10.21	0.1790	1.9140	53.54	612.8
0.20	59.67	7.595	0.1974	1.8903	59.61	612.1
0.25	64.36	6.322	0.2120	1.8718	64.89	612.1
0.30	68.88	5.328	0.2241	1.8567	68.81	612.6
0.35	72.24	4.614	0.2345	1.8436	72.17	612.8
0.40	75.42	4.069	0.2437	1.8324	75.36	612.9
0.50	80.86	3.301	0.2592	1.8150	80.81	613.6
0.60	85.45	2.783	0.2721	1.8001	85.41	613.4
0.70	89.45	2.409	0.2832	1.7876	89.43	613.6
0.80	92.99	2.125	0.2930	1.7767	92.99	613.2
0.90	96.18	1.904	0.3018	1.7673	96.19	613.4
1.0	98.06	1.723	0.3086	1.7587	99.13	613.5
1.1	101.76	1.578	0.3146	1.7510	101.81	613.4
1.2	104.25	1.455	0.3205	1.7440	104.92	613.1
1.3	106.56	1.350	0.3257	1.7375	106.66	611.2
1.4	108.74	1.259	0.3304	1.7315	108.85	612.0
1.5	110.79	1.180	0.3408	1.7280	110.92	612.8
1.6	112.73	1.111	0.3450	1.7229	112.89	613.3
1.8	116.13	0.9952	0.3534	1.7115	116.54	614.7
2.0	119.62	0.9016	0.3618	1.7029	119.87	615.8
2.2	122.65	0.8266	0.3715	1.6952	122.9	616.8
2.4	125.46	0.7601	0.3786	1.6884	125.8	617.8
2.6	128.08	0.7052	0.3853	1.6819	128.5	618.7
2.8	130.55	0.6578	0.3914	1.6759	131.0	619.3
3.0	132.88	0.6166	0.3973	1.6703	133.4	620.3
3.2	135.08	0.5804	0.4028	1.6650	135.6	620.9
3.4	137.18	0.5483	0.4081	1.6601	137.8	621.6
3.6	139.18	0.5196	0.4130	1.6557	139.8	622.2
3.8	141.09	0.4939	0.4176	1.6514	141.8	622.8
4.0	142.92	0.4706	0.4221	1.6474	143.6	623.4
4.5	147.20	0.4213	0.4324	1.6380	148.0	624.7
5.0	151.11	0.3814	0.4422	1.6297	152.1	625.8
5.5	154.71	0.3489	0.4510	1.6219	155.8	626.9
6.0	158.08	0.3213	0.4591	1.6151	159.3	627.8
6.5	161.15	0.2980	0.4666	1.6088	162.6	628.7
7.0	164.17	0.2778	0.4737	1.6029	165.6	629.4

Tabla 4.1. Propiedades termofísicas del vapor de agua saturado (entrada por presiones)  
Fuente. Muñoz y Blandino, 2004

Tabla 4.2. Propiedades termofísicas del agua saturada

**TABLA A.6** Propiedades termofísicas de agua saturada\*

Temperatura, $T$ (K)	Presión $P$ (bars) <sup>a</sup>	Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)		Entalpía de vaporización $h_{fg}$ (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad (N · s/m <sup>2</sup> )		Conductividad térmica (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensión superficial $\sigma_s \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expansión $\beta_f \cdot 10^6$ (K <sup>-1</sup> )	Temperatura $T$ (K)
		$v_f \cdot 10^3$	$v_g$		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	$Pr_f$	$Pr_g$			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	-46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1715	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

Tabla 4.2. Propiedades del agua saturada (entrada por temperaturas) (1/2)  
Fuente. Muñoz y Blandino, 2004

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

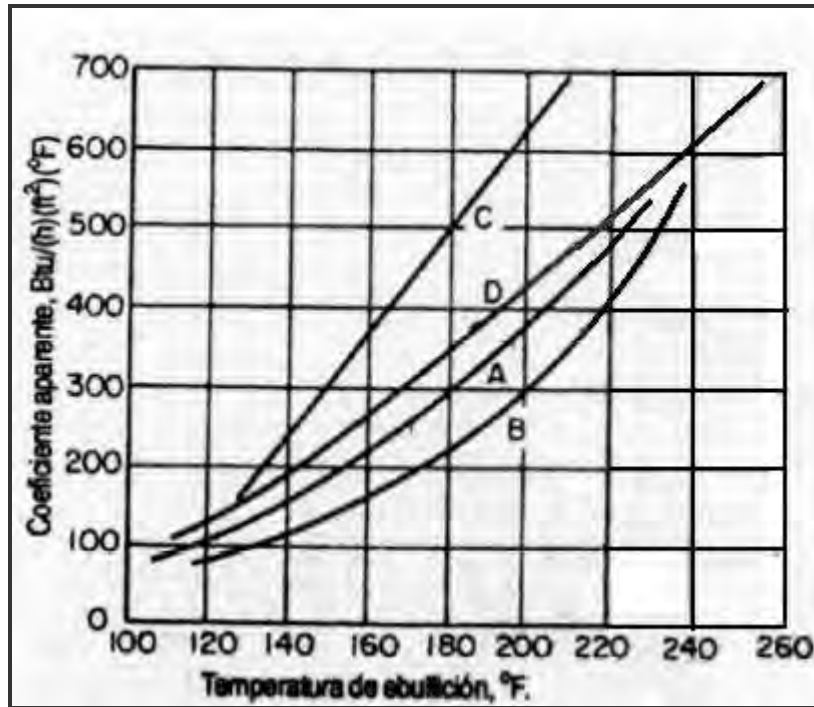
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2		430
440	7.333	1.110	0.261	2059	4.36	2.46	162	14.50	682	31.7	1.04	1.12	45.1		440
450	9.319	1.123	0.208	2024	4.40	2.56	152	14.85	678	33.1	0.99	1.14	42.9		450
460	11.71	1.137	0.167	1989	4.44	2.68	143	15.19	673	34.6	0.95	1.17	40.7		460
470	14.55	1.152	0.136	1951	4.48	2.79	136	15.54	667	36.3	0.92	1.20	38.5		470
480	17.90	1.167	0.111	1912	4.53	2.94	129	15.88	660	38.1	0.89	1.23	36.2		480
490	21.83	1.184	0.0922	1870	4.59	3.10	124	16.23	651	40.1	0.87	1.25	33.9	—	490
500	26.40	1.203	0.0766	1825	4.66	3.27	118	16.59	642	42.3	0.86	1.28	31.6	—	500
510	31.66	1.222	0.0631	1779	4.74	3.47	113	16.95	631	44.7	0.85	1.31	29.3	—	510
520	37.70	1.244	0.0525	1730	4.84	3.70	108	17.33	621	47.5	0.84	1.35	26.9	—	520
530	44.58	1.268	0.0445	1679	4.95	3.96	104	17.72	608	50.6	0.85	1.39	24.5	—	530
540	52.38	1.294	0.0375	1622	5.08	4.27	101	18.1	594	54.0	0.86	1.43	22.1	—	540
550	61.19	1.323	0.0317	1564	5.24	4.64	97	18.6	580	58.3	0.87	1.47	19.7	—	550
560	71.08	1.355	0.0269	1499	5.43	5.09	94	19.1	563	63.7	0.90	1.52	17.3	—	560
570	82.16	1.392	0.0228	1429	5.68	5.67	91	19.7	548	76.7	0.94	1.59	15.0	—	570
580	94.51	1.433	0.0193	1353	6.00	6.40	88	20.4	528	76.7	0.99	1.68	12.8	—	580
590	108.3	1.482	0.0163	1274	6.41	7.35	84	21.5	513	84.1	1.05	1.84	10.5	—	590
600	123.5	1.541	0.0137	1176	7.00	8.75	81	22.7	497	92.9	1.14	2.15	8.4	—	600
610	137.3	1.612	0.0115	1068	7.85	11.1	77	24.1	467	103	1.30	2.60	6.3	—	610
620	159.1	1.705	0.0094	941	9.35	15.4	72	25.9	444	114	1.52	3.46	4.5	—	620
625	169.1	1.778	0.0085	858	10.6	18.3	70	27.0	430	121	1.65	4.20	3.5	—	625
630	179.7	1.856	0.0075	781	12.6	22.1	67	28.0	412	130	2.0	4.8	2.6	—	630
635	190.9	1.935	0.0066	683	16.4	27.5	64	30.0	392	141	2.7	6.0	1.5	—	635
640	202.7	2.075	0.0057	560	26	42	59	32.0	367	155	4.2	9.6	0.8	—	640
645	215.2	2.351	0.0045	361	90	—	54	37.0	331	178	12	26	0.1	—	645
647.3*	221.2	3.170	0.0032	0	∞	∞	45	45.0	238	238	∞	∞	0.0	—	647.3*

\*Adaptada de la referencia 19.  
 \*1 bar = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>.  
 †Temperatura crítica.

Tabla 4.2. Propiedades termofísicas del agua saturada (2/2)

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Gráfico 5. Relación de la temperatura de ebullición y el coeficiente de transferencia de calor para distintos evaporadores (datos de plantas obtenidos por Kerr)**



**Gráfico 5. Relación temperatura de ebullición y coeficiente aparente**  
**Fuente.** Perry, 2001

- A: Evaporadores verticales de tubo corto con bajada central
- B: Evaporadores estándar de tubo horizontal
- C: Evaporadores Lillie (máquinas de tubo horizontal, sin nivel de líquido, pero hacía recircular el líquido)
- D: Evaporadores verticales de tubo largo.

\* Estas curvas muestran coeficientes aparentes, pero las soluciones de azúcar tienen elevaciones del punto de ebullición suficientemente bajas como para no afectar de manera apreciable a los resultados

**Tabla 6. Velocidades medias de circulación recomendadas para distintos fluidos**

— Vapor de agua saturado o ligeramente recalentado a presión de 0 a 2 Kg/cm <sup>2</sup>	20 m/seg
— Vapor de agua saturado o ligeramente recalentado a presión de > 2 Kg/cm <sup>2</sup>	30 m/seg
— Vapor de agua recalentado a presión < 14 Kg/cm <sup>2</sup>	50 m/seg
— Vapor de agua recalentado a presión > 14 Kg/cm <sup>2</sup>	50-70 m/seg
— Agua, en servicios normales	1,2 + 1,8 m/seg
— Amoníaco líquido	1,8 m/seg
— Amoníaco gas	30 m/seg
— Aceites	1,5 m/seg
— Cloro líquido	1,5 m/seg
— Gas natural	30 m/seg
— Hidrógeno	20 m/seg
— Aire (0-2 Kg/cm <sup>2</sup> )	20 m/seg
— Oxígeno (temp. ambiente)	10 m/seg
— Acido sulfurico	1,2 m/seg
— Agua de mar (en tubería recubierta de goma)	1,5 + 2,4 m/seg
— Agua de mar (en tubería recubierta de cemento)	1,5 + 3,5 m/seg

Tabla 6. Velocidades medias de circulación recomendadas para distintos fluidos.

Fuente. Muñoz y Blandino, 2004

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Tabla 7. Propiedades de tuberías de acero

Nominal pipe size, in	Outside diameter, in	Schedule, in.	Wall thickness, in	Inside diameter, in	Cross-sectional area		Circumference (ft on surface) (ft <sup>2</sup> of length)		Capacity at 100 psi velocity		Weight (lb per pipe foot)
					Modul, in <sup>2</sup>	Yield, lb <sup>2</sup>	Outside	Inside	U.S. gal min	Barrels min	
1/2	0.625	10S	0.103	0.507	0.0255	0.00051	0.989	0.0984	0.221	117.5	0.24
		40ST, 40S	0.095	0.509	0.72	0.0040	0.99	0.795	1.79	90.5	0.24
		80XS, 80S	0.087	0.515	0.61	0.0025	0.99	0.595	1.11	50.5	0.25
3/4	0.750	10S	0.085	0.605	0.07	0.0030	1.11	0.97	0.12	60.5	0.31
		40ST, 40S	0.075	0.615	0.20	0.0072	1.11	0.95	0.23	30.5	0.32
		80XS, 80S	0.067	0.621	0.17	0.0050	1.11	0.75	0.24	11.0	0.33
1	0.875	10S	0.081	0.703	0.125	0.0040	1.27	1.03	0.17	30.5	0.40
		40ST, 40S	0.071	0.713	0.27	0.0077	1.27	1.01	0.30	15.0	0.42
		80XS, 80S	0.063	0.719	0.21	0.0055	1.27	0.81	0.31	5.0	0.43
1 1/2	1.315	2S	0.080	1.100	0.78	0.0275	1.71	1.50	0.24	12.0	0.74
		10S	0.071	1.074	0.77	0.0245	1.71	1.29	0.24	12.0	0.74
		40ST, 40S	0.063	1.082	0.72	0.0211	1.71	1.01	0.40	47.0	0.80
		80XS, 80S	0.055	1.088	0.67	0.0160	1.71	0.81	0.41	10.0	0.81
		XX	0.047	1.094	0.62	0.0117	1.71	0.61	0.42	3.0	0.82
2	2.000	5S	0.080	1.800	1.54	0.0300	2.51	2.20	0.29	14.0	1.11
		10S	0.071	1.774	1.57	0.0270	2.51	2.00	0.29	14.0	1.11
		40ST, 40S	0.063	1.782	1.52	0.0236	2.51	1.71	0.45	20.0	1.12
		80XS, 80S	0.055	1.788	1.47	0.0185	2.51	1.51	0.46	6.0	1.13
		XX	0.047	1.794	1.42	0.0142	2.51	1.31	0.47	2.0	1.14
2 1/2	2.625	5S	0.080	2.400	2.26	0.0325	3.41	3.10	0.34	17.0	1.39
		10S	0.071	2.374	2.29	0.0295	3.41	2.90	0.34	17.0	1.39
		40ST, 40S	0.063	2.382	2.24	0.0261	3.41	2.61	0.50	23.0	1.40
		80XS, 80S	0.055	2.388	2.19	0.0210	3.41	2.41	0.51	7.0	1.41
		XX	0.047	2.394	2.14	0.0167	3.41	2.21	0.52	2.0	1.42
3	3.500	5S	0.080	3.200	2.92	0.0350	4.31	4.00	0.37	19.0	1.67
		10S	0.071	3.174	2.95	0.0320	4.31	3.80	0.37	19.0	1.67
		40ST, 40S	0.063	3.182	2.90	0.0286	4.31	3.51	0.53	25.0	1.68
		80XS, 80S	0.055	3.188	2.85	0.0235	4.31	3.31	0.54	8.0	1.69
		XX	0.047	3.194	2.80	0.0192	4.31	3.11	0.55	2.0	1.70
4	4.500	5S	0.080	4.200	3.92	0.0375	5.21	4.90	0.39	21.0	1.95
		10S	0.071	4.174	3.95	0.0345	5.21	4.70	0.39	21.0	1.95
		40ST, 40S	0.063	4.182	3.90	0.0311	5.21	4.41	0.55	27.0	1.96
		80XS, 80S	0.055	4.188	3.85	0.0260	5.21	4.21	0.56	9.0	1.97
		XX	0.047	4.194	3.80	0.0217	5.21	4.01	0.57	2.0	1.98

Tabla 7. Propiedades de tuberías de acero (1/3)

Fuente. Perry, 7 ed

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Nominal pipe size, in.	Outside diameter, in.	Schedule no.	Wall thickness, in.	Inside diameter, in.	Cross-sectional area		Cross-section, U. S. units, in <sup>2</sup> or ft <sup>2</sup>		Capacity at 1-ft. velocity		Weight of pipe, lb-ft	
					Metals, in <sup>2</sup>	Flow, ft <sup>2</sup>	Outside	Inside	U. S. gal min	Barrels min		
8	8.963	120	0.438	8.024	6.56	0.07170	1.178	0.000	0.2	10.000	0.00	
		100	.511	8.000	6.02	.06947	1.178	0.000	20.0	14.000	10.00	
		NA	.674	7.582	6.16	.06416	1.178	0.000	34.3	22.500	17.00	
		75	.106	8.345	1.87	1.008	1.000	1.200	60.0	34.000	0.20	
		100	.134	8.260	2.20	1.020	1.000	1.000	60.0	34.000	7.77	
		100ST 100	.250	8.017	4.20	1.040	1.000	1.000	60.0	34.000	18.00	
		80XS 100	.375	7.813	6.11	1.200	1.000	1.000	67.7	39.000	20.70	
		120	.500	7.900	7.00	1.190	1.000	1.000	61.0	35.000	27.00	
		160	.625	8.010	8.70	1.015	0.850	1.120	45.5	27.750	30.00	
		XX	.750	7.960	11.24	0.600	1.000	1.000	40.4	20.200	30.00	
9	9.625	75	.106	9.007	7.27	0.220	1.734	1.977	100.0	60.000	7.00	
		100	.134	8.857	7.71	0.204	1.734	1.994	100.0	60.000	8.20	
		100ST 100	.250	8.605	8.20	0.200	1.734	1.700	100.0	60.000	19.00	
		80XS 100	.375	8.261	8.40	1.610	1.734	1.700	100.0	60.000	23.00	
		120	.500	8.591	10.70	1.070	1.734	1.600	73.0	40.000	26.00	
		160	.625	8.700	12.01	1.007	1.734	1.350	60.0	32.000	30.00	
		XX	.750	8.607	13.01	1.000	1.734	1.200	50.7	26.000	30.00	
		75	.106	9.007	7.815	0.200	2.200	2.200	2.00	120.0	60.000	6.00
		100	.134	8.857	7.901	0.200	2.200	2.200	2.00	120.0	60.000	11.00
		20	.201	8.125	8.078	0.001	2.200	2.200	2.127	101.0	60.200	22.00
30	.271	8.071	7.207	0.000	2.200	2.200	2.174	100.0	60.200	24.00		
40ST 100	.302	7.981	6.300	0.000	2.200	2.200	2.090	100.7	60.200	26.00		
60	.390	7.910	10.40	0.000	2.200	2.200	2.045	100.4	60.200	29.00		
80XS 100	.500	7.625	12.70	0.175	2.200	2.200	1.900	102.0	60.200	31.00		
100	.604	7.457	14.90	0.07	2.200	2.200	1.807	100.0	60.200	31.00		
120	.710	7.187	17.00	0.07	2.200	2.200	1.662	100.0	60.200	30.00		
140	.842	7.001	19.00	0.071	2.200	2.200	1.521	100.0	60.200	29.00		
XX	.975	6.870	21.00	0.071	2.200	2.200	1.400	100.7	60.200	28.00		
160	1.00	6.811	21.07	0.00	2.200	2.200	1.284	100.0	60.200	24.00		
10	10.75	25	.134	10.482	8.47	0.00	2.814	2.784	200.0	120.000	10.00	
		100	.169	10.400	8.40	0.00	2.814	2.720	200.0	120.000	10.00	
		20	.220	10.000	9.20	0.00	2.814	2.600	207.0	120.000	20.00	
		30	.271	10.126	10.17	0.00	2.814	2.600	202.0	120.000	20.00	
		40ST 100	.300	10.020	11.01	0.00	2.814	2.420	200.0	120.000	20.00	
		60	.390	9.900	10.00	0.00	2.814	2.300	210.0	120.000	24.00	
		80	.490	9.600	10.00	0.00	2.814	2.100	220.0	120.000	24.00	
		100	.600	9.312	12.00	0.00	2.814	2.000	220.0	120.000	24.00	
		120	.710	9.000	14.00	0.00	2.814	1.800	200.0	120.000	24.00	
		140	.842	8.650	16.00	0.00	2.814	1.600	180.0	120.000	24.00	
160	1.000	8.200	18.00	0.00	2.814	1.400	160.0	120.000	24.00			
180	1.125	8.500	18.00	0.00	2.814	1.200	177.0	120.000	24.00			
12	12.75	75	0.150	12.450	9.47	0.00	3.230	3.20	270.7	150.000	20.00	
		100	0.190	12.360	7.11	0.00	3.230	3.21	270.0	150.000	20.00	
		20	0.250	12.200	8.62	0.00	3.230	3.23	307.0	150.000	20.00	
		30	0.310	12.000	10.40	0.00	3.230	3.17	300.0	150.000	20.00	
		40ST 100	0.375	12.000	10.70	0.00	3.230	3.11	302.0	150.000	20.00	
		60	0.490	11.920	10.70	0.00	3.230	3.11	300.0	150.000	20.00	
		80	0.600	11.700	10.70	0.00	3.230	3.00	300.0	150.000	20.00	
		100	0.750	11.420	12.00	0.00	3.230	2.80	280.0	150.000	20.00	
		120	0.900	11.070	14.00	0.00	3.230	2.60	260.0	150.000	20.00	
		140	1.000	10.750	16.00	0.00	3.230	2.40	240.0	150.000	20.00	
160	1.125	10.500	18.00	0.00	3.230	2.20	220.0	150.000	20.00			
180	1.312	10.120	21.00	0.00	3.230	2.00	200.0	150.000	20.00			
14	14.75	25	0.150	13.000	9.70	1.0210	3.660	3.50	470	220.000	21.00	
		100	0.190	13.020	8.10	1.0125	3.660	3.57	451	220.000	21.00	
		20	0.250	13.000	10.00	1.0100	3.660	3.51	440	220.000	21.00	
		30	0.310	13.070	11.80	1.0170	3.660	3.50	430	220.000	21.00	
		40ST 100	0.375	13.000	10.00	1.0100	3.660	3.47	430	220.000	21.00	
		60	0.490	13.000	10.00	1.0100	3.660	3.44	430	220.000	21.00	
		80	0.600	13.000	10.00	1.0100	3.660	3.40	430	220.000	21.00	
		100	0.750	12.900	12.00	1.0100	3.660	3.30	430	220.000	21.00	
		120	0.900	12.700	14.00	1.0100	3.660	3.17	430	220.000	21.00	
		140	1.000	12.500	16.00	1.0100	3.660	3.00	430	220.000	21.00	
160	1.250	12.000	20.00	1.0100	3.660	2.80	430	220.000	21.00			
180	1.400	11.500	24.00	1.0100	3.660	2.60	430	220.000	21.00			
16	16.75	25	0.150	15.070	9.21	1.0201	4.100	4.10	600	300.000	22.00	
		100	0.190	15.020	7.34	1.0114	4.100	4.04	580	300.000	22.00	
		20	0.250	15.000	10.00	1.0100	4.100	4.00	580	300.000	22.00	

Tabla 7. Propiedades de tuberías de acero (2/2)









Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Nominal pipe size in	Outside diameter in	Schedule no.	Wall thickness in	Inside diameter in	Cross-sectional area		Cross-sectional area of the pipe		Capacity in lbs volume		Weight per foot in lbs	
					Met. in <sup>2</sup>	Per. in <sup>2</sup>	Outside	Inside	U.S. gal	Imperial		
14	14	20	0.132	13.776	15.38	1.209	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		20 ST	0.125	13.250	15.11	1.200	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		40 XS	0.140	13.636	15.02	1.252	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		60	0.148	13.602	14.95	1.270	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		80	0.154	13.546	14.89	1.286	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		100	0.159	13.481	14.83	1.301	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		120	0.164	13.416	14.77	1.316	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		140	0.169	13.351	14.71	1.331	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		160	0.174	13.286	14.65	1.346	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		180	0.179	13.221	14.59	1.361	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		200	0.184	13.156	14.53	1.376	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		220	0.189	13.091	14.47	1.391	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		240	0.194	13.026	14.41	1.406	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
		260	0.199	12.961	14.35	1.421	4.19	4.06	88.0	35.0	10.0	11.3
20	20	25	0.188	19.412	17.76	1.494	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		40	0.210	18.902	17.48	1.582	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		60 ST	0.215	18.687	17.26	1.635	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		80 XS	0.220	18.472	17.04	1.688	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		100	0.225	18.257	16.82	1.741	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		120	0.230	18.042	16.60	1.794	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		140	0.235	17.827	16.38	1.847	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		160	0.240	17.612	16.16	1.900	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		180	0.245	17.397	15.94	1.953	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		200	0.250	17.182	15.72	2.006	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		220	0.255	16.967	15.50	2.059	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		240	0.260	16.752	15.28	2.112	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		260	0.265	16.537	15.06	2.165	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
		280	0.270	16.322	14.84	2.218	5.00	4.87	108.0	41.0	12.0	13.8
24	24	25	0.238	23.764	21.12	1.620	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		40 ST	0.245	23.270	20.83	1.718	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		60 XS	0.250	22.980	20.54	1.816	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		80	0.255	22.690	20.25	1.914	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		100	0.260	22.400	19.96	2.012	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		120	0.265	22.110	19.67	2.110	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		140	0.270	21.820	19.38	2.208	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		160	0.275	21.530	19.09	2.306	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		180	0.280	21.240	18.80	2.404	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		200	0.285	20.950	18.51	2.502	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		220	0.290	20.660	18.22	2.600	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		240	0.295	20.370	17.93	2.698	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		260	0.300	20.080	17.64	2.796	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
		280	0.305	19.790	17.35	2.894	5.50	5.37	128.0	48.0	14.0	16.0
30	30	35	0.291	29.969	27.77	1.740	7.00	6.87	158.0	60.0	17.0	19.5
		40 ST	0.312	29.377	27.17	1.907	7.00	6.87	158.0	60.0	17.0	19.5
		60	0.325	28.785	26.58	2.074	7.00	6.87	158.0	60.0	17.0	19.5
		80 XS	0.340	28.193	25.98	2.241	7.00	6.87	158.0	60.0	17.0	19.5
		100	0.355	27.601	25.39	2.408	7.00	6.87	158.0	60.0	17.0	19.5

Tabla 7. Propiedades de tuberías de acero (3/3)

**Tabla 8. Tipos de juntas soldadas**

TIPUS SCHEMA UN-12	EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es:			
		A. Resistencia total materia	B. Examen por radios	C. No Examinada
 <p>1</p>	<p>junta a tope hecha por quemadura de electrodos o por arco eléctrico que se obtenga la máxima cantidad de metal de soldadura depositado sobre las superficies de tope y coronas de la junta. No se emplea placa de refuerzo, sino siempre una de parte de preparar la soldadura.</p>	100	0.85	0.70
 <p>2</p>	<p>junta a tope de un solo cordón con una de refuerzo que queda en el lado derecho de la soldadura.</p>	90	0.80	0.65
 <p>3</p>	<p>junta a tope de un solo cordón con una de refuerzo.</p>	—	—	0.60
 <p>4</p>	<p>junta a tope de dos cordones completos.</p>	—	—	0.45
 <p>5</p>	<p>junta a tope de un solo cordón completo con soldadura de tope.</p>	—	—	0.30
 <p>6</p>	<p>junta a tope de un solo cordón completo con soldadura de refuerzo.</p>	—	—	0.25

**Tabla 8. Tipos de juntas soldadas**  
Fuente. Megyesy, E F. 2001

**Tabla 9. Valores del coeficiente Y**

Materials	Temperatures (°C/F)					
	425 (800) and lower	510 (950)	590 (1100)	680 (1250)	725 (1350)	820 (1500) and higher
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.8					

**Tabla 9.** Valores del coeficiente Y

**Fuente.** ASME B.31.3

**Tabla 10. Espesores económicos para aislamiento de equipos industriales**

Colcha de fibra de vidrio (48 Kg/m <sup>3</sup> )													
Código NC-1 Clase I													
DIAM. Nom pulg/mm	Temperatura de Operación K [°C]												
	333	373	423	473	523	573	623	673	723	773	823	873	923
	80	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
3/8 / 13													
1/2 / 19													
1 / 25													
1 1/2 / 38													
2 / 51													
2 1/2 / 64													
3 / 76													
4 / 102													
5 / 127													
6 / 152													
8 / 203	38	64	89	89	127	127	140	165	191				
10 / 254	38	64	89	102	127	140	152	178	191				
12 / 305	38	64	89	102	127	140	162	178	191				
14 / 356	38	64	89	102	127	140	162	178	191				
16 / 406	38	64	89	102	127	140	162	178	191				
18 / 457	38	64	89	114	127	140	162	178	191				
20 / 508	38	64	89	114	127	140	162	178	191				
22 / 560	38	64	89	114	127	140	165	191	191				
24 / 610	38	64	89	114	127	165	165	191	191				
26 / 660	38	64	89	114	140	165	165	191	191				
28 / 711	38	64	89	114	140	165	165	191	216				
30 / 762	38	64	89	114	140	165	165	191	216				
S.P.	38	76	89	114	140	165	178	303	216				

Notes:

- 1.- Espesor termoisolante en mm.
- 2.- El espesor del acabado no se incluye.
- 3.- S.P. = superficies planas o diámetros mayores a 762 mm (30 pulg).
- 4.- Temperatura ambiente = 298 K (25 °C)
- 5.- Velocidad de aire = 10 000 m/h
- 6.- Emisividad = 0.4

**Tabla 10. Espesores económicos para aislamiento de equipos industriales**  
**Fuente.** Normas de referencia PEMEX

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Tabla 11. Tensiones máximas admisibles para metales**

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec. No.	Type/Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Cond/ Temper	Size/ Thickness, in.	P-No.	Group No.
1	Carbon steel	Wld. pipe	SA-134	A289B	...	-		1	1
2	Carbon steel	Plate	SA-283	B	...	...		1	1
3	Carbon steel	Plate	SA-285	B	K02200			1	1
4	Carbon steel	Plate	SA-285	B	K02200			1	1
5	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	A50	K02200			1	1
6	Carbon steel	Sheet	SA-114	B	K02201			1	1
7	Carbon steel	Plate	SA/EN 10028-3	P275NH			2.0 to 4	1	1
8	Carbon steel	Bar	SA-675	55	...			1	1
9	Carbon steel	Bar	SA-675	55	...			1	1
10	Carbon steel	Wld. pipe	SA-134	A289C	K02401			1	1
11	Carbon steel	Plate	SA-283	C	K02401			1	1
12	Carbon steel	Plate	SA-285	C	K02601			1	1

Line No.	Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding													
	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
1	14.3	...	14.3	...	14.3	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	14.3	14.3	14.3	...	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	...	...	...	...	...
3	14.3	...	14.3	...	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	12.5	11.8	9.9	8.3	5.6
4	14.3	14.3	14.3	...	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	12.5	11.8	9.6	8.1	5.4
5	14.3	...	14.3	...	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	12.5	...	...	...	...
6	14.3	14.3	14.3	...	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	12.5	11.7	9.6	8.1	5.4
7	15.3	15.3	15.3	...	15.3	15.3	...	...	...	...	...	...	...	...
8	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	14.9	14.1	13.6	13.1	12.7	10.8	8.7	5.9
9	15.7	...	15.7	...	15.7	15.7	14.9	14.1	13.6	...	...	...	...	...
10	15.7	...	15.7	...	15.7	...	...	...	...	...	...	...	...	...
11	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	...	...	...	...	...
12	15.7	15.7	15.7	...	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	13.8	10.8	8.7	5.4

**Tabla 11. Tensiones máximas admisibles para metales (1/5)**

**Fuente.** Código ASME, Div II

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec. No.	Type/Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Cond/ Temper	Size/ Thickness, in.	P-No.	Group No.
1	Carbon steel	Wld. pipe	SA-134	A283B	..	..	..	1	1
2	Carbon steel	Plate	SA-283	B	..	..	..	1	1
3	Carbon steel	Plate	SA-285	B	K02200	..	..	1	1
4	Carbon steel	Plate	SA-285	B	K02200	..	..	1	1
5	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	A50	K02200	..	..	1	1
6	Carbon steel	Sheet	SA-414	B	K02201	..	..	1	1
7	Carbon steel	Plate	SA/EN 1.0028-3	P275NH	..	..	2 1/2 x 5 1/4	1	1
8	Carbon steel	Bar	SA-675	55	..	..	..	1	1
9	Carbon steel	Bar	SA-675	55	..	..	..	1	1
10	Carbon steel	Wld. pipe	SA-134	A283C	K02401	..	..	1	1
11	Carbon steel	Plate	SA-283	C	K02401	..	..	1	1
12	Carbon steel	Plate	SA-285	C	K02601	..	..	1	1

Line No.	Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding													
	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
1	14.3	..	14.3	..	14.3	..	..	..	..	..	..	..	..	..
2	14.3	14.3	14.3	..	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	..	..	..	..	..
3	14.3	..	14.3	..	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	12.5	11.8	9.4	8.3	5.8
4	14.3	14.3	14.3	..	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	12.5	11.8	9.6	8.1	5.8
5	14.3	..	14.3	..	14.3	14.3	14.3	13.8	13.3	12.5	..	..	..	..
6	14.3	14.3	14.3	..	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	12.5	11.2	9.6	8.1	5.8
7	15.3	15.3	15.3	..	15.3	15.3	..	..	..	..	..	..	..	..
8	15.7	15.7	15.7	..	15.7	15.7	14.9	14.1	13.6	13.1	12.7	10.8	8.7	5.9
9	15.7	..	15.7	..	15.7	15.7	14.9	14.1	13.6	..	..	..	..	..
10	15.7	..	15.7	..	15.7	..	..	..	..	..	..	..	..	..
11	15.7	15.7	15.7	..	15.7	15.7	15.3	14.8	..	..	..	..	..	..
12	15.7	15.7	15.7	..	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	..

**Tabla 11.** Tensiones máximas admisibles para metales (2/5)

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec No.	Type/Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Cond./ Temper	Size/ Thickness, in.	P-No.	Group No.
1	Carbon steel	Plate	SA-515	60	K02401	...	...	1	1
2	Carbon steel	Plate	SA-516	60	K02100	...	...	1	1
3	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CE6C	K02401	...	...	1	1
4	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CE6C	K02100	...	...	1	1
5	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CE6C	K02402	...	...	1	1
6	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	E60	K02401	...	...	1	1
7	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	C60	K02100	...	...	1	1
8	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	E60	K02402	...	...	1	1
9	Carbon steel	Wld. pipe	SA-134	A200D	K02702	...	...	1	1
10	Carbon steel	Plate	SA-283	U	K02702	...	...	1	1
11	Carbon steel	Wld. pipe	SA-53	E/B	K03005	...	...	1	1
12	Carbon steel	Wld. pipe	SA-53	E/B	K03005	...	...	1	1
13	Carbon steel	Smis. pipe	SA-53	S/B	K03005	...	...	1	1
14	Carbon steel	Smis. pipe	SA-53	S/D	K03005	...	...	1	1

Line No.	Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding													
	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
1	17.1	17.1	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	13.0	10.8	8.7	5.9
2	17.1	17.1	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	13.0	10.8	8.7	5.9
3	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	...	...	...	...
4	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	...	...	...	...
5	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	...	...	...	...
6	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	...	...	...	...
7	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	...	...	...	...
8	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	...	...	...	...
9	17.1	...	17.1	...	17.1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10	17.1	17.1	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.9	16.3	...	...	...	...	...
11	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	8.7	5.9
12	14.0	14.0	14.0	...	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	13.3	11.1	9.2	7.4	5.0
13	17.1	...	17.1	...	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	8.7	5.9
14	17.1	17.1	17.1	...	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	8.7	5.9

Tabla 11. Tensiones máximas admisibles para metales (3/5)

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec No.	Type/Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Cond./ Temper	Steel Thickness, In.	P-No.	Group No.
1	Carbon steel	Plate	SA-515	WR	K02401	—	—	1	1
2	Carbon steel	Plate	SA-516	20	K02100	—	—	1	1
3	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CE60	K02401	—	—	1	1
4	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CE60	K02100	—	—	1	1
5	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CE60	K02402	—	—	1	1

Line No.	Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding													
	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
1	17.1	17.1	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	13.0	10.8	8.7	3.9
2	17.1	17.1	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	13.0	10.8	8.7	3.9
3	17.1	—	17.1	...	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	—	—	—	—
4	17.1	—	17.1	—	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	—	—	—	—
5	17.1	—	17.1	—	17.1	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	—	—	—	—

**Tabla 11.** Tensiones máximas admisibles para metales (4/5)



Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

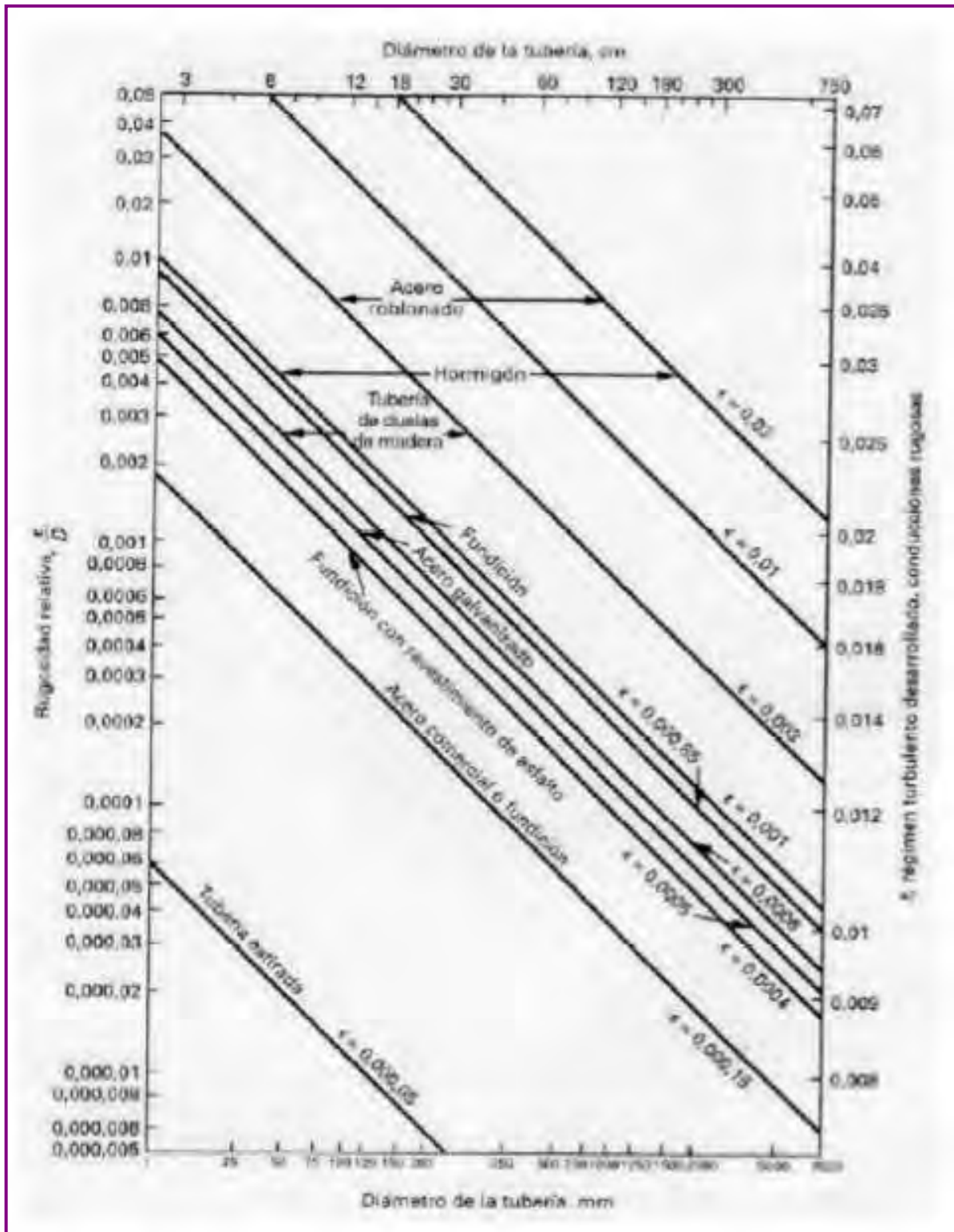
Line No.	Equipment	Product Form	Spec. No.	Type/Design	Rating Capacity MFR Gal.	Class Capacity Tons/yr	Steel Minimum, in.	W/Gal	Group lbs.
1	8'-0" Dia	Fragging	SA-240	7a	300000	—	—	3	2
2	8'-0" Dia	Stare	SA-240	8	300000	—	—	3	2
3	8'-0" Dia	Fragging	SA-240	7a	300000	—	—	3	2
4	8'-0" Dia	8000 pipe	SA-240	Form	300000	—	—	3	2
5	8'-0" Dia	8000 pipe	SA-240	CR-10	300000	—	—	3	2
6	8'-0" Dia	8000 pipe	SA-240	CR-10	300000	—	—	3	2
7	8'-0" Dia	Stare	SA-240	6	300000	—	—	3	2
8	8'-0" Dia	8000 pipe	SA-240	Form	300000	—	—	3	2
9	8'-0" Dia	8000 pipe	SA-240	CR-10	300000	—	—	3	2
10	8'-0" Dia	8000 pipe	SA-240	CR-10	300000	—	—	3	2
11	8'-0" Dia	Stare	SA-240	J	300000	—	3/16"	31.8	3
12	12'-0" Dia	Fragging	SA-240	6	300000	20	—	—	—
13	12'-0" Dia	Fragging	SA-240	8	300000	20	—	—	—
14	12'-0" Dia	Stare	SA-240	8	300000	—	3/16"	31.8	3
15	12'-0" Dia	Stare	SA-240	8	300000	—	3/16"	31.8	3
16	12'-0" Dia	Fragging	SA-240	5	300000	—	3/16"	31.8	3

Line No.	Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 or Stress psi, for Metal Temperature, °F, Not Exceeding)													
	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
1	20.0	—	20.0	—	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.9	19.3	13.7
2	20.0	—	20.0	—	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.9	19.3	13.7
3	20.0	—	20.0	—	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.9	19.3	13.7
4	20.0	—	20.0	—	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	—	—	—	—
5	20.0	—	20.0	—	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	—	—	—	—
6	20.0	—	20.0	—	20.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	21.4	—	21.4	—	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.6	20.3	13.8
8	21.4	—	21.4	—	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	—	—	—	—
9	21.4	—	21.4	—	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	—	—	—	—
10	21.4	—	21.4	—	21.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	32.9	—	32.9	—	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	—	—	—	—	—
12	32.9	—	32.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	32.9	—	32.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	32.9	—	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	—	—	—	—	—
15	32.9	—	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	—	—	—	—	—
16	32.9	—	32.9	—	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	—	—	—	—	—

Tabla 11. Tensiones máximas admisibles para metales (5/5)

Gráfico 12. Gráfica de Moody para la rugosidad relativa



Gráfica 12. Gráfica de Moody para la rugosidad relativa  
Fuente. Metcalf & Eddy, 1995

Gráfico 13. Gráfico de Moody

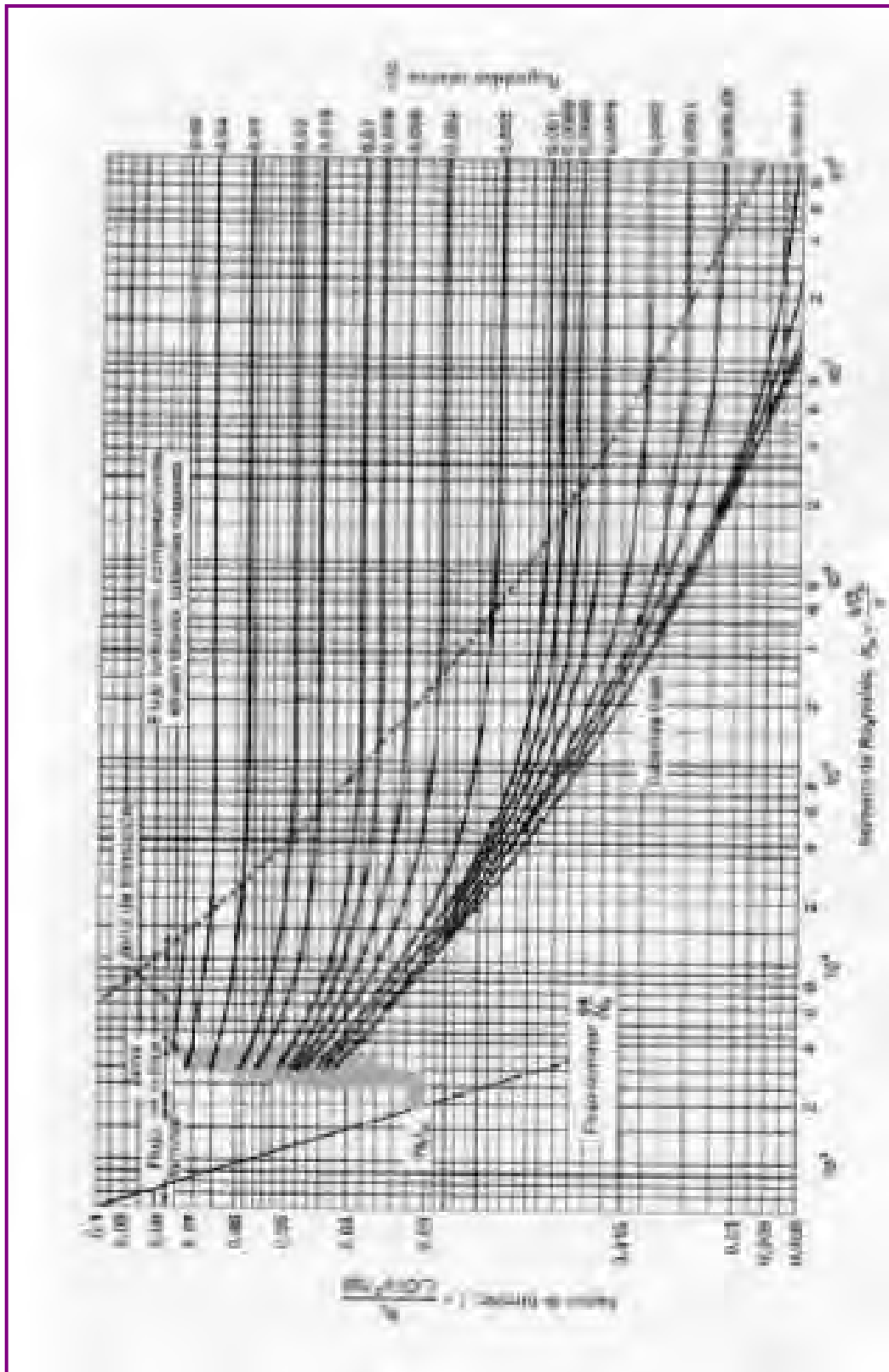
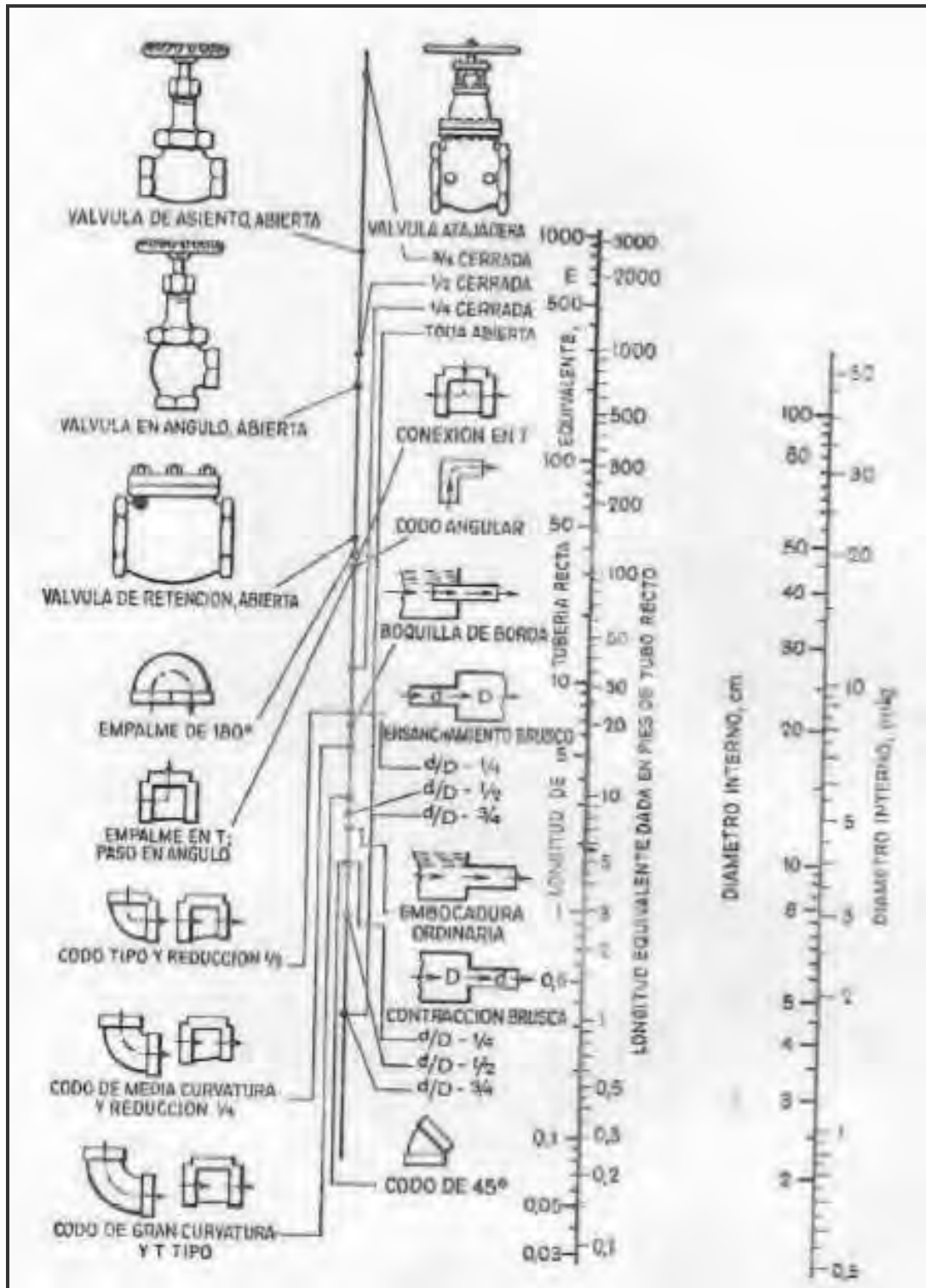


Gráfico 13.  
Gráfica de  
Moody  
Fuente. Muñoz  
y Blandino, 2004

**Gráfico 14. Nomograma de longitudes equivalentes de accesorios**



**Gráfico 14.1.** Nomograma de longitudes equivalentes de accesorios

**Fuente.** Muñoz y Blandino, 2004

Tabla 15. Pérdidas de carga en válvulas y accesorios

Tipo	Módulo de Pérdidas	Presión								
		100 PSI	150 PSI	200 PSI	300 PSI	400 PSI	500 PSI	600 PSI	700 PSI	
<b>Manómetros</b>										
Estándar adorno		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
1/2 adorno		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3/4 adorno		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
<b>Accesorios</b>										
De metal, en línea		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
De metal, en ángulo		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
De metal, en ángulo		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
<b>Manómetros</b>										
De metal, en línea		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
De metal, en ángulo		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
<b>Manómetros</b>										
De metal, en línea		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
De metal, en ángulo		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
<b>Manómetros</b>										
De metal, en línea		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
De metal, en ángulo		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

Tabla 15. Pérdidas de carga en válvulas y accesorios

Fuente. Portela, 2007

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Tabla 16. Coeficiente de viscosidad en soluciones de sacarosa (intervalo de temperatura de 20-75° C)**

<b>% Sacarosa</b>	<b>g/100 g agua</b>	<b>Viscosidad (mPasi)</b>
20	25,0	2,0
25	33,2	2,5
30	42,9	3,2
35	53,8	4,4
40	66,7	6,2
45	81,8	9,5
50	100,0	15,5
55	122,2	28,3
60	150,0	58,9
65	185,7	148,2
70	233,3	485,0
75	300,0	2.344,0

**Tabla 15. Coeficiente de viscosidad en soluciones de sacarosa**  
**Fuente. Azucarera Ebro**

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Tabla 17. Estimación de la viscosidad de un gas a partir de la temperatura**

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \frac{T_0 + C}{T + C} * \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2}$$

Compuesto	C(K)	(10 <sup>7</sup> )μ <sub>0</sub> ( N s / m <sup>2</sup> )	To (K)
O <sub>2</sub>	127.0	207.2	300.0
N <sub>2</sub>	111.0	178.2	300.0
Aire	120.0	184.6	300.0
CO <sub>2</sub>	240.0	149.0	300.0
CO	118.0	175.0	300.0
SO <sub>2</sub>	416.0	-	-
NH <sub>3</sub>	370.0	138.0	400.0
H <sub>2</sub>	72.0	89.0	300.0
H <sub>2</sub> O	1170.69	91.6	300

μvapor de agua (126.8°C≈400K) = 132.05 · 10<sup>-7</sup> N · s/m<sup>2</sup>

**Tabla 17. Estimación de la viscosidad de un gas a partir de la temperatura**

**Fuente.** Incropera, FP. 4 ed, Perry, 7ed

**Tabla 18. Propiedades termodinámicas del CO<sub>2</sub> húmedo**

<b>CONSTANTES TERMODINAMICAS DEL CO<sub>2</sub> HUMEDO</b>									
Temperatura °C	Presión		Líquido			Vapor saturado seco			
	Atmósferas	Bars	$v'$ dm <sup>3</sup> /Kg	$i'$ Kcal/Kg	$z'$ Kcal/Kg.°C	$v''$ dm <sup>3</sup> /Kg	$r$ Kcal/Kg	$i''$ Kcal/Kg	$z''$ Kcal/Kg.°C
-50	6,97	6,83	0,867	75,00	0,9020	55,407	80,56	155,57	1,2631
-45	8,49	8,32	0,881	77,30	0,9120	45,809	78,59	155,89	1,2563
-40	10,25	10,05	0,897	79,59	0,9218	38,164	76,58	156,17	1,2503
-35	12,26	12,02	0,913	81,80	0,9314	32,008	74,51	156,39	1,2443
-30	14,55	14,27	0,931	84,19	0,9408	27,001	72,37	156,56	1,2385
-25	17,14	16,81	0,950	86,53	0,9501	22,885	70,14	156,67	1,2328
-20	20,06	19,67	0,971	88,93	0,9594	19,466	67,79	156,78	1,2272
-15	23,34	22,79	0,994	91,44	0,9690	16,609	65,26	156,70	1,2218
-10	26,99	26,47	1,019	94,09	0,9787	14,194	62,51	156,60	1,2163
-5	30,51	30,45	1,048	96,91	0,9890	12,141	59,5	156,41	1,2109
0	35,54	34,85	1,081	100,00	1,0000	10,383	56,13	156,13	1,2055
5	40,50	39,71	1,120	103,10	1,0103	8,850	52,35	155,45	1,1985
10	45,95	45,06	1,166	106,50	1,0218	7,519	48,09	154,59	1,1917
15	51,93	50,92	1,223	110,10	1,0340	6,323	43,07	153,17	1,1836
20	58,46	57,33	1,297	114,00	1,0468	5,269	37,1	151,10	1,1734
25	65,59	64,32	1,409	118,80	1,0628	4,232	28,53	147,33	1,1585
30	73,34	71,97	1,680	125,90	1,0854	2,979	15,05	140,95	1,1351
35	74,96	73,51	2,156	133,50	1,1098	2,156	0	133,50	1,1098

**Tabla 18. Propiedades termodinámicas del CO<sub>2</sub> húmedo**  
Fuente. Perry, 7 ed.



**Tabla 19. Propiedades físico-químicas del NaOH líquido**

ASPECTO Y COLOR	LÍQUIDO CLARO E INODORO
PUNTO DE EBULLICIÓN (° C)	140
PUNTO DE FUSIÓN (° C)	12
PESO ESPECÍFICO A 25 ° C	1.53
SOLUBILIDAD EN AGUA	COMPLETA
OTRAS SOLUBILIDADES	METANOL, ETANOL, GLICERINA
PRESIÓN DE VAPOR (Pa)	200
DENSIDAD LÍQUIDO (kg/m <sup>3</sup> )	1510
pH	13
VISCOSIDAD A 20 ° C (cP)	50

**Tabla 19.** Propiedades físico-químicas del NaOH líquido  
**Fuente.** Pág., Web distriquímica

**Tabla 20. Propiedades físico-químicas del CO<sub>2</sub>**

Peso molecular:	44
Color:	Incoloro
Olor:	Inodoro
Temperatura de fusión:	-56.6 °C
Temperatura de ebullición:	-78.5 °C
Temperatura crítica:	30 °C
Densidad relativa del gas (aire =1):	1,96
Densidad relativa del liquido (agua = 1):	0.82
Presión de vapor a 20° C	57,3 bar
Solubilidad en agua (mg/l):	2000

**Tabla 20. Propiedades físico-químicas del CO<sub>2</sub>**  
**Fuente.** Ficha técnica CO<sub>2</sub>

**Tabla 21. Tamaño, área y factor de relleno para diferentes tipos de relleno**

Tipo de relleno	Material	Tamaño (mm), \$/ft <sup>3</sup>				Área m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>				Factor de relleno, F <sub>P</sub> (m <sup>-1</sup> )		
		25	38	50	75	25	38	50	75	25	50	75
Anillos Raschig	Porcelana	12,8	10,3	9,4	7,8	190	--	92	62	587	213	121
	Acero al carbono	36,5	23,9	20,5	16,8	185	--	95	66	472	187	105
Sillas Berl	Porcelana química	33,5	21,5	15,6	--	250	150	105	--	360	150	--
Anillos Pall	Acero al carbono	29,3	19,9	18,2	--	205	130	115	92	351	151	--
	Polipropileno	21,2	14,4	13,1	--	206	--	102	--	180	85	--

**Tabla 21.** Tamaño, área y factor de relleno para diferentes tipos de relleno

Fuente. Perry, 7ed

Gráfico 22. Correlación generalizada de la caída de presión

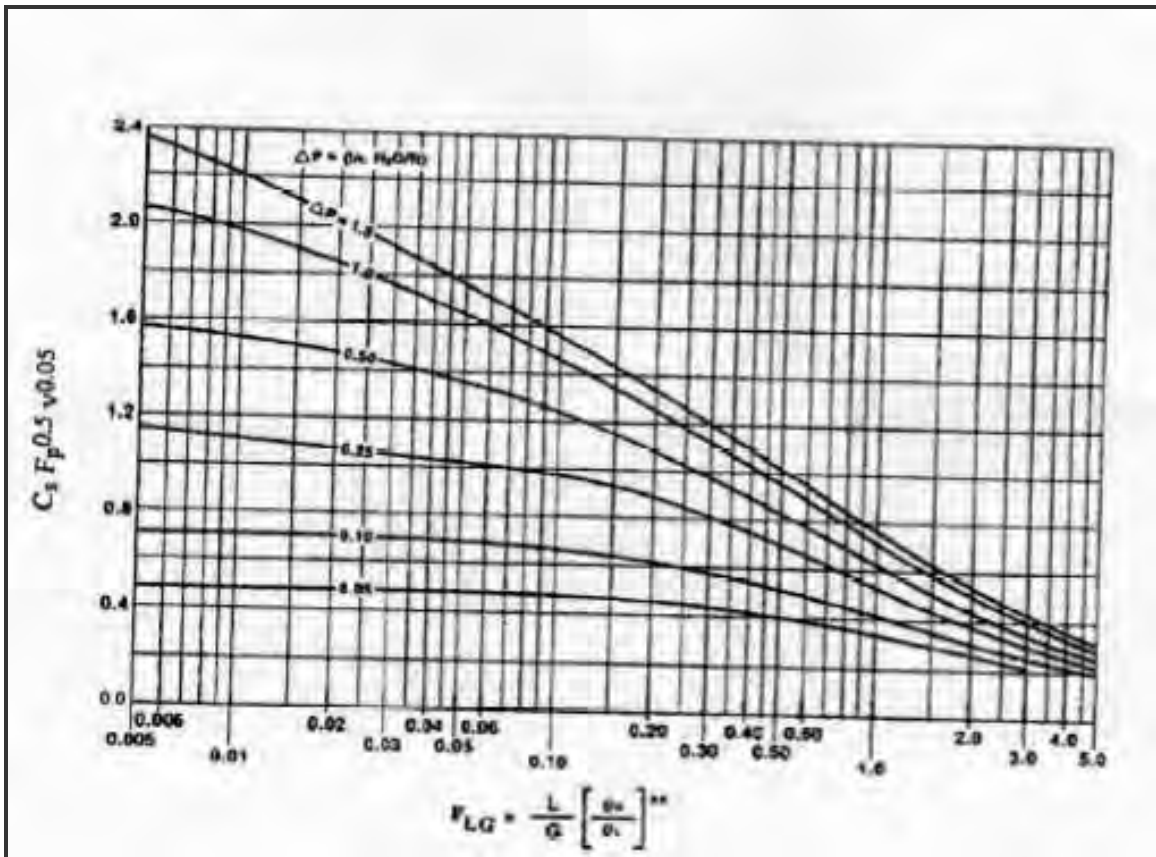


Gráfico 22. Correlación generalizada de la caída de presión

Fuente. Mc Cabe, 7 ed

*ANEXO VIII. Glosario de  
términos*

## ANEXO VIII: QUÍMICA AZUCARERA

- **Materia Seca o Brix:** Es el peso en gramos de materia seca contenido en 100 gramos de producto.

$$Brix = \frac{\text{Cantidad de materia seca}}{\text{Cantidad de producto}} * 100$$

- **Pureza:** Es el peso de azúcar contenido en 100 gramos de materia seca del producto.

$$Pureza = \frac{\% \text{ Azúcar}}{Brix} * 100$$

- **Acidez:** El jugo de la remolacha es ácido, así como la mayor parte de las frutas y plantas, esta acidez es definida en azucarería por la cantidad de producto alcalino que es preciso añadir a 1 litro de jugo para neutralizarlos. La unidad elegida para explicar esta cantidad es el número de g CaO/ L de jugo.
- **Alcalinidad:** Para determinar la alcalinidad del jugo se utiliza el pH (potencial de hidrógeno). La escala de los pH cubre el intervalo de 0 a 14. Todas estas medidas de acidez y alcalinidad constituyen lo que en Química Azucarera se denomina, Titrimetría. El indicador habitual para indicarla es la Fenofaleína.
- **Sales de cal:** El no azúcar está constituido por las sales de cal, es decir, los ácidos provenientes del jugo de la remolacha que han sido neutralizados por la cal formando dichas sales. La determinación de las sales de cal es útil puesto que éstas son las bases de incrustaciones en las unidades en la planta.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- **Tara residual:** Es la tara aún después de que la remolacha ha pasado por todo el proceso de limpieza. Depende de las condiciones de recolección: tara, adherencia de la tierra, cantidad de impurezas en la remolacha, etc. Después de la eliminación de la mayoría de la tara no adherente en el transporte hidráulico y en el lavado esta tara no deberá ser superior al 0.5 %.
  
- **Protoplasma:** Es el material de que están formadas las células y que se ha descrito con la base física de la vida, existe en estado coloidal. El se caracteriza por poseer abundantes propiedades fisiológicas que señalan las funciones de las células. Todas las células vivas muestran estas propiedades.
  
- **Ectoplasma:** El ectoplasma es la región periférica de la célula, la cual carece de orgánulos y es de mayor densidad que el endoplasma. Está en contacto directo con la membrana plasmática. Contiene iones de calcio, magnesio y potasio. Presenta microtubulos y microfilamentos que forman el citoesqueleto. Los microfilamentos forman la red terminal. Es gelatinoso y se encuentra debajo de la membrana plasmática.
  
- **Núcleo:** Es un orgánulo membranoso que se encuentra en las células eucariotas. Contiene la mayor parte del material genético celular, organizado en múltiples moléculas lineales de ADN, de gran longitud formando complejos con una gran variedad de proteínas formar los cromosomas. El conjunto de genes de esos cromosomas son el genoma celular. La función del núcleo es mantener la integridad de esos genes y controlar las actividades celulares. Por ello se dice que el núcleo es el centro de control de la célula.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- **Vacuola:** Las vacuolas son estructuras celulares, muy abundantes en las células vegetales, contenidas en el citoplasma de la célula de forma más o menos esférica u ovoidea, generadas por la propia célula al crear una membrana cerrada que aísla un cierto volumen celular del resto del citoplasma. Su contenido es fluido, almacenan productos de nutrición o de desecho, en nuestro caso azúcar.
  
- **Coefficiente Global de Transferencia de Calor:** El flujo de calor a través de las capas de sólidos en serie es proporcional a la fuerza impulsora y a la diferencia de temperatura global  $\Delta T$ . Esto se aplica también al flujo de calor a través de capas líquidas y sólidas en serie. En un intercambiador de calor la fuerza impulsora se toma como  $T_h - T_c$ , donde  $T_h$  es la temperatura media del fluido caliente y  $T_c$ , la del fluido frío. El término  $T_h - T_c$  es la *diferencia global de temperatura local*  $\Delta T$ . Es evidente que  $\Delta T$  puede variar de forma considerable de un punto a otro a lo largo del tubo; y por lo tanto, con la longitud. Es necesario partir de una ecuación diferencial, enfocando la atención en un área diferencial  $dA$  a través de la cual se transmite un flujo de calor diferencial,  $dq$  bajo la acción de una fuerza impulsora con un valor de  $\Delta T$ . El flujo local es entonces  $dq/dA$  y está relacionado con el valor local de  $\Delta T$  mediante la ecuación:

$$\frac{dQ}{dA} = U * \Delta T = U * (T_h - T_c)$$

El término  $U$ , definido por la ecuación anterior se define como un factor de proporcionalidad entre  $dq/dA$  y  $\Delta T$ , recibe el nombre de *coeficiente global local de transferencia de calor*.

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia,  $U$ ,



***ANEXO IX. Catálogos de equipos***

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## ANEXO IX. CATÁLOGOS DE EQUIPOS

1) Empresa PUSTCH®, pág web: <http://www.putsch.com/>

MOLINO DRUM SLICERS MODELO TSM 1600-42-600



# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## Datos Técnicos

<b>Dimensions:</b>	
Length:	116.14" (2950 mm)
Width:	88.61" (2200 mm)
Height:	81.89" (2080 mm)
Hopper connection:	
Length:	50.00" (1270 mm)
Width:	47.24" (1200 mm)
Size of hopper connection:	18.38 ft <sup>2</sup> (1,52 m <sup>2</sup> )
Diameter of slicing drum (Nominal slicing diameter):	63.00" (1600 mm)
Number of knife boxes:	42
Dimension of knife bars:	28.74" x 4.72" (730 mm x 120 mm)
Cutting length of knife bars:	23.62" (600 mm)
<b>Weights:</b>	
Empty weight including knife bars:	17637 lb (8000 kg)
Service weight with beet filling:	20944 lb (9500 kg)
<b>Capacity of installed motors:</b>	
3-phase A. C. drive:	90 kW
D. C. drive:	75 kW
Hydraulic installation:	1,1 kW
Positioning drive:	0,75 kW
Connected load (total):	125 kVA
Machine control:	SPS
<b>Revolutions:</b>	
Speed of main motor:	2200 min <sup>-1</sup>
Speed ratio of the planetary gear:	1 : 22,5
Speed ratio of the V.belt drive:	1 : 1,43
Total speed ratio:	1 : 32,2
Range of control:	1 : 11
Maximum drum rotation (in slicing direction):	68 min <sup>-1</sup>
Minimum drum rotation (in slicing direction):	6 min <sup>-1</sup>
<b>Nominal slicing capacity</b>	
With PUTSCH® beet knives with 19-div., high setting 0.19" (5 mm), distance of the knife from the forlayer 0.27" - 0.31" (7-8 mm)	up to 5512 ton/d (5.000 t/d)

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

MOLINO DRUM SLICERS MODELO TSM 1800-18-600 S

**PUTSCH® Drum Slicers Type  
TSM 1800-18-600 S**



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<b>Measurements:</b>	
Length:	108.27" (2750 mm)
Width:	91.34" (2320 mm)
Height:	87.00" (2210 mm)
<b>Hopper connection:</b>	
Length:	60.43" (1535 mm)
Width:	50.00" (1270 mm)
Size of hopper connection:	20.99 ft <sup>2</sup> (1,95 m <sup>2</sup> )
Exit opening of the chute into the slicing drum:	14.53 ft <sup>2</sup> (1,35 m <sup>2</sup> )
Diameter of the slicing drum (Nominal slicing diameter):	70.80" (1800 mm)
Number of knife boxes:	18
Dimensions of knife boxes:	26.38" x 13.78" (670 mm x 350 mm)
Cutting length of knife boxes:	23.62" (600 mm)
<b>Weights:</b>	
Empty weight including knife boxes:	22046 lb (10000 kg)
Service weight with beet filling:	26455 lb (12000 kg)
<b>Capacity of installed motors:</b>	
3-phase A. C. drive:	110 kW
D. C. drive:	90 kW
Hydraulic installation:	4 kW
Positioning drive:	0,75 kW
Connected load (total):	125 kVA
Machine control:	SPS
<b>Revolutions:</b>	
Speed of main motor:	2200 min <sup>-1</sup>
Speed ratio of the planetary gear:	1 : 26,19
Speed drive of the V-belt drive:	1 : 1,5
Total speed ratio:	1 : 39,2
Range of control:	1 : 11
Maximum drum rotation (in slicing direction):	55 min <sup>-1</sup>
Minimum drum rotation (in slicing direction):	5 min <sup>-1</sup>
<b>Nominal slicing capacity:</b>	
With PUTSCH® beet knives with 19-div., high setting 0.19" (5 mm), distance of the knife from the forlayer 0.27" - 0.31" (7-8 mm)	up to 8818 ton/d (8000 t/d)

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## MOLINO TSM 2200-22-600 S

<b>Measurements:</b>	
Length:	109.25" (2775 mm)
Width:	102.38" (2600 mm)
Height:	102.75" (2610 mm)
<b>Hopper connection:</b>	
Length:	81.22" (1555 mm)
Width:	72.44" (1840 mm)
Size of hopper connection:	30.78 ft <sup>2</sup> (2,88 m <sup>2</sup> )
Exit opening of the chute into the slicing drum:	17.55 ft <sup>2</sup> (1,63 m <sup>2</sup> )
Diameter of the slicing drum (Nominal slicing diameter):	88.61" (2200 mm)
Number of knife boxes:	22
Dimensions of knife boxes:	26.38" x 13.78" (670 mm x 350 mm)
Cutting length of knife boxes:	23.62" (600 mm)
<b>Weights:</b>	
Empty weight including knife boxes:	26455 lb (12000 kg)
Service weight with beet filling:	31987 lb (14500 kg)
<b>Capacity of installed motors:</b>	
3-phase A. C. drive:	132 kW
D. C. drive:	130 kW
Hydraulic installation:	4 kW
Positioning drive:	0,75 kW
Connected load (total):	150 kVA
Machine control:	SPS
<b>Revolutions:</b>	
Speed of main motor:	2200 min <sup>-1</sup>
Speed ratio of the planetary gear:	1 : 26,19
Speed drive of the V-belt drive:	1 : 1,5
Total speed ratio:	1 : 39,2
Range of control:	1 : 11
Maximum drum rotation (in slicing direction):	55 min <sup>-1</sup>
Minimum drum rotation (in slicing direction):	5 min <sup>-1</sup>
<b>Nominal slicing capacity:</b>	
With PUTSCH® beet knives with 19-div., high setting 0.19" (5 mm), distance of the knife from the forlayer 0.27" - 0.31" (7-8 mm)	up to 11023 ton/d (10000 t/d)

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**CUCHILLAS PARA MOLINOS MODELOS TSM**



## Datos Técnicos y nomenclatura

**Codes and symbols used to identify PUTSCH® beet slicing knives**

The knife-identification system is shown below:

**1 - T - 200 - 32 - 6 A**

- A = A-Knife
- B = B-Knife
- G = smooth knife
- Knife thickness is given in mm
- A hyphen separates each code or symbol from the next code or symbol
- Number of divisions
- A hyphen separates each code or symbol from the next code or symbol
- Width
- = Normal Configuration
- G = Straight
- M = Multi-Plate
- R = Movement to the right
- S = Angled Slot
- V = Beveled Slot
- T = Drum Slicer
- S = Disc Slicer
- A hyphen separates each code or symbol from the next code or symbol
- Product Category



# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Model Numbers of Knives for Drum Slicers**

Model Number	Knife Length	Number of divisions	Knife thickness
1-T-137-22-6A	5.39" (137 mm)	22	0.23" (6 mm)
1-T-137-22-6B	5.39" (137 mm)	22	0.23" (6 mm)
1-T-138-17-7A	5.43" (138 mm)	17	0.27" (7 mm)
1-T-138-17-7B	5.43" (138 mm)	17	0.27" (7 mm)
1-T-138-20-7A	5.43" (138 mm)	20	0.27" (7 mm)
1-T-138-20-7B	5.43" (138 mm)	20	0.27" (7 mm)
1-T-167-21-6A	6.57" (167 mm)	21	0.23" (6 mm)
1-T-167-21-6B	6.57" (167 mm)	21	0.23" (6 mm)
1-T-167-21-7A	6.57" (167 mm)	21	0.27" (7 mm)
1-T-167-21-7B	6.57" (167 mm)	21	0.27" (7 mm)
1-T-167-23-5A	6.57" (167 mm)	23	0.19" (5 mm)
1-T-167-23-5B	6.57" (167 mm)	23	0.19" (5 mm)
1-T-167-23-6A	6.57" (167 mm)	23	0.23" (6 mm)
1-T-167-23-6B	6.57" (167 mm)	23	0.23" (6 mm)
1-T-200-00-7G	7.87" (200 mm)	0	0.27" (7 mm)
1-T-200-22-7A	7.87" (200 mm)	22	0.27" (7 mm)
1-T-200-22-7B	7.87" (200 mm)	22	0.27" (7 mm)
1-T-200-23-7A	7.87" (200 mm)	23	0.27" (7 mm)
1-T-200-23-7B	7.87" (200 mm)	23	0.27" (7 mm)
1-T-200-25-7A	7.87" (200 mm)	25	0.27" (7 mm)
1-T-200-25-7B	7.87" (200 mm)	25	0.27" (7 mm)
1-T-200-27-7A	7.87" (200 mm)	27	0.27" (7 mm)
1-T-200-27-7B	7.87" (200 mm)	27	0.27" (7 mm)
1-T-200-28-6A	7.87" (200 mm)	28	0.23" (6 mm)
1-T-200-28-6B	7.87" (200 mm)	28	0.23" (6 mm)
1-T-200-32-6A	7.87" (200 mm)	32	0.23" (6 mm)
1-T-200-32-6B	7.87" (200 mm)	32	0.23" (6 mm)
1-T-205-25-7A	8.07" (205 mm)	25	0.27" (7 mm)
1-T-205-25-7B	8.07" (205 mm)	25	0.27" (7 mm)
1-T-205-28-6A	8.07" (205 mm)	28	0.23" (6 mm)
1-T205-28-6B	8.07" (205 mm)	28	0.23" (6 mm)
1-TG165-21-7A	6.49" (165 mm)	21	0.27" (7 mm)
1-TG165-23-6A	6.49" (165 mm)	23	0.23" (6 mm)
1-TG-165-23-6B	6.49" (165 mm)	23	0.23" (6 mm)
1-TG165-26-6A	6.49" (165 mm)	26	0.23" (6 mm)
1-TG165-26-6B	6.49" (165 mm)	26	0.23" (6 mm)
1-TG165-29-6A	6.49" (165 mm)	29	0.23" (6 mm)
1-TG165-29-6B	6.49" (165 mm)	29	0.23" (6 mm)
1-TM200-23-7A	7.87" (200 mm)	23	0.27" (7 mm)
1-TM200-23-7B	7.87" (200 mm)	23	0.27" (7 mm)
1-TM200-25-7A	7.87" (200 mm)	25	0.27" (7 mm)
1-TM200-25-7B	7.87" (200 mm)	25	0.27" (7 mm)
1-TM200-28-6A	7.87" (200 mm)	28	0.23" (6 mm)
1-TM200-28-6B	7.87" (200 mm)	28	0.23" (6 mm)
1-TM200-32-6A	7.87" (200 mm)	32	0.23" (6 mm)
1-TM200-32-6B	7.87" (200 mm)	32	0.23" (6 mm)
1-TS164-23-6A	6.45" (164 mm)	23	0.23" (6 mm)
1-TS164-23-6B	6.45" (164 mm)	23	0.23" (6 mm)
1-TS165-21-7A	6.49" (165 mm)	21	0.27" (7 mm)
1-TS165-21-7B	6.49" (165 mm)	21	0.27" (7 mm)
1-TS165-23-6A	6.49" (165 mm)	23	0.23" (6 mm)
1-TS165-23-6B	6.49" (165 mm)	23	0.23" (6 mm)
1-TV167-18-6A	6.57" (167 mm)	18	0.31" (8 mm)
1-TV167-18-6B	6.57" (167 mm)	18	0.31" (8 mm)
1-TV167-20-7A	6.57" (167 mm)	20	0.27" (7 mm)
1-TV167-20-7B	6.57" (167 mm)	20	0.27" (7 mm)
1-TV200-22-7A	7.87" (200 mm)	22	0.27" (7 mm)
1-TV200-22-7B	7.87" (200 mm)	22	0.27" (7 mm)
1-TV200-23-7A	7.87" (200 mm)	23	0.27" (7 mm)
1-TV200-23-7B	7.87" (200 mm)	23	0.27" (7 mm)
1-TV200-25-7A	7.87" (200 mm)	25	0.27" (7 mm)
1-TV200-25-7B	7.87" (200 mm)	25	0.27" (7 mm)
1-TV200-28-6A	7.87" (200 mm)	28	0.23" (6 mm)
1-TV200-28-6B	7.87" (200 mm)	28	0.23" (6 mm)
1-TV200-32-6A	7.87" (200 mm)	32	0.23" (6 mm)
1-TV200-32-6B	7.87" (200 mm)	32	0.23" (6 mm)

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

3) **SERVITEC®**, pag web: <http://www.hgservitec.es/d1/index.php>

**Servitec, Calderas de Vapor (H.G. SERVITEC, S.A.)** es una empresa ubicada en Barcelona dedicada a la venta, instalación, puesta en marcha y servicio post-venta de calderas de vapor, aceite térmico, calderas de vapor limpio y acumuladores de vapor.

Actualmente H.G.  
SERVITEC, S.A.  
representa GARIONI  
NAVAL S.p.A.  
(Brescia,Italia)



Trabajan sólo en ambientes industriales y en la instalación de todo tipo de equipos de calefacción térmica (vapor, aceite térmico, agua caliente industrial) con potencias térmicas de entre 50 kW a 10 MW (aproximadamente de 50.000 kcal/h a 8.500 Mcal/h) de utilizando cualquier tipo de combustibles: gas natural, petróleo pesado, aceite ligero, la biomasa, «pellets»,... o las calderas de recuperación utilizando el calor residual humos de turbinas de gas, turbinas de vapor, ciclo combinado centrales eléctricas y plantas de cogeneración.

Fundamentalmente son dos las actividades que realizan:

**1 - SERVICIO TÉCNICO:** Propio, con almacén propio y con capacidad de desplazarse a cualquier lugar del mundo. En nuestro equipo humano se combinan juventud y experiencia en este tipo de trabajos apoyados y respaldados en todo momento por nuestro Departamento Técnico.

**2 - COMERCIAL** Distribución y Soporte Comercial (y eventualmente técnico) a

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

otros servicios técnicos y compañías a nivel nacional (España) y Latinoamérica (Argentina, Guatemala, Bolivia, Honduras, Chile, México, Colombia, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Cuba, Paraguay, República Dominicana, Perú, Ecuador, Uruguay, El Salvador, Venezuela).

El complejo que SERVITEC Calderas de Vapor dispone en Sant Boi del Llobregat, Barcelona cuenta con dos oficinas (una oficina comercial y otra oficina de servicio técnico o SAT) de 150 m<sup>2</sup> cada una, una zona almacén y repuestos de 500 m<sup>2</sup> y la zona de taller y almacén de calderas de 1.000 m<sup>2</sup>.

SERVITEC cuenta con una plantilla de entre 10 y 50 trabajadores directos e indirectos (en función de las obras en curso) entre técnicos, ingenieros, soldadores y personal administrativo.

Todos los generadores servidos a los clientes o colaboradores se fabrican bajo la ISO 9001 y cumpliendo directiva europea de aparatos a presión (PED), según la normativa **23/97/CE (Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo)** y SIEMPRE CON MARCADO CE.

Los equipos servidos están certificados y conforme en cuanto lo establecido en la Normativa: **UNE EN ISO 9001 (Certificato RINA QUACER CISQ n° 353/96)** y certificaciones **PED, TUV, Bureau Veritas, Lloyd's Register, AIB Vincotte, S.V.T.I., ISCIR, Ministero Lavoro CINA, GOST CSI, GOST UCRAINA, ISPEL, UDT, DRIRE, Stoomwezen, ASME, SAQ, Germanische Lloyd's, R.I.N.A., ABS y Det Norske Veritas.**

Destacan los certificados de calidad recientemente conseguidos **ASME STAMPS/CERTIFICATES U and S**, estando ya en condiciones de aceptar proyectos que requieran esta certificación.

Disponen de multitud de productos siendo los más significativos:

- Calderas de vapor

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- Calderas de aceite térmico
- Calderas de recuperación
- Calderas de biomasa
- Calderas eléctricas
- Calderas de agua caliente
- Instalaciones y equipos industriales
- Calderas de alquiler
- Recambios y accesorios, etc

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 3) API HEAT TRANSFER®, pag web:

<http://www.apiheattransfer.com/es/index.htm>

Esta empresa es una de las mayores productoras de servicio completo de intercambiadores de calor industriales y sistemas de transferencia de calor en el mundo. Tiene sus sedes en los Estados Unidos, Alemania y China, y provee ventas y servicios locales a clientes por medio de su propia red de ventas global.

Emplea a más de 800 personas dedicadas para especialmente a conocimiento de ventas, ingeniería y fabricación. Ofrecen diseños uniformes pre-dirigidos así como diseños completamente personalizados de acuerdo a una aplicación específica.

API HEAT TRANSFER® ofrece una familia de marcas bien respetada en la industria por sus diseños innovadores, desempeño excepcional y servicio seguro que incluye a Airtech, Basco, Whitlock y Schmidt



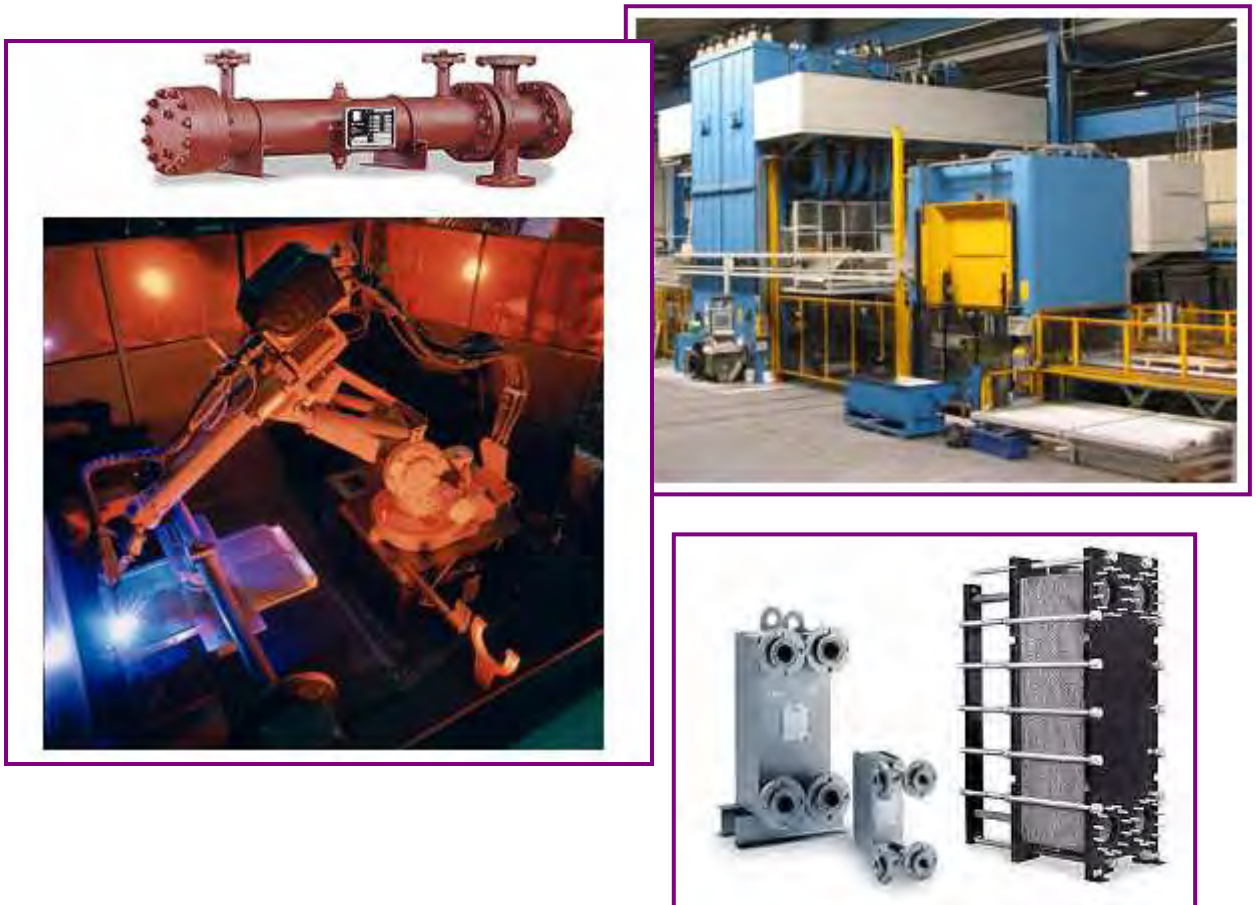
Sirven una gran variedad de mercados industriales, API proporciona soluciones para aplicaciones en los mercados de compresores, secadoras con aire, separación de aire, procesos, electricidad, industria general, fuera de la carretera, camiones y autobuses, alimento y bebida y en los mercados de la refrigeración. Sus diseños de intercambiadores de calor incluyen casco y tubo uniforme, casco y tubo hecho a la medida, intercambiador de superficie extendida de placas y aleta, marco y placas, placas selladas, placas soldados, placas semisoldadas, barra y placa de aluminio soldado y tubo y encabezamiento de aluminio soldado. También suministran sistemas térmicos de proceso completos incluyendo sistemas de evaporación, sistemas de pasteurización/asépticos, sistemas de desaireación, y plantas de dealcoholización. Esto quiere decir que si

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

su aplicación es líquido/líquido, líquido/gas, o gas/gas, API HEAT TRANSFER® puede escoger un diseño económico, efectivo y seguro exacto para el trabajo.

La tecnología significa permanecer al frente del diseño del producto, la innovación de software y eficiencia en la fabricación. De pericia interna de desarrollo de productos, a herramientas de software, a lo último en procesos de fabricación, invierte mucho en nuestro futuro así como el suyo.

El servicio significa apoyo sensible e informado desde el comienzo hasta el final. De sus representantes técnicamente capaces de atender a sus clientes a nivel local, a equipos dedicados de especialistas en cada fábrica, la empresa sabe que sólo podemos asegurar la oportunidad de poder servirle otra vez si proporcionamos servicio superior antes y después de la venta.



**Schmidt**



**SCHMIDT®  
GASKETED  
PLATE HEAT  
EXCHANGERS**

**API Heat Transfer**

*world leaders in heat transfer technology*



**Innovation, quality, and the experience of more than 125 years makes API Heat Transfer's line of Schmidt Plate Heat Exchangers an excellent choice for your heat transfer needs.**

### *Leadership in Plate Heat Exchangers since 1879*

The Schmidt name traces its roots back to 1879 in Germany when the company founder, Wilhelm Schmidt, patented a new highly efficient counter-flow external surface cooler for the brewing and dairy industries.

The next major development was the first closed or pressurized spiral type plate heat exchanger constructed of brass plates milled with spiral channels and then chrome plates. Subsequent models utilized stainless steel plates pressed to form corrugated flow channels. The spiral heat exchanger provided the first opportunity for separate sections within a single unit.



1879 - Counter flow external surface cooler



1932 - Spiral Plate Unit

1938 saw the introduction of a horizontal crossflow plate heat exchanger. And then in 1948 came a new generation of SIGMA plate heat exchangers.



1999 - SIGMA 319

Acquired by API Heat Transfer in 1997, our API Schmidt-Bretten division continues the tradition of systematic development to improve performance, maximize heat transfer, and provide the best value for our customers.



2003 - SIGMA 136

### *Engineering Excellence*

API Heat Transfer engineers have the experience and tools to quickly provide economic, tailor-made solutions to meet your exact needs. We utilize state-of-the-art software to bring high quality, cost effective, thermally efficient designs to market.





# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## *Automated Production*

API Schmidt-Bretten's commitment to meeting production demands is reflected by our continual improvement in manufacturing areas. Our unique plate pressing equipment takes the plate material from its raw state and converts it to a finished product in moments.

Pressing tools are changed in minutes to allow easy conversion from one plate style to another.



Special sensing equipment controls the pressure applied in the process to guarantee uniform thickness and the highest quality.

## *Today & Tomorrow*

Today our Schmidt brand represents one of the widest selections of plate heat exchanger designs available in the industry.

With our variety of model sizes, plate corrugations, plate materials, gasket options, and frame designs, Schmidt Plate Heat Exchangers meet the needs of virtually every industry requiring heat transfer.

And every Schmidt Plate Heat Exchanger is supported by a knowledgeable, dedicated staff to ensure the design, application and quality exceed your expectations.



## **Markets Served Include:**

*Beverage*

*Brewery*

*Chemical*

*Dairy*

*Food*

*Heat Recovery*

*HVAC*

*Marine*

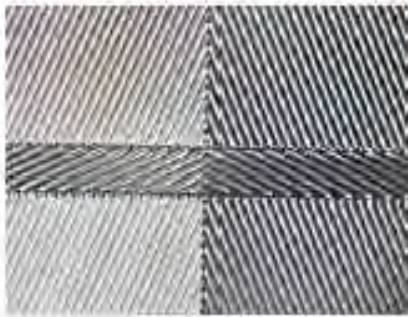
*Pharmaceutical*

*Power*

*Refrigeration*

*Steel Production*

## Thermal Plate Options



X Series

### **X Series High Performance Plates**

- Suitable for industrial and HVAC applications with clean, homogeneous, solid-free liquids.
- Thin film plates with corrugation depths between 2.0 and 3.0 mm for high thermal performance.
- Hard and soft plate corrugation patterns in the herringbone design to provide the most economic thermal solution for each application.
- Plates can be equipped with either the SIGMAFIX adhesive-free gasket system or with glued high performance gaskets.



7 Series

### **7 Series Universal Plates**

- Suitable for industrial, HVAC and liquid food applications.
- Hard and soft plate corrugation patterns designed to provide the most economic thermal solution for each application.
- Corrugation depths vary between 2.5 and 4.0 mm.
- Plates can be equipped with either the SIGMAFIX adhesive-free gasket system or with glued high performance gaskets.



2 Series

### **2 Series Specialized Free Flow Plates**

- For industrial and food applications with viscous, fibrous or pulpy liquids, e.g. for pasteurization of beverages and pulpy products.
- Free-flow plates with a corrugation depth between 4.5 and 5.5 mm.
- Wide range of plate and gasket materials.



Semi-Welded

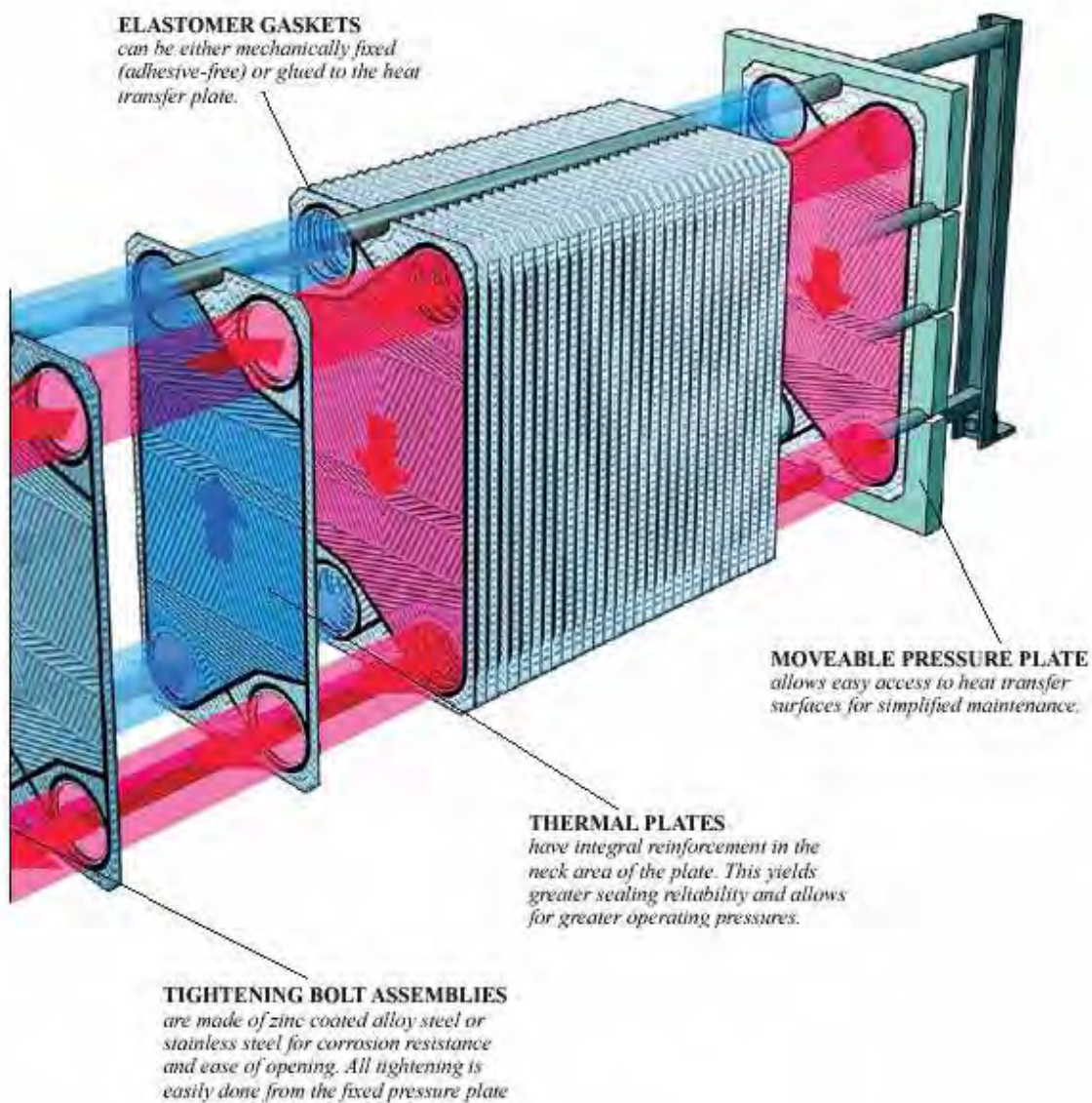
### **Semi-Welded Plates**

- Combines the high thermal efficiency, compact design, and low volumetric liquid hold-up of a plate heat exchanger with the leak prevention of a shell & tube.
- Ideal for ammonia applications.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<b>Plate Material Options</b>	304/304L	Incoloy 825	Nickel	Titanium
	316/316L	Inconel	SMO 254	Titanium-Pd
	Hastelloy	Monel	Tantalum	Others - consult factory

<b>Gasket Material Options</b>	Nitrile	Viton
	EPDM	AFM 34
	PTFE	Sil C-4400



4) ERAL®

## CLARIFICADORES-ESPEADORES



# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha



Clarificadores 12 m y 8 m Ø en perforación de túneles

Clarificador 12 m Ø y agua clarificada en lavado de arenas

## OPERACION

La pulpa de alimentación se conduce inicialmente a un depósito auxiliar solidario al Clarificador ERAL donde se elimina el aire y se aporta el floculante necesario para acelerar el efecto de sedimentación.



La mezcla de la pulpa/floculante pasa a la zona inferior del tanque a través de un lecho fluido creado en el fondo por los sólidos sedimentados. De este modo se fuerza el contacto de las partículas sólidas con el floculante retenido en el lecho, potenciándose así el efecto del reactivo. El agua clarificada asciende a través del lecho fluido hacia la superficie, siendo evacuada por medio de un canal periférico de rebose. La interfase sólido-líquido formada por el lecho fluido y el agua clarificada se controla automáticamente mediante diferentes sensores.



Agua clarificada

Descarga de lodos

Un sistema de rastras que gira en el fondo del tanque, empuja el lodo sedimentado hacia el cono central de descarga de donde es extraído mediante bombeo. La frecuencia y concentración de la descarga de lodos se controla de manera continua mediante un detector de carga que actúa sobre el sistema de bombeo de lodos.

## CONSTRUCCIÓN

El depósito de construcción metálica, se apoya sobre un conjunto de columnas metálicas y está provisto de una ventana para el control visual de la interfase. El diseño de los tanques ERAL, de tipo modular atornillable, permite y facilita su transporte, montaje y desmontaje.

El sistema de accionamiento consta de un motor-reductor acoplado a un eje central que mueve un mecanismo de rastras, apoyándose todo el conjunto sobre un puente diametral. Su grupo motriz incorpora las últimas innovaciones en transmisión de potencia, que garantizan un alto par de arrastre, larga vida, consumo reducido y escaso mantenimiento.

Opcionalmente, el depósito se puede suministrar sin fondo metálico para su apoyo directo sobre una solera de hormigón.



Sistema de descarga a lodos bajo tanque

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha



Epesado de caolin en tanques 10 m y 8 m  $\varnothing$  con sistema de elevación rastras

Clarificador 7 m  $\varnothing$  en planta recuperación fines

### INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Todos los Clarificadores ERAL se suministran con un limitador de par electrónico contra sobrecargas e incorporan un sistema automático de descarga del lodo espesado, que actúa en función del contenido de sólidos sedimentados. Estos dispositivos permiten controlar de modo eficaz y automático la operación del Clarificador.

En el espesado de productos de elevada densidad o que sedimentan con rapidez, se ofrece de forma opcional un dispositivo de elevación de las rastras que garantiza la protección del sistema de accionamiento.

La calidad del agua puede ser controlada mediante un dispositivo, de suministro opcional, que mide la turbiedad del agua clarificada. Este elemento de control se activa en función de los valores detectados.

### MODELOS

Tipo	Superficie m <sup>2</sup>	Altura mm	Peso (t)		Potencia kW	Capacidad m <sup>3</sup> /h
			Vacio	Carga		
T-01	1	1.300	0,8	2,1	0,25	4 - 8
T-02	3	1.730	1,5	8,4	0,37	18 - 31
T-03	7	2.160	3	23	0,55	35 - 71
T-04	13	2.530	5	44	0,85	63 - 128
T-05	20	2.750	8	74	0,75	98 - 196
T-06	28	3.210	10	118	0,75	141 - 283
T-07	38	3.490	13	175	1,1	192 - 385
T-08	50	3.630	17	232	1,5	251 - 503
T-10	79	4.250	23	401	1,5	393 - 785
T-12	113	4.520	29	586	1,5	565 - 1.131
T-14	154	4.350	57	861	2,2	770 - 1.539
T-16	201	4.470	70	1.130	3	1.005 - 2.011
T-18	254	4.850	89	1.588	3	1.272 - 2.545

### PREPARACIÓN Y DOSIFICACIÓN DEL FLOCULANTE

El Equipo de Floculación permite controlar la preparación y dosificación del polielectrolito (floculante) y operar en continuo de manera automática. El sistema consiste en una tolva para el floculante en polvo, dosificador con motorvariador y tanques de preparación, maduración y trasiego con sus correspondientes electroagitadores. Todo el conjunto se construye en acero inoxidable e incorpora una bomba dosificadora con variador de velocidad electrónico y armario eléctrico de control.



Equipo de preparación y dosificación de floculante



Plantamiento integral de efluentes

## CLARIFICACIÓN Y ESPESADO EFICAZ

Los Clarificadores / Espesadores ERAL son de gran efectividad en la separación sólido-líquido aplicable a los tratamientos de vertidos de efluentes, escorrentías y aguas residuales generadas en los procesos productivos de los sectores de Aridos, Minería, Construcción, Químico y Medioambiente entre otros.

Los óptimos resultados que se alcanzan con los Clarificadores ERAL de alto rendimiento, consiguiendo velocidades de entre tres y veinte veces superior a las obtenidas en tanques convencionales, supone para el usuario grandes ventajas, que se traducen en menor superficie de decantación o tamaño del Clarificador, mejores condiciones de clarificación y concentración de sólidos en la descarga, control eficiente y automático del proceso y menor costo de inversión.

ERAL dispone del personal técnico cualificado y los medios materiales necesarios para realizar los preceptivos ensayos en laboratorio o planta piloto que conduzcan al correcto dimensionamiento del Clarificador-Espesador y selección del Equipo de Floculación, así como del tipo de floculante adecuado a emplear en cada caso.

## FILTRACIÓN DE LODOS

En los casos en que se precise filtrar el lodo espesado para facilitar su manipulación posterior en forma sólida, o si así se requiere por exigencias de control medioambiental, ERAL suministra Filtros Prensa de diseño propio y proyecta instalaciones para el tratamiento integral de efluentes a partir del estudio de ensayos y resultados obtenidos.



**ERAL, equipos y procesos, s.a.**

Toledo, 153-155 · 28005 Madrid (ESPAÑA)

Tel.: (+34) 91 517 80 40 · Fax: (+34) 91 517 80 42

[eraleyp@eralgroup.com](mailto:eraleyp@eralgroup.com)

**ERAL CHILE, s.a.**

Carmen Covarrubias, 393. Ñuñoa - Santiago (CHILE)

Tel.: (+56 2) 238 82 02 · Fax: (+56 2) 238 83 74

[eralchile@eralgroup.com](mailto:eralchile@eralgroup.com)

**ERAL PERÚ, s.a.**

Jr. Pablo Bermúdez, 160 - Of. 6 A - Lima 1 (PERÚ)

Tel.: (+51 1) 433 09 20 · Fax: (+51 1) 433 10 30

[eralperu@eralgroup.com](mailto:eralperu@eralgroup.com)

[www.eralgroup.com](http://www.eralgroup.com)

5) TOTAAGUA®

# Depósitos de poliéster





## Depósitos de Poliester

Fabricados en PRFV (poliéster reforzado en fibra de vidrio), inalterable frente a agentes ambientales.

Sistema de fabricación según la norma ISO 9001:2000 y las normas Merkblatt N-1, BS 4994, UNE EN-976 y UNE 53-496-93

Proceso de fabricación Filament Winding (hilo bobinado en continuo).

Fabricamos hasta 12 metros de altura, en diámetros de hasta 4,5 metros, tanto abiertos como cerrados.

Pueden descargar los planos de instalación desde nuestra [página web](#).



## Modelos de depósitos aéreos

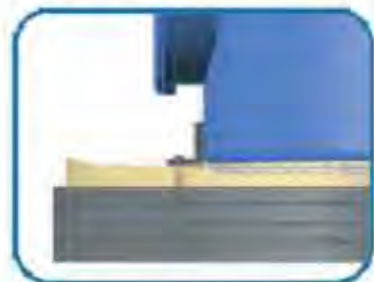
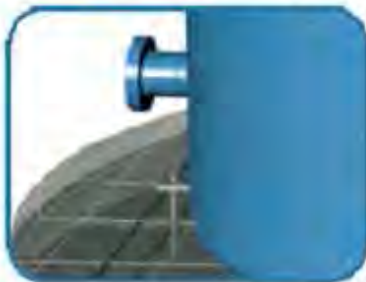


### DEPÓSITOS AÉREOS VERTICALES

Modelo	Volumen lts	Ø Diámetro mm	Longitud mm	Peso Kg.
CVCFP-5	5.000	2.000	2.035	200
CVCFP-8	8.000	2.000	2.950	250
CVCFP-10	10.000	2.000	3.580	300
CVCFP-12	12.000	2.000	4.200	350
CVCFP-15	15.000	2.000	5.170	400
CVCFP-20	20.000	2.500	4.500	500
CVCFP-25	25.000	2.500	5.550	600
CVCFP-30	30.000	2.500	6.650	850
CVCFP-35	35.000	2.500	7.550	1.000
CVCFP-40	40.000	2.500	8.675	1.100
CVCFP-45	45.000	2.500	9.650	1.200
CVCFP-50	50.000	3.000	7.530	1.400
CVCFP-60	60.000	3.000	8.930	1.600
CVCFP-100	100.000	3.500	10.700	consultar
CVCFP-150	150.000	4.000	12.350	consultar

### Recomendaciones de montaje de depósitos aéreos

- 1ª paso:** Compactar y nivelar el suelo donde se va a alojar el depósito, dándole una resistencia mecánica apta.
- 2ª paso:** Realizar una solera de hormigón de 20 a 50 Cm. de espesor según altura de depósito de H-250 armado con mallazo 100.100.10 Ø. En esta solera se deben anclar seis pernos para la sujeción del depósito.
- 3ª paso:** Depositar un lecho de arena fina cribada de 5 cm. de espesor.
- 4ª paso:** Colocar el depósito sobre la base de arena lavada y llenarlo una 1/5 parte.
- 5ª paso:** Fijar los perfiles del depósito a los seis pernos de espere mecánicamente.



### Recomendaciones de montaje de depósitos enterrados



#### EXCAVACIÓN DEL FOSO:

La profundidad del foso debe ser la suma del diámetro o de la altura del equipo, la losa de hormigón armado, la capa de hormigón tierno y la distancia entre la cisterna y el nivel del suelo. Esta distancia variará en función del tipo de instalación.

#### LECHO Y MATERIAL DE RELLENO:

Una vez construida la losa de hormigón deben rellenar con hormigón tierno de resistencia 100 Kg/cm<sup>2</sup> una altura de 250mm. Situar el tanque, con el hormigón aún tierno, llenarlo de agua hasta un tercio de su capacidad.

Una vez asentado y nivelado se sigue rellenando el foso con hormigón hasta cubrir una altura de 1/3 de la altura del depósito y una anchura de 300mm.



#### ANCLAJE:

El depósito se anclará mecánicamente mediante eslingas de sujeción. Estas deben situarse en los costillares marcados del depósito. La distancia entre puntos de anclaje debe ser igual al diámetro del tanque + 300mm a cada lado del mismo.

Los puntos de anclaje en el fondo del foso deben alinearse. Pueden utilizarse las orejas como punto de sujeción mediante eslingas.

#### ARQUETAS:

En los depósitos totalmente enterrados hay que colocar una arqueta sobre cada una de las aberturas de acceso al depósito.

Las arquetas no han de transmitir a las paredes del depósito ningún tipo de carga que pueda dañarlas o al aislamiento.



6) UNY-SYSTEMS



# Difusor

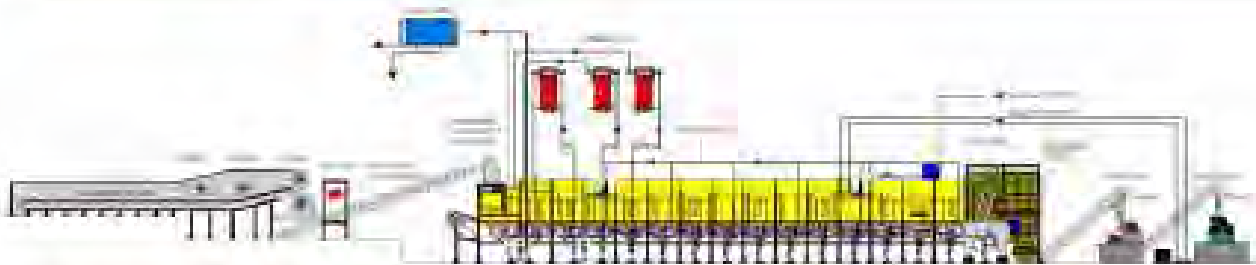


Mayor eficiencia en la  
extracción de sacarosa

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha



### Difusor hace la diferencia



#### Ventajas del Difusor

- ❑ Más bajos costos de inversión en equipos
- ❑ Incremento de la flexibilidad de operación
- ❑ Mayor extracción de sacarosa
- ❑ Reducidos costos operacionales
- ❑ Ahorro de energía
- ❑ Mayor continuidad en los resultados operacionales
- ❑ Costos de instalación reducidos
- ❑ Costos de mantención minimizados
- ❑ Confiabilidad más elevada
- ❑ Operación más limpia y segura
- ❑ Más bajo riesgo de infecciones

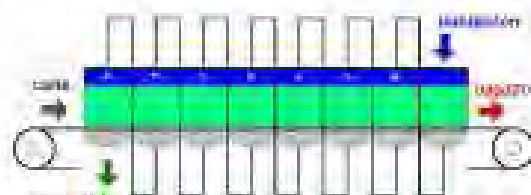
#### Instalación justificada

- Instalación de un nuevo complejo industrial para la producción de azúcar, alcohol o ambos
- Proyectos combinados con producción de azúcar, alcohol y cogeneración de energía
- Ampliación o modernización de fabricas existentes donde es prevista una alta inversión con molinos o para aumento de la potencia de las transmisiones existentes
- Proyectos de diversificación de ingenios existentes, con cogeneración, pues el reducido consumo de energía mecánica del sistema de difusión deja un excedente de vapor vivo que puede ser utilizado para la producción de una cantidad extra de energía en los generadores eléctricos

#### Funcionamiento y Fluxograma

El agua de imbibición es alimentada en la parte final del difusor, próximo de la salida del bagazo, a una temperatura entre 75 y 90°C; un calentador por contacto directo con vapor controlado automáticamente permite mantener la adecuada temperatura del agua. La imbibición es a seguir enviada a una canchala transversal que cubre todo el ancho del difusor y es uniformemente distribuida sobre el colchón del bagazo; el agua percola a través de las fibras, pasa por la chapas perforadas y es recogida en el captador de jugo; para facilitar el pasaje de sacarosa de la solución rica para la pobre, la circulación de los jugos se hace en contra corriente con el bagazo, permitiendo así el mantenimiento de un diferencial de concentración entre las soluciones prácticamente constante al largo del difusor.

De esta manera, la concentración del jugo aumenta gradualmente aun llegando a su máximo en el captador localizado junto a la entrada de la caña en el difusor, donde es bombeado para penetramiento y enseguida para el proceso. Igualmente, el bagazo que sigue la dirección de la parte final del difusor tiene su concentración de sacarosa disminuida gradualmente, así como puede ser verificado en la curva de concentración.





## Flexibilidad. Economía. Eficiencia

CDU-2 W30 / CDU-4 W70 / CDU-5 W80 / CDU-6 W100

Tipo horizontal, fondo fijo, con área y sistema de arrastre por corrientes que mantienen el colchón del bagazo en movimiento continuo minimizando la formación de trayectos preferenciales del líquido a través del colchón, mejorándose la percolación y evitándose el fenómeno de inundación.

Rascas ahuecadoras del colchón de bagazo en dos baterías que eliminan la compactación del bagazo y mejoran la percolación.

Sistema automático de alimentación por transportador transversal móvil y dispositivo de distribución del bagazo que permite que el mismo se mantenga con un alto predefinido, constante y uniforme en todo el ancho del difusor.

Sistema de dosificación de productos químicos en el difusor para adecuación del pH del jugo.

Sistema de calentamiento del jugo por medio de calentadores verticales tipo casco y tubos, con área suficiente para limpieza sin necesidad de pararse el sistema o reducirse su capacidad.

Sistema exclusivo de veda que evita la salida del jugo y del vapor del difusor.

Sistema de imbibición y recirculación del jugo por medio de bombas Vortax.

Sistema exclusivo de presecaado del bagazo por medio de un conjunto de rollos desagudadores que eliminan el agua en exceso antes del envío del bagazo al molino de secado. Ese sistema permite un ahorro de potencia de 70%, en relación al valor requerido por un segundo molino de secado.

Sistema de decantación del jugo opcional para eliminación de los excesos de sólidos antes de la recirculación del jugo pobre en el interior del difusor.

Accionamiento con reductor planetario de eje hueco y velocidad variable.

Sistema de limpieza de las corrientes.

## Características Técnicas

Capacidad  
Distancia entre centros de los ejes  
Ancho  
Tiempo de retención  
Altura del colchón del bagazo  
Velocidad lineal de las corrientes  
Consumo total de energía (sin molino de secado)  
Imbibición  
Temperatura en operación  
Consumo de vapor para calentamiento  
Extracción de sacarosa  
Humedad final del bagazo (con molino de secado)  
Índice de células abiertas

Hasta 80 ton fibra por hora (TFH)  
61,5 metros  
Compatible con su capacidad  
60 minutos, aproximadamente  
0,8 a 1,6 metros  
De 0,4 a 1,1 metro/min  
16,6 HP/TFH  
250 a 300% sobre fibra  
70 a 90° C  
60 a 100 kg de vapor / TCH  
Hasta 98,6%  
48 a 51%  
89% mínimo

7) GEA PHE SYSTEMS

## Evaporation Technology

### Top performance made to measure

The manufacture of sensitive products calls for technologies that operate reliably and treat the product with care. Evaporators with short residence times and high heat transfer rates are indispensable for the production of sugar from beet or cane.

For many years GEA PHE Systems has been specializing in plate evaporators for these demanding applications.

- **EVAPplus Plate Falling Film Evaporators**
- **Concitherm Plate Rising Film Evaporators**

The GEA logo is displayed in white, bold, sans-serif capital letters on a dark blue rectangular background.

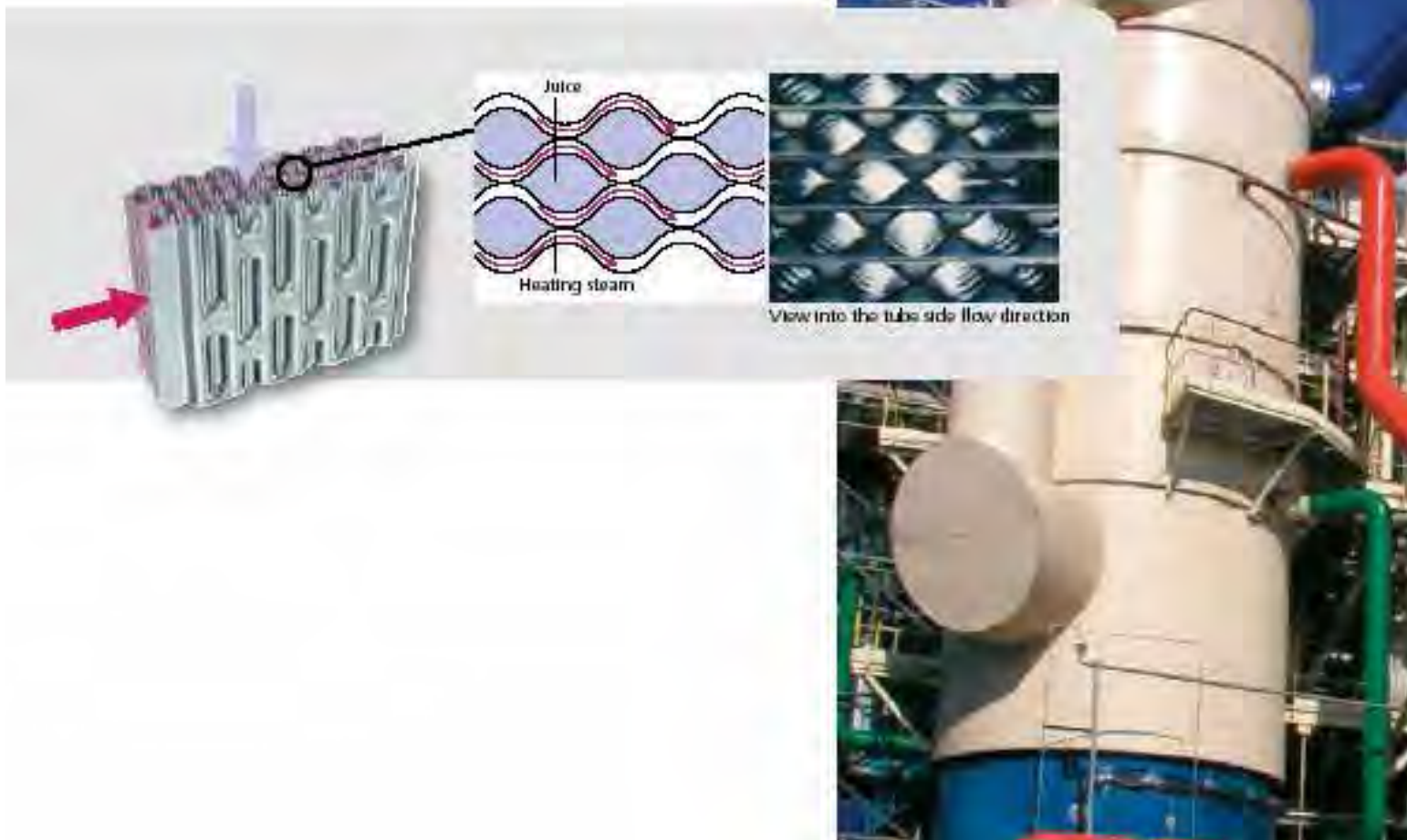
## Plate Falling Film Evaporators

When product sensitive and energy-saving applications are involved, the EVA Pplus plate falling film evaporators are exactly the right choice. State-of-the-art technology ensures high efficiency concentration of juice from sugar beet and cane.

The special feature of EVA Pplus is the combination of tube and plate evaporators. The plates are arranged in such a way that two separate flow channels result: a tubular channel with 6 or 9 mm diameter for the juice and a corrugated channel for the condensing steam or vapour. The plate packs are fully welded without the need for gaskets.

### Convincing functionality

The hot juice is fed into the evaporator at the lower end where it is flashed and pumped from the feed tank into the juice distributor (see Fig. 1) which ensures that a uniform film of liquid is formed on the plates in the tubular channels. The recirculation pump ensures that the heat exchanger surface is adequately covered with juice to prevent any occurrence of dry zones.



# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

EVAPplus

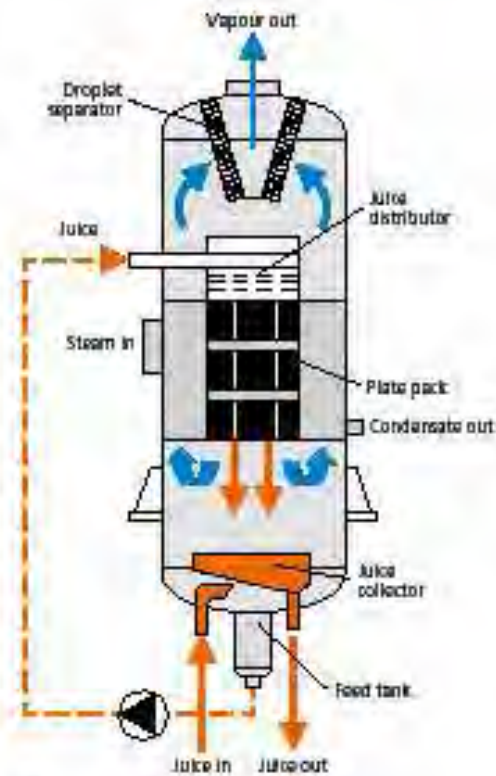


Fig. 1

The concentrated juice and the vapour produced during evaporation leave the plate packs at the bottom. The juice falls into the juice collector and is transferred to the next effect.

The heating steam condenses within the plate packs and the condensate is led to an external receiver. Non condensable gases are drawn off at the top and bottom of the steam chamber.

Depending on the design the vapour is either led upwards through internal vapour channels or external vapour ducts to the upper section of the evaporator or directly led off to the side in the lower section. Centrifugal or lamella separators are used for further removal of entrained juice droplets from the vapour.

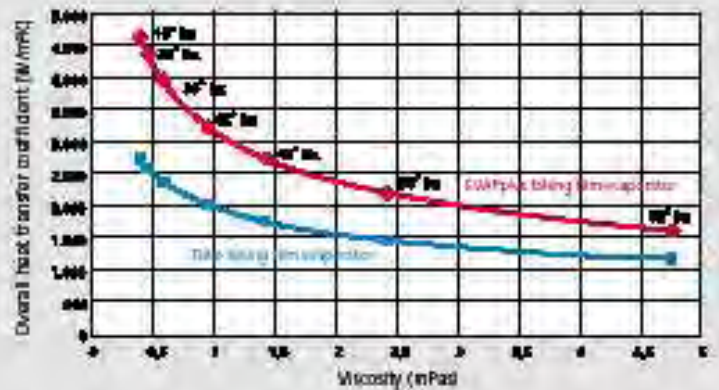


Fig. 2



### Simple to clean

The EVAPplus can be easily and quickly cleaned to maintain its maximum performance. Evaporators used for processing beet sugar juices are cleaned at the end of each campaign. When processing cane sugar juice, a sensible cleaning cycle is every one to two weeks.

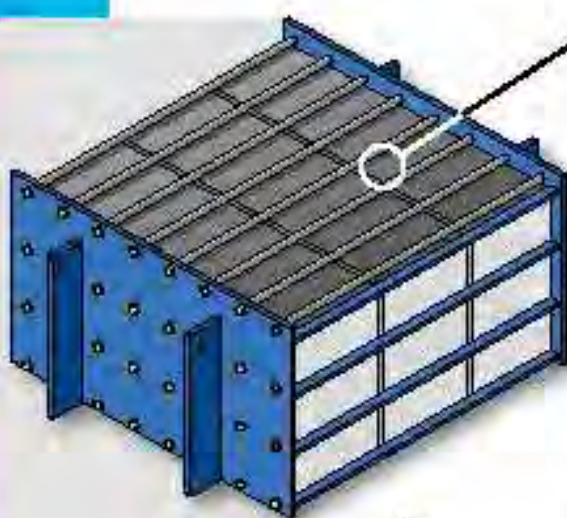
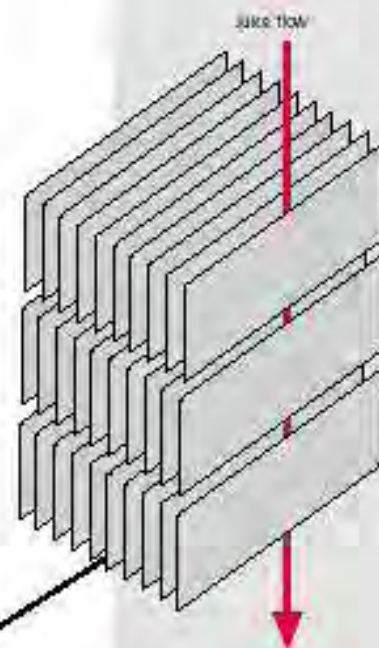


Fig. 4  
Plate pack arrangement

GEA PHE Systems generally recommends the following three step cleaning procedure:

1. Caustic soda ( $\text{NaOH}$ ) and sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) - also to convert sulfates and oxalates into acid soluble carbonates.
2. Acid cleaning using formic acid ( $\text{HCOOH}$ ) at  $100^\circ\text{C}$  or sulfamic acid ( $(\text{NH}_2)\text{HSO}_3$ ) at  $70^\circ\text{C}$  to dissolve phosphates and carbonates.
3. Alkaline washing to neutralize the remaining acid in the vessel.

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## 8) Comeval®

### Válvulas de Aislamiento Rotativas \* Rotary Isolating Valves \* Vannes d'isolement Rotatives

Válvulas de Mariposa Concéntricas con Actuadores / Butterfly Control Valves / Robinets à Papillon avec Actionneur

**Unival®**



VF700PGE-DE  
VF700PGN-DE

**Válvula de Mariposa Wafer con Actuador Neumático de Doble Efecto**  
Para montaje entre bridas PN10/16/ANSI150 (DN25-600) – PN10 (DN700-1000)  
Longitud de Construcción EN558-1 serie 20,  
Presión Diseño PN 16 (<=DN300), PN 10 (>=DN350)  
Materiales de Construcción de partes principales:  
Cuerpo: H. Fundido Epoxitado / Disco: F. Dúctil níquelada / Cierre: EPDM (E), NBR (N)  
*Otras Versiones: Gama completa de materiales y estilos/ Libres de silicona, etc.*  
*(Consultar con Ventas).*  
**Wafer Butterfly Valve with Double Acting Pneumatic Actuator**  
To install between flanges PN10/16/ANSI150 (DN25-600) – PN10 (DN700-1000)  
Face to face length EN558-1 series 20,  
Design Pressure PN 16 (<=DN300), PN 10 (>=DN350)  
Main parts material description:  
Body: Cast Iron Epoxy Coated / Disc: Ni Plated Ductile Iron/ Sealing:EPDM (E), NBR (N)  
*Other Styles: Complete range of materials and styles/ Free of silicone(Consult Sales Dept.)*  
**Robinet à Papillon Wafer avec Actionneur Pneumatique à Double Effet**  
Pour montage entre bridas PN10/16/ANSI150 (DN25-600) – PN10 (DN700-1000)  
Écartement selon EN558-1 serie 20,  
Pression de Design: PN 16 (<=DN300), PN 10 (>=DN350)  
Matériaux des principaux composants:  
Corps: Fonte revêtue Epoxy / Disque: F. Nodulaire nickelée / Siège: EPDM (E), NBR (N)  
*Autres réalisations: Gamme complète de matériaux et styles/ Sans silicone*  
*(Consultez notre Dept. de Ventas).*

VF700PGE000050 VF700PGN000050 CMVLBD04500000	50	138 139	3,5
VF700PGE000065 VF700PGN000065 CMVLBD06300000	65	163 164	5,0
VF700PGE000080 VF700PGN000080 CMVLBD06300000	80	168 169	5,5
VF700PGE000100 VF700PGN000100 CMVLBD07500000	100	195 196	7,0
VF700PGE000125 VF700PGN000125 CMVLBD08300000	125	231 233	9,0
VF700PGE000150 VF700PGN000150 CMVLBD09200000	150	282 284	13,0
VF700PGE000200 VF700PGN000200 CMVLBD10500000	200	383 386	19,0
VF700PGE000250 VF700PGN000250 CMVLBD12500000	250	537 540	32,5
VF700PGE000300		---	

### Válvulas de Aislamiento de Movimiento Lineal\* Linear Isolating Valves \* Vannes d'isolement lineaires

Válvulas de Compuerta de Cierre Metálico / Metal Seated Gate Valves / Vannes à Opercule

ITEM	DESCRIPCION / DESCRIPTION	CODIGO/CODE	DN(mm)	€	Kgs
<p>TC 328</p>	<p>Válvulas de Compuerta de husillo Exterior, con puente PN16 Diseño con bridas DIN 2633 PN16. Longitud DIN 3202 F1. Accionamiento por volante no ascendente. Materiales de Construcción de partes principales: Cuerpo y tapa: Acero inoxidable A351CF8M(1.4408) / Cuña: Acero inoxidable AISI 316.</p> <p><b>Outside Screw and Yoke Gate valves PN16</b> Flanges ends DIN 2633 PN16. Face-to-Face length DIN 3202 F1. Operated by non rising hand-wheel. Main parts material description: <b>Body and cover: St.Steel A351 CF8M(1.4408) / Wedge: St. Steel AISI 316.</b></p> <p>Vannes à Opercule, axe extérieur et montant PN16, A bridas DIN 2633 PN16. Écartement DIN 3202 F1. Actionnées par volant non montant. Matériaux des principaux composants: <b>Corps et couvercle: Acier inox. A351 CF8M(1.4408) / Opercule: Acier inox. AISI 316.</b></p>	TC328000000015	15	136	6
		TC328000000020	20	159	7
		TC328000000025	25	189	8
		TC328000000032	32	---	11
		TC328000000040	40	310	14
		TC328000000050	50	371	16
		TC328000000065	65	492	19
		TC328000000080	80	666	25
		TC328000000100	100	871	42
		TC328000000125	125	1.363	49
		TC328000000150	150	1.674	50

Válvulas de Retención \* Check Valves \* Vannes à non-retour

Válvulas de Doble Plato Tipo Wafer / Dual Plate Check Valves / Clapets Double Battant

**Uni-Check**



CH2263



Válvulas de retención de Doble Plato.  
 Diseño Wafer para montaje entre bridas EN 1092-1 tipo 11 PN 10/16.  
 Longitud de Construcción EN558-1 Serie 16 (DN50-500) / Serie 50 (DN600)  
 Presión Diseño PN 16 (DN50-300) / PN 10 (DN350-600)  
 Materiales de Construcción de partes principales:  
 Dual Plate Swing Check Valves.  
 Wafer Design to install between flanges EN 1092-1 type 11 PN 10/16.  
 Face to face length EN558-1 Serie 16 (DN50-500) / Serie 50 (DN600)  
 Design Pressure PN 16 (DN50-300) / PN 10 (DN350-600)  
 Main parts material description:  
 Body: Cast Iron / **Plates: Stainless Steel 316** / Sealing: EPDM  
*Other Styles: NBR sealing. (No extracharge)*  
 Clapets de non-retour à double battants.  
 Type Wafer pour montage entre brides EN 1092-1 type 11 PN 10/16.  
 Ecartement suivant EN558-1 Serie 16 (DN50-500) / Serie 50 (DN600)  
 Rating: PN 16 (DN50-300) / PN 10 (DN350-600)  
 Matériaux des principaux éléments :  
 Corps : Fonte / **Clapets : Acier Inox. 316** / Siège : EPDM  
*Autres réalisations: portée en NBR. (sans supplément de prix)*

CH2263E0000050	50	24	1,6
CH2263E0000065	65	30	1,9
CH2263E0000080	80	39	2,7
CH2263E0000100	100	53	4,2
CH2263E0000125	125	69	6,8
CH2263E0000150	150	94	10,7
CH2263E0000200	200	170	17,2
CH2263E0000250	250	259	28,7
CH2263E0000300	300	374	33
CH2263E0000350	350	684	71
CH2263E0000400	400	1.007	99
CH2263E0000450	450	1.377	118
CH2263E0000500	500	1.774	180
CH2263E0000600	600	2.708	549

9) Calpeda®

**N4**

**Bombas centrífugas de aspiración axial según norma europea EN 733**



**Ejecución**

Bombas centrífugas con un solo rodete de aspiración axial, PN 10, con soporte y eje libre. Prestaciones nominales y dimensiones principales según EN 733.

Construcción "Back Pull-Out", (sistema constructivo de la bomba de proceso), para un fácil y rápido desmontaje y montaje.

Velocidad de rotación nominal (50 Hz): **N** = 2900 1/min  
**N4** = 1450 1/min.

**Brida:** Brida PN 10, EN 1092-2.

**Contrabridas (bajo demanda).**

Modelos	Bridas
de 32-160 a 50-250	Brida roscada PN 16 UNI 2247
de 65-125 a 150-400	Bridas para soldar con aportación PN 10 UNI 2277, UNI 2278

**Cierre sobre el eje**

- Sello mecánico normalizado según ISO 3069.
- Prensa estopa (bajo demanda).

**Aplicaciones**

- Para líquidos limpios sin partes abrasivas, no agresivos para los materiales de la bomba (con partes sólidas hasta 0,2% max.).
- Para aprovisionamiento de agua.
- Para instalaciones de calefacción, acondicionamiento, refrigeración y circulación.
- Para aplicaciones civiles, industriales y agrícolas.
- Para instalaciones contra incendios. - Para irrigación.

**Límites de empleo**

- Temperatura del líquido de -10 °C a 150 °C.
- Temperatura ambiente hasta 40 °C.
- Altura de aspiración manométrica hasta 7 m.
- Presión máxima admitida en el cuerpo de la bomba 10 bar.
- Velocidad máxima de rotación: ver tabla pag. 52.

**Grupo electrobomba**

Bomba N, N4 acoplada a un motor eléctrico estándar en forma constructiva B3 (IEC 72), IP 55, trifásico 380-415 V, 50 Hz, sobre bancada con acoplamiento elástico y protector.

**Materiales**

Componentes	Sello mecánico	Prensa estopas
Cuerpo bomba	Hierro GJL 200 EN 1561	
Tapa del cuerpo	Hierro GJL 200 EN 1561	
Rodete	Latón P- Cu Zn 40 Pb 2 UNI 5705 Para 32-125, 32-160, 32-200, 40-200	
Eje	Acero al cromo 1.4104 EN 10088 (AISI 430)	Acero al carbono C 40 UNI 7845
Camisa protección eje	-	Bronce G-Cu Sn5 Zn5 Pb5 UNI 7013 con superficie cromada
Sello mecánico	Carbón, Cerámica - NBR	-
Contrabridas	Acero Fe 430B UNI 7070	

**Otras ejecuciones bajo demanda**

- Pie soporte suplementario sobre el cuerpo soporte.
- Sello mecánico especial.
- Eje bomba en acero al níquel cromo AISI 316.
- Para líquidos o ambientes con temperaturas más elevadas o más bajas.
- Motor con otras protecciones.
- Ejecución antideflagrante según 94/9/CE (ATEX).
- Motor para otras tensiones.
- Frecuencia 60 Hz.

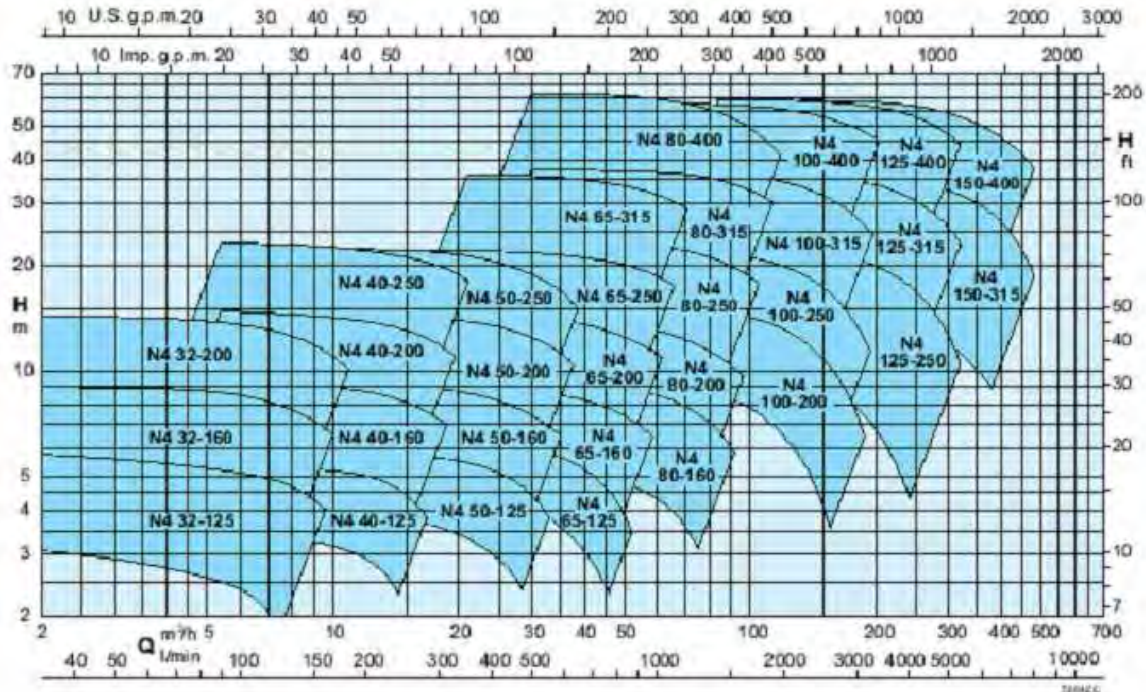
# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## N4

Bombas centrífugas de aspiración axial según norma europea EN 733



### Campo de aplicaciones $n = 1450 \text{ 1/min}$



### Prestaciones $n = 1450 \text{ 1/min}$

BOMBA	MOTOR	P <sub>2</sub> kW	Q														
			m <sup>3</sup> /h	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	6,6	7,5	8,4	9,6	10,8	12	13,2
N4 32-125F	71 A4	0,25	3	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,2	1,8	1,5					
N4 32-125D	71 A4	0,25	4,6	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4	3,8	3,5	3,2	2,6	2			
N4 32-125A	71 A4	0,25	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5	4,8	4,5	4	3,3			
N4 32-160B	71 B4	0,37	7,6	7,5	7,4	7,3	7,2	7,1	6,9	6,7	6,3	5,9	5,2	4,2			
N4 32-160A	71 B4	0,37	9	8,95	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,3	7,9	7,5	6,8	5,1*			
N4 32-200B	80 A4	0,55	12,5	12,4	12,3	12,2	12	11,8	11,6	11,2	10,6	10	8,9	7,6	6,2*	4,7*	
N4 32-200A	80 B4	0,75	14,3	14,2	14,1	14	13,9	13,7	13,5	13,3	12,9	12,3	11,3	10,2	8,9*	7,5*	

BOMBA	MOTOR	P <sub>2</sub> kW	Q														
			m <sup>3</sup> /h	5,4	6	6,6	7,5	8,4	9,6	10,8	12	13,2	15	16,8	18,9	21	24
N4 40-125F	71 A4	0,25	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	2,9	2,5	2					
N4 40-125C	71 B4	0,37	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4	3,9	3,8	3,5	3	2,4				
N4 40-125A	71 B4	0,37	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5	4,7	4,4	3,8				
N4 40-160C	71 B4	0,37	6,9	6,85	6,8	6,7	6,6	6,5	6,3	6	5,7	5,1	4,4	3,5			
N4 40-160B	80 A4	0,55	7,9	7,85	7,8	7,75	7,7	7,6	7,5	7,3	7	6,5	5,9	5,1	4,2		
N4 40-160A	80 B4	0,75	9,3	9,25	9,2	9,15	9,1	9	8,9	8,8	8,5	8,1	7,6	6,9	6,1		
N4 40-200B	90 S4	1,1	13	12,9	12,8	12,7	12,6	12,4	12,2	12	11,5	10,8	10	8,6	7		
N4 40-200A	90 S4	1,1	14,8	14,7	14,6	14,5	14,4	14,2	14	13,8	13,6	13	12,2	11,3	10		
N4 40-250C	90 L4	1,5	16,4	16,3	16,2	16	15,8	15,6	15,3	15	14,5	13,8	12,8	11,3	9,4	5,2*	
N4 40-250B	100 LA4	2,2	21,3	21,2	21,1	20,9	20,8	20,6	20,3	20	19,7	19,1	18,4	17,3	16	13*	9,5*
N4 40-250A	100 LB4	3	23,1	23	22,9	22,8	22,7	22,5	22,2	21,9	21,6	21	20,3	19,3	18	15,5*	12,2*

P<sub>2</sub> Potencia nominal del motor.

P<sub>3</sub> Potencia absorbida por la bomba.

H Altura útil en m.

\* Altura máxima de aspiración 1-2 m.

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## N4

**Bombas centrífugas de aspiración axial**  
según norma europea EN 733



### Prestaciones n = 1450 1/min

BOMBA	MOTOR	P <sub>2</sub> kW	Q m <sup>3</sup> /h Q l/min	H m															
				10,8	12	13,2	15	16,8	18,9	21	24	27	30	33	37,8	42	48		
N4 50-125F - F184		0,37	4	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,3	3	2,6	2							
N4 50-125D - 80A4		0,50	4,8	4,7	4,6	4,5	4,4	4,3	4,1	3,8	3,4	2,9							
N4 50-125A - 80B4		0,75	5,3	5,25	5,2	5,15	5,1	5,05	4,9	4,7	4,4	4,1	3,8						
N4 50-160C - 90S4		1,1	7,5	7,45	7,4	7,3	7,2	7	6,7	6,2	5,6	5	3,8*						
N4 50-160A - 90S4		1,1	9,15	9,1	9,05	9	8,9	8,8	8,6	8,3	7,9	7,4	6,9	6*	5*				
N4 50-200C - 90S4		1,1	10,1	10	9,9	9,8	9,6	9,3	9	8,4	7,7	7	6	4,2*	2,5*				
N4 50-200B - 90L4		1,5	12	11,9	11,8	11,7	11,6	11,4	11,2	10,7	10,1	9,4	8,7	7,2*	4,7*				
N4 50-200A - 100LA4		2,2	14,4	14,35	14,3	14,2	14,1	14	13,8	13,4	12,9	12,4	11,7	10,3*	8,2*	6*			
N4 50-250C - 100LA4		2,2	17,9	17,8	17,7	17,4	17,1	16,7	16,3	15,5	14,8	13,3	11,8	8,5*					
N4 50-250B - 100LB4		3	21,4	21,3	21,2	21	20,7	20,3	19,9	19,1	18,3	17,1	16	13,8*	11,3*				
N4 50-250A - 112M4		4	22,3	22,2	22,1	22	21,8	21,6	21,2	20,5	19,7	18,7	17,8	15,5*	13*				

BOMBA	MOTOR	P <sub>2</sub> kW	Q m <sup>3</sup> /h Q l/min	H m															
				21	24	27	30	33	37,8	42	48	54	60	66	75	84	96	108	120
N4 65-125E - 80B4		0,75	4,4	4,3	4,2	4	3,8	3,3	2,8										
N4 65-125C - 80B4		0,75	5,4	5,3	5,2	5	4,8	4,4	4	3									
N4 65-125A - 90S4		1,1	6,3	6,2	6,1	6	5,8	5,5	5	4,2	3								
N4 65-160C - 90S4		1,1	6,3	6,2	6,1	6	5,8	5,5	5,3	4,8	4	3,1							
N4 65-160B - 90S4		1,1	7,5	7,4	7,3	7,2	7	6,8	6,5	6	5,3	4,4	3,5*						
N4 65-160A - 90L4		1,5	9	8,9	8,8	8,7	8,6	8,4	8,1	7,6	6,9	6,2	5,2*	3,8*					
N4 65-200B - 100LA4		2,2	11,9	11,8	11,7	11,6	11,4	11,1	10,8	10,2	9,5	8,7	7,8*	6,2*	4,7*				
N4 65-200A - 100LB4		3	14,1	14	13,9	13,8	13,7	13,4	13,1	12,6	11,9	11,1	10,2*	8,8*	7,2*				
N4 65-250B - 112M4		4	18	17,9	17,8	17,7	17,6	17,3	16,9	16,3	15,4	14,4	13,1*	10,8*	8,5*				
N4 65-250A - 132S4		5,5	21,9	21,8	21,7	21,6	21,5	21,2	20,8	20,2	19,5	18,5	17,5*	15,4*	12,8*				
N4 65-315C - 132S4		5,5	25,8	25,7	25,5	25,3	25	24,4	23,8	22,8	21,5	20	18,2*	15*	11*				
N4 65-315B - 132M4		7,5	31	31	30,9	30,8	30,6	30,2	29,7	28,8	27,8	26,5	25*	22,2*	18,6*				
N4 65-315A - 132M4		9,2	35,9	35,9	35,8	35,7	35,5	35,1	34,6	33,8	32,8	31,8	30,2*	27,8*	25*				

BOMBA	MOTOR	P <sub>2</sub> kW	Q m <sup>3</sup> /h Q l/min	H m															
				30	33	37,8	42	48	54	60	66	75	84	96	108	120	132	150	168
N4 80-160C - 90S4		1,1	5,4	5,3	5,2	5	4,8	4,6	4,3	3,9	3,1								
N4 80-160B - 90L4		1,5	6,7	6,6	6,5	6,3	6,1	5,9	5,6	5,2	4,6	3,7							
N4 80-160A - 100LA4		2,2	9,6	9,5	9,4	9,2	9	8,8	8,5	8,1	7,5	6,7	5,2						
N4 80-200C - 100LA4		2,2	10,3	10,2	10,1	10	9,8	9,5	9,1	8,6	7,7	6,6	4,6						
N4 80-200B - 100LB4		3	12,1	12	11,9	11,8	11,7	11,4	11,1	10,6	9,8	9	7,5	5,7*					
N4 80-200A - 112M4		4	13,9	13,8	13,7	13,6	13,5	13,3	13	12,6	11,8	11	9,6	7,9*	6*				
N4 80-250C - 112M4		4	16,9	16,8	16,7	16,6	16,3	15,9	15,4	14,8	13,9	12,7	11,1	9,3*	7,2*				
N4 80-250B - 132S4		5,5	20,7	20,6	20,5	20,4	20,3	20	19,6	19,1	18,2	17,1	15,4	13,5*	11,4*	9*			
N4 80-250A - 132M4		7,5	23,7	23,7	23,6	23,5	23,3	23	22,7	22,2	21,5	20,5	19	17,2*	15,1*	12,7*			
N4 80-315C - 132M4		9,2	28,8	28,8	28,7	28,6	28,3	27,9	27,4	26,8	25,8	24,6	22,6	20,4*	17,9*	15*			
N4 80-315B - 160M4		11	32,3	32,3	32,2	32,1	31,9	31,6	31,2	30,7	29,8	28,8	27	25,1*	22,9*	20*			
N4 80-315A - 160L4		15	37,4	37,4	37,3	37,2	37,1	37	36,7	36,3	35,6	34,7	33,2	31,3*	29*	26,4*			
N4 80-400C - 180M4		18,5	46,5	46,5	46,1	45,8	45,2	44,5	43,5	42,4	40	37,2	32,5	28,2*	24,5*	21,5*			
N4 80-400B - 180L4		22	54	53,8	53,6	53,3	53	52,4	51,6	50,6	48,7	46,1	42	38,5*	35*	32,1*			
N4 80-400A - 200L4		30	61,5	61,4	61,3	61,1	60,8	60,2	59,4	58,4	56,5	54	50,5	45,5*	40*	32,5*			

P<sub>2</sub> Potencia nominal del motor

P<sub>1</sub> Potencia absorbida por la bomba

H Altura útil en m.

\* Altura máxima de aspiración 1-2 m.

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## 10) Debem®



# MB 80

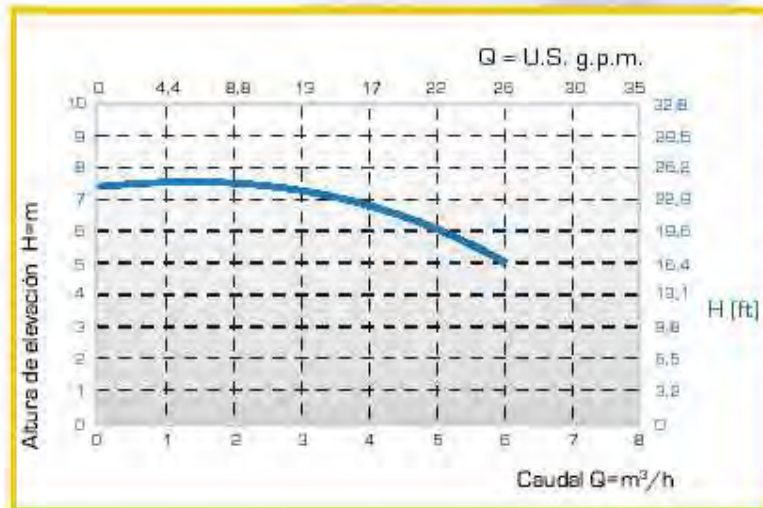
materiales de construcción: PP - PVDF

Empalme aspiración	G 1" 1/2 f (standard) con brida DN 40 (si requerido)		
Empalme descarga	G 1" m (standard) con brida DN 25 (si requerido)		
Caudal max*	6 m <sup>3</sup> /h		
Altura de elevación máx*	7.2 m		
Junta	TL - TS		
Potencia motor	0.37 Kw - 0.5 HP		
Motor	IP55 - Clase F - 2 polos - 230/400 V 50 Hz - trifásico - 2900 RPM		
Diámetro sólidos de paso	5 mm		
Viscosidad máx.	500 cps		
Peso neto	PP	8.5 Kg	80°C Temp. Máx.
	PVDF	9.5 Kg	90°C Temp. Máx.



PVDF

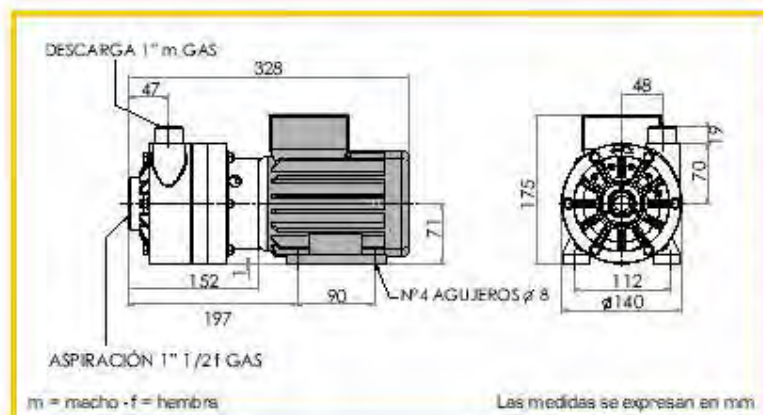
## DATOS TÉCNICOS



PRESTACIONES



PVDF



DIMENSIONES

11) MAPNER®

compresores rotativos refrigerados por agua  
Series: R-fluido aire  
RG-fluido gas

R G

rotary compressors water cooled  
Series: R-plant air  
RG-gas boosting

A



MAQUINAS PNEUMATICAS ROTATIVAS, S.A.



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

		PRESION DIFERENCIAL / DIFFERENTIAL PRESSURE															
		1 bar				1,5 bar				2 bar				*3 bar			
Velocidad Rotation speed	Tipo Type	Caudal Flow	Pt. ABS Pow. ABS	Pot. Motor	Motor Pow.	Caudal Flow	Pt. ABS Pow. ABS	Pot. Motor	Motor Pow.	Caudal Flow	Pt. ABS Pow. ABS	Pot. Motor	Motor Pow.	Caudal Flow	Pt. ABS Pow. ABS	Pot. Motor	Motor Pow.
n		Q m³/h	Pa CV	Pm CV Kw		Q m³/h	Pa CV	Pm CV Kw		Q m³/h	Pa CV	Pm CV Kw		Q m³/h	Pa CV	Pm CV Kw	
1450 rpm.	R.12 N	110	5	6	4,4	106	7	8	5,8	98	8,5	10	7,5	90	11,5	13	9,5
	R.15	150	6,5	7,5	5,5	144	9	10	7,5	134	10,5	12	8,8	121	13,5	15	11
	R.20	190	8,2	9	6,6	180	11	12,5	9	170	13	15	11	157	17	20	15
	R.25	260	11	12,5	9	250	14	16	11,8	235	17	20	15	220	22,5	25	18,5
	R.30	325	14	18	13,2	315	19	22	16,1	300	22	25	18,5	275	27	30	22
	R.40	410	17	20	15	395	21	24	17,6	375	25	30	22	340	32	35	25,7
975 rpm.	R.50	525	21,5	25	18,5	510	27	30	22	490	33	40	30	450	43	50	37
	R.60	610	27	30	22	590	33	40	30	565	39	45	33	520	52	60	45
	R.70	725	30	35	25,7	710	36	40	30	680	43	50	37	620	57	65	48
	R.80	875	34	40	30	860	42	50	37	825	52	60	45	750	70	80	59
	R.100	1000	43	50	37	990	54	60	45	970	63	70	52	875	80	90	66
735 rpm.	R.121	1185	48	55	40,5	1160	63	72	53	1135	72	80	59	1045	94	105	72
	R.120	1190	50	55	40,5	1165	64	72	53	1140	73	80	59	1050	95	105	72
	R.150	1510	61	68	50	1480	80	90	66	1440	92	105	77	1340	120	135	99
	R.180	1760	71	80	59	1725	92	105	77	1680	107	120	88	1560	142	160	118
	R.190	1970	80	90	66	1920	102	110	81	1870	120	135	100	1730	157	170	125
	R.201	2120	84	92	68	2105	98	120	88	2065	126	140	103	1845	164	185	136
585 rpm.	R.200	2140	86	95	70	2120	101	120	88	2080	129	140	103	1860	167	185	136
	R.250	2435	94	105	77	2415	124	140	108	2355	150	165	121	2200	196	220	162
	R.300	3050	115	130	96	3000	149	165	121	2920	180	200	147	2760	235	260	191
485 rpm.	R.400	3900	146	160	118	3800	194	215	158	3660	229	255	188	3500	310	340	250
	R.500	5070	190	210	155	4970	253	280	206	4750	301	330	242	4550	398	440	324
	R.600	6100	230	260	191	6000	298	330	243	5840	360	400	294	5520	474	525	386

\* Consultar los parámetros de presión máxima admisible cuando se trata de comprimir. La composición del fluido y tamaño de máquina pueden variar ligeramente la presión nominal indicada en la tabla.

\* Consult the parameters of permissible maximum pressure when you want to compress. The fluid composition and the machine size can slightly vary the nominal pressure indicated in the table.

***ANEXO X. Tablas de presupuesto***

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**ANEXO X. TABLAS DE PRESUPUESTO**

**Tabla A.10.1.** Coste del acero al carbono

<b>PESO (kg)</b>	<b>COSTE (€/kg)</b>	<b>PESO (kg)</b>	<b>COSTE (€/kg)</b>	<b>PESO (kg)</b>	<b>COSTE (€/kg)</b>
100	22,42	1.000	4,09	10.000	1,98
200	11,54	2.000	3,19	20.000	1,98
300	8,29	3.000	2,70	30.000	1,98
400	7,03	4.000	2,40	40.000	1,98
500	6,25	5.000	2,28	50.000	1,89
600	5,35	6.000	2,22	60.000	1,89
700	4,99	7.000	2,16	70.000	1,89
800	4,63	8.000	2,10	80.000	1,89
900	4,51	9.000	2,04	90.000	1,89
				<b>100.000</b>	<b>1,80</b>

Fecha.1987

**Tabla A.10.2** Influencia del tipo de material (Fm)

<b>MATERIAL</b>	<b>F<sub>M</sub></b>
<b>Acero al carbono</b>	<b>1,0</b>
<b>Acero Inoxidable 304</b>	<b>3,0</b>
<b>Acero inoxidable 316</b>	<b>3,4</b>
<b>Monel</b>	<b>9,0</b>
<b>Inconel</b>	<b>11,0</b>

Fecha.2002

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Tabla A.10.3. Estimación coste del molino de tambor

Diameter/ Length (Inches)	Driver Power (Horsepower)	Purchased Equipment Cost (\$)	Installed Cost (\$)
<b>Ball Mill</b>			
3/3	7.5	\$25,100	\$62,900
4/4	20	\$57,500	\$97,900
5/5	50	\$109,100	\$153,500
6/6	100	\$182,900	\$234,400
	200	\$255,600	\$311,700
	300	\$411,300	\$478,500
	400	\$492,200	\$573,100
	450	\$585,200	\$673,100
<b>Roller Mill</b>			
	30	\$61,400	\$76,900
	75	\$107,500	\$131,100
	150	\$164,200	\$197,000
	200	\$195,800	\$233,100
	250	\$224,400	\$265,800
	300	\$250,900	\$296,100
	350	\$275,700	\$324,400
	400	\$299,100	\$351,000

Fecha.2002

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Tabla A.10.4.** Estimación del coste del tanque de preencalado

**Horizontal Vessels**

<b>Diameter (Feet)</b>	<b>Length (Feet)</b>	<b>Capacity (Gallons)</b>	<b>Total Weight (Pounds)</b>	<b>Purchased Equipment Cost (\$)</b>	<b>Installed Cost (\$)</b>
2.0	4.3	100	1,100	\$5,700	\$51,900
2.5	6.8	250	1,500	\$7,400	\$62,200
3.0	9.5	500	2,200	\$8,900	\$79,600
4.0	8.0	750	2,600	\$10,200	\$81,600
4.0	10.6	1,000	3,000	\$11,200	\$88,500
6.0	14.2	3,000	5,600	\$17,500	\$24,600
7.0	17.4	5,000	7,600	\$21,800	\$32,300
8.0	18.6	7,000	9,400	\$24,800	\$144,800
9.0	21.0	10,000	11,500	\$29,500	\$153,100
11.0	35.2	25,000	21,500	\$40,100	\$202,600
14.0	43.4	50,000	33,300	\$58,200	\$251,500
14.5	60.7	75,000	47,000	\$76,400	\$304,900
14.5	81.0	100,000	59,400	\$94,800	\$383,500

Fecha. 2002

**Tabla A.10.5** Estimación de los costes del tanque encalado

**Vertical Vessels**

<b>Diameter (Feet)</b>	<b>Height (Feet)</b>	<b>Capacity (Gallons)</b>	<b>Total Weight (Pounds)</b>	<b>Purchased Equipment Cost (\$)</b>	<b>Installed Cost (\$)</b>
2.5	2.7	100	1,000	\$6,400	\$51,800
3.0	4.7	250	1,400	\$7,400	\$61,000
4.0	5.3	500	2,000	\$9,800	\$68,400
4.0	8.0	750	2,700	\$12,200	\$89,700
5.0	6.8	1,000	3,000	\$13,000	\$96,000
6.0	9.5	2,000	4,200	\$16,500	\$122,300
7.0	10.4	3,000	5,200	\$18,000	\$132,300
7.0	13.9	4,000	6,300	\$18,600	\$135,100
8.0	13.3	5,000	7,100	\$21,000	\$139,700

Fecha.2002

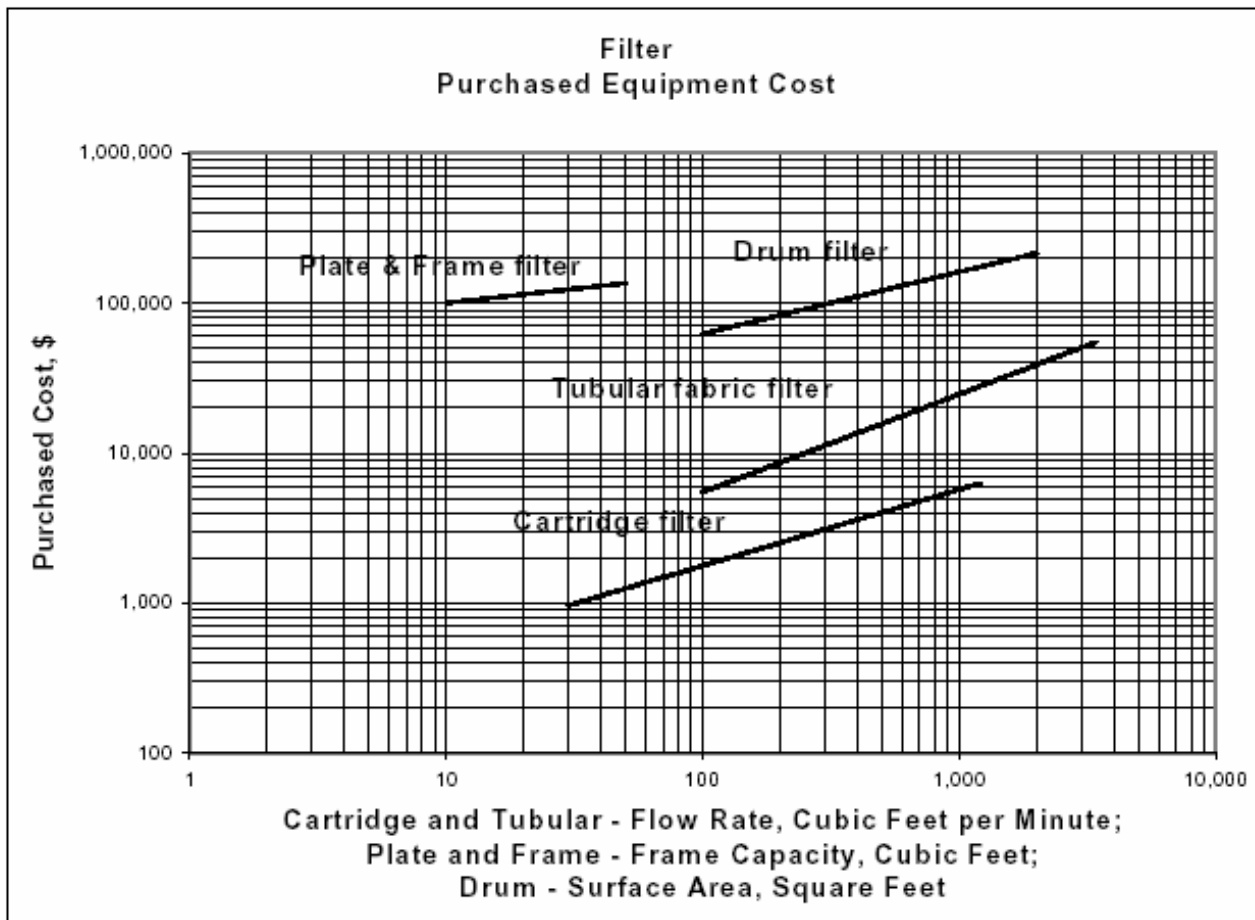
**Tabla A.10.6** Estimación del coste las columnas de carbonatación

**Packed Columns**

<b>Diameter (Feet)</b>	<b>Height (Feet)</b>	<b>Purchased Equipment Cost (\$)</b>	<b>Installed Cost (\$)</b>
1	10	\$6,700	\$64,000
1	20	\$8,700	\$73,400
1.5	10	\$10,300	\$75,500
1.5	20	\$13,900	\$83,000
1.5	30	\$16,600	\$89,700
2	10	\$12,900	\$82,800
2	20	\$16,900	\$90,900
2	30	\$18,600	\$97,000
2	40	\$21,500	\$105,500
2.5	10	\$14,700	\$92,200
2.5	20	\$16,700	\$98,700
2.5	30	\$22,400	\$112,000
2.5	40	\$23,200	\$116,000
2.5	50	\$30,000	\$127,800
3	10	\$16,200	\$98,700
3	20	\$21,900	\$110,800
3	30	\$24,300	\$119,700
3	40	\$26,500	\$125,300
3	50	\$31,200	\$135,400
3	60	\$35,400	\$147,400
3.5	10	\$20,600	\$112,300
3.5	20	\$26,400	\$125,000
3.5	30	\$30,400	\$135,800
3.5	40	\$31,500	\$140,800
3.5	50	\$38,700	\$157,600
3.5	60	\$43,400	\$166,600
3.5	70	\$48,400	\$178,500

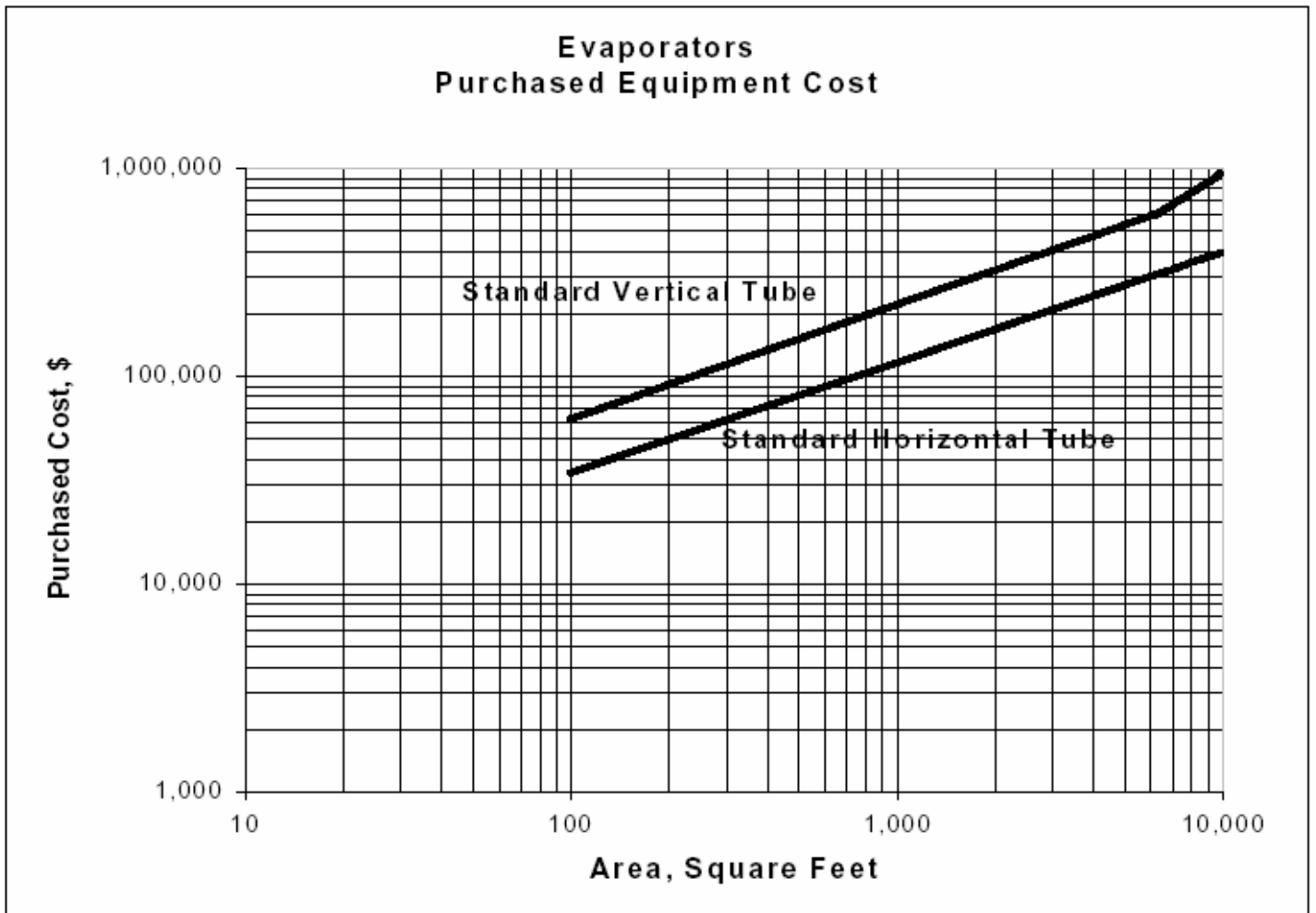
Fecha.2002

Gráfico A.10.7. Estimación de los costes de los filtros PKF



Fecha.2002

Gráfico A.10.8. Estimación coste evaporador tubos verticales



Fecha.2002



Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Tabla A.10.9** Estimación de costes de intercambiadores de calor de placas

**Plate Heat Exchanger**

<b>Heat Transfer Area, (Square feet)</b>	<b>Purchased Equipment Cost (\$)</b>	<b>Installed Cost (\$)</b>
40	\$6,700	\$19,200
100	\$9,100	\$25,100
200	\$13,200	\$34,000
300	\$21,100	\$49,400
400	\$25,500	\$57,400
500	\$29,900	\$65,000
600	\$34,400	\$72,400
700	\$42,600	\$85,300
800	\$35,500	\$74,200
900	\$40,000	\$81,300
1,000	\$44,700	\$88,500
1,100	\$49,600	\$95,700
1,200	\$54,700	\$102,900
1,300	\$60,100	\$110,400
1,400	\$65,400	\$115,900
1,500	\$72,100	\$125,300

Fecha.2002

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Tabla A.10.10.** Factores de costes asociados a plantas de procesos con líquidos

Distributive Factors for Bulk Materials - Liquid and Slurry Systems (%)

<b>Structural Steel</b>	<i>Material</i>	4
	<i>Labor</i>	50
<b>Buildings</b>	<i>Material</i>	3
	<i>Labor</i>	100
<b>Insulation</b>	<i>Material</i>	1
	<i>Labor</i>	150
<b>Instruments</b>	<i>Material</i>	6
	<i>Labor</i>	40
<b>Electrical</b>	<i>Material</i>	8
	<i>Labor</i>	75
<b>Piping</b>	<i>Material</i>	30
	<i>Labor</i>	50
<b>Painting</b>	<i>Material</i>	0.5
	<i>Labor</i>	30
<b>Miscellaneous</b>	<i>Material</i>	4
	<i>Labor</i>	40

Fecha.2002

Tabla A.10.11. Estimación de coste de las bombas centrífugas

**Centrifugal Pump**

<b>Capacity (Gallons/ minute)</b>	<b>Purchased Equipment Cost (\$)</b>
100	\$3,400
200	\$4,100
300	\$4,700
400	\$5,300
500	\$5,800
1,000	\$8,700
2,000	\$10,200
3,000	\$15,200
4,000	\$19,500
5,000	\$23,800
6,000	\$28,400
7,000	\$37,800
8,000	\$41,300
9,000	\$47,300
10,000	\$51,200

Fecha.2002

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

**Tabla A.10.12.** Costes asociados a distintos equipos

Equipos	Tuberías	Instrumentos	Electricidad	Obra civil	Montaje mecánico	Calorifugado	Pintura
Hornos	17,7	5,1	4,2	26,9	23	--	--
Cambiadores	44,7	10,4	4,2	19,7	64,0	11,5	2,6
Aerorefrigerantes	13,9	4,8	19,5	4,2	22,9	--	3,1
Columnas	59,5	14,8	10,5	26,8	91,4	15,1	6,6
Bombas	29,6	3,8	54	11,4	47,4	4,8	4,1
Tanques	39,7	7,8	10,5	18	59,1	9,5	2,6
Agitadores	--	--	52,5	50	28,4	--	--
Cristalizadores	12	7,8	52,5	50	28,4	--	--
Secadores	18	--	23,0	35	30,04	7,6	--

Fecha.2002

**Tabla A.10.13.** Estimación coste tanque almacenamiento de producto.

**Storage Tanks**

Diameter (Feet)	Height (Feet)	Total Weight (Pounds)	Capacity (Gallons)	Purchased Equipment Cost (\$)
17.0	32.0	41,300	50,000	\$118,000
20.0	32.0	46,700	75,000	\$128,200
24.0	32.0	55,000	100,000	\$143,200
37.0	32.0	89,300	250,000	\$197,700
47.0	40.0	142,400	500,000	\$267,800
57.0	40.0	195,000	750,000	\$335,700
66.0	40.0	245,700	1,000,000	\$396,600
134.0	48.0	858,900	5,000,000	\$1,061,200
175.0	56.0	2,219,100	10,000,000	\$2,273,000

Fecha.2002

**BIBLIOGRAFÍA**

**CLAVIJO TORNERO, J.A.** "Introducción al diseño de tuberías para plantas de procesos". Vol I y II.

**INCROPERA F.P, DAVID P.DEWITT.** "Fundamentos de transferencia de calor"

**MC CABE W.L, SMITH J.C, HARRIOT P.** "Operaciones unitarias en Ingeniería Química", 7º edición

**PERRY, R.F Y GREEN, D.W.** "Manual del Ingeniero Químico. Tomo I, II y III", 7º edición.

**MEGYESY E.F.** "Manual de recipientes a presión. Diseño y cálculo".

**METCALF & EDDY.**"Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento vertido y reutilización".

**MILLS, A.F.** "Transferencia de calor".

**MUÑOZ M.J, BLANDINO A.** Apuntes Operaciones de Transferencia de Flujos de Fluidos y Transmisión de calor. Universidad de Cádiz.

**ROBLEDO RODRIGUEZ, C.** Diseño de una unidad de extracción de azúcar a partir de caña de azúcar. Proyecto fin de Carrera. Universidad de Cádiz.

**PORTA, A.** "

**PORTELA J.M.** Apuntes Proyecto y Oficina Técnica. Universidad de Cádiz.

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## Otras referencias

**Azucarera Ebro**

**CÓDIGO ASME. Sección VIII, Div I y II.**

**CÓDIGO ASME B31.3**, American Society of Mechanical Engineers, 2002.

**PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES.** “Apuntes Máster de Prevención de Riesgos Laborales especialidad Seguridad en el Trabajo, Higiene Industrial y Ergonomía”. Universidad de Cádiz.

**NORMA DE REFERENCIA PEMEX.** “Aislamiento térmico para altas temperaturas e quipos, recipientes y tuberías”.

## Páginas web

[www.iedar.es/extracción](http://www.iedar.es/extracción)

[www.azucareraebro.es](http://www.azucareraebro.es)

[www.lexureditorial.com/boe/0801](http://www.lexureditorial.com/boe/0801)

[www.directindustry.com](http://www.directindustry.com)

[www.kompass.es](http://www.kompass.es)

[www.emison.com/hornos.htm](http://www.emison.com/hornos.htm)

[www.putsch.com](http://www.putsch.com)

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

[www.duplexindustrial.com](http://www.duplexindustrial.com)

[www.apiheattransfer.com/es/index.htm](http://www.apiheattransfer.com/es/index.htm)

[www.incontech.com](http://www.incontech.com)

<http://www.gea-phe.com/>

[www.totagua.com](http://www.totagua.com)

[www.aquapurificacion.com](http://www.aquapurificacion.com)

[www.hgservitec.es](http://www.hgservitec.es)

[www.ingenieriaquímica.net](http://www.ingenieriaquímica.net)

[www.ingenieriaquímica.org](http://www.ingenieriaquímica.org)

[www.ingenieríaquímica.com](http://www.ingenieríaquímica.com)

[www.unysystems.com](http://www.unysystems.com)

[www.comeval.es](http://www.comeval.es)

[www.distriquímica.org](http://www.distriquímica.org)

[www.zuckerindustrie.com](http://www.zuckerindustrie.com)

[www.che.com](http://www.che.com)

# DOCUMENTO 2

PLANOS



## **INDICE PLANOS**

**PLANO 1: SITUACIÓN**

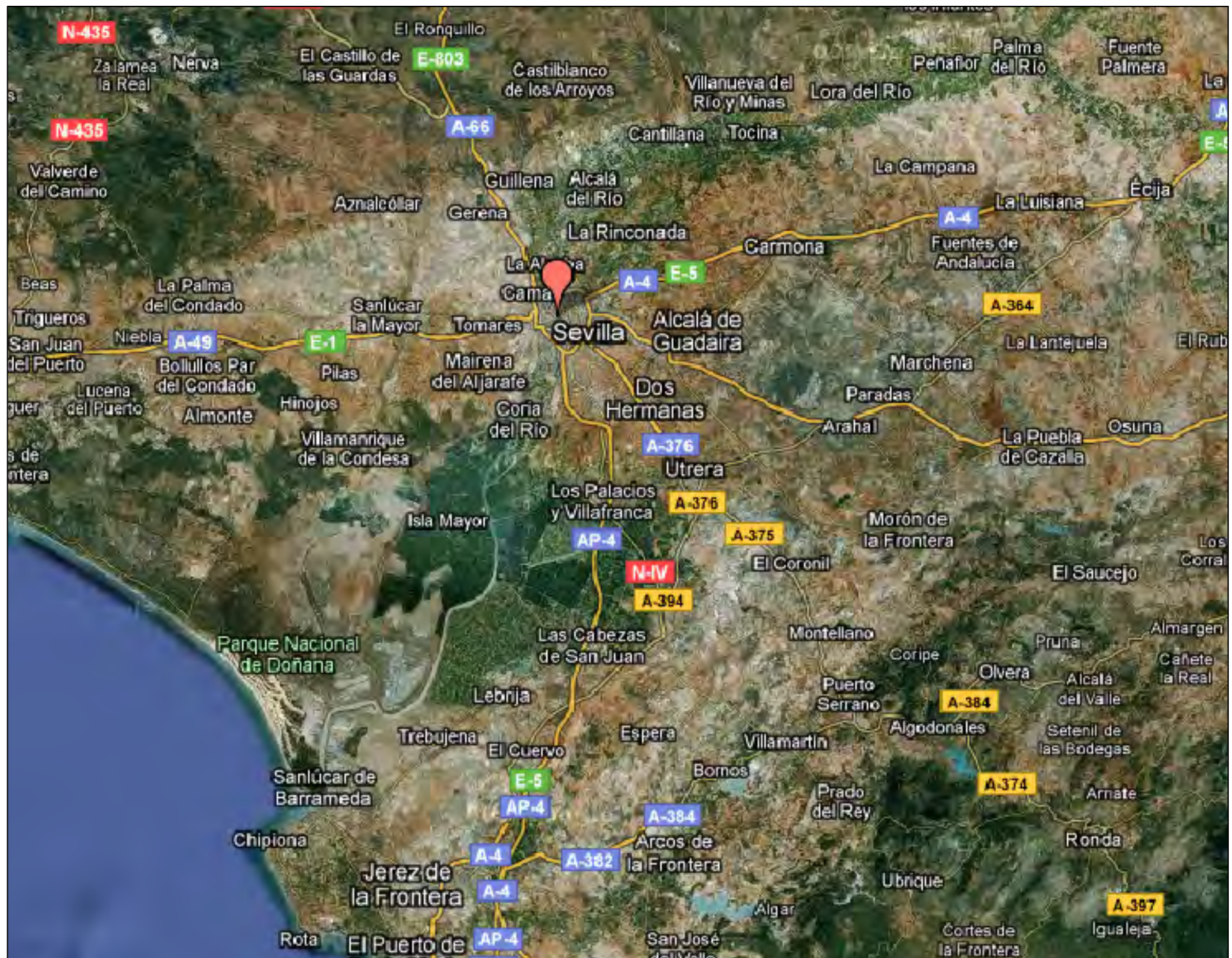
**PLANO 2: IMPLANTACIÓN**

**PLANO 3: DIAGRAMA DE FLUJO FASE ACONDICIONAMIENTO  
Y DIFUSIÓN**

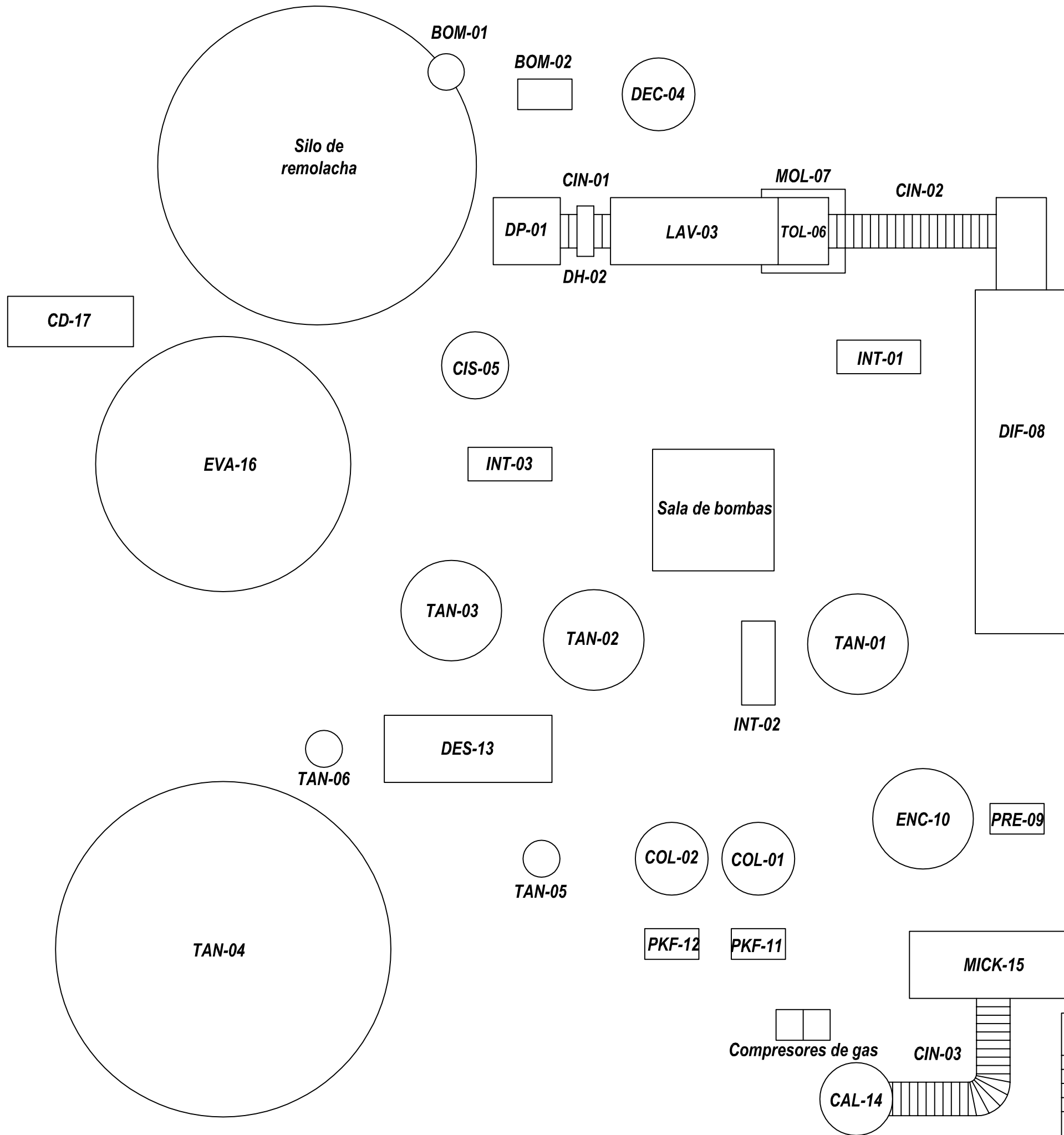
**PLANO 4: DIAGRAMA DE FLUJO FASE PURIFICACIÓN**

**PLANO 5: DIAGRAMA DE FLUJO HORNO DE CAL Y TALLER DE  
LECHADA**

**PLANO 6: DIAGRAMA DE FLUJO FASE EVAPORACIÓN**

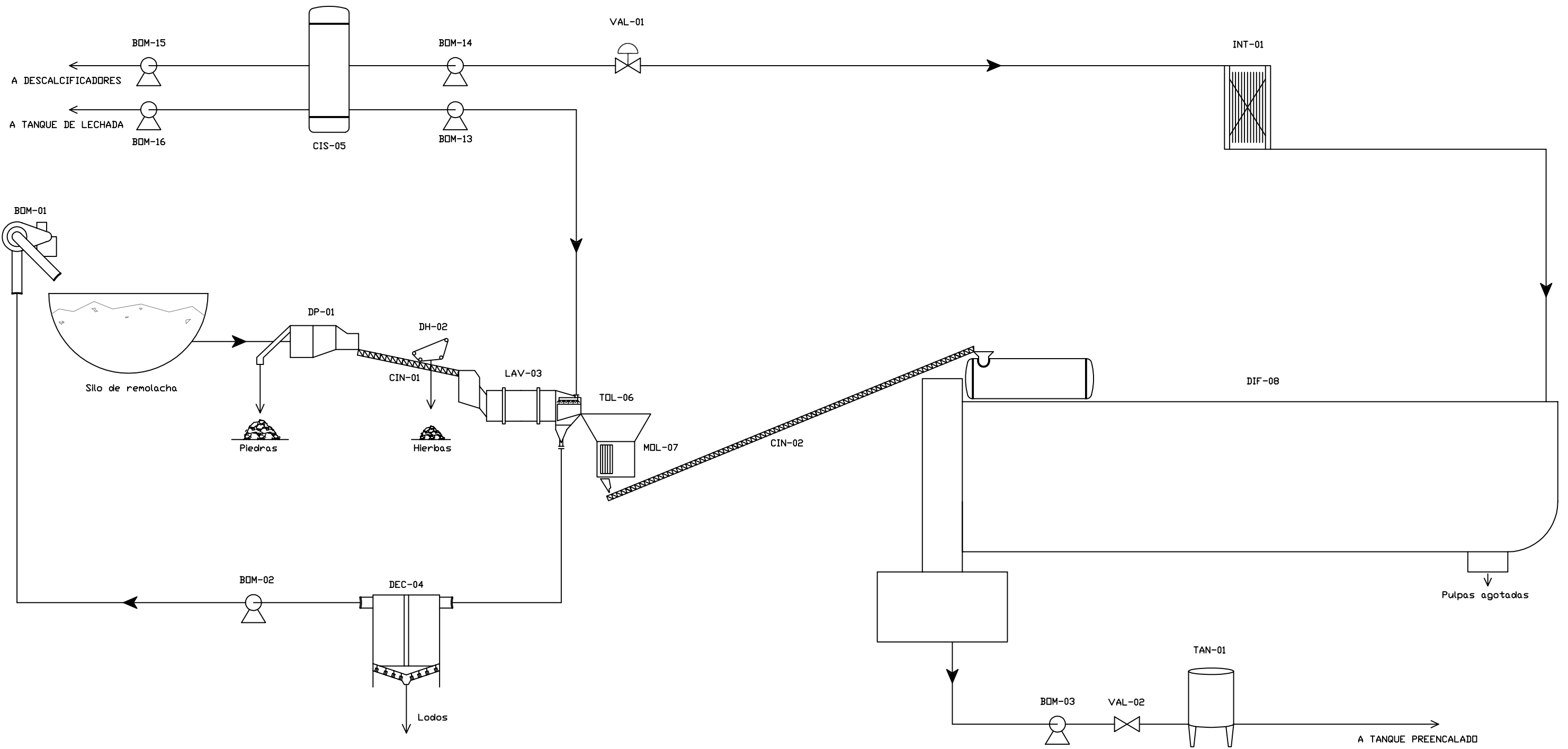


PLANTA DE PRODUCCIÓN DE JARABE DE AZÚCAR A PARTIR DE REMOLACHA				
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	PETICIONARIO
DIBUJADO	MARZO 2010	M. IGLESIAS		FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA FACULTAD DE CÁDIZ
COMPROBADO				
APROBADO				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
1:40000	SITUACIÓN			01 de 06
				Sustituye a:

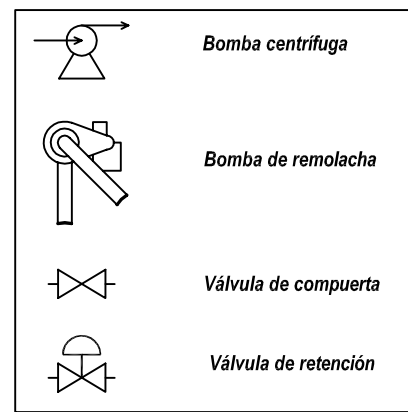


DENOMINACIÓN	EQUIPOS
DP-01	Despedrador
DH-02	Deshierbador
LAV-03	Lavador de tambor
DEC-04	Decantador
CIS-05	Cisterna de agua
TOL-06	Tolva de remolacha
MOL-07	Molino de tambor
DIF-08	Difusor
PRE-09	Tanque preencalado
ENC-10	Tanque encalado
PKF-11	Filtro prensa
PKF-12	Filtro prensa
DES-13	Descalcificadores
CAL-14	Horno de cal
MICK-15	Equipo de lechada
EVA-16	Evaporador Robert
CD-17	Caldera de vapor
COL-01	Columna 1ª carbonatación
COL-02	Columna 2ª carbonatación
TAN-01	Tanque pulmón
TAN-02	Tanque pulmón
TAN-03	Tanque pulmón
TAN-04	Tanque almacenamiento jarabe
TAN-05	Tanque de sosa
TAN-06	Tanque de vertido
INT-01	Intercambiador de calor
INT-02	Intercambiador de calor
INT-03	Intercambiador de calor
CIN-01 CIN-02 CIN-03	Cintas transportadoras
BOM-01	Bomba de remolacha
BOM-02	Bomba centrífuga

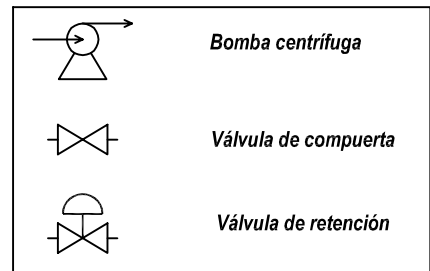
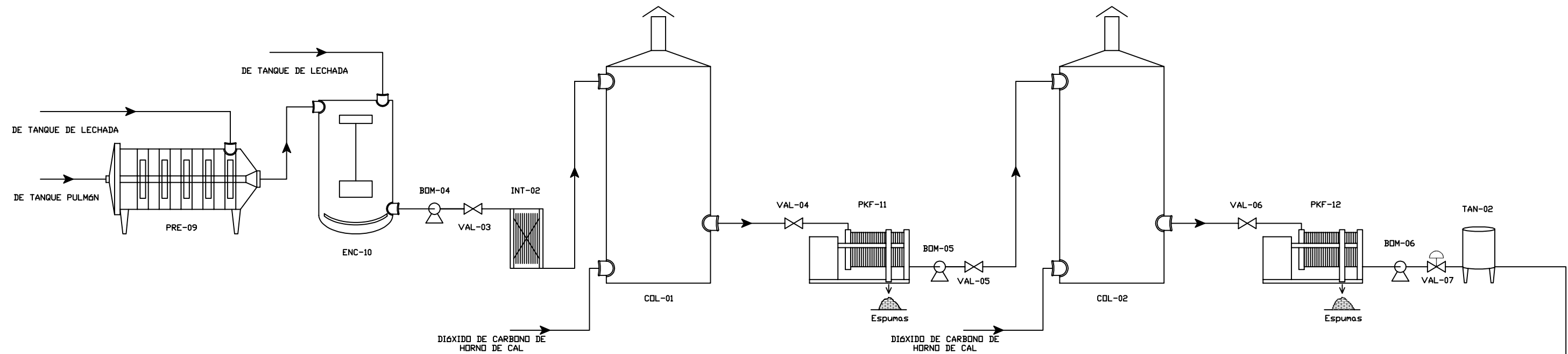
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE JARABE DE AZÚCAR A PARTIR DE REMOLACHA				
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	PETICIONARIO
DIBUJADO	MARZO 2010	M. IGLESIAS		FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA FACULTAD DE CÁDIZ
COMPROBADO				
APROBADO				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
1 : 250	IMPLANTACIÓN			02 de 06
				Sustituye a:



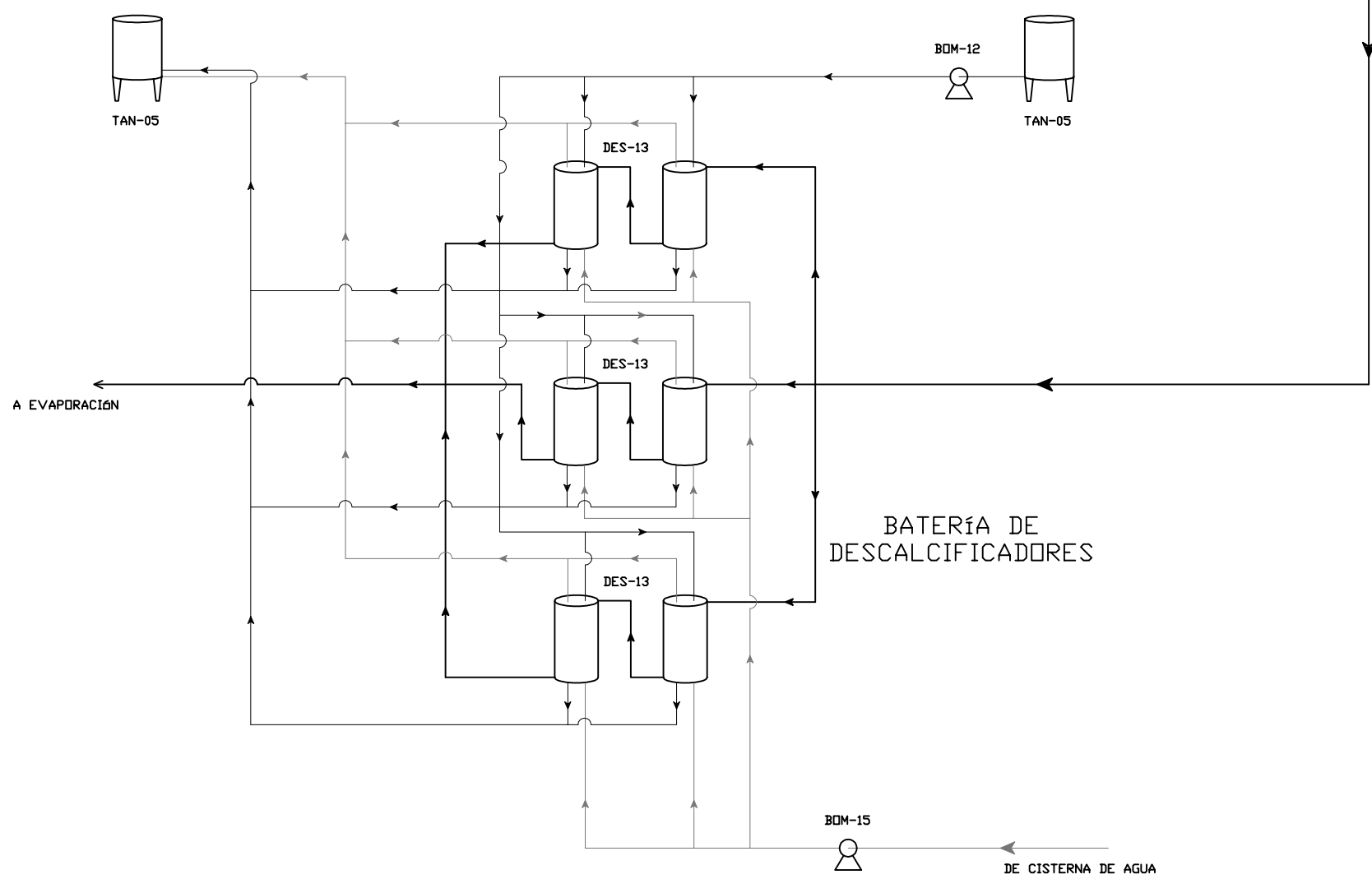
DENOMINACIÓN	EQUIPOS
DP-01	Despedrador
DH-02	Deshierbador
LAV-03	Lavador de tambor
DEC-04	Decantador
CIS-05	Cisterna de agua
TOL-06	Tolva de remolacha
MOL-07	Molino de tambor
DIF-08	Difusor
INT-01	Intercambiador de calor
TAN-01	Tanque pulmón
CIN-01	Cintas transportadoras
CIN-02	Cintas transportadoras



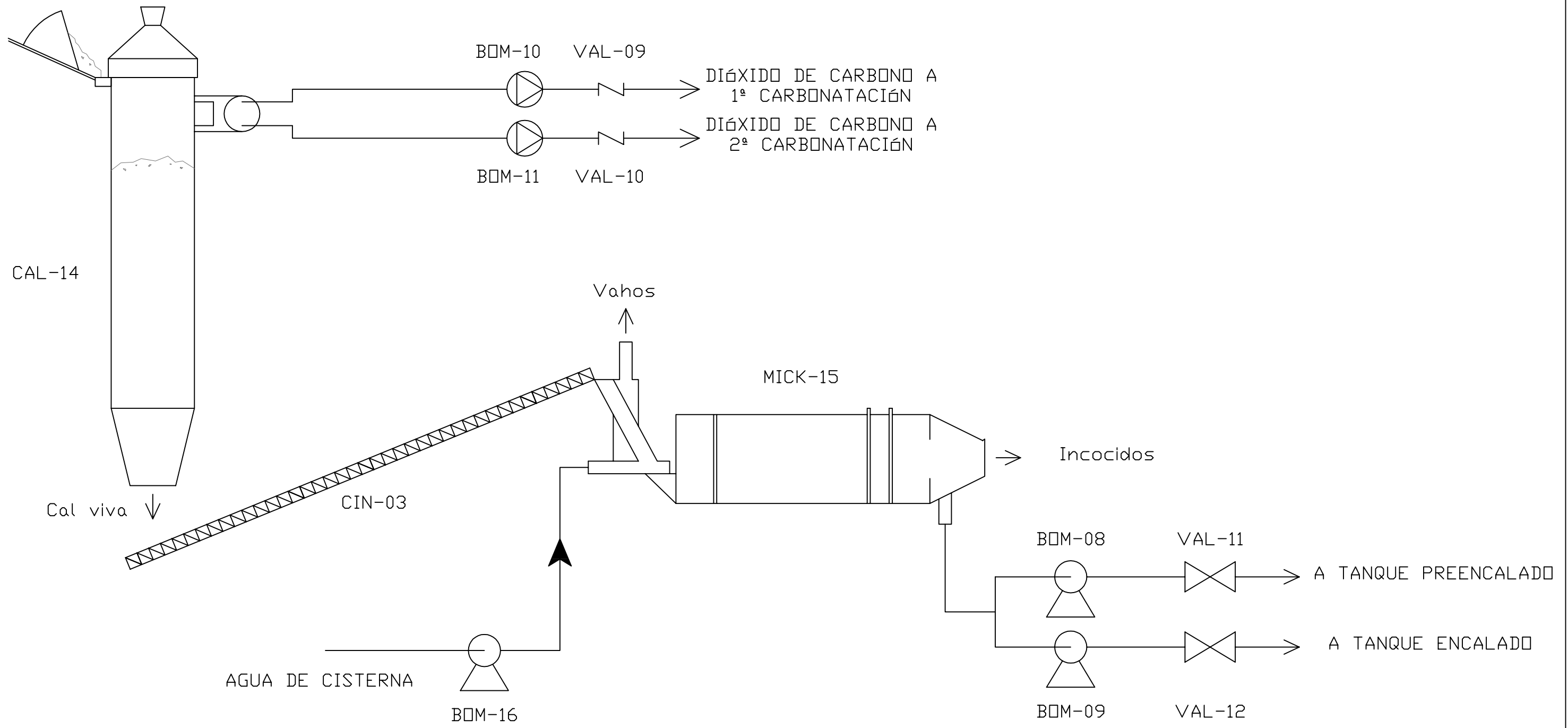
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE JARABE DE AZÚCAR A PARTIR DE REMOLACHA				
DIBUJADO	FECHA	NOMBRE	FIRMA	PETICIONARIO
COMPROBADO	MARZO 2010	M. IGLESIAS		FACULTAD DE CIENCIAS
APROBADO				INGENIERÍA QUÍMICA
ESCALA	DESIGNACIÓN	N.º DE PLANO		
N.T.S.	DIAGRAMA DE FLUJO	03 de 06		
ACONDICIONAMIENTO Y DIFUSIÓN				Sustituye a:



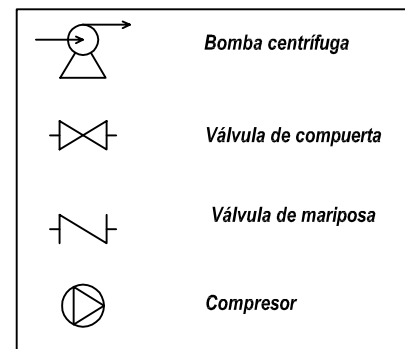
DENOMINACIÓN	EQUIPOS
PRE-09	Tanque preencalado
ENC-10	Tanque encalado
COL-01	Columna 1ª carbonatación
COL-02	Columna 2ª carbonatación
PKF-11	Filtro prensa
PKF-12	Filtro prensa
TAN-02	Tanque pulmón
INT-02	Intercambiador de calor
DES-13	Descalcificadores
TAN-05	Tanque de sosa
TAN-06	Tanque de vertido



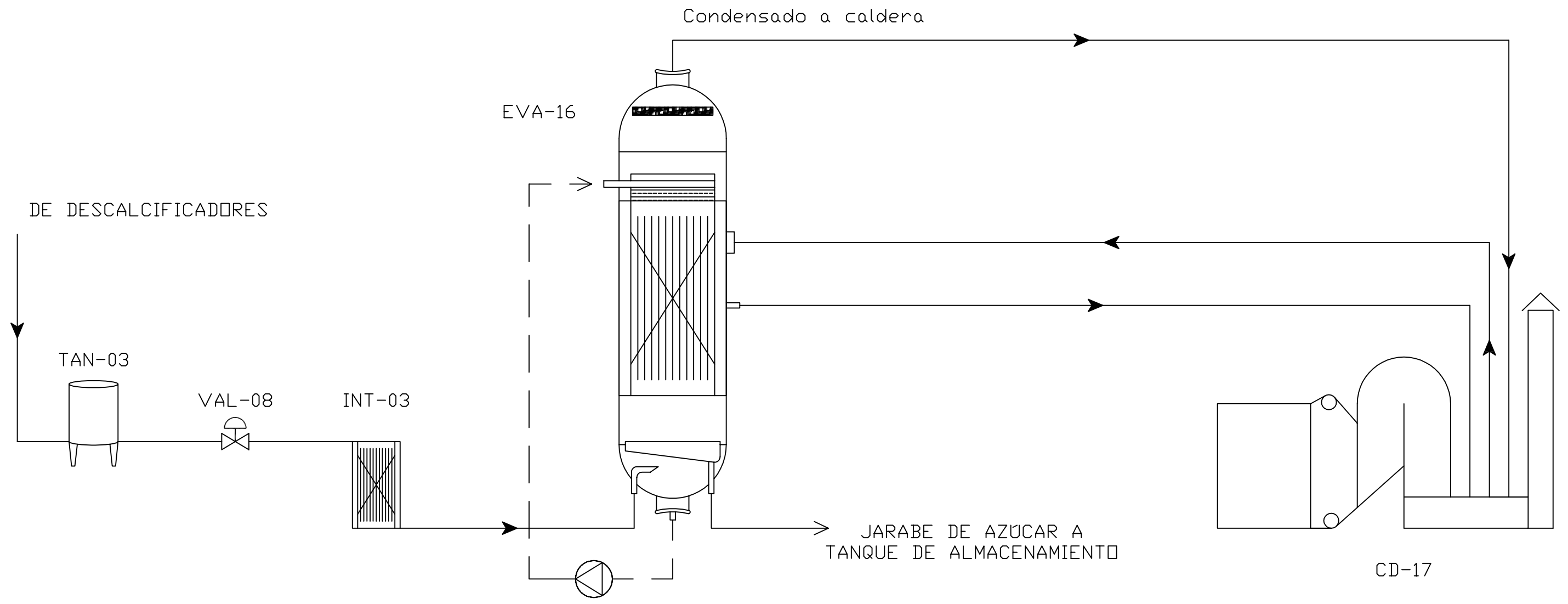
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE JARABE DE AZÚCAR A PARTIR DE REMOLACHA				
DIBUJADO	FECHA	NOMBRE	FIRMA	PETICIONARIO FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA FACULTAD DE CÁDIZ
COMPROBADO	MARZO 2010	M. IGLESIAS		
APROBADO				
ESCALA	DESIGNACIÓN	DIAGRAMA DE FLUJO PURIFICACIÓN		Nº DE PLANO 04 de 06
N.T.S.				Sustituye a:



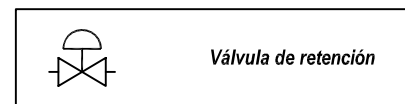
DENOMINACIÓN	EQUIPOS
CAL-14	Horno de cal
MICK-15	Equipo de lechada
CIN-03	Cinta transportadora



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE JARABE DE AZÚCAR A PARTIR DE REMOLACHA				
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	PETICIONARIO
DIBUJADO	MARZO 2010	M. IGLESIAS		FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA
COMPROBADO				FACULTAD DE CÁDIZ
APROBADO				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
N.T.S.	DIAGRAMA DE FLUJO HORNO DE CAL Y TALLER DE LECHADA			05 de 06
Sustituye a:				



DENOMINACIÓN	EQUIPOS
TAN-03	Tanque pulmón
EVA-16	Evaporador Robert
INT-03	Intercambiador de calor
CD-17	Caldera de vapor
TAN-04	Tanque almacenamiento jarabe



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE JARABE DE AZÚCAR A PARTIR DE REMOLACHA				
DIBUJADO	FECHA	NOMBRE	FIRMA	PETICIONARIO
COMPROBADO	MARZO 2010	M. IGLESIAS		FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA FACULTAD DE CÁDIZ
APROBADO				
ESCALA	DESIGNACIÓN	DIAGRAMA DE FLUJO		Nº DE PLANO
N.T.S.		EVAPORACIÓN		06 de 06
Sustituye a:				

# DOCUMENTO 3

Pliego de  
condiciones



**INDICE PLIEGO DE CONDICIONES**

<b>CAPÍTULO 1. Disposiciones generales.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1</b> Objetivo Pliego de Condiciones.....	4
<b>1.2</b> Documentación.....	4
<b>1.3</b> Contradicciones, omisiones o errores.....	5
<b>CAPITULO 2. Condiciones facultativas.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b> Obligaciones y derechos del contratista.....	7
2.1.1 Gastos del contratista.....	8
<b>2.2</b> Ejecución de obras.....	8
2.2.1 Comprobación del replanteo.....	9
2.2.2 Puntos del replanteo.....	9
2.2.3 Programación de trabajos.....	10
2.2.4 Plazos de ejecución.....	10
2.2.5 Maquinaria.....	11
2.2.6 Ensayos.....	11
2.2.7 Materiales.....	12
2.2.8 Acopios.....	13
2.2.9 Trabajos nocturnos.....	14
2.2.10 Accidentes de trabajo.....	14
2.2.11 Descanso en días festivos.....	15
2.2.12 Trabajos defectuosos.....	15
2.2.13 Señalización de obras.....	16
2.2.14 Precauciones especiales.....	16

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

2.3 Recepción provisional.....	17
2.4 Plazo de garantías.....	18
2.5 Recepción definitiva.....	18
<b>CAPÍTULO 3. Condiciones legales.....</b>	<b>20</b>
3.1 Adjudicación de obras.....	20
3.2 Contrato.....	20
3.2.1 Rescisión del contrato.....	20
3.3 Responsabilidad del contratista.....	22
3.4 Arbitrajes y jurisdicción.....	23
3.5 Seguridad.....	24
3.6 Licencias, permisos e impuestos.....	24
<b>CAPÍTULO 4. Condiciones económicas.....</b>	<b>25</b>
4.1 Garantía de contrato.....	25
4.2 Penalizaciones y bonificaciones.....	25
4.3 Fianzas.....	26
4.4 Precios unitarios.....	26
4.4.1 Variación de los precios unitarios.....	27
4.5 Precios no contratados.....	28
4.6 Pagos.....	28
4.6.1 Suspensión de pagos.....	29
4.7 Seguros.....	29

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<b>CAPÍTULO 5. Condiciones técnicas.....</b>	<b>30</b>
<b>5.1 Materiales.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2 Control de la calidad.....</b>	<b>30</b>

## CAPÍTULO 1. DISPOSICIONES GENERALES

### 1.1 Objetivo del pliego de condiciones

El objetivo del presente pliego de condiciones es establecer el conjunto de exigencias técnicas, económicas, administrativas y legales que han de regir para la ejecución del presente Proyecto de forma que pueda materializarse en las condiciones especificadas.

El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones. Del mismo modo, la administración puede conocer de forma detallada las diferentes tareas que se desarrollan durante la ejecución del Proyecto.

### 1.2 Documentación del pliego de condiciones

Los documentos que definen el proyecto pueden tener carácter contractual o meramente informativo. Los documentos con carácter contractual se entienden por aquellos que están incorporados en el contrato y que son de obligado cumplimiento. El presente Proyecto está integrado por los siguientes documentos:

- **Documento 1:** Memoria y Anexos
- **Documento 2:** Planos
- **Documento 3:** Pliego de condiciones
- **Documento 4:** Presupuesto

El documento 1 es de carácter meramente informativo, los demás son de carácter contractual.

### **1.3 Contradicciones, omisiones o errores**

En caso de contradicción entre Planos y Pliego de Condiciones prevalecerá lo indicado en este último. Lo mencionado en el Pliego de Condiciones y omitido en los Planos o viceversa, será aceptado como si estuviera expuesto en ambos documentos, siempre que, a juicio del director de obra, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y ésta tenga precio en el contrato.

Todas las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en el documento por el director de obra o contratista, deberán de reflejarse en el acta de comprobación.

## CAPÍTULO 2. CONDICIONES FACULTATIVAS

La dirección facultativa de las obras e instalaciones recaerá sobre un ingeniero técnico o superior quien dirigirá las labores de dirección, control o vigilancia de las obras del presente Proyecto.

Las funciones del ingeniero o director de obra serán las siguientes:

- Garantizar la ejecución de la obra tal y como se explica en el proyecto aprobado o con las debidas modificaciones autorizadas.
- Redactar las debidas condiciones técnicas que el presente Pliego de Condiciones deje a su decisión.
- Resolver cualquier cuestión técnica que surja en cuanto a los documentos se refiere, así como ordenar, dirigir y vigilar la ejecución material con arreglo al proyecto.
- Estudiar cualquier incidencia o problema planteado en las obras que impida el normal cumplimiento del contrato o aconseje su modificación tramitando las distintas propuestas.
- Actuar de manera procedente para obtener los debidos permisos oficiales y particulares y autorizaciones necesarias par ala ejecución de la obra.
- Asumir, bajo su responsabilidad, la dirección inmediata de determinadas operaciones, por lo cual, el contratista deberá poner a su disposición el personal y el material para la ejecución de la obra.
- Acreditar al contratista conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.
- No será responsable ante la tardanza de los organismos competentes en la tramitación del proyecto.

## 2.1 Obligaciones y derechos del contratista

El contratista asignará un jefe de obra como representante suyo autorizado que cuidará que los trabajos sean llevados de acuerdo al proyecto del contrato. Será autorizado por el contratista para recibir notificaciones escritas o verbales emitidas por la dirección facultativa. Cualquier cambio que el contratista desee realizar debe ser comunicado a la dirección facultativa.

El contratista, por si mismo o por su jefe de obra, estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará a la dirección facultativa en las visitas que realicen a la obra. Así mismo, asistirá el mismo o por medio de sus representantes a las reuniones que se convoquen con motivos de las obras.

Habilitará en la obra una oficina en la que estará una copia de los documentos del proyecto para cualquier tipo de consulta. Si alguna parte de la obra no quedará suficientemente especificada en esta documentación, no se realizará hasta que la dirección facultativa diera las indicaciones precisas y concretas de su ejecución.

El contratista debe estar informado de cualquier aclaración, interpretación o modificación de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los Planos, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán por escrito al contratista, estando obligado a devolver su firma de enterado.

El contratista podrá subcontratar a otros contratistas e industriales sin perjuicio de sus obligaciones como contratista general de la obra. Se permitirá las subcontrataciones siempre y cuando la empresa subcontratada garantice los niveles de formación y seguridad para realizar los trabajos mencionados.

Se considerará causa de despido del contratista, el incumplimiento de las instrucciones dadas por el director de obra, la manifiesta incapacidad de

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

realización de su trabajo y la realización de actos que comprometan o perturben la marcha de los trabajos.

### **2.1.1 Gastos por cuenta del contratista**

Serán de cuenta del contratista, siempre que el contrato no se prevea explícitamente lo contrario, los siguientes gastos:

- Los gastos de construcción y retirada de toda clase de construcciones auxiliares.
- Los gastos de alquiler o adquisición del terreno para depósito de maquinarias y materiales,
- Los gastos de protección de acopios y de la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los requisitos vigentes para el almacenamiento de explosivos y carburantes.
- Los gastos de limpieza y evacuación de desperdicios de basuras.
- Los gastos de suministro, colocación y conservación de señales de tráfico balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de las obras.
- Los gastos de montaje, conservación y retirada de instalaciones para el suministro de agua y la energía eléctrica necesaria para las obras.
- Los gastos de demolición y desmontaje de las instalaciones provisionales.
- Los gastos de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puesta de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.



## **2.2 Ejecución de obras**

Los trabajos preparatorios para el inicio de las obras consistirán en la comprobación del replanteo, fijación y conservación de los puntos de replanteo y programación de los trabajos.

### **2.2.1 Comprobación del replanteo**

A partir de 15 días de la adjudicación definitiva se comprobarán en presencia del director de obra auxiliado por el personal necesario y por el contratista o su representante, se procederá al replanteo de la obra.

El acta de comprobación del replanteo reflejará la conformidad o disconformidad del replanteo respecto a los documentos del proyecto, refiriéndose expresamente a las características geométricas de los trabajos, así como cualquier punto que en caso de disconformidad pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Cuando el acta de comprobación refleje alguna modificación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de su nuevo presupuesto, valorado a los precios del contrato.

### **2.2.2 Puntos del replanteo**

La comprobación del replanteo debe incluir como mínimo los datos y referencias previstas para poder materializar las obras, así como los puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalles y de otros elementos que puedan estimarse precisos.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Los datos, cotas y puntos fijados en el replanteo, se anotarán en un anexo en el acta de comprobación del replanteo, el cuál se unirá al expediente de las obras, entregando una copia al contratista.

### **2.2.3 Programación de trabajos**

En el plazo que se determine en días hábiles a partir de la comprobación del acta de comprobación del replanteo, el adjudicatario presentará el programa de trabajos de las obras. Dicho programa incluirá los siguientes datos:

- Fijación de las clases de obras y trabajos que integran el proyecto e indicación de las mismas.
- Determinación de los medios necesarios, instalaciones, equipos y materiales.
- Valoración mensual y acumulada de la obra, programada sobre la base de precios unitarios de adjudicación.
- Representación gráfica de las diversas actividades mediante un diagrama P.E.R.T.

Cuando del programa de trabajos se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado por el adjudicatario y por la dirección técnica de las obras, acompañándose de la correspondiente propuesta de modificación para su tramitación reglamentaria.

### **2.2.4 Plazos de ejecución**

El contratista empezará las obras al día siguiente de la fecha del acta de comprobación del replanteo, debiendo quedar terminado en la fecha acordada en dicho acta.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### **2.2.5 Maquinaria**

El contratista quedará obligado a situar en las obras los equipos de la maquinaria que se comprometa a aportar en la licitación, y que el director de las obras considere necesario para el correcto desarrollo de las mismas. Dichos equipos de maquinaria deberán ser aprobados por el director.

La maquinaria y demás elementos de trabajo deberán estar en perfectas condiciones de funcionamiento y quedar adscritos a la obra durante el curso de la ejecución de las unidades en las que deban utilizarse. No podrán retirarse sin el consentimiento del director.

### **2.2.6 Ensayos**

El número de ensayos y su frecuencia, tanto sobre materiales como unidades de obras terminadas, será fijado por el director de la obra, y se efectuará con arreglo de las normas que afectan a cada unidad de obra o, en su defecto, con arreglo a las instrucciones que dicte el director de obra.

El adjudicatario abonará el costo de los ensayos que se realicen, que no podrá superar el 1% del presupuesto de adjudicación.

El contratista está obligado a realizar su autocontrol de cotas, tolerancias y geométricos en general, así como el de calidad mediante ensayos de materiales, densidades de compactación, etc. Se entiende que no se comunicará a la dirección de obra que una unidad de obra está terminada a juicio del contratista para su comprobación hasta que el mismo contratista, mediante su personal facultativo para el caso, haya hecho sus propias comprobaciones y ensayos y se haya asegurado de cumplir las especificaciones.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Así el contratista está obligado a disponer de los equipos necesarios para dichas mediciones.

### **2.2.7 Materiales**

Todos los materiales que se utilicen en las obras deberían cumplir las condiciones que se establecen en el Pliego de Condiciones, pudiendo ser rechazados, en caso contrario por el director de obra. Por ello, todos los materiales que se propongan ser utilizados en obra deben ser examinados y ensayados antes de su aceptación en primera instancia mediante el autocontrol del contratista y, eventualmente, con el control de la dirección de obra.

Cuando la procedencia de los materiales son esté fijada en el Pliego de condiciones técnicas, los materiales requeridos para la ejecución del contrato serán fijados por el contratista de las fuentes de suministro que este estime oportuno.

El contratista notificará al director, con la suficiente antelación, los materiales que se proponen utilizar y sus procedencias, aportando, cuando así lo solicite el director, las muestras y los datos necesarios para su posible aceptación, tanto en lo que se refiere a su cantidad como a su calidad.

En ningún caso podrán ser acoplados y utilizados en los trabajos materiales cuya procedencia no haya sido probada por el director.

Se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Manipulación de materiales.** Todos los materiales se manipularán con cuidado y de tal modo que se mantenga su calidad y aptitud para la obra.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- **Inspecciones en planta.** Si el volumen de la obra, la marcha de construcción y otras consideraciones lo justifican, el ingeniero puede proceder a la inspección material o de los artículos manufacturados en sus respectivas fuentes.
- **Inspección de los materiales.** Con objeto de facilitar la inspección y prueba de los materiales, el contratista lo notificará al ingeniero con dos semanas como mínimo de antelación a la entrega.
- **Materiales defectuosos.** Todos los materiales que no se ajusten a los requisitos del Pliego de Condiciones se considerarán defectuosos y, por tanto, se retirarán inmediatamente del lugar de la obra, a menos que el director de obra estime lo contrario. Los materiales rechazados, cuyos defectos se hayan corregido sustancialmente, no se utilizarán mientras no se le haya otorgado la aprobación.

### 2.2.8 Acopios

Quedará terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del director, efectuar acopio de materiales, cualesquiera que sea su naturaleza sobre la plataforma de obra y en aquellas zonas marginales que defina el director.

Se considera especialmente prohibido depositar materiales, herramientas, maquinarias, escombros o cualquier otro elemento no deseable en las siguientes zonas:

- Áreas de proceso adyacentes o limítrofes con la zona donde se realizan los trabajos,
- Desagües y zonas de trabajo en general.
- Vías de acceso a casetas de operación, puntos de reunión para estados de emergencia y puntos de situación de extintores.
- Calles, vías de circulación interior, tanto de la zona de construcción como de áreas de proceso adyacentes a ésta.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- En general, cualquier lugar en el que la presencia de materiales herramientas o utensilios puedan entorpecer las labores de mantenimiento de las unidades de proceso o pueda dificultar el proceso de emergencia de la planta.

Los materiales se almacenarán en forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de su utilización.

Las superficies empleadas en las zonas de acopios deberán acondicionarse de una forma que, una vez terminada su utilización, recuperen su aspecto original. Todos los gastos que de ello se deriven correrán por cuenta del contratista.

### **2.2.9 Trabajos nocturnos**

Los trabajos nocturnos deberán ser previamente autorizados por el director y solamente realizados en aquellas unidades de obra que así lo requieran. El contratista deberá instalar los equipos de iluminación y mantenerlos en perfecto estado mientras duren los trabajos nocturnos.

### **2.2.10 Accidentes de trabajo**

El contratista está obligado a contratar, para su personal, el seguro contra el riesgo por accidentes de trabajo, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de la Ley de Accidentes de Trabajo.

El contratista y la dirección de obra fijarán de antemano las condiciones de seguridad en las que se llevarán a cabo los trabajos objeto del presente Proyecto, así como pruebas, ensayos inspecciones y verificaciones necesarias,

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

que en cualquier caso deberán ser, como mínimo, las prescritas por los actuales reglamentos vigentes.

No obstante, en aquellos casos en el que el contratista o la dirección de obra consideren que se deben tomar disposiciones adicionales de seguridad, podrán tomarse éstas sin reserva alguna.

Por otra parte, el contratista será responsable de suministrar al personal a su cargo los equipos de protección individual adecuados para trabajar en condiciones de seguridad.

Asimismo, serán responsabilidad del contratista los posibles daños causados en las instalaciones, tanto terminadas o aún en construcción, ocasionados por personas ajenas a las obra durante el horario establecido de trabajo, así como de los accidentes personales que puedan ocurrir.

### **2.2.11 Descanso en días festivos**

En los trabajos concedidos en la contrata, se cumplirá puntualmente el descanso en días festivos, del modo que se señale en las disposiciones vigentes.

En casos excepcionales, en los que fuera necesario trabajar en dichos días, se procederá como indican las citadas disposiciones.

### **2.2.12 Trabajos defectuosos o no autorizados**

Los trabajos defectuosos no serán de abono, debiendo ser demolidos por el contratista y reconstruido en el plazo de acuerdo con las prescripciones del proyecto.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Si alguna obra no se hallase ejecutada con arreglo a las condiciones del contrato y fuera, sin embargo, admisible a juicio del ingeniero director de las obras, podrá ser recibida provisionalmente, y definitivamente en su caso, quedando adjudicatario obligado a conformarse sin derecho a reclamación con la rebaja económica que el ingeniero director estime, salvo en el caso de que el adjudicatario opte por la demolición a su costa y las rehaga con arreglo a las condiciones del contrato.

### **2.2.13 Señalización de las obras**

El contratista queda obligado a señalar a su costa las obras objeto del contrato, con arreglo a las instrucciones y uso que prescriba el director.

Las obras se ejecutarán de forma que el tráfico ajeno a ellas, encuentre en todo momento un paso en buenas condiciones de viabilidad y seguridad.

### **2.2.14 Precauciones especiales**

#### **❖ LLUVIA**

Durante la fase de construcción, montaje e instalación de obras y equipos, éstos se mantendrán en todo momento en perfectas condiciones de drenaje, Las cunetas y demás desagües se mantendrán de modo que no se produzcan daños. El equipo que no necesite revisión o inspección previa a su instalación no será desembalado hasta el momento de su utilización. Se protegerá al equipo desembalado de la lluvia mediante cubiertas y protectores adecuados.



### ❖ INCENDIOS

El contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes para la prevención y control de incendios y a las recomendaciones u órdenes que reciba el director. En todo caso, se adoptarán las medidas necesarias para evitar que se enciendan fuegos innecesarios, y será responsable de evitar la propagación de los que se requieran para la ejecución de las obras, así como de los daños y perjuicios que se puedan producir.

No obstante, el contratista podrá exigir el asesoramiento de un técnico de seguridad competente, elegido por la dirección, en todos los casos en los que se estime conveniente, y, particularmente, en aquellos en los que el riesgo de producción de incendio sea más elevado (soldadura, corte con soplete, etc.).

### **2.3 Recepción provisional**

El director de la obra junto con el propietario y el contratista, realizarán un examen global una vez terminados los trabajos.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se levantarán el acta de recepción provisional de las obras en donde constará la fecha y las condiciones de recepción de las mismas. Dicho documento será firmado por el director de obra, el propietario y el contratista. El plazo de garantía de la obra empezará a contar a partir de esta fecha.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acto, donde se especificarán los desperfectos encontrados y fijándose un plazo para subsanarlos, a cargo del contratista. Expirado el plazo, se efectuarán un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones, a fin de proceder a la recepción provisional de la obra. Si en dicho reconocimiento se comprueba que

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

los desperfectos aún no han sido subsanados, el director de obra, en nombre y representación de la propiedad encargará a otra entidad que las solucione con cargo a la fianza depositada por el contratista.

### **2.4 Plazo de garantías**

El plazo de garantía de las obras comprendidas en el Presente Proyecto, será de un año, contado a partir de la fecha de recepción provisional. Durante dicho período, las posibilidades de conservación, reparación y sustitución debidas a defectos, serán por cuenta del contratista, siendo éste el responsable de las faltas que puedan existir.

En definitiva, si se observa vicios e imperfecciones antes de efectuarse la recepción definitiva de la obra se dispondrá que el contratista demuela, reconstruya o repare, de su cuenta, las partes defectuosas.

### **2.5 Recepción definitiva**

Terminado el plazo de garantía, y previo a los trámites reglamentarios, se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras. Se habrán tenido que reconocer las mismas y que todas ellas se encuentren en las condiciones debidas. A partir de ese momento, el contratista quedará relevado de toda responsabilidad económica.

En caso de que al proceder al reconocimiento de las obras, estas no se encontrasen en estado de ser recibidas, se aplazará su recepción hasta que, a juicio del director de obra y dentro del plazo que se marque, queden las obras del modo y forma que se determinan en el presente Pliego de Condiciones.

Al proceder a la recepción definitiva de las obras, se extenderá por triplicado el acta correspondiente, en donde figurará la fecha de recepción

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

definitiva de las obras y la firma de cada una de las partes implicadas: director de obra, propiedad y contratista.

## **CAPÍTULO 3. CONDICIONES LEGALES**

El presente capítulo se establecerá las condiciones a tener en cuenta en el ámbito legal, para que se actúe de acuerdo a lo descrito en el presente Pliego de Condiciones.

### **3.1 Adjudicación de las obras**

La adjudicación de las obras se realizará por concurso. Las distintas ofertas presentadas deberán incluir como mínimo una estimación del precio y tiempo de ejecución y las calidades empleadas en las mismas.

### **3.2 El contrato**

El contrato se formalizará mediante documento privado o público según convenga a ambas partes, promotor y contratista. Se especificarán las particularidades que establezcan entre ambos.

Ambos, contratista y promotor, firmarán previamente el presente Pliego de Condiciones obligándose a su debido cumplimiento, siendo nulas las cláusulas que se opongan o anulen a las disposiciones del mismo.

La ejecución de las obras se contratará por unidades de obras, ejecutadas con arreglo a los documentos del proyecto. Se admitirán subcontratas con firmas especializadas.

#### **3.2.1 Rescisión del contrato**

Las causas de rescisión del contrato son las que se enumeran a continuación. Ninguna causa fuera de las expuestas en el presente Pliego de Condiciones será considerada para la rescisión del mismo.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- ❖ El incumplimiento por parte del contratista de las condiciones fijadas en el presente Pliego de Condiciones, tanto por negligencias propias como por cualquier otra causa.
- ❖ Las modificaciones del proyecto en tal forma que presente alteraciones fundamentales del mismo, a juicio del director de obra y en cualquier caso siempre que exista variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente como mínimo el 25 % del importe.
- ❖ Las modificaciones de unidades de obra, siempre que estas modificaciones, presenten variaciones como mínimo del 40 % de las unidades del proyecto modificadas.
- ❖ Cuando se llevara en el desarrollo de la obra una lentitud perjudicial para la buena marcha y terminación de las mismas.
- ❖ El no dar comienzo la contrata a los trabajos del plano señalado en las condiciones que marca el presente Proyecto.
- ❖ La suspensión de la obra comenzada y, en todo caso, siempre que por razones ajenas a la contrata no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de 3 meses, a partir de la fecha de adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será inmediata.
- ❖ La suspensión de la obra comenzada sin causa justificada.
- ❖ Cuando sea aprobado por el director de obra que el contratista hubiera procedido de mala fe o ignorancia con el suministro de materiales o en la ejecución de las obras.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- ❖ El incumplimiento de las instrucciones dadas por el director de obra al contratista.
- ❖ La no terminación de la obra en los plazos establecidos en el presente Pliego de Condiciones.
- ❖ Cuando el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas.
- ❖ La quiebra del contratista.
- ❖ La muerte o incapacidad del contratista.
- ❖ En los dos casos anteriores, si los herederos ofrecieran llevar a cabo las obras, bajo las mismas condiciones estipuladas en contrato, el propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que este último caso tengan aquellos derecho a indemnización alguna.

### **3.3 Responsabilidad del contratista**

El contratista será el responsable de la ejecución de la obra de acuerdo a los términos que se establecen en el contrato y en los documentos que componen el presente Proyecto. Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo lo mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que la dirección técnica haya examinado y reconocido la construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonas liquidaciones parciales.

Será responsabilidad del contratista el cumplimiento de todas las ordenanzas y disposiciones municipales que estén vigentes en la localidad donde la obra esté emplazada. Será responsable de todos los accidentes o

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

perjuicios de todo género que, por inexperiencia, descuido o incumplimiento de la legislación vigente en materia de seguridad, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas, ya que se consideran que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar dichas disposiciones legales.

El contratista deberá tener contratado un seguro que cubra las indemnizaciones a quienes correspondan, los perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de obras, quedando la propiedad eximida de dicha responsabilidad.

Serán de cargo y cuenta del contratista, todos los términos expuesto en el **capítulo 2.1** del presente Pliego de Condiciones, además del vallado y la política del solar, cuidando de la conservación de la zona colindante y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiere, u otras personas ajenas a las obras, no realicen actos que mermen o modifiquen la ejecución de la obra.

### **3.4 Arbitrajes y jurisdicción**

Para cuantas cuestiones, litigios o diferencias pudieran surgir después de los trabajos, las partes se someterán a juicios amigables componedores nombrado uno de ellos por el propietario, el otro por el contratista y tres ingenieros del colegio oficial correspondiente, uno de los cuáles será forzosamente el director de obra.

En caso de no haber llegado a un acuerdo por el anterior procedimiento, ambas partes quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones como derivadas de su contrato a las autoridades y tribunales administrativos competentes.

### **3.5 Seguridad**

El contratista estará obligado a adoptar todas las medidas de seguridad de acuerdo a las disposiciones vigentes para evitar, en lo posible, accidentes a los obreros o viandantes en todos los lugares peligrosos de la obra, así como los accidentes en zonas ajenas a la misma, pero derivados de dichas obras.

### **3.6 Licencias, permisos e impuestos**

El contratista deberá tramitar todas las licencias, permisos e impuestos necesarios para la normal ejecución de las obras, con excepción de las correspondientes a las expropiaciones y servicios definidos en el contrato, corriendo el pago de los mismos por cuenta del propietario.



## **CAPÍTULO 4. CONDICIONES ECONÓMICAS**

El presente capítulo se establecerá las condiciones a tener en cuenta en el ámbito económico, para que se actúe de acuerdo a lo descrito en el presente Pliego de Condiciones.

### **4.1 Garantía de contrato**

El director de obra podrá exigir al contratista la presentación de referencias o recibos de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éstas reúnen todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato. Dichas referencias, si son pedidas, las presentará el contratista antes de la firma del contrato.

De la misma manera, el contratista debe percibir el importe de los trabajos realizados, siempre que éstos se hayan ejecutado con arreglo y sujeción al Proyecto.

### **4.2 Penalizaciones y bonificaciones**

La cuantía y las condiciones de penalización económica a cargo del contratista será un documento que debe estar firmado por contratista y director de obra. En caso de retrasos en la ejecución de las obras se especificará esa cuantía y las condiciones de bonificación en beneficio del contratista, debido a adelantos en la ejecución de las obras.

No se considerarán causa de penalización, los retrasos en la ejecución de las obras debido a:

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- ❖ Incendios causados por electricidad atmosférica.
- ❖ Daños producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de río, y siempre que, exista la constancia de que el contratista tomó las medidas posibles, dentro de sus medios.
- ❖ Daños producidos por terremotos y maremotos.
- ❖ Destrozos causados violentamente.

### 4.3 Fianzas

El contratista deberá abonar una fianza del 5% del presupuesto de las obras adjudicadas, con vistas a responder del cumplimiento de lo contratado. Dicha fianza podrá ser depositada mediante cheque o aval bancario.

Si el contratista, se negase a hacer por cuenta los trabajos precisos para terminara la obra siguiendo los plazos establecidos, el director de obra en nombre de la representación de la propiedad, los ordenará ejecutar a un tercero, abonando su importe con la fianza depositada por el contratista sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el propietario.

La fianza depositada será devuelta al contratista una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra en un plazo que no excederá de treinta días. Siempre que el contratista haya acreditado por medio de un certificado del Alcalde del municipio en cuyo término se halle emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra él por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de los jornales o materiales, no por indemnización derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

### 4.4 Precios unitarios

Una vez adjudicada las obras, el contratista ha de presentar dentro de los quince días siguientes, los precios descompuestos de las unidades solicitadas.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

En el caso, de no presentar dicha documentación, indica que en su día acepta los precios descompuestos preparados por la Dirección.

La descomposición estará perfectamente detallada en cada unidad de obra, como se indica a continuación:

- ❖ Materiales, expresando las cantidades que en cada unidad de obra precisen de cada uno de ellos y su precio unitario respectivo al origen.
- ❖ Mano de obra por categorías dentro de cada oficio, expresando el número de horas invertidas por cada operario en la ejecución de cada unidad de obra y los jornales horarios correspondientes.
- ❖ Transporte de materiales, desde el punto de origen al pie de la obra, expresando el precio del transporte de unidades.
- ❖ Tanto por ciento de medios auxiliares y de seguridad sobre la suma de los conceptos anteriores en las unidades de obras que se precisen.
- ❖ Tanto por ciento de seguros sociales sobre el costo de la mano de obra, especificando la cuantía de cada concepto del seguro.
- ❖ Tanto por ciento de gastos generales, sobre la suma de los conceptos anteriores.
- ❖ Tanto por ciento del beneficio industrial del contratista, aplicando a la suma total de los conceptos anteriores.

El Precio de Ejecución Materiales es el resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos, a excepción del beneficio industrial. La suma de todas las cantidades se entiende que es el Precio de Ejecución por Contrata.

### **4.4.1 Variación de los precios unitarios**

En el caso de altas o bajas oficiales en el precio de los materiales, mano de obra o cualquier otro concepto modifique los precios unitarios base, el contratista tiene la obligación de comunicar en la fecha de dicha variación al

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

director de obra y al propietario, dichas valoraciones, así como una valoración exacta hasta el día citado de la obra ejecutada con su importe.

El contratista sólo tendrá derecho a las alzas oficiales de mano de obra personal que intervenga directamente en la obra o instalación, no afectando a la mano de obra de preparación de materia prima o detalles.

### **4.5 Precios no contratados**

Los precios de las unidades de obra, materiales y mano de obra que no figuren entre los precios contratados se fijarán contradictoriamente entre la dirección facultativa y el contratista.

El contratista formulará por escrito, bajo su firma, el precio que a su juicio debe aplicarse a la nueva unidad de obra. El director de obra, por su parte, fijará el precio que, a su juicio, debe aplicarse a dicha unidad. Si ambos son coincidentes, se formulará por parte del director de obra el acta de avenencia, quedando así formalizado el precio contradictorio. Si la discusión no llega a buenos resultados, el director de obra propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente.

### **4.6 Pagos**

Los pagos se efectuarán por el propietario al contratista en los plazos establecidos en el contrato e informará de si su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra expedidas por el director de obra, en virtud de las cuales se verifican.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### **4.6.1 Suspensión por retraso de pagos**

En ningún caso podrá el contratista, alegando retraso de pagos, suspender trabajos ni ejecutarlos a menor ritmo que el que le corresponda, con arreglo al plazo en que deban terminarse. Cuando el contratista proceda de dicha forma, el propietario podrá rescindir de la contrata.

### **4.7 Seguros**

El contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva. La cuantía del seguro coincidirá, en todo momento, con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la sociedad aseguradora, en caso de siniestro, se ingresará a cuenta a nombre de la propiedad, para que a cargo de ella se abone la obra que se construya y conforme ésta se valla realizando.

El contratista deberá tener contratado un seguro de responsabilidad civil que cubra las indemnizaciones causadas por accidentes o perjuicios derivados de las obras, quedando la propiedad eximida de dicha responsabilidad.

## **CAPÍTULO 5. CONDICIONES TÉCNICAS**

El presente capítulo se establecerá las condiciones a tener en cuenta en el ámbito técnico para que se actúe de acuerdo a lo descrito en el presente Pliego de Condiciones.

### **5.1 Materiales**

Los materiales estarán libres de defectos, irregularidades, etc que puedan dificultar su instalación o montaje o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso, pudiendo la dirección técnica desechar aquellos que a su juicio no reúnan las características necesarias.

### **5.2 Control de calidad**

Previamente al inicio de las obras, el contratista deberá presentar al director facultativo el Plan de Control de Calidad y el de puntos de Inspección y Control de la obra, que será de aplicación tanto en la obra civil como a los equipos eléctricos y mecánicos a instalar. Éste, deberá de presentar su aprobación antes de iniciar las obras.

Para la ejecución de todas las unidades de obra, se someterán a los controles establecidos por la normativa legal vigente de aplicación. En los mencionados planes se recogerá, de forma clara y explícita, toda la información necesaria para el control de la calidad.

Los equipos vendrán con los correspondientes certificados de origen, pruebas y garantías que deberá aportar el proveedor de los mismos, así como las pruebas y ensayos a realizar en la obra.

# DOCUMENTO 4

Presupuesto

## ÍNDICE PRESUPUESTO

<b>1. Alcance del presupuesto.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Método de calculo.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Justificación del coste de los equipos.....</b>	<b>3</b>
3.1 Variación del Índice de Marshall&Swift.....	4
3.2 Coeficiente para el cálculo de los honorarios.....	5
<b>4. Costes de los equipos principales.....</b>	<b>5</b>
4.1 Coste de equipos proporcionados por empresas.....	5
4.2 Estimación de costes a partir de curvas de costes.....	6
<b>5. Costes asociados a equipos principales.....</b>	<b>13</b>
<b>6. Costes de equipos auxiliares.....</b>	<b>13</b>
6.1 Costes asociados a equipos auxiliares.....	15
<b>7. Costes de los tanques de almacenamiento.....</b>	<b>15</b>
7.1 Costes asociados a los tanques de almacenamiento.....	16
<b>8. Cuadro de precio final.....</b>	<b>17</b>
8.1 Precio de ejecución por contrata (PCE).....	18
8.2 Impuesto sobre valor añadido (I.V.A).....	18
8.3. Honorarios profesionales.....	18
<b>9. Presupuesto Total.....</b>	<b>20</b>



# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## 1. ALCANCE DEL PRESUPUESTO

Completado el alcance técnico de la ingeniería básica de diseño, se presenta el siguiente presupuesto. Se pretende disponer del coste real de la planta objeto de estudio una vez construida e instalada.

## 2. MÉTODOS DE CÁLCULO

El presupuesto se compone de los costes de las distintas partidas (equipos principales, equipos auxiliares y tanques). El presupuesto de los equipos principales se estimará a partir de tablas y curvas de costes, así como por datos proporcionados por las distintas empresas y páginas de Internet. A su vez, se añadirá al coste total de todos los equipos una serie de partidas asociadas a los costes agrupadas como se detallan a continuación. La suma de todos los equipos y las partidas asociadas dan lugar al coste total de la instalación.

Las partidas del presente documento son las siguientes:

- ❖ **Equipos principales:** despedrador, desyerbador, lavadero, tolva molino, molino, difusor, tanque preencalado, tanque encalado, columnas de carbonatación, sistema de intercambio iónico, evaporador, caldera y horno de cal.
  
- ❖ **Equipos Auxiliares:** bombas
  
- ❖ **Tanques de almacenamiento**

Las partidas se dividen a su vez en una serie de costes asociados:

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

- ❖ Tuberías: Incluye tanto el material de la tubería, válvulas y accesorios de la misma.
- ❖ Instrumentos: Dentro de este coste se incluye cualquier elemento de montaje de los instrumentos de la planta. Incluye material así como la parte proporcional del control.
- ❖ Electricidad: Esta partida asociada incluye el material eléctrico para mandos de motores, cableado eléctrico, etc. así como la mano de obra de su montaje.
- ❖ Calorifugado y pinturas: El material y la mano de obra será por contratatas.
- ❖ Estructuras de aceros: Dentro de este coste asociado se incluye hormigón, acero, encofrados y mano de obra necesaria para la ejecución de las distintas estructuras de acero y la cimentación del hormigón. Es realizado por subcontrato de la obra. No se incluye dentro de esta partida los costes por los distintos almacenes necesarios ni edificios complementarios.
- ❖ Edificios: Se incluye cualquier edificio que se construya en la planta, así sea de laboratorio, oficinas, edificio de almacenamiento.
- ❖ Varios: Cualquier coste que no se haya mencionado en las anteriores partidas.

### **3. Justificación del coste de los equipos**

En este apartado se incluyen los cálculos necesarios para la determinación de las características de cada equipo a partir de las gráficas que se disponen para tal fin. Así mismo, también se dispone de costes reales proporcionados por las distintas empresas de los equipos.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

Las tablas que sirven de base para la determinación de los costes del suministro de los equipos pertenecen al 2002 y al 1987, por lo tanto es necesario actualizar los valores obtenidos. Se aplicará el índice de variación de Marshall & Swift desde el 1987 y 2002 hasta el 2009.

Igualmente, a la hora de calcular los honorarios, hay que aplicar una serie de factores. Primero se debe corregir el P.E.M y después ese dato se vuelve a corregir según la actividad profesional que se desarrolla.

### **3.1 Variación del Índice de Marshall & Swift**

Según la pagina web Chemical Engineering, los índices de Marshall & Swift son los siguientes:

- **M&S(1987)= 830**
- **M&S(2002)= 1.104,2**
- **M&S(2009)= 1.462,9**

Los factores que se aplican a los precios de los equipos en el año 1987 y 2002 son:

$$\frac{M \& S(2009)}{M \& S(1987)} = \frac{1.462,9}{830} = 1,8$$

$$\frac{M \& S(2009)}{M \& S(2002)} = \frac{1.462,9}{1.104,2} = 1,3$$

Por tanto se tiene:

$$F_p(1987) = 1,8$$

$$F_p(2002) = 1,3$$

# Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

## **3.2 Coeficiente para el cálculo de honorarios**

Para el cálculo de los honorarios se corrige el “Precio de ejecución por contrata” (P.E.M) aplicando una serie de porcentajes a distintas cantidades para corregirlo. Estas cantidades y sus correspondientes coeficientes son los siguientes:

- ❖ Hasta 6.000 euros, se aplica coeficiente 1
- ❖ Al exceso hasta 30.000 euros, se aplica coeficiente de 0,6
- ❖ Al exceso hasta 150.000 euros, se aplica un coeficiente de 0,5
- ❖ Al exceso hasta 300.000 euros, se aplica coeficiente 0,4
- ❖ Al exceso hasta 600.000 euros, se aplica coeficiente 0,3
- ❖ Al exceso hasta 3.000.000 euros, se aplica coeficiente 0,2
- ❖ Al exceso hasta 6.000.000 euros, se aplica coeficiente 0,1

## **4. Costes de los equipos principales**

En este apartado se determinará los precios de los equipos principales mencionados en el apartado 2 del presente documento. Se diferencia entre los costes de equipos proporcionados por las distintas empresas distribuidoras y una estimación de costes a partir de curvas.

### **4.1 Costes equipos proporcionados por empresa**

La **Tabla 4.1** muestra los costes de los equipos proporcionados por las distintas empresas.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

EQUIPO	MARCA/MODELO	PRECIO (€)
TOLVA DE REMOLACHA	PUTSCH, TOL14.000/60	3.500
INTERCAMBIADOR IÓNICO	DUPLEX INDUSTRIAL-NSTACIÓN 2. 3 BATERIAS	21.800
HORNO DE CAL	EMISON,CAL 20	40.800
CALDERA	SERVITEC, SERIE GPT5000	150.000
DIFUSOR	UNISYSTEMS, CDU-2 W30	1.400.000

**Tabla 4.1** Costes de los equipos proporcionados por las empresas

### 4.2 Estimación de costes a partir de curvas y tablas de costes

Las curvas de costes encontradas en la web están realizadas por el Centro Nacional de Energía y Tecnología del Oeste de Virginia, Estados Unidos, 2002. A continuación se estimarán los costes de los equipos principales:

#### 4.2.1 Coste del despedrador

Conociendo el material que está fabricado mayoritariamente el despedrador, acero al carbono y, su peso en vacío, 9.000 kg, se estiman los costes utilizando la **Tabla A.1.1 del Anexo X**. El coste base que se obtiene para el acero al carbono es de 2,04 €/kg. Por lo tanto el coste de suministro es igual:

$$Coste_{suministro} = Coste_{base} * Peso equipo = 18.360 \text{ euros}$$

Para determinar el coste del equipo una vez instalado, se hace uso de la siguiente expresión:

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

$$\text{Coste}_{total1987} = \text{Coste}_{suministro} * (1 + k); k = 0,2 \text{ (equipos a nivel del suelo)}$$

$$\text{Coste}_{total1987} = 22.032 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{total2009} = 39.658 \text{ euros}$$

### **4.2.2 Coste del desyerbador**

Se establece la estimación de su coste del mismo modo que para el equipo anterior.

El material de construcción del desyerbador es acero al carbono y el peso en vacío del mismo es de 2.646 euros, por tanto se tiene un coste base de 2,87 €/kg acero.

$$\text{Coste}_{suministro} = \text{Coste}_{base} * \text{Peso equipo} = 7.594 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{total1987} = \text{Coste}_{suministro} * (1 + k); k = 0,2$$

$$\text{Coste}_{total1987} = 9.113 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{total1987} = 16.403 \text{ euros}$$

### **4.2.3 Coste del lavador de tambor**

El peso vacío del lavador de tambor es de 35.000 kg. Del mismo modo que en casos anteriores, está construido de acero al carbono. El coste base del lavador de tambor es de 1,98 €/kg acero. Por lo tanto se tiene:

$$\text{Coste}_{suministro} = \text{Coste}_{base} * \text{Peso equipo} = 69.300 \text{ euros}$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

$$Coste_{total1987} = Coste_{suministro} * (1 + k); k = 0,2$$

$$Coste_{total1987} = 83.160 \text{ euros}$$

$$Coste_{total2009} = 149.688 \text{ euros} * 2 \text{ unidades} = 299.376 \text{ euros}$$

### **4.2.4 Coste del decantador**

El peso aproximado del decantador es 8.000 kg, por lo tanto haciendo uso de la **Tabla A.10.1** se tiene un coste base de acero al carbono de 2,10 €/kg de acero, por tanto:

$$Coste_{suministro} = Coste_{base} * \text{Peso equipo} = 16.800 \text{ euros}$$

$$Coste_{total1987} = Coste_{suministro} * (1 + k); k = 0,2$$

$$Coste_{total1987} = 20.160 \text{ euros}$$

$$Coste_{total1987} = 36.288 \text{ euros}$$

### **4.2.5 Coste del molino**

Teniendo en cuenta la **Tabla A.10.3** y conociendo la potencia del motor de dicho molino (150 HP) se estima el coste del molino en:

$$Coste_{equipo2002} = 116.894 \text{ euros}$$

$$Coste_{total2002} = Coste_{suministro} * (1 + k); k = 0,2$$

$$Coste_{total2002} = 140.244 \text{ euros}$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

$$\text{Coste}_{total2009} = 182.317 \text{ euros}$$

### **4.2.6 Coste de los tanques preencalado y tanque de encalado**

Para estimar estos costes se ha tenido en cuenta que, por una parte el tanque de preencalado se puede asimilar a un depósito horizontal, con un volumen de 14 m<sup>3</sup> (3.000 galones) y el tanque de encalado, no es más que un tanque vertical con agitador de 9 m<sup>3</sup> (2.000 galones). A partir de la **Tabla A.10.4** y **A.10.5** respectivamente, se obtiene el coste del equipo y el coste del equipo una vez instalado.

- **Tanque de preencalado**

$$\text{Coste}_{equipo2002} = 12.457 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{instalado2002} = 17.510 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{total2009} = 22.763 \text{ euros}$$

- **Tanque de encalado**

$$\text{Coste}_{equipo2002} = 11.745 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{instalado2002} = 87.053 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{total2009} = 113.169 \text{ euros}$$



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 4.2.7 Columnas de carbonatación

Las columnas de carbonatación tienen un  $D = 4,342$  m y una  $H = 9,601$ . La **Tabla A.10.6. Anexo X** presenta costes de columnas empacadas hasta un diámetro de 3,5 ft (1,067 m). Para una altura de 30 ft (9,144 m) se estima un coste de columna:

$$\text{Coste}_{\text{equipo2002}} = 21.639 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{\text{instalado2002}} = 96.662 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{\text{total2009}} = 125.661 \text{ euros} * 2 \text{ unidades} = 251.321 \text{ euros}$$

### 4.2.8 Coste de los filtros

A partir de la **Tabla A.10.4.** y conociendo la máxima capacidad de los filtros, se obtiene el valor del coste de los filtros. Se estima el coste en:

$$\text{Coste}_{\text{total2002}} = 61.127 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{\text{total2009}} = 79.465 \text{ euros}$$

### 4.2.9 Coste del evaporador

El coste del evaporador se estima a partir del **Gráfico A.10.8** y conociendo el dato del área de transferencia de calor, en el caso objeto de estudio es de aproximadamente  $2200 \text{ m}^2$  (23.681 ft), por lo tanto si se observa la tendencia del gráfico, se puede estimar que cuesta alrededor de 1.500.000 \$ (1.067.000 euros).

$$\text{Coste}_{\text{total2009}} = 1.387.100 \text{ euros}$$

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### **4.2.10 Coste de los intercambiadores de calor**

Los tres intercambiadores de calor que se diseñan tienen condiciones de operación similares, por lo que a partir de la **Tabla A.10.9** para un área de aproximadamente 140 m<sup>2</sup> (1.500 ft<sup>2</sup>) se tiene:

$$\text{Coste}_{\text{equipo2002}} = 51.306 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{\text{instalado2002}} = 89.163 \text{ euros}$$

$$\text{Coste}_{\text{total2009}} = 115.912 \text{ euros} * 3 \text{ unidades} = 347.736 \text{ euros}$$

En la **Tabla 4.2.** se muestra los costes de todos los equipos principales implicados en la planta.

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<b>EQUIPO</b>	<b>MARCA/MODELO</b>	<b>PRECIO (€)</b>
<b>DESPEDRADOR</b>	PUTSCH, TSA3000	39.658
<b>DESYERBADOR</b>	PUTSCH, TYP-BZK1000	16.403
<b>LAVADOR TAMBOR</b>	PUTSCH, 2800	299.376
<b>TOLVA DE REMOLACHA</b>	PUTSCH, TOL14.000/60	3.500
<b>MOLINO</b>	PUTSCH, TSM 1600-42-600	182.317
<b>DECANTADOR</b>	ERAL, T05	36.288
<b>DIFUSOR</b>	UNISYSTEMS, CDU-2 W30	1.400.000
<b>TANQUE PREENCALADO</b>	PUTSCH	22.763
<b>TANQUE ENCALADO</b>	PUTSCH	113.169
<b>COLUMNAS DE CARBONATACIÓN</b>	PUTSCH	251.321
<b>FILTROS PKF</b>	PUTSCH, PKF100	79.465
<b>INTERCAMBIADOR IÓNICO</b>	DUPLEX INDUSTRIAL-NSTAIÓN2	21.800
<b>EVAPORADOR</b>	GEA PHE SYSTEMS, EVAPLUS	1.387.100
<b>CALDERA</b>	SERVITEC, SERIE GPT5000	150.000
<b>HORNO DE CAL</b>	EMISON, CAL20	40.800
<b>INTERCAMBIADORES DE CALOR</b>	API HEAT TRANSFER	347.736
<b>COSTE TOTAL EQUIPOS PRINCIPALES</b>		<b>4.391.696</b>

**Tabla 4.2.** Costes totales de equipos principales

## 5. Costes asociados a los equipos principales

Para estimar los costes asociados a los equipos se hará uso de la **Tabla A.10.10 del Anexo X**. Considerando el coste de suministro de los equipos de 4.391.696 €, se halla el coste asociado aplicando una serie de porcentajes donde se incluyen tanto el material como la mano de obra necesaria para llevar a cabo el montaje de las distintas partida que componen el coste, obteniendo los siguientes resultados:

CONCEPTO	FACTOR	IMPORTE
Estructuras	54	23.715.516
Edificios	103	4.523.447
Aislamiento equipos	151	6.631.461
Instrumentos	46	2.020.180
Electricidad	83	3.645.108
Tuberías	80	3.513.357
Pintura	30,5	1.339.467
Varios	44	1.932.346
COSTE ASOCIADO A EQUIPOS PRINCIPALES(2002)		25.977.882
<b>COSTES ASOCIADOS A EQUIPOS PRINCIPALES (2009)</b>		<b>33.769.946</b>

**Tabla 5.1.** Coste asociado a equipos principales

## 6. Costes de los equipos auxiliares

En este caso, los equipos auxiliares son las bombas. Se dispone de 16 bombas en la planta diseñada, en su mayoría bombas centrifugas axiales. También se dispone de una bomba especial para el transporte de la remolacha y dos compresores de gas a la salida del horno.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El coste de suministro de las bombas se estima a partir de la **Tabla A.10.11**, conociendo la capacidad máxima de cada modelo de bomba. Se añade el coste de la bomba de remolacha y el coste de los dos compresores rotatorios.

<b>Nº BOMBA</b>	<b>LINEA</b>	<b>FLUIDOS</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>PRECIO (€)</b>
1	1	Agua transporte	PUTSCH®	DN 150 (6")	12.654
2	15	Agua lavado	CALPEDA®	N4-80-250B	4.700
3	2	Jugo difusión	CALPEDA®	N4-40-160C	3.400
4	4	Jugo encalado	CALPEDA®	N4-40-160C	3.400
5	6	Jugo filtrado de 1ª	CALPEDA®	N4-40-160C	3.400
6	8	Jugo filtrado de 2ª	CALPEDA®	N4-40-160C	3.400
7	10	Jugo-Anteevaporación	CALPEDA®	N4-32-125A	3.400
8	12	Lechada	DEBEM®	MB-80	3.400
9	12	Lechada	DEBEM®	MB-80	3.400
10	13	CO <sub>2</sub>	MAPNER®	R.12.N	26.134
11	13	CO <sub>2</sub>	MAPNER®	R.12.N	26.134
12	14	Hidróxido sódico	CALPEDA®	N4-32-125A	3.400
13	15	Agua a lavadero	CALPEDA®	N4-32-125A	3.400
14	16	Agua a difusor	CALPEDA®	N4-40-160C	3.400
15	17	Agua descalcificadores	DEBEM®	MB-80	3.400
16	18	Agua a tanque lechada	DEBEM®	MB-80	3.400
<b>COSTE<sub>TOTAL2002</sub> SUMINISTRO BOMBAS</b>					<b>110.422</b>
<b>COSTE TOTAL SUMINISTRO BOMBAS</b>					<b>143.549</b>

**Tabla 6.1** Coste de suministro de bombas

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

### 6.1 Costes asociados a los equipos auxiliares

Se tiene en cuenta la **Tabla A.10.12** que muestra distintos porcentajes de costes asociados a equipos en las que se incluyen las bombas. Se cuenta con un coste de suministro de bombas de 143.549 euros. En la **Tabla 7.1** se muestra los costes asociados al coste de suministro de las bombas.

CONCEPTO	FACTOR	IMPORTE
Tuberías	26,9	38.615
Instrumentos	3,8	5.455
Electricidad	54	77.516
Obra civil	11,4	16.365
Calorifugado	4,8	6.890
Montaje mecánico	47,4	68.042
Pinturas	4,1	5.886
COSTES ASOCIADOS EQUIPOS AUXILIARES (2002)		218.769
<b>COSTES ASOCIADOS EQUIPOS AUXILIARES (2009)</b>		<b>284.400</b>

**Tabla 7.1** Costes asociados a equipos auxiliares

## 7. Costes de los tanques de almacenamiento

Los precios de los tanques existentes en la planta objeto de estudio han sido proporcionados por las distintas empresas proveedoras de los mismos y estimados a partir de la **Tabla A.10.12 del Anexo X**. En la **Tabla 8.1** se muestra un resumen con el tipo y modelo del tanque y su precio total.

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

<b>EQUIPO</b>	<b>MARCA/MODELO</b>	<b>PRECIO (€)</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>PRECIO TOTAL (€)</b>
<b>TANQUES 01,02,03</b>	AQUA PURIFICATION SYSTEMS, TECNOPLAS, TAN22.000/ESTÁNDAR	25.826	3	77.478
<b>TANQUE 04</b>	AQUA PURIFICATION SYSTEMS, TECNOPLAS, TAN5.000	284.274	1	284.274
<b>TANQUE VERTIDO Y TANQUE NaOH (TAN-05 Y TAN-06)</b>	AQUA PURIFICATIONS SYSTEMS, TECNOPLAS, TAN1000/ESTANDAR	3.570	2	7.140
<b>CISTERNA AGUA</b>	TOTAAGUA, CVCFP-150	80.504	1	80.504
<b>COSTE SUMINISTRO TANQUES</b>				<b>449.396</b>

**Tabla 8.1.** Coste de suministro tanques de la planta

### **7.1 Costes asociados a los tanques de almacenamiento**

En la tabla inferior se muestran los costes asociados a los tanques de almacenamiento.

## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

CONCEPTO	FACTOR	IMPORTE
Tuberías	26,9	120.888
Instrumentos	3,8	17.077
Electricidad	54	242.674
Obra civil	11,4	51.231
Calorifugado	4,8	21.571
Pinturas	4,1	18.425
COSTES ASOCIADOS EQUIPOS AUXILIARES (2002)		471.866
<b>COSTES ASOCIADOS A EQUIPOS AUXILIARES (2009)</b>		<b>613.426</b>

Tabla 8.1. Costes asociados a los tanques de almacenamiento

### 8. Cuadro de precios final

En el presente capítulo se muestra una tabla resumen con los costes de suministros y los costes asociados a cada una de las partidas que componen el presupuesto, así como los costes totales de los mismos.

PARTIDA	COSTE SUMINISTRO (euros)	COSTE ASOCIADO (euros)	COSTE TOTAL (euros)
Equipos principales	4.391.696	33.769.946	38.161.642
Bombas	143.549	284.400	427.949
Tanques de almacenamiento	449.396	613.426	1.062.822
<b>TOTAL</b>	<b>4.984.641</b>	<b>34.657.772</b>	<b>39.652.413</b>

Tabla 8.1 Total costes de ejecución material (P.E.M)



## Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

El resultado final refleja el precio de ejecución por contrata (P.E.M) y se obtiene como resultado de la suma de los costes de suministro total de todos los equipos principales, auxiliares y tanques de almacenamiento, el coste asociado a cada uno de ellos y el coste de montaje de los mismos.

### **8.1 Precio de ejecución por contrata**

El precio de ejecución por contrata (P.E.C) tiene en cuenta el beneficio industrial de la contrata que realiza la obra. Su valor se determina incrementando un 15 % el precio de ejecución material.

$$P.E.C = 1,15 * P.E.M = 45.600.275 \text{ euros}$$

### **8.2 Impuesto sobre el valor añadido**

El valor del impuesto sobre el valor añadido (I.V.A) se determina como el 16 % del precio de ejecución por contrata (P.E.C)

$$I.V.A = 0,16 * P.E.C = 7.296.044 \text{ euros}$$

### **8.3 Honorarios profesionales**

Se consideran como honorarios profesionales los que corresponden a beneficio del autor del presente Proyecto, en concepto de realización de cálculos, diseño de planos y redacción de todos los documentos del Proyecto. Se determina como un porcentaje del precio de ejecución material (P.E.M) denominado "precio de ejecución corregido". Estos porcentajes y cantidades están reflejados en el **apartado 3.2.**

A continuación la **tabla 8.2** muestra los precios corregidos

Planta de producción de jarabe de azúcar a partir de remolacha

CANTIDAD	PRECIO	COEFICIENTE	PRECIO CORREGIDO
Hasta 6.000	6.000	1	6000
6.000-30.000	30.000	0,6	18.000
30.000-150.000	150.000	0,5	75.000
150.000-300.000	300.000	0,4	120.000
300.000-600.000	600.000	0,3	180.000
600.000-3.000.000	3.000.000	0,2	600.000
Resto	35.566.413	0,1	3.556.641
<b>Total</b>	<b>39.652.413</b>	<b>P.E.M corregido</b>	<b>4.555.641 euros</b>

Tabla 8.2. Precios corregidos

Los honorarios profesionales para este tipo de proyectos corresponden al 10% del precio de ejecución material corregido. Esto es:

$$\text{Honorarios profesionales} = 455.564 \text{ euros}$$

## **9. Presupuesto total**

El valor al que asciende el coste de la planta se obtiene al sumar los costes de ejecución por contrata (P.E.C), el impuesto sobre el valor añadido (I.V.A) y los honorarios profesionales.

$$\text{Coste total} = 45.600.275 + 7.296.044 + 455.641 = 53.351.960 \text{ euros}$$

**El coste total de la planta proyectada asciende a cincuenta y tres millones trescientos cincuenta y un mil novecientos sesenta euros.**

**Puerto Real, Febrero 2009**

**Fdo. Marta Iglesias Zamora**

