

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales.

## Proyecto de Instalaciones Necesarias en una Planta Azucarera.

Autor: Amalia García-Vellido Santías  
Tutor: Emilio Romero Rueda.

Dep. PROYECTOS DE INGENIERIA  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017





# **Proyecto de Instalaciones Necesarias en una Planta Azucarera.**

Autor:  
Amalia García-Vellido Santías.

Tutor:  
Emilio Romero Rueda.

Dep. proyectos de ingeniería.  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado: Proyecto de Instalaciones Necesarias en una Planta Azucarera.

Autor: Amalia García-Vellido Santías.  
Tutor: Emilio Romero Rueda.

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal



*A mi tutor Emilio Romero Rueda,  
por su tiempo y dedicación*

*A mi familia, por su apoyo  
incondicional.*





# Resumen

---

En la actualidad, existen multitud de fábricas destinadas a la producción. Este trabajo se centra en las fábricas de producción de azúcar, que en España reciben remolacha como materia prima y siguen unos procesos similares, todas ellas, hasta la obtención del azúcar. Aquí, se estudia cada una de las etapas que se suceden hasta la obtención del producto final. Además, todo lo ilustrado en la memoria se complementa con una representación en 3D, diseñada con el programa Sketchup, en el que se plasma todo lo estudiado en los capítulos anteriores: La fábrica con toda la maquinaria y elementos necesarios para el fin de la misma.



# Índice

---

Resumen.....	ix
Índice .....	xi
Índice de Tablas.....	xiii
Índice de Ilustraciones .....	xiv
Índice de Gráficos.....	xvii
<b>1 Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 CONTENIDO Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	1
1.2 HISTORIA DEL AZÚCAR.....	1
1.3 EL AZÚCAR EN EUROPA.....	2
1.4 EL AZÚCAR EN ESPAÑA.....	4
1.5 MATERIAS PRIMAS EN LA OBTENCIÓN DE AZÚCAR.....	6
<b>2 Procesos productivos .....</b>	<b>11</b>
2.1 PROCESO PRODUCTIVO PARTIENDO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	12
2.2 PROCESO PRODUCTIVO PARTIENDO DE REMOLACHA.....	15
<b>3 Obtención de azúcar de remolacha.....</b>	<b>17</b>
3.1 RECEPCIÓN, Y TRANSPORTE A LA ESTACION DE LAVADO.....	17
3.2 TRANSPORTE DE REMOLACHA.....	20
3.3 SEPARADORES DE PIEDRAS Y HIERBAJOS.....	21
3.4 LAVADO DE REMOLACHA.....	23
3.5 CORTE EN COSETAS DE LA REMOLACHA.....	26
3.6 DIFUSIÓN.....	29
3.7 DEPURACIÓN DEL JUGO (PURIFICACIÓN, SEDIMENTACIÓN Y FILTRACIÓN).....	36
3.8 EVAPORACIÓN DEL JUGO:.....	39
3.9 CRISTALIZACIÓN Y CENTRIFUGACIÓN.....	43
3.10 SECADO, ALMACENAMIENTO Y ENVASADO.....	49
3.11 DISTRIBUCIÓN.....	52
<b>4 Subproductos de la fábrica.....</b>	<b>53</b>
<b>5 Instalaciones auxiliares para procesos.....</b>	<b>55</b>
5.1 PRODUCCIÓN DE LECHADA DE CAL Y GAS CO <sub>2</sub> .....	56
5.2 LABORATORIO DE REMOLACHA.....	58
5.3 AGOTAMIENTO DE LA MELAZA.....	59
5.4 ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE LA PULPA.....	60
5.5 INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.....	63
5.6 PRODUCCIÓN DE VAPOR Y ELECTRICIDAD.....	70
5.7 INSTALACIÓN SATÉLITE DE GAS NATURAL.....	75
5.8 INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN Y VENTILACIÓN.....	79
5.9 INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	85
5.10 INSTALACIÓN DE ALUMBRADO EN LA FÁBRICA:.....	87
5.11 RED DE SANEAMIENTO.....	88
5.12 ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES.....	89
5.13 SUMINISTRO DE AGUA.....	96

5.14	PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS [PCI].	100
<b>6</b>	<b>Layout.</b>	<b>111</b>
6.1	EXTERIOR.	111
6.2	ZONA DE OFICINAS.	115
6.3	VIALES.	118
6.4	Laboratorio.	120
6.5	INSTALACIONES AUXILIARES.	121
6.6	PROCESO.	123
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>131</b>
<b>8</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>133</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1: Regulación en las fábricas azucareras en año 1890 y 1903	4
Tabla 2: producción de remolacha en España	5
Tabla 3: Contenido de sacarosa en diferentes especies vegetales	6
Tabla 4: Temperaturas de reproducción	35
Tabla 5: Requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales (Tipos A,B,C)	106
Tabla 6: Requisitos de las instalaxciones industriales de protección contra incendios de los establecimientos industriales (Tipos D, E)	106
Tabla 7: Requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales	107

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

Ilustración 1-1: Estructura Sacarosa [1]	6
Ilustración 1-2: La remolacha azucarera	8
Ilustración 1-3 Evotranspiracion y transpiración de la remolacha [2]	8
Ilustración 1-4 Evotranspiración de un cultivo [2]	9
Ilustración 2-1: Esquema del proceso productivo a partir de remolacha. [2]	16
Ilustración 3-1: Diagrama de la recepción de remolacha y almacenamiento [3]	18
Ilustración 3-2: Descarga de remolachas [4]	19
Ilustración 3-3 Remolachas apiladas [4]	19
Ilustración 3-4: Equipos separadores	20
Ilustración 3-5: Diagrama del transporte hasta la lavadora de remolacha.	21
Ilustración 3-6: Equipos separadores. [3]	21
Ilustración3-7: Equipo separador de piedras. [5]	22
Ilustración 3-8: Equipo separador de hierbajos. [6]	22
Ilustración 3-9: Equipo separador de hierbajos y malezas. [6]	23
Ilustración 3-10: Proceso de lavado de remolacha.	24
Ilustración 3-11: Esquema lavadora de brazos [3]	24
Ilustración 3-12: Imagen lavadora de brazos [7]	25
Ilustración 3-13: Esquema lavadora de tambor. [3]	25
Ilustración 3-14: Imagen lavadora de tambor. [8]	25
Ilustración 3-15: Etapa de corte en cosetas. [3]	26
Ilustración 3-16: Tolva de entrada de remolacha. [9]	26
Ilustración 3-17: Corte de remolacha en cosetas. [3]	27
Ilustración 3-18: Sistema de corte marca [9]	28
Ilustración 3-19: Cuchillos para las cortadoras. [9]	28
Ilustración 3-20: Esquema de las cuchillas. [9]	29
Ilustración 3-21: Diagrama de la estación de difusión.	29
Ilustración 3-22: Cinta transportadora de cosetas. [9]	30
Ilustración 3-23: Tolva de distribución de cosetas. [9]	30
Ilustración 3-24: Instalación de difusión. [10]	31
Ilustración 3-25: Difusión [10]	32
Ilustración 3-26: Célula de remolacha.	34
Ilustración 3-27: Esquema difusor.	34
Ilustración 3-28: Defeco-carbonatación.	37
Ilustración 3-29:Filtros de espesamiento del proceso [3]	38
Ilustración 3-30: Evaporador [11]	39
Ilustración 3-31: Evaporador múltiple efecto [3]	40
Ilustración 3-32: Evaporadores de efecto múltiple [12]	41
Ilustración 3-33: Intercambiador de tubos.	41
Ilustración 3-34: Intercambiador de calor de placas. [13]	42
Ilustración 3-35: Intercambiador de calor de placas II. [13]	42
Ilustración 3-36: Componentes de la masa cocida	43
Ilustración 3-37: Proceso de cristalización. [14]	44
Ilustración 3-38:Esquema cristalización.	45
Ilustración 3-39: Diagrama del proceso de cristalización. [15]	45
Ilustración 3-40: Tachas [10]	47

Ilustración 3-41: Cristalizador. [10]	48
Ilustración 3-42: Centrifugas [10]	48
Ilustración 3-43: Sistema secador de tambor. [10]	50
Ilustración 3-44: Silos de Azúcar [16]	51
Ilustración 3-45: Big bags [17]	52
Ilustración 4-1: Pulpa prensada en pellets. [14]	53
Ilustración 4-2: Suministros de pulpa. [14]	53
Ilustración 5-1: Esquema instalación.	56
Ilustración 5-2: Horno para producir cal y gas carbonico. [18]	57
Ilustración 5-3: Partes del horno.	57
Ilustración 5-4: Análisis de remolacha en el laboratorio.	58
Ilustración 5-5: Laboratorio de remolacha.	58
Ilustración 5-6: Melaza	59
Ilustración 5-7: Almacenamiento de melaza	59
Ilustración 5-8: Esquema estación tratamiento pulpa.	60
Ilustración 5-9: Prensas de pulpa I. [19]	60
Ilustración 5-10: Prensas de pulpa II. [19]	60
Ilustración 5-11: Equipo para secar la pulpa. [20]	61
Ilustración 5-12	62
Ilustración 5-13: Estación de aire comprimido [21]	63
Ilustración 5-14: Compresor con depósito integrado [22]	63
Ilustración 5-15: Aftercooler con deshumidificador incorporado. [22]	64
Ilustración 5-16: Depósito de acumulación vertical [22]	65
Ilustración 5-17 Compresor con depósito integrado [22]	66
Ilustración 5-18: Filtro de aire. [22]	67
Ilustración 5-19: Filtro de membrana [22]	68
Ilustración 5-20: Regulador de presión y filtro [22]	70
Ilustración 5-21: Esquema producción de vapor.	70
Ilustración 5-22: Producción con y sin cogeneración [3]	72
Ilustración 5-23: Caldera acuotubular. [23]	73
Ilustración 5-24: vista isométrica de la instalación. [24]	75
Ilustración 5-25: Alzado de la instalación. [24]	75
Ilustración 5-26: Estación de descarga. [24]	76
Ilustración 5-27: Depósito de almacenamiento. [24]	76
Ilustración 5-28: Vaporizador. [24]	77
Ilustración 5-29:Evaporadores ambientales. [24]	78
Ilustración 5-30: Recalentador de gas natural. [24]	78
Ilustración 5-31: Válvula de corte. [24]	78
Ilustración 5-32: Equipo autónomo de generación de calor [25]	79
Ilustración 5-33: Enfriadora aire-agua. [26]	79
Ilustración 5-34: Fan-coil [27]	80
Ilustración 5-35: Climatizador. [28]	81
Ilustración 5-36: Recuperadores entálpicos	82
Ilustración 5-37: Símbolo atmósfera explosiva. [29]	83
Ilustración 5-38: Equipos para ATEX [30]	84
Ilustración 5-39:Clarificador.	96
Ilustración 5-40: Instalación ACS [31]	98
Ilustración 5-41: Intercambiador de calor de placas [32]	99
Ilustración 5-42: Algoritmo de actuación.	100
Ilustración 5-43: Clasificaciones para establecimientos industriales	101
Ilustración 5-44:Niveles de riesgo intrínseco. [33]	104
Ilustración 5-45: Esquema general de los contenidos de "protección pasiva" en el CTE	105
Ilustración 5-46:Señal pulsador de alarma.	108
Ilustración 5-31:Señal extintor.	108
Ilustración 5-48: Señal boca de incendio equipada.	109

Ilustración 5-49: Señal salida de emergencia.	110
Ilustración 5-50: Transformador [34]	85
Ilustración 6-1: Vista de la planta II	112
Ilustración 6-2: Entrada al solar	112
Ilustración 6-3: Zona de aparcamientos	113
Ilustración 6-4: Básculas para camiones y casetilla de seguridad	113
Ilustración 6-5: Laboratorio de remolacha y estacionamiento camiones.	114
Ilustración 6-6: Cuarto del azúcar, nave envasado y oficinas.	114
Ilustración 6-7: Zona de procesos exterior	115
Ilustración 6-8: Viales	118
Ilustración 6-9: Proceso de descarga	119
Ilustración 6-10: Proceso de carga de camiones	120
Ilustración 6-11: Laboratorio.	121
Ilustración 6-12: Instalaciones auxiliares I	122
Ilustración 6-13: Instalaciones auxiliares II	122
Ilustración 6-14: Descarga remolachas	123
Ilustración 6-15: Cintas transportadoras y zona de lavado	124
Ilustración 6-16: Zona de pretratamiento y lavado	124
Ilustración 6-17: Zona de procesos	125
Ilustración 6-18: Evaporación y transporte al cuarto del azúcar	125
Ilustración 6-19: Cuarto del azúcar	126
Ilustración 6-20: Silos de almacenamiento de azúcar.	126
Ilustración 6-21: Silos y nave de almacenamiento	127
Ilustración 6-22: Envasado en big bags	128
Ilustración 6-23: vista almacén	128
Ilustración 6-24	129
Ilustración 6-25	129
Ilustración 6-26: Edificio de oficinas.	115
Ilustración 6-27:Entrada a las oficinas	116
Ilustración 6-28	116
Ilustración 6-29	117
Ilustración 6-30: Áreas de la planta superior.	117



# ÍNDICE DE GRÁFICOS

---

Gráfico 1: Incremento en la producción de azúcar 1850-1885	2
Gráfico 2: Fábricas por país productor de azúcar	3
Gráfico 3:Azúcar producido por país en toneladas	3



# 1 INTRODUCCIÓN

---

**E**n este primer capítulo se comenzará haciendo una breve introducción acerca del contenido y el alcance de este proyecto, para comprender los objetivos que se han querido alcanzar y la situación de la que se ha partido, además se explicará la estructura seguida con la intención hacer al lector más sencilla la comprensión del texto.

## 1.1 CONTENIDO Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.

Como indica el título de este Trabajo de Fin de Grado, el objetivo principal del mismo es la definición de las instalaciones necesarias para una planta azucarera, que se completa además con un diseño en 3D hecho con el programa Sketchup de una planta azucarera con todas las instalaciones que la constituyen.

Para esto, se debe comenzar entendiendo como se produce el azúcar y las materias primas de las que procede, que son la caña de azúcar y la remolacha, la composición del azúcar es siempre la misma, aunque la materia prima de la que procesa sea distinta.

La estructura que seguirá el trabajo será la siguiente:

En este capítulo de introducción se tratará de contextualizar el azúcar explicando la situación europea y española, además se explicará en detalle las dos materias primas: remolacha y azúcar.

En los dos capítulos posteriores se explicarán detalladamente los procesos productivos que se sigue en la planta azucarera en función de si esta trabaja con caña de azúcar o con remolacha azucarera. Debido a que en España abunda la remolacha este texto se centrará en una planta que reciba remolacha.

## 1.2 HISTORIA DEL AZÚCAR.

Desde la antigüedad, el ser humano conoce el azúcar en forma de miel o contenida en frutas. El azúcar cristalizado, se cree que provenía de la India, y era conocido en Persia por el 332 a.C

En Europa el consumo de azúcar era un lujo al que no todo el mundo podía acceder, y fueron los Cruzados los que expandieron esta costumbre al continente.

Tras el descubrimiento de América se empezó a introducir el cultivo de caña de azúcar, pero no fue hasta el año 1747 cuando Andreas Marggraf, químico alemán, descubrió la presencia de azúcar en algunas variedades de remolacha, pero había un inconveniente, el proceso que utilizaba no era económico ya que la cantidad de azúcar contenida en la remolacha era notablemente baja, (no se extraía más que el 0,5 al 1,6% de azúcar)

Aunque con los años hubo algunos avances en el proceso, la industria naciente no hubiese podido resistir la competencia de la caña de azúcar, de no haber sido por las guerras de Napoleón Bonaparte y el bloqueo de los ingleses, que privó a Europa de productos coloniales.

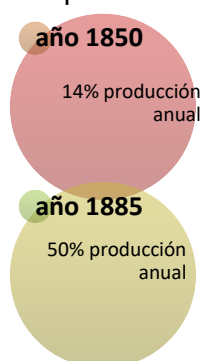
Por el año 1812, Napoleón Bonaparte creó cinco escuelas de Química azucarera, subvencionando el cultivo y construyendo fábricas, un año después pasaron a ser 40 fábricas francesas y la producción global había alcanzado 1400 t.

Después de la derrota de Waterloo sólo una fábrica mantuvo sus actividades, pero la prueba de viabilidad del azúcar de remolacha estaba hecha.

El rendimiento pasó de 2 a 5 Kgs. de azúcar por 100 de remolacha y, para el año 1.830, había en Francia cien azucareras que producían un total de 2600 toneladas de azúcar.

El comienzo de la industria azucarera de remolacha era definitivo y en 1.877 se creó la primera fábrica española de azúcar de remolacha en Alcolea.

Gracias a la disminución de precios de esta industria, consiguió formar parte del mercado competitivo de Europa.



El incremento en la producción fue rápido, pero a comienzos del siglo XXI, la tendencia a crecer se obstaculizó debido al azúcar de caña.

Actualmente, en el panorama europeo, y particularmente en España, predomina la producción de azúcar de remolacha frente a la caña de azúcar.

Gráfico 1: Incremento en la producción de azúcar 1850-1885

### 1.3 EL AZÚCAR EN EUROPA.

Como se ha explicado anteriormente, el azúcar es producido a partir de dos plantas: la caña de azúcar y la remolacha; la caña de azúcar es propia de climas tropicales mientras que la remolacha lo es de zonas templadas, pero esto no supone un cambio en su composición, que es independiente de su procedencia.

El consumo de azúcar en la UE ha permanecido aproximadamente constante en los últimos 20 años, y se estima en unos 90g de azúcar per cápita, según estimaciones del Comité Europeo de Fabricantes de Azúcar (CEFs). Sin embargo, es difícil estimar una cifra exacta en el consumo ya que el azúcar se consume tanto de forma directa, como en productos azucarados, estos a su vez, pueden ser de fabricación española o de importación. Además, se debe tener en cuenta que no todo el azúcar disponible es destinado a usos alimentarios.

Azúcar disponible para el consumo [producción + exportación]  $\neq$  Azúcar consumido.

Veintiún estados pertenecientes a la UE producen azúcar de remolacha, en total, la producción azucarera europea se sitúa entre 17 y 20 millones de toneladas mientras que el consumo europeo de azúcar se prevee en 16 mill de toneladas.

La remolacha es cultivada por 350.000 agricultores y la superficie ocupada es de 2,2 millones de hectáreas. Esta es transformada en 200 azucareras que dan empleo a 60.000 trabajadores.

A continuación, se muestran dos gráficas para comprender mejor la situación europea; La primera muestra el numero de fábricas del país, fuente iedar año 2010;

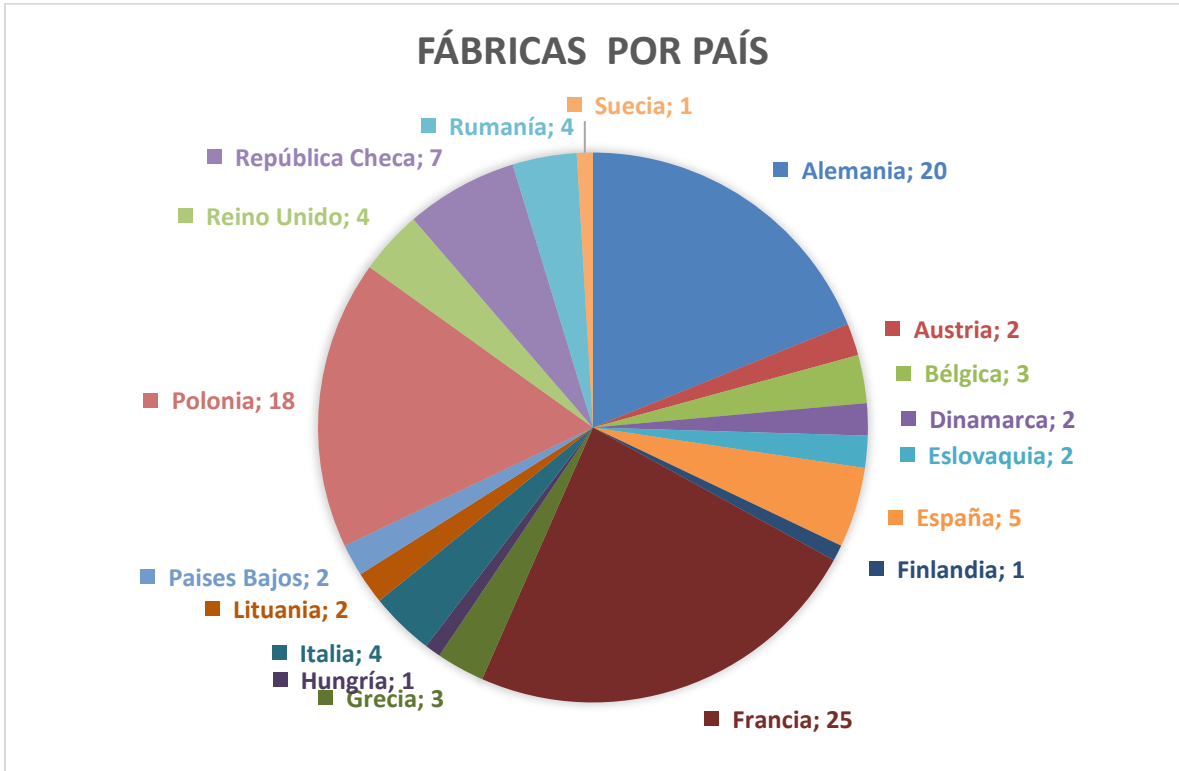


Gráfico 2: Fábricas por país productor de azúcar

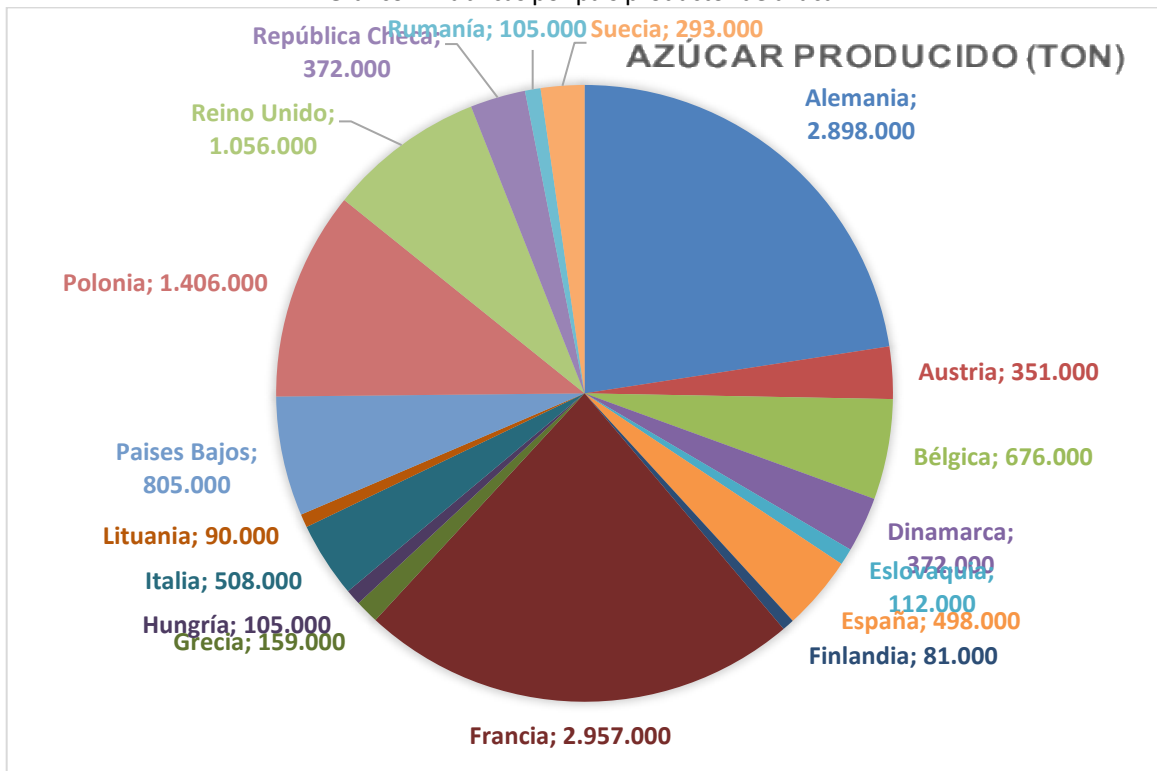


Gráfico 3:Azúcar producido por país en toneladas

## 1.4 EL AZÚCAR EN ESPAÑA.

### 1.4.1 CONTEXTO ESPAÑA:

La industria remolachero-azucarero comienza en España los últimos años del siglo XIX, coincidiendo con el auge de la importancia de la remolacha en la producción de azúcar. La gran implantación europea de la remolacha y la pérdida de influencia en la economía colonial europea en Cuba y Filipinas, fomentaron el comienzo de una industria propia. Las primeras semillas de remolacha que llegaron a España provenían de Alemania y Polonia.

En el año 1882, se crearon las dos primeras azucareras españolas de remolacha:

#### Ingenio San Juan

- Ubicación: Vega de Granada
- Capacidad: 50 t/día remolacha
- Dimensión: media en relación a las europeas

#### Santa Isabel

- Ubicación: Alcolea de Córdoba
- Capacidad: 20 t/día remolacha
- Dimensión: pequeña

Posteriormente, entre los años 1889-1920 se registraron 65 fábricas en España, debido a la expansión azucarera, este incremento hizo necesaria la regulación.

Tabla 1: Regulación en las fábricas azucareras en año 1890 y 1903

Año	Regulación	Objetivo
1890	Convenio entre agricultores y fabricantes	Potenciar y sanear el sector
1903	Creación Sociedad General Azucarera de España	Acabar con el desorden industrial azucarero debido al gran número de fábricas en España.

En los años entre 1921-1940, se destaca la sobreproducción y caída de precios, que llevaron a la creación en 1925 de una comisión mixta arbitral, que fijaba un mínimo de 350000 ton/anuales.

Desde el 1941 y hasta 1960 el número de azucareras es estable, también se produce el auge de la zona del Duero. Esta industria se consolida en España y se pretende la ampliación y mejora de las fábricas. Por este motivo se constituyó la "Asociación para la mejora del cultivo de remolacha", que contaba con la participación de todos los fabricantes de España. También se creó un sistema revolucionario en aquel momento que valoraba el precio de la remolacha en función del contenido en sacarosa, para alcanzar una mayor productividad, este sistema aún está vigente.

Los años posteriores a 1980 se caracterizaron por la adaptación de la industria a la UE, fue necesaria una reestructuración en el sector para mejorar en productividad y calidad, hubo que cerrar algunas fábricas, pero se ampliaron otras que comenzaron a trabajar con tecnología avanzada. Desde el año 1990 las industrias azucareras españolas se han centrado en la reestructuración y homologación conforme a los estándares europeos.

### 1.4.2 ACTUALIDAD:

Actualmente, esta industria es muy estable, en la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente se puede encontrar que la compra de azúcar en España ha permanecido constante en estos últimos años, y que este consumo es de unos 4 kg/habitante-año

El reglamento “OCM única” (Organización común de los mercados agrícolas) es el que regula la cuota de producción de azúcar de la UE y España. La actual cuota de producción de azúcar es de 498.480 toneladas, este volumen sólo cubre parte de la demanda interior que está en torno a 1.300.000 t. La otra parte de la demanda restante se cubre refinando azúcar de caña en crudo que es importada de terceros países.

En España, se cultivan alrededor de 27000 hectareas que producen cerca de 2 millones de toneladas de remolacha de recolección invernal en la Zona Norte y unas 9000 hectareas con una producción de 750.000 toneladas de remolacha de recolección estival en la Zona Sur

En cuanto a las principales zonas de España donde se cultiva la remolacha tenemos, por orden de importancia:

Tabla 2: producción de remolacha en España

Comunidad Autónoma		Hectáreas	Toneladas
Castilla y león	Valladolid	7042 ha	584.056 t
	León	5218 ha	401.037 t
Andalucía	Sevilla	5.739 ha	590.000 t
	Cádiz	2795 ha	210.550 t
País Vasco	Álava	2.240 ha	163.520 t
La Rioja		1.257 ha	115.300 t
Navarra		118 ha	12.780 t

Cabe destacar que Andalucía, produce prácticamente el total de remolacha de recolección estival, y que las demás comunidades pertenecen a la recolección invernal.

Actualmente, la producción de azúcar en España desde la campaña 09/10 se realiza en 5 fábricas:



## 1.5 MATERIAS PRIMAS EN LA OBTENCIÓN DE AZÚCAR

En la obtención de azúcar, lo que interesa es el contenido en sacarosa de la materia prima. La sacarosa es un disacárido formado por una molécula de fructosa y otra de glucosa, su fórmula molecular es  $C_{12}H_{22}O_{11}$

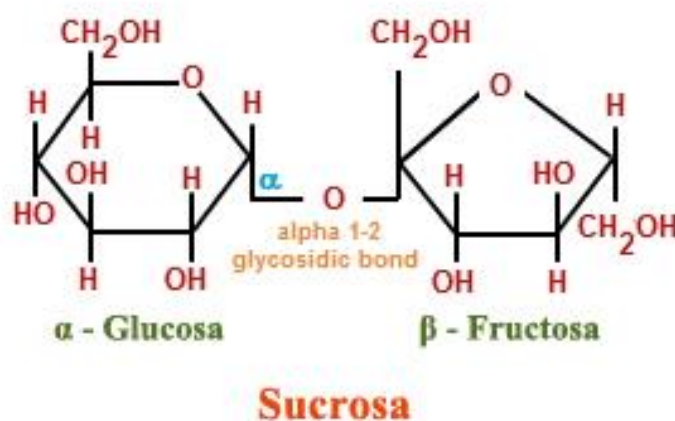


Ilustración 1-1: Estructura Sacarosa [1]

En la naturaleza la sacarosa se encuentra en distintas partes de las plantas como hojas, tallos, futos, semillas, raíces, y ramas. El contenido en sacarosa varía según la especie, como puede verse en la **tabla 3**.

De todas las especies presentes en la tabla solo se usan industrialmente como materias primas la caña de azúcar y la raíz de la remolacha. Aunque ambas son muy parecidas en cuanto a su contenido en azúcar, difieren en el contenido en no-azúcares, esto es lo que justifica la existencia de dos industrias; una de producción de azúcar a partir de remolacha y la otra a partir de caña de azúcar.

Tabla 3: Contenido de sacarosa en diferentes especies vegetales

PRODUCTO	% SACAROSA
<b>Caña de azúcar</b>	10-20
<b>Maíz dulce</b>	12-17
<b>Mijo dulce</b>	7-15
<b>Jugo de palma</b>	3-6
<b>Boniato</b>	2-3
<b>Cacahuete</b>	4-12
<b>Cebolla</b>	10-11
<b>Remolacha azucarera</b>	14-22



### Metabolismo del azúcar en el cuerpo humano:

La sacarosa es un simple carbohidrato con un rápido metabolismo en el sistema digestivo. Una enzima llamada sacarasa convierte la sacarosa en glucosa y fructosa.



En el hígado, la fructosa es convertida en su isómero (un compuesto con la misma fórmula química pero distinta estructura), la glucosa es usada en la sangre como fuente de energía.

La sangre transporta oxígeno, absorbido del aire por inhalación, a las células del cuerpo. Las células oxidan la glucosa por combinación de estas con el oxígeno. La oxidación de la glucosa produce una cantidad de energía considerable.



Esta es una reacción exotérmica, que libera una cantidad de energía de 2800kJ por mol de  $C_6H_{12}O_6$ . La energía liberada entra en la sangre para ser usada como fuente de energía.

La diabetes es una enfermedad en la cual el cuerpo no produce insulina (la hormona que regula el nivel de glucosa en la sangre) o no la utiliza adecuadamente para permitir que la glucosa se transforme en energía. Por lo tanto, la glucosa extra se acumula en la sangre causando un alto nivel de glucosa, conocido como un alto nivel de azúcar en la sangre.

#### 1.5.1 REMOLACHA:

La remolacha azucarera (*Beta vulgaris var. saccharifera*), pertenece a la familia de las Quenopodiáceas. Es una planta de ciclo bianual, y solo puede cultivarse en climas templados (aproximadamente 21°C) debido a que durante la estación de crecimiento necesita de un suelo rico y profundo. Para la producción de semilla se eligen plantas con un contenido en azúcar del 15%.

En invierno se colocan estas semillas en hoyos y en el primer año presentan una mata de hojas gruesas y velludas. En el segundo año las raíces se hinchan y en la temporada de la cosecha se alcanza el mayor contenido azúcar, estando listas para la fabricación de azúcar de remolacha.

La composición aproximada de las raíces de remolacha es:

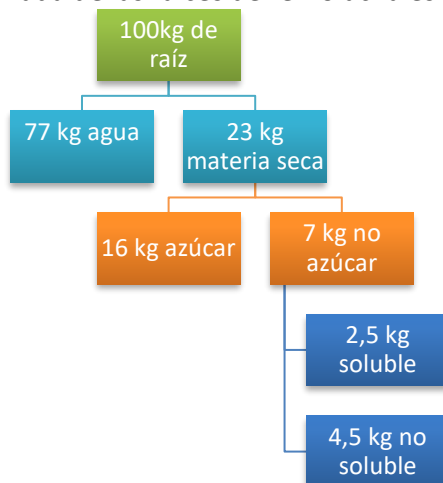


Gráfico 4: Composición raíces remolacha



Ilustración 1-2: La remolacha azucarera

El agua es la base de la vida y por este motivo es importante en las plantas. En la remolacha, la raíz es lo primero que crece después de germinar para asegurar la adquisición de agua. Las plantas pueden considerarse como un sistema de transporte de agua del suelo hacia la atmósfera. Una planta de remolacha podría transportar de 1-1.5 L/día.

El agua es muy importante porque permite a la planta:

- Absorber nutrientes presentes en el suelo.
- Transportarlos dentro de la planta.
- Fotosíntesis.
- Transpiración.

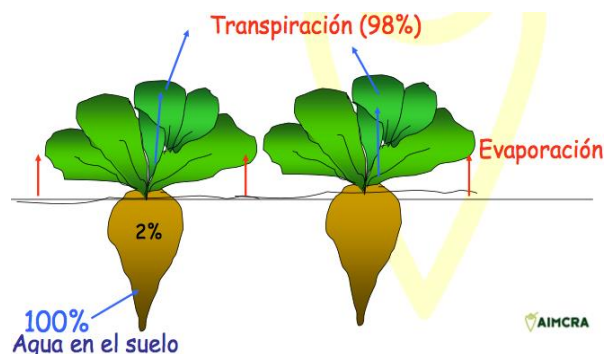


Ilustración 1-3 Evotranspiración y transpiración de la remolacha [2]

Se definen a continuación los procesos de transpiración y evaporación:

**Transpiración (T):** paso del agua desde los tejidos de la remolacha hasta la atmósfera en forma de vapor. Un cultivo pierde agua a través de las estomas. Tanto las condiciones climáticas como la cantidad de agua en el suelo afectan a la transpiración.

**Evaporación (E):** paso de vapor de agua presente en una superficie a agua líquida. A la evaporación afecta la temperatura del aire, humedad y velocidad del viento, también la radiación solar.

**E+T** = evotranspiracion: Consumo de agua de una planta

Actualmente, existe un método para calcular las necesidades de agua de los distintos cultivos, en distintas condiciones climáticas, se admite que el consumo de agua del cultivo es función de dos factores:

-( $ET_0$ ): Consumo de referencia.

-( $K_c$ ): Coeficiente de cultivo.

Por tanto, es necesario que estos dos factores sean conocidos.

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c$$



Ilustración 1-4 Evotranspiración de un cultivo [2]

### 1.5.2 CAÑA DE AZÚCAR:

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una especie de planta perteneciente a la familia de la poáceas. Requiere elevadas temperaturas en su periodo de crecimiento y bajas en el periodo de maduración, cuanto mayor sea la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas en la maduración las posibilidades de obtener jugos de alta pureza y un mejor rendimiento de azúcar serán mayores. La caña es un cultivo típico de regiones tropicales

Los componentes que controlan el crecimiento y la calidad de la caña de azúcar son la temperatura, la luz y la humedad.

Como se ha mencionado anteriormente, esta planta es propia de zonas tropicales y requiere una gran cantidad de agua.



## 2 PROCESOS PRODUCTIVOS

---

Como se ha explicado en el capítulo anterior, el azúcar puede obtenerse de la remolacha o de la caña de azúcar, y dependerá del clima en el que se esté que predomine una planta u otra, el proceso industrial seguido variará según la materia de la que se parta.

Cabe destacar, que, encontrándonos en la provincia de Sevilla, España y acorde al clima de la zona, se tratará de una planta que trabaje con remolacha.

En este apartado se hace una breve descripción de los procesos productivos que se siguen ilustrándolos en un diagrama de flujo. Aunque en este proyecto sólo interesa el proceso seguido por la remolacha, es interesante conocer el que sigue la caña de azúcar para tener unos conocimientos básicos.

## 2.1 PROCESO PRODUCTIVO PARTIENDO DE CAÑA DE AZÚCAR.

### 2.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO



## 2.1.2 EXPLICACIÓN.

### 1. Recepción y pesado:

El azúcar de caña se obtiene a partir de la caña de azúcar en su estado óptimo de cosecha, el cual se alcanza a los 18-20 meses de edad de la caña, en este punto se procede al quemado de esta, siendo transportada hasta la fábrica mediante trailers especialmente acondicionados con canastas para permitir una rápida descarga.

El principal objetivo del quemado es facilitar el transporte y reducir la cantidad de materia extraña. A continuación, se pesan los camiones para conocer el peso de la caña de azúcar que está siendo transportada, los camiones han sido pesados previamente en vacío.

Se registra el peso de cada tráiler para llevar un control de la caña que es procesada diariamente, además este dato sirve para calcular la cantidad de azúcar obtenida al final del proceso y las pérdidas que han ocurrido durante este.

2. **Lavado:** La caña es lavada con una cortina de agua a 5°C con la finalidad de retirar la mayor cantidad de impurezas, hay que señalar que el lavado de la caña origina pérdidas de sacarosa por los cortes
3. **Preparación de la caña:** este proceso consiste en romper y desfibrar las celdas de los tallos mediante troceadoras, picadoras oscilantes y desfibradoras, de la buena preparación de la caña, depende la buena extracción de sacarosa en los molinos.
4. **Molienda:** la caña preparada atraviesa el tren de molienda, que consiste en molinos accionados por motores eléctricos a corriente y velocidad regulable. Estos molinos extraen el jugo cuando las atraviesa la caña, además a esta operación se agrega agua a 70°C a la salida del penúltimo molino para hacer más fácil la disolución de la sacarosa. De este proceso se obtienen dos subproductos principales: el jugo mezclado y un residuo leñoso denominado Bagazo, este se lleva hacia las calderas para su combustión
5. **Encalado:** El jugo mixto que proviene de los molinos pasa al tanque de encalado, donde es tratado con cal en suspensión, proveniente de la planta de cal, que es la instalación donde se recibe cal viva CaO, que se pulveriza posteriormente y se lleva a un apagador donde se añade agua y se tamiza. La idea de agregar cal es aumentar el PH de los jugos (desde 4,5 hasta unos 7.8) para evitar su descomposición o posibles pérdidas de sacarosa, también se pretende que cuando reaccione con los fosfatos de la caña forme flóculos que ayuden a eliminar las impurezas. La cal facilita que las impurezas que vienen del jugo precipiten.
6. **Calentamiento:** el jugo mezclado pasa a los calentadores para elevar su temperatura hasta un nivel cercano a su punto de ebullición o ligeramente más, aproximadamente unos 105°C.
7. **Clarificación:** el propósito de esta etapa es separar los sólidos insolubles de jugo diluido. El lodo (sólido) se evacua por la parte inferior del equipo, y el jugo clarificado, o jugo claro se extrae por la parte superior. Es una separación de fases del jugo para decantarlo. En los clarificadores, las impurezas, por efecto de procesos químicos, precipitan al fondo, este clarificador consiste en un tanque con un tamaño suficientemente grande para que las velocidades de circulación y escurrimiento sean tan bajas que no impidan la decantación.
8. **Filtrado:** los lodos obtenidos de los clarificadores se mezclan con bagacillo y pasan unos filtros rotatorios de vacío, con la intención de recuperar el azúcar contenido. El jugo filtrado retorna al proceso y el sólido obtenido, que es la cachaza, se lleva al campo para usarse

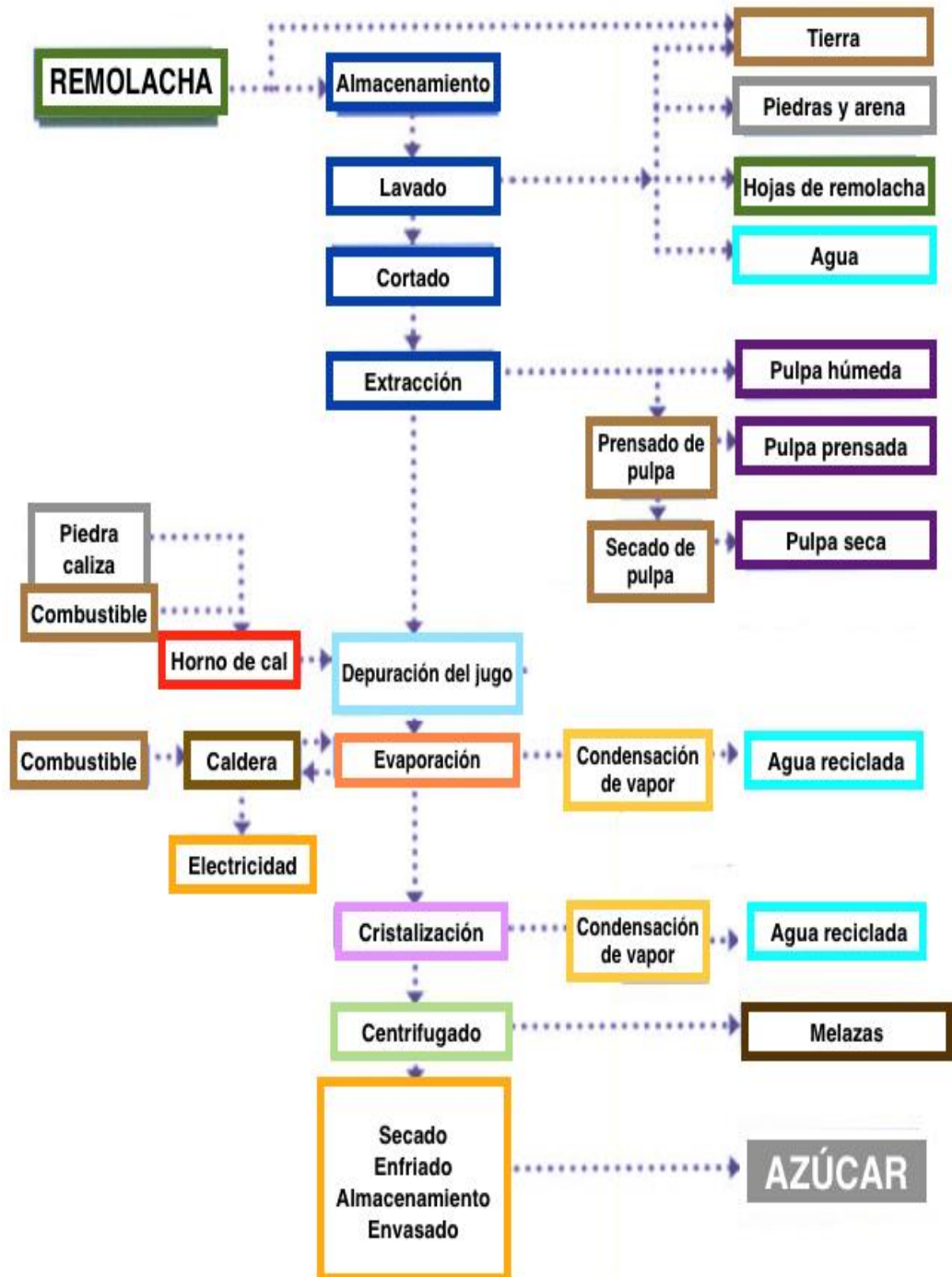
como fertilizante, ya que tiene un alto nivel de nitrógeno, potasio, fósforo, calcio y materia orgánica.

9. **Evaporación:** Proceso en el que se evapora la mayor cantidad del agua contenida en el jugo claro para obtener meladura. Los evaporadores se colocan en serie, teniéndose una evaporación múltiple efecto. El vapor de escape, que proviene de turbogeneradores, entra en el primer efecto, de esta manera el jugo se va concentrando desde el primer al último efecto, se concentra de 15 a 65° brix a la salida de los evaporadores, el primer evaporador trabaja con vapor de escape, los demás con vapor vegetal.
10. **Cristalización:** Esta etapa se realiza en evaporadores de simple efecto al vacío llamados tachos, la función de los mismos es la producción y desarrollo de cristales. La meladura pasa a los tachos evaporación el agua, ocasionando la cristalización del azúcar, al continuar eliminando agua, el azúcar disuelto en la meladura se deposita en forma de cristales de sacarosa. La cristalización se lleva a cabo empleando tres tachos para conseguir una mayor concentración de sacarosa.
11. **Centrifugación:** Se produce la separación de los cristales y el licor madre gracias a la fuerza centrífuga de los tambores rotatorios que contienen mallas interiores.  
en este proceso, se emplea agua caliente para eliminar la película de miel que cubre los cristales y se descarga para conducirla a las secadoras.  
La miel que se desprende se bombea a tanques de almacenamiento para que se evapore y cristalice en los tachos. Tras tres cristalizaciones se obtiene una miel agotada que se elimina del proceso y se comercializa en alimentación de ganado o también como materia prima para alcoholes.  
-secado y enfriamiento: el azúcar húmedo(1%humedad) obtenido tras la etapa de centrifugación se conduce a las secadoras (tambores rotatorios donde el azúcar se pone en contacto con aire caliente en contracorriente)  
este aire se calienta mediante vapor en intercambiadores tipo radiador, y con ventiladores se introduce a la secadora. El azúcar ya seco sale de la secadora, (0,035% humedad) como la temperatura es cercana a 60° se pasa por enfriadoras con aire frío para disminuir la temperatura hasta 40-45°C y de ahí conducirlas a las tolvas de envase.



## 2.2 PROCESO PRODUCTIVO PARTIENDO DE REMOLACHA

### 2.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO



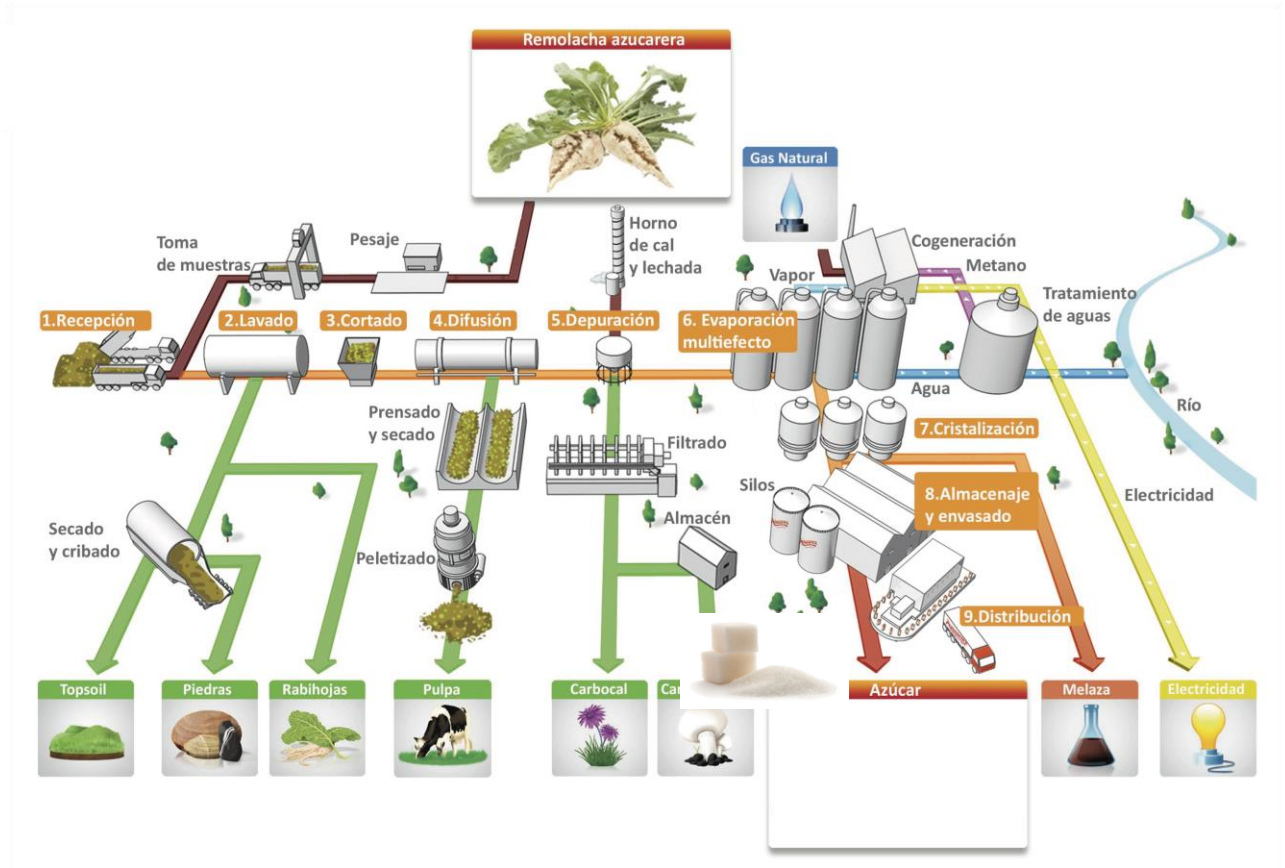


Ilustración 2-1: Esquema del proceso productivo a partir de remolacha. [2]

La ilustración 2-1 muestra el proceso a seguir en una fábrica que recibe remolacha como materia prima, y es el que se verá ilustrado en el capítulo 6: LAYOUT. En el que se verá una representación en 3D de una fábrica azucarera donde aparecen todos los procesos que se explican en el capítulo 3.

## **3 OBTENCIÓN DE AZÚCAR DE REMOLACHA**

---

**C**omo se ha visto previamente en España predomina la remolacha por lo que este texto se centrará en las instalaciones necesarias para una planta que reciba remolacha para la producción de azúcar.

El gran tamaño que poseen estas industrias se entiende por su alta capacidad de producción; en España, una fábrica azucarera procesa de media 8.500 toneladas de remolacha/día. Por este motivo es necesario disponer de instalaciones propias, que permitan tanto producir las materias auxiliares necesarias en la producción de azúcar como tratar los subproductos y desechos que se crean en el proceso.

A continuación, se explicará detalladamente cada parte del proceso, explicando la maquinaria necesaria y las necesidades energéticas.

En la fábrica de remolacha, la separación del azúcar (sacarosa) de los no-azúcares tiene lugar en diferentes etapas.

### **3.1 RECEPCIÓN, Y TRANSPORTE A LA ESTACION DE LAVADO.**

Las remolachas son entregadas a la fábrica principalmente por camión, debido a las ventajas económicas sobre el transporte ferroviario.

En esta etapa se descargan las remolachas del vehículo y se apilan en el área de almacenamiento de remolacha, donde permanecen hasta su procesamiento.

Las remolachas entregadas a la fábrica contienen tara (impurezas), que tiene que separarse de las remolachas durante los primeros pasos del proceso.

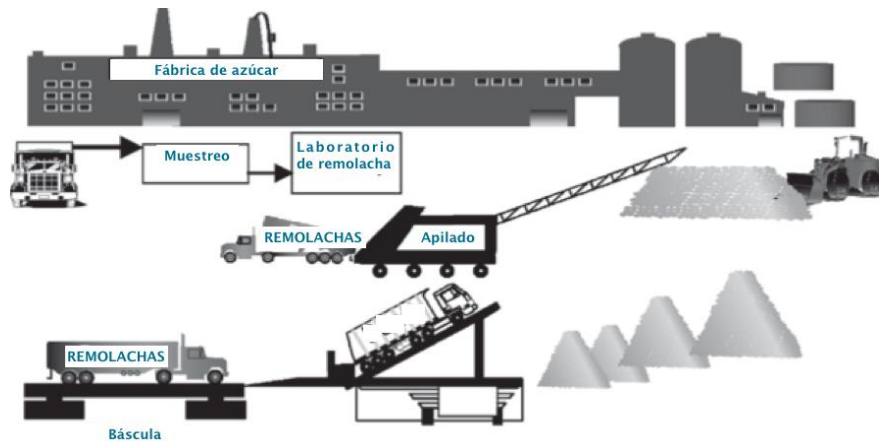


Ilustración 3-1: Diagrama de la recepción de remolacha y almacenamiento [3]

Durante la cosecha, las remolachas se entregan tanto por el día como en la noche. Las remolachas entregadas son apiladas en el área de almacenamiento de remolacha o descargadas directamente de los camiones a las tolvas receptoras de remolacha.

Las operaciones de recepción de remolacha y almacenamiento de remolacha son diferentes en diferentes países debido a las diferentes condiciones climáticas. Por lo tanto, la planificación de remolque de remolacha a la estación receptora, particularmente en aquellas áreas con almacenamiento de corto período de tiempo (debido a altas temperaturas) es de suma importancia.

### 3.1.1 DESCARGA DE REMOLACHA Y MUESTREO:

Las remolachas que llegan a la fábrica son descargadas en las tolvas receptoras o amontonadas en lo que se conoce como playas de remolach. Existen dos tipos de sistemas de descarga disponibles:

- ⦿ Descarga húmeda: La descarga húmeda no es popular hoy en día debido al alto consumo de agua y a los daños que puede provocar a las remolachas en algunos casos. En este tipo de descarga, las remolachas son empujadas desde el vehículo hacia el canal por una boquilla de rociado. El ajuste correcto de la presión del agua es importante para prevenir el daño de la remolacha, por lo que se utiliza una presión de aproximadamente 2,5 bar.
- ⦿ Descarga en seco: Esta es la forma más común en España. Consiste en un camión autobasculante en el que el equipo de elevación en el camión levanta el lecho del camión para descargar las remolachas. o en una plataforma, que eleva al camión para realizar la descarga.

Tras la descarga, las remolachas se apilan, en lo que se conoce como playas de remolacha, y de ahí pasan a la tolva de descarga, que esta a cota cero y desde donde se transportan las remolachas a la estación de lavado, mediante una cinta transportadora.



Ilustración 3-2: Descarga de remolachas [4]



Ilustración 3-3 Remolachas apiladas [4]

En esta estación también se determina el peso bruto de la remolacha; Para ello, se pesa cada camión de remolacha o vagón antes de la descarga y el peso se registra en un ordenador. Después de la descarga de las remolachas se vuelve a pesar el vehículo y se obtiene el peso bruto. La tara de la remolacha es la diferencia entre el peso bruto y neto (el neto es el de la remolacha ya lavada y descoronada). El pago a los agricultores se basará en los analisis en laboratorio, y será función de la cantidad de azúcar entregada, también permite conocer el balance de materia que entra en la fábrica.

El muestreo de remolacha se realiza en la estación de recepción mediante un dispositivo de muestreo Este muestreo consiste en tomar una muestra de aproximadamente 10 a 12 kg, que se envía al laboratorio de remolacha (*instalación auxiliar explicada en el capítulo 5*) para su análisis. Ya que de dicho análisis dependerá el pago a los agricultores.

### 3.1.2 TARA DE REMOLACHA:

Las remolachas entregadas a la fábrica contienen tara (impurezas) que tiene que ser separada de las remolachas durante los primeros pasos del proceso. La tara de la remolacha consiste sobre todo en trozos de tierra pegada a las remolachas después de que sean arrancadas del suelo. Otros componentes de la tara de la remolacha son piedras, hojas y malezas.

La tara se mide en el laboratorio, pesando la muestra bruta antes del lavado para retirar todos los materiales que no sean la remolacha en sí de la muestra, el peso neto es después de la eliminación de la tara. Los resultados del laboratorio de remolacha se utilizan para determinar los pagos de los productores para las remolachas entregadas. La tara suele calcularse en porcentaje sobre el peso neto de la remolacha entregado a la fábrica.

La cantidad de tara presente depende de los siguientes factores:

- Clima
- Tipo de suelo
- Humedad del suelo
- Tipo de cosecha

Para la fábrica, una tara elevada significa mayores costes de procesamiento en términos de consumo de agua, tratamiento de aguas residuales y daños al equipo. Por este motivo interesa que la tara sea baja.

## 3.2 TRANSPORTE DE REMOLACHA.

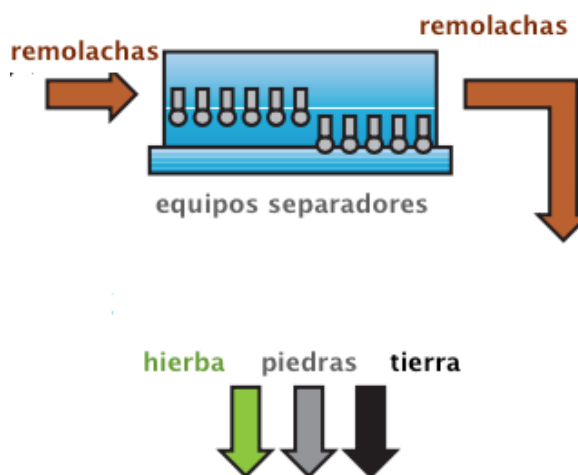


Ilustración 3-4: Equipos separadores

En la fábrica, las remolachas se transfieren del almacenamiento de remolacha al canal de remolacha. El canal de remolacha es un canal para transportar remolachas por la fuerza del agua. El sistema de canales de remolacha transporta las remolachas hasta los separadores de piedras y hierbajos mediante la fuerza del agua. Este transporte es posible debido a que la remolacha azucarera tiene una densidad ligeramente mayor que la del agua.

Como se requiere gran cantidad de agua, para conseguir un ahorro, el agua que circula por el canal se trata en los tanques de tratamiento de aguas residuales (*instalación auxiliar explicada en el capítulo 5*) de la fábrica, y una vez tratada, se devuelve al canal.

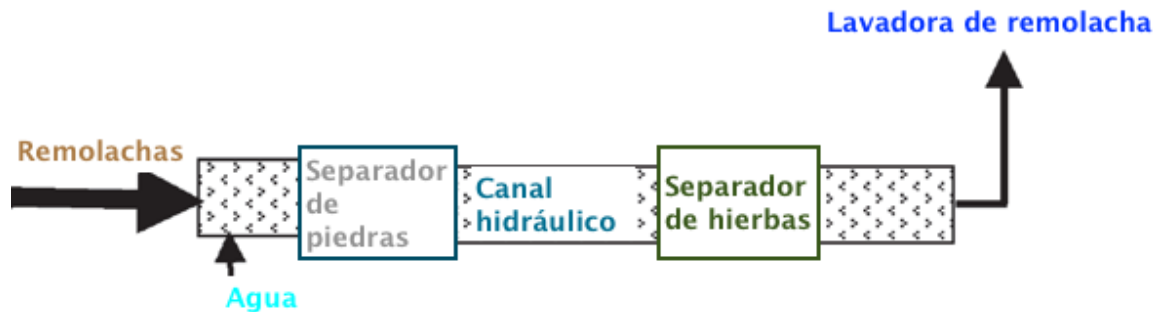


Ilustración 3-5: Diagrama del transporte hasta la lavadora de remolacha.

Esta ilustración muestra como las remolachas van a través del canal y pasan por los separadores antes de llegar a la lavadora de remolacha.

En el capítulo 6: LAYOUT, debido a que el transporte en España se lleva a cabo sin agua, se usarán cintas transportadoras en vez de canales con agua (transporte seco).

Aunque en la memoria resulta interesante mencionar este tipo de transporte conocido como transporte húmedo.

### 3.3 SEPARADORES DE PIEDRAS Y HIERBAJOS.

En este apartado se explica la separación de piedras y hierbajos del procesamiento de remolacha azucarera. El equipo de separación necesario se instala fuera del edificio de procesamiento principal, las remolachas pasan a través de estos separadores, para que hagan su función: eliminar las impurzas para que no dañen los equipos posteriores.

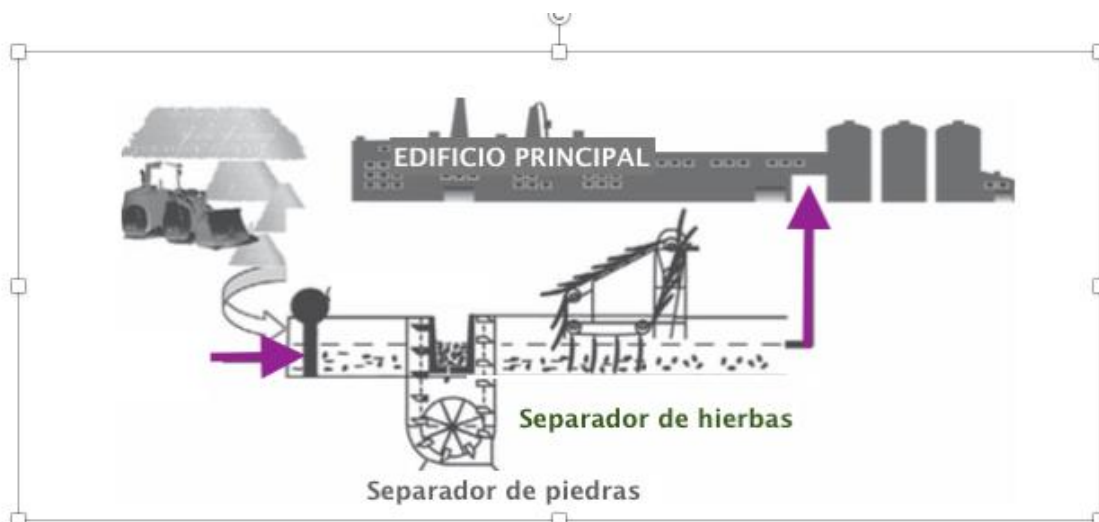


Ilustración 3-6: Equipos separadores. [3]

### ◎ SEPARADOR DE PIEDRAS:

Se instalan separadores de piedras canales para separar las piedras de las remolachas. Un tipo de separador de piedras sería el tipo tambor, el tambor es soportado por una carcasa, que está soldada al canal de agua. El tambor tiene dos partes operativas. La primera parte es un tambor de elevación conectado a un tambor de tamiz y un sistema de guiado de agua.



Ilustración3-7: Equipo separador de piedras. [5]

### ◎ SEPARADOR DE HIERBAJOS:

Las hierbas y hojas que circulan por la remolacha pueden obstruir los cuchillos de la cortadora en cosetas y traer impurezas al proceso. Por este motivo es fundamental eliminar las hierbas y hojas que fluyen con las remolachas.

A continuación, se muestran dos ejemplos de separadores de hierbajos.



Ilustración 3-8: Equipo separador de hierbajos. [6]





Ilustración 3-9: Equipo separador de hierbajos y malezas. [6]

### 3.4 LAVADO DE REMOLACHA

Las remolachas, ya sin impurezas se dirigen a la lavadora de remolacha, en ella, las remolachas se lavan antes de entrar en el proceso de corte. La lavadora de remolacha no sólo limpia las remolachas, sino que también elimina la mayoría de los microbios que vienen con las remolachas.

El principal trabajo de la estación de lavado de remolacha es suministrar a la estación de corte con un flujo constante de remolachas limpias. La lavadora de remolacha es el último punto para quitar la tara restante, por lo que su funcionamiento es importante para el funcionamiento de las estaciones siguientes.

En el lavado de la remolacha están presentes agentes antiespumantes y floculantes que tienen como objetivo inhibir la aparición de espumas que puedan obstaculizar el buen funcionamiento del proceso de fabricación.

De muchas maneras, la estación de lavado de remolacha controla la tasa de corte de la fábrica porque cualquier piedras o exceso de malezas pueden dañar los cuchillos de la cortadora y provocar retrasos en el corte de la remolacha. Además, la estación de lavado debe mantenerse de forma que se asegure que siempre haya remolachas limpias suficientes en la tolva del cortador.

El agua descargada de la lavadora de remolacha y del sistema de conductos contiene:

- Virutas de remolacha
- Pequeños trozos de malezas
- Barro

En fábricas modernas, el agua de lavado es enviada primero al separador de virutas, para separar las virutas de remolacha. Después de la separación, las virutas de remolacha se envían a la tolva de remolacha y luego a las rebanadoras. El agua del separador de virutas es descargada al sistema de tratamiento de aguas residuales para ser limpiada y reutilizada posteriormente.

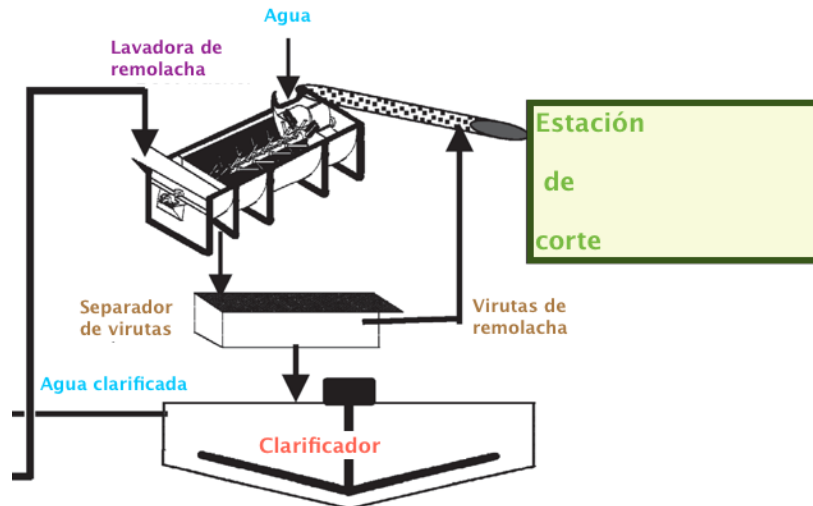


Ilustración 3-10: Proceso de lavado de remolacha.

La cantidad de agua de lavado necesaria en la limpieza de las remolachas es alta, dependiendo del sistema de manipulación y limpieza de remolacha de la fábrica. Afortunadamente, la mayor parte de esta agua se recicla después de ser tratada en la EDAR.

### 3.4.1 LAVADORA DE REMOLACHA:

Los dos tipos de lavadoras de remolacha comúnmente utilizados en las fábricas de azúcar son los siguientes:

*-lavadora de brazo:* consiste en un tambor cilíndrico con un eje con múltiples brazos. El fondo del tanque está perforado. El eje gira a aproximadamente 5 rpm. Las remolachas entran por un lado y se lavan gradualmente frotándose una contra otra a medida que son movidas por los brazos, y son descargadas por el otro lado. El agua entra en la lavadora y se mueve contra las remolachas.

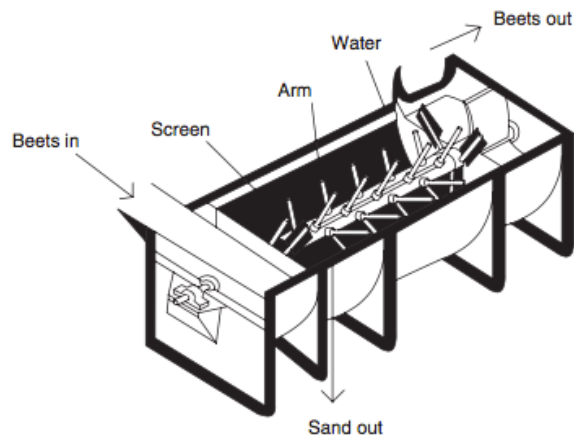


Ilustración 3-11: Esquema lavadora de brazos [3]



Ilustración 3-12: Imagen lavadora de brazos [7]

-lavadora de tambor:

La lavadora de tambor es la más usada. El tambor gira sobre unos rodillos que están montados sobre un marco de acero. Una lavadora de tambor de 3m de diámetro y 20m de largo puede lavar aproximadamente 8000t de remolacha al día. El tambor se llena generalmente al 40% de su capacidad y gira de 3 a 5 RPM.

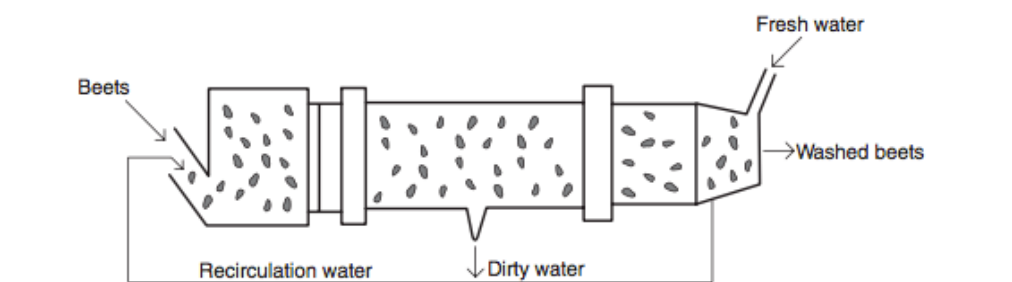


Ilustración 3-13: Esquema lavadora de tambor. [3]



Ilustración 3-14: Imagen lavadora de tambor. [8]

### 3.5 CORTE EN COSETAS DE LA REMOLACHA.

En este apartado se explica la estación de corte, a partir de la cual se obtienen las cosetas, unas tiras largas y delgadas con sección triangular y 2-3 mm de espesor.

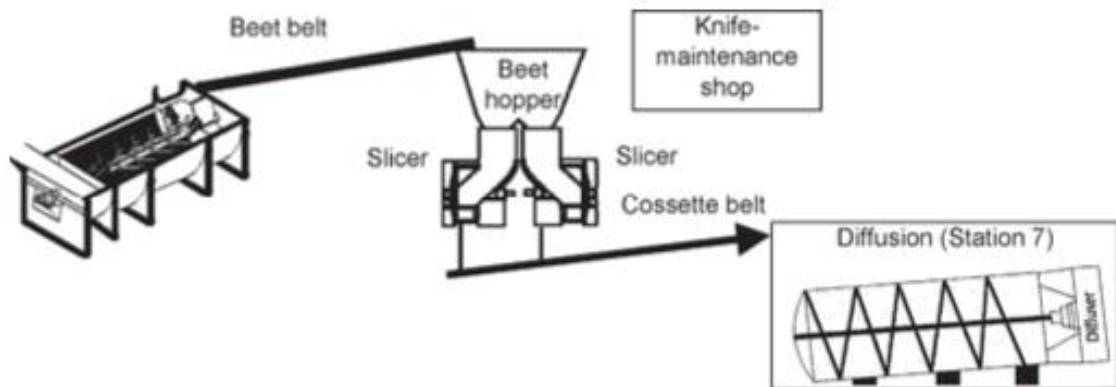


Ilustración 3-15: Etapa de corte en cosetas. [3]

En la estación de corte, un transportador suministra continuamente remolachas limpias de la lavadora de remolacha a la tolva de remolacha, que alimenta las remolachas a las cortadoras. En las fábricas equipadas con el separador de virutas, las virutas de remolacha separadas también se envían a la tolva de remolacha.



Ilustración 3-16: Tolva de entrada de remolacha. [9]

La función principal de la operación de corte de remolacha es mejorar la operación de difusión y la extracción de sacarosa de las remolachas. Esto se consigue principalmente debido al aumento de la superficie de la remolacha.

Al aumentar la superficie de la remolacha se maximiza:

- El área de contacto entre las células de la remolacha y el agua del difusor
- El movimiento del azúcar de las células al jugo de difusión

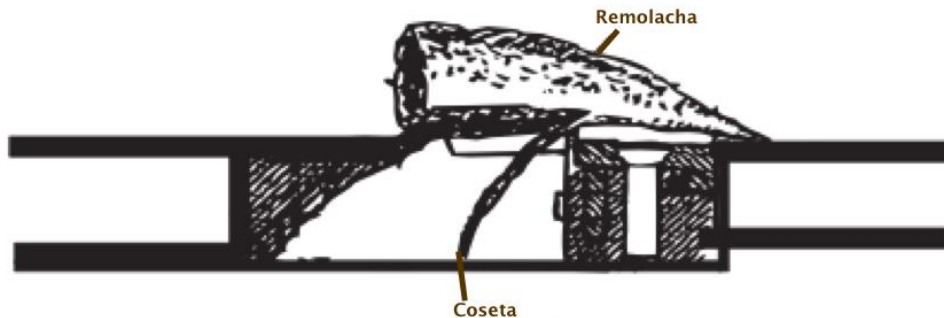


Ilustración 3-17: Corte de remolacha en cosetas. [3]

Las remolachas deben ser cortadas con cuchillos afilados para minimizar la rotura de las células de la remolacha. Las células estropeadas permiten que se difundan más impurezas en el jugo, lo que provoca un aumento de los no-azúcares y, en consecuencia, una reducción de la pureza del jugo.

### 3.5.1 CALIDAD DE LAS COSETAS:

Para la eliminación completa del azúcar por el proceso de difusión, el tamaño y la calidad de los cosetas son importantes. Generalmente, para el mismo resultado, las cosetas gruesas necesitan más tiempo de difusión, o una mayor cantidad de agua de difusión que las cosetas más finas. Por lo que lo más deseable es que las cosetas sean finas.

Para garantizar una extracción óptima es necesaria una coseta fina con una superficie amplia y lisa. Al mismo tiempo es necesaria una estabilidad y una solidez uniforme de las cosetas. Las cosetas con sección en V se adaptan perfectamente a estas exigencias

### 3.5.2 CORTADORAS DE REMOLACHA:

Las fábricas modernas utilizan sistemas de corte de tambor. Se muestra un modelo de cortadora de tambor de la marca *Putsch* esta tiene un eje horizontal y un disco giratorio vertical con una capacidad de corte de 8000t por día.



Ilustración 3-18: Sistema de corte marca [9]

las máquinas de corte de tambor Putsch tienen una función automática de cambio de cuchillas, de modo que un bloque puede ser reemplazado por uno nuevo con un tiempo de parada mínimo. El tamaño de los coetas se puede cambiar ajustando la placa de guía.

### 3.5.3 CUCHILLOS Y MANTENIMIENTO:

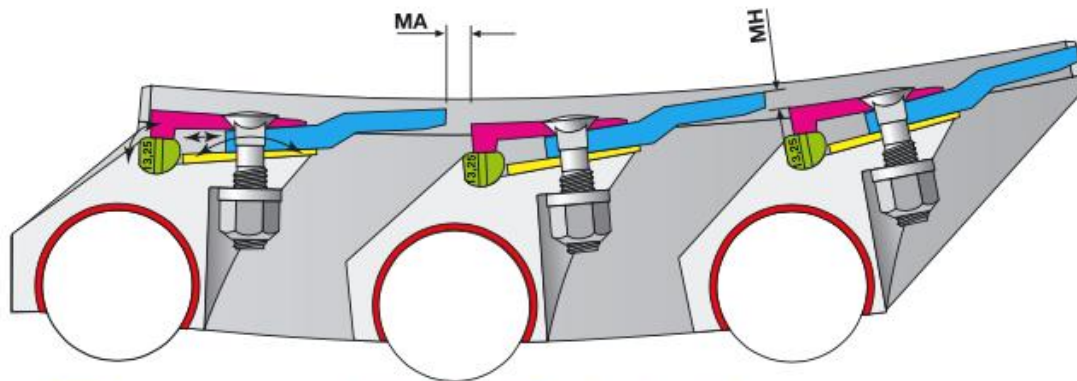
Los factores más importantes en la producción de coetas de calidad son el tipo de cuchillos utilizados y su posición. La mayoría de los cuchillos tienen forma de V. La forma de la coeta depende de la posición de los cuchillos en el bloque de cuchilla. Que los cuchillos estén correctamente afilados y con un buen mantenimiento es un factor muy importante en la producción de coetas de calidad.



Ilustración 3-19: Cuchillos para las cortadoras. [9]

Durante el funcionamiento, los cuchillos dañados se apartan y se tratan de la siguiente manera:

- Los cuchillos sucios se lavan con agua caliente.
- Las ranuras dobladas se enderezan.
- Las aristas se afilan con una lima



- Patentierter Verstellstab / patented adjusting rod / Barra de ajuste patentada
  - Schnitzmesser / beet knife / Cuchillas cortarraíces
  - Messersitzplatte / knife seat plate / Placa de asiento de cuchillas
  - Aluminiumbuchse / aluminum sleeve / Cojinete de aluminio
  - Spannplatte / clamping plate / Placa de fijación
  - Messerkastengrundkörper / knife block base frame / Cuerpo principal de portacuchillas
- MA = Messerabstand / knife distance / Distancia entre cuchillas  
 MH = Messerhöhe / knife height / Altura de cuchilla

Ilustración 3-20: Esquema de las cuchillas. [9]

Como se dijo previamente, estas máquinas tienen una función automática de cambio de cuchillas

### 3.6 DIFUSIÓN.

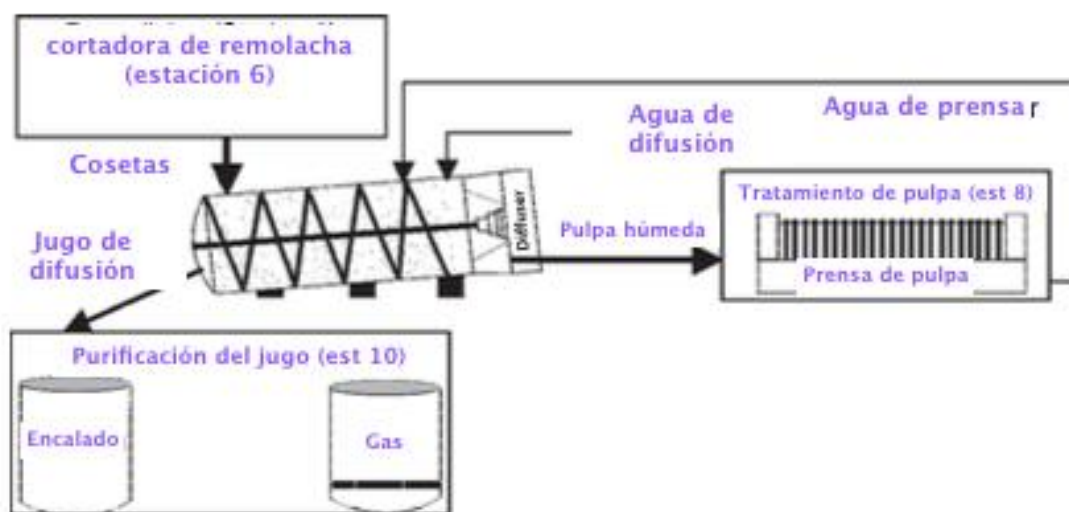


Ilustración 3-21: Diagrama de la estación de difusión.

Las cosetas obtenidas se transportan mediante una cinta hasta la estación de difusión:



Ilustración 3-22: Cinta transportadora de cosetas. [9]



Ilustración 3-23: Tolva de distribución de cosetas. [9]

En la extracción sólida-líquida, se utiliza el agua como líquido de extracción para extraer la sacarosa presente en las células de las cosetas de remolacha. Como las membranas celulares son impermeables para las moléculas de sacarosa, estas deben ser desnaturalizadas antes de la propia extracción. Una parte de las membranas celulares ya se destruye mecánicamente durante la etapa corte, pero la mayoría sólo se desnaturaliza rápidamente por el efecto térmico.

El objetivo de una instalación tecnológica y energéticamente económica es producir un jugo crudo de alta pureza, con un alto contenido de sustancias secas y una baja temperatura. Esto se consigue gracias al tratamiento en contracorriente de cosetas y líquido de extracción. El funcionamiento en ausencia de aire reduce a un mínimo las infecciones y por consiguiente las pérdidas de azúcar causadas por la destrucción microbica de la sacarosa.



Por ejemplificar, la instalación de difusión de remolachas del fabricante BMA está compuesta de dos componentes principales, que cumplen diferentes funciones:

El macerador de cosetas en contracorriente es utilizado para que se produzca el intercambio térmico entre las cosetas entrantes y el jugo saliente, y además se produce la desnaturalización térmica.

La torre de difusión es el lugar donde se produce la extracción sólida-líquida de la sacarosa de las células de cosetas

Ambos componentes - el macerador de cosetas en contracorriente y la torre de difusión - están conectados entre sí mediante tuberías y bombas especiales trabajando como una sola unidad.

Las remolachas previamente lavadas y cortadas son introducidas en el macerador, donde se precalientan las cosetas mediante el jugo procedente de la torre de difusión con el objetivo de hacerlas permeables para la extracción de las moléculas de azúcar. La mezcla de cosetas y jugo formada dentro del macerador de cosetas en contracorriente se impele por bombas de velocidad regulable hacia la parte inferior de la torre de difusión.

En la torre de difusión, las cosetas comprimidas son transportadas continuamente hacia arriba, efectuándose al mismo tiempo la extracción de las moléculas de azúcar de las células de remolacha. En el extremo superior, la pulpa agotada se evacua mediante dos hélices de extracción y se deshidrata mecánicamente en las prensas de pulpas. El agua de las prensas de pulpa se reconduce completamente a la torre de difusión.

El líquido de extracción que está compuesto de agua fresca y de agua de las prensas es introducido en la torre a dos niveles separados. Este fluye hacia abajo, en sentido opuesto a las cosetas, enriqueciéndose de azúcar debido a la diferencia permanente de concentración.

El jugo producido se extrae a través de cribas laterales dispuestas en la parte inferior por todo el perímetro de la torre y, después de haber pasado un separador de arena, fluye de nuevo al macerador de cosetas en contracorriente.



Ilustración 3-24: Instalación de difusión. [10]

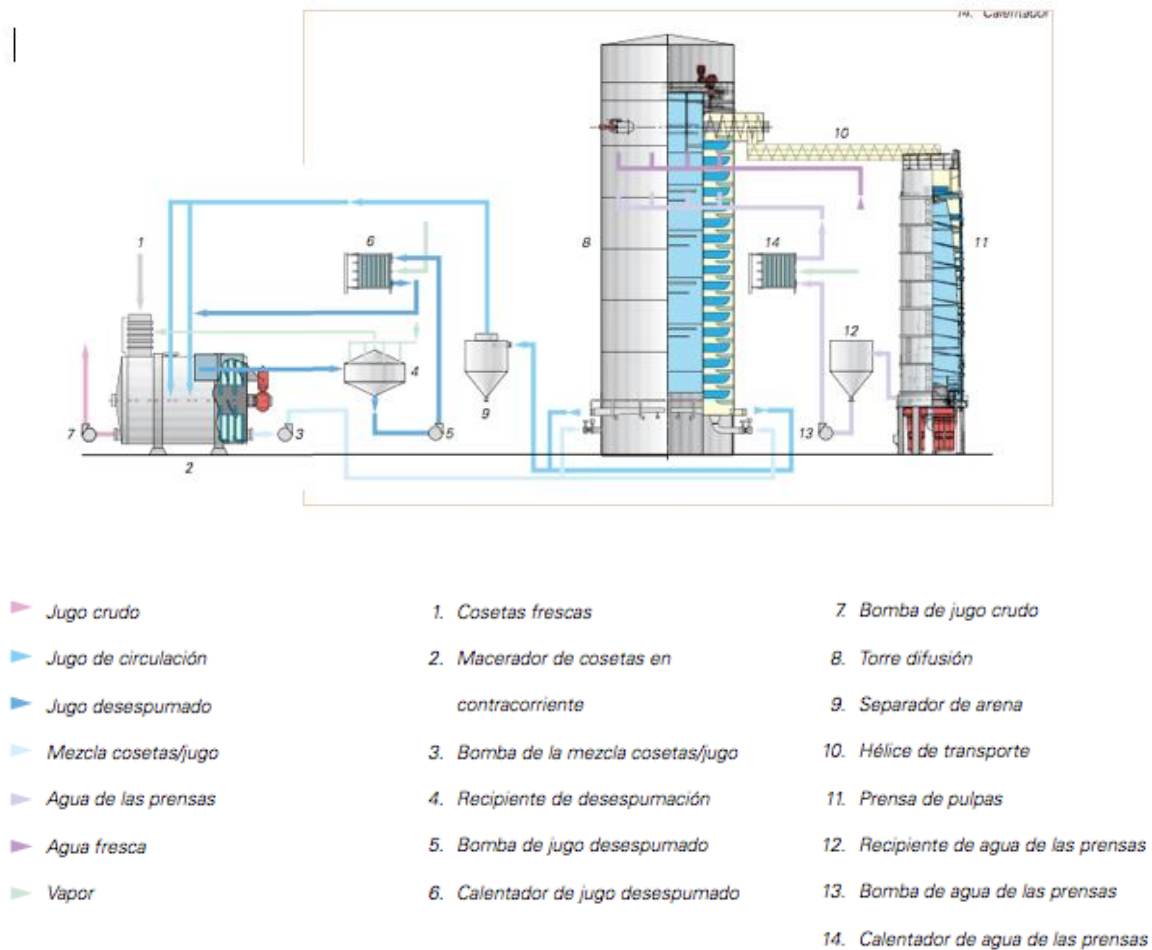


Ilustración 3-25: Difusión [10]

El macerador de cosetas se divide en dos compartimientos, el compartimiento de intercambio térmico y el compartimiento de maceración. A la entrada del compartimiento de intercambio térmico las cosetas frescas frías se introducen en el macerador en ausencia de aire. Donde se alcanza un relleno homogéneo y denso de cosetas, que es necesario para que el intercambio de calor sea óptimo. En el compartimiento de maceración, se acaba el calentamiento de las cosetas y se prepara una mezcla bombeable de cosetas y jugo.

Para un funcionamiento óptimo del macerador de cosetas en contracorriente y para la esterilidad de toda la instalación, la desespumación desempeña un papel importante. La espuma puede formarse por gases desprendidos durante la desnaturalización de las células de remolacha o a causa del tratamiento de remolachas dañadas microbiológicamente o no maduras. Otro posible factor que puede fomentar la formación de espuma es el aire introducido con la carga de cosetas.

Todos los componentes del macerador de cosetas en contracorriente que entran en contacto con las cosetas están fabricados de un acero resistente a la corrosión o están revestidos de acero inoxidable.

En lo que concierne los equipos de medición y de regulación empleados en el macerador de cosetas se debe considerar: Para la desnaturalización de las cosetas en el compartimiento de maceración del macerador, es importante mantener exactamente la temperatura requerida de unos 70°C. Esto se logra mediante un calentamiento controlado del jugo desespumado, lo que puede ser automatizado en función de la temperatura en el compartimiento de maceración.

La mezcla de cosetas y jugo preparada dentro del macerador de cosetas en contracorriente se impele con bombas hacia la torre de difusión y se introduce en la torre en contracorriente al sentido de flujo.

Como resultado de la difusión, casi todo el azúcar (aproximadamente el 98%) y los no-azúcares se eliminan de las cosetas y se acumulan en el agua que se añadió al difusor. La difusión mejora bajo la influencia de condiciones físicas (por ejemplo, temperatura) y químicas (por ejemplo, pH).

El producto del proceso de difusión es el jugo de difusión y la pulpa es su subproducto. La pulpa descargada del difusor es prensada, secada y almacenada.

El jugo de difusión, obtenido a partir de remolacha suele tener un 15% de sustancia seca y un 0,5 a 1,5% de sustancias insolubles. Su pureza (contenido de sacarosa como % de sustancia seca) es del 85 al 88%.

La sacarosa en las células de la remolacha está rodeada por una pared celular (protoplasma), y no se transfiere de las células a menos que se cumplan las tres condiciones siguientes:

- Superficie máxima de contacto
- Temperatura óptima
- Desnaturalización

La primera condición se cumple cortando las remolachas en cosetas, como se explicó anteriormente. La tercera condición, la desnaturalización, se cumple por la destrucción (deformación de la estructura de una sustancia) de las paredes de la célula en condiciones químicas o físicas, que se denomina desnaturalización (cambiando la naturaleza).

### **3.6.1 DESNATURALIZACIÓN:**

La desnaturalización (cambio de naturaleza), en química, significa la destrucción (alteración) del protoplasma celular, para hacerla permeable. Una célula de remolacha consiste en una pared celular, el protoplasma y una vacuola, como se puede ver en la ilustración

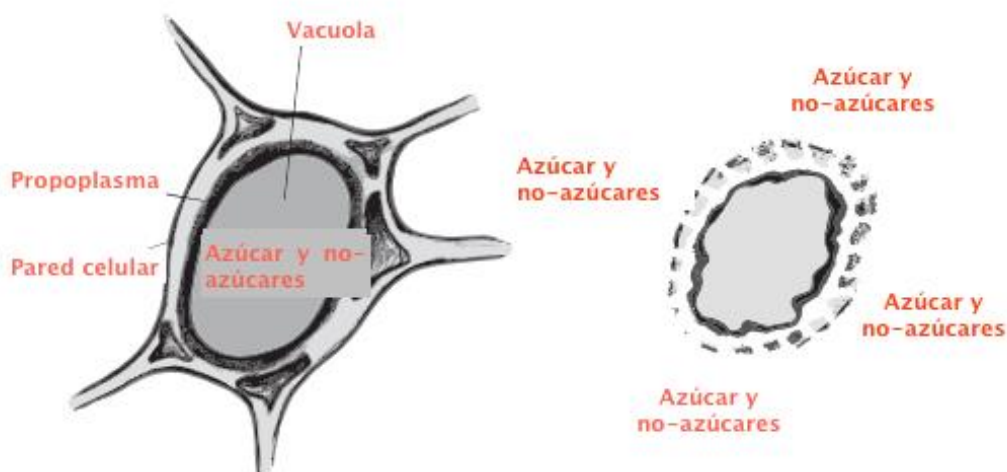


Ilustración 3-26: Célula de remolacha.

El jugo de remolacha está en la vacuola rodeada por el protoplasma, que tiene una estructura de membrana delgada (2 micrómetros de grosor). El protoplasma es semipermeable (un material que permite el paso de partículas pequeñas, pero no grandes) al agua e impermeable a la sacarosa y no-azúcares. Por lo tanto, impide el proceso de difusión, a menos que se produzca una deformación en su estructura. Después de desnaturalizar el protoplasma, es permeable y está listo para el proceso de difusión. La desnaturalización se puede realizar mediante calor.

En el procesado de la remolacha, se utiliza calor en el difusor y se tarda aproximadamente 8 minutos a 70 ° C para desnaturalizar el 90% del protoplasma de las células de la remolacha.

En un difusor a contracorriente, el equipo mueve continuamente las cosetas desde un extremo, mientras que el agua se desplaza en sentido opuesto. Las cosetas pierden gradualmente su sacarosa (aproximadamente el 98%) y se convierten en pulpa (cosetas sin azúcar), mientras que el agua gradualmente gana sacarosa y se convierte en jugo de difusión, que normalmente contiene aproximadamente 15% sustancia seca, con pureza de 85 a 88%. El resto de la sacarosa (aproximadamente 2%) permanece con la pulpa.



Ilustración 3-27: Esquema difusor.

### 3.6.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE DIFUSIÓN:

- ⇒ **Temperatura:** La temperatura (T) afecta al proceso de difusión de las siguientes maneras:
  - Velocidad de difusión: Cuanto mayor es el T, mejor es la difusión (la velocidad de difusión es tres veces mayor a 70°C que a 20°C)
  - Desnaturalización: Cuanto más alta sea la T, mejor será la desnaturalización, la temperatura óptima para la operación de difusión de las remolachas es de 70 a 73°C.
- ⇒ **Tiempo de retención:** El tiempo de retención del proceso de difusión es la cantidad de tiempo que las cosetas están en contacto con el jugo de remolacha. Un proceso completo de difusión tiene lugar durante un cierto período. La eficiencia de difusión aumenta directamente con el tiempo, lo que significa que más azúcar se transfiere al jugo y menos permanece en la pulpa. Este tiempo se encuentra entre 60-100 minutos.
- ⇒ **Calidad de las cosetas:** Es necesario una alta calidad de las cosetas para producir un jugo de difusión de alta pureza.
- ⇒ **Actividad microbiana:** Las cosetas son un buen medio para el crecimiento de muchos tipos de microbios, particularmente las bacterias termófilas (crecen alrededor de 50°C). Este tipo de bacterias convierte los azúcares en ácidos (principalmente ácido láctico), lo que ayuda a prensar la pulpa, pero aumenta las pérdidas de azúcar.

Bacterias infecciosas en la difusión: para que la etapa de difusión sea exitosa se necesita minimizar las infecciones. Los tipos de bacterias que pueden encontrarse se clasifican en función de la temperatura a la que se reproducen.

Tabla 4: Temperaturas de reproducción

Bacteria	Temperatura de reproducción
<b>Criófilas</b>	T<25°C
<b>Mesófilas</b>	25<T<45
<b>Termófilas</b>	T>45°C

Las más peligrosas son las termófilas, porque se pueden reproducir a lo largo del difusor, y en una difusión infectada se puede llegar a perder un 0,15% del azúcar que contiene la remolacha. Para evitar esto se introduce hipoclorito en el transportador de remolacha, además de extremar la limpieza en todas las zonas donde se puedan acumular trozos de remolacha y de incluir formol en el difusor para que la esterilización sea correcta. Por regla general, se observa la menor actividad microbiana cuando el difusor se mantiene a 70 a 73 ° C ya un pH de 5,8 a 6,0.

### 3.6.3 AGUA DE DIFUSIÓN:

El suministro del difusor con agua de alta calidad puede optimizar la operación de difusión. Por lo general, se utilizan para el difusor agua de condensador (una mezcla de condensado y agua de refrigeración) y condensado (agua producida por la condensación de vapor o vapor en el proceso de evaporación).

La pulpa húmeda descargada desde el difusor se prensa primero en las prensas de pulpa para reducir la humedad de la pulpa (de aproximadamente 90 a 75%). El agua de prensa de las prensas de pulpa se tamiza para eliminar las partículas de pulpa fina, se calienta a 70 a 90 ° C y se bombea de nuevo al difusor. Lo mejor es enfriar el agua de la prensa a unos 65 ° C antes de volver a utilizarla en el difusor.

El calentamiento de agua de prensa antes de devolver el agua al difusor desinfecta el agua hasta cierto punto, evitando así la pérdida de azúcar debido a una menor actividad microbiana. Además, el agua de prensa en algunas fábricas se trata con un biocida (una sustancia química para destruir microorganismos)

El jugo de difusión es el producto y la pulpa húmeda es el subproducto del proceso de difusión. El Jugo de difusión tiene las siguientes características:

- Un ph 6
- Color oscuro
- Un contenido de sustancia seca de aproximadamente el 15%
- Pureza de 85 a 88%

La pulpa húmeda es el subproducto del proceso de difusión. La pulpa húmeda tiene un alto contenido de humedad de aproximadamente el 90%. Se presiona hasta aproximadamente el 80% y se seca hasta un contenido de humedad de aproximadamente 10%

## 3.7 DEPURACIÓN DEL JUGO (PURIFICACIÓN, SEDIMENTACIÓN Y FILTRACIÓN).

La composición del jugo de difusión es:

Azúcar

Materias minerales disueltas

- potasio, cal, sodio, magnesio, sílice, hierro

materias orgánicas disueltas no nitrogenadas

- ácido oxálico, ácido nítrico, ácido málico, azúcar invertido

materias orgánicas coloidales nitrogenadas.

- prótidos, gomas, pectinas

Para llevar a cabo el proceso de depuración se utiliza cal, producida en la fábrica (*instalación auxiliar explicada en el capítulo 5*). La cal no es tan soluble en agua pura como en soluciones azucaradas, esto es por las mezclas que se crean entre azúcar y cal. Por este fenómeno, la cal actúa como depuradora sobre el jugo de difusión, ya que se fijan los componentes que no son azúcar en el carbonato cálcico, de manera que el compuesto obtenido es insoluble, y de este modo, la mezcla obtenida puede filtrarse para obtener un jugo de mayor pureza.

El jugo, producto de esta etapa, tiene una pureza más alta que el jugo de difusión, pero una sustancia seca más baja.

Es deseable un jugo azucarado con las siguientes propiedades:

- Color claro.
- Un pH entre 8.8 y 9.
- Alto grado de pureza.

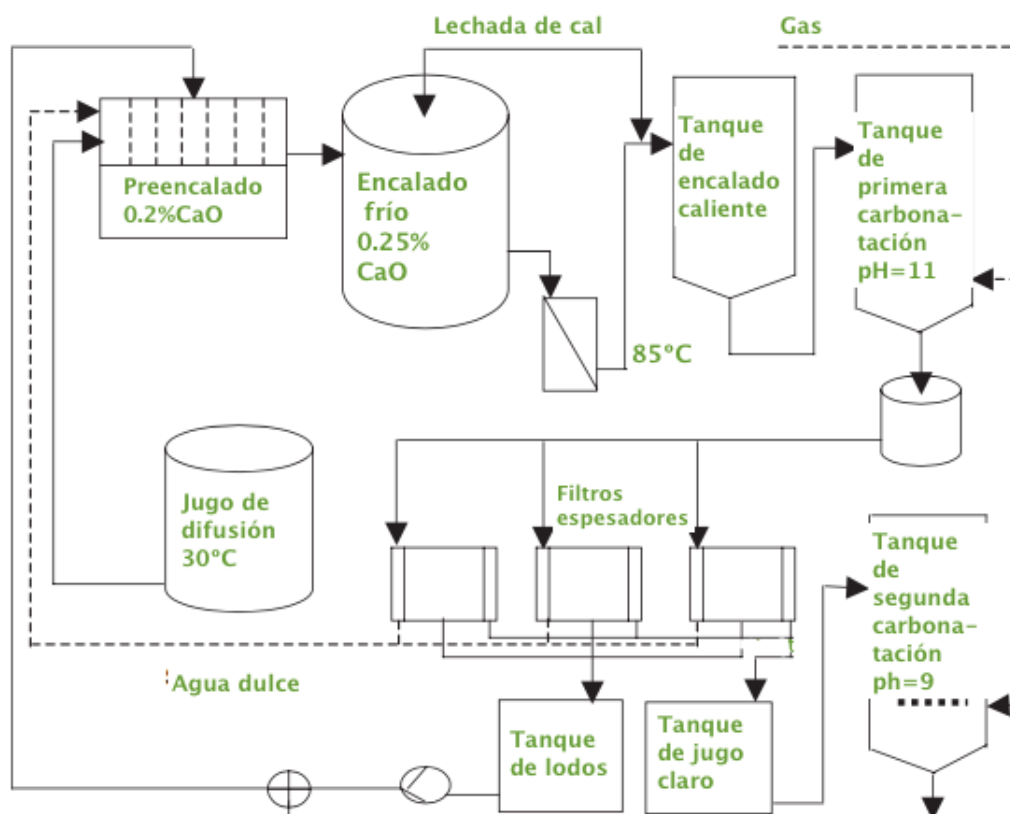


Ilustración 3-28: Defeco-carbonatación.

La imagen muestra un esquema del proceso desde que el jugo de difusión entra en el proceso hasta que sale como jugo azucarado. Existen dos tipos de purificación la clásica y la defeco-carbonatación, este apartado se centra en el segundo método mencionado.

Defeco es una abreviatura para la defecación, que se utiliza en la tecnología del azúcar para expresar la acción de añadir la cal y el gas al jugo al mismo tiempo. En el método de defeco-carbonatación, a diferencia del método clásico de purificación, tanto la cal como la carbonatación (adición de CO<sub>2</sub> al jugo) se llevan a cabo simultáneamente. La cal se añade al jugo progresivamente (a una velocidad lenta y constante) y el gas de carbonatación se aplica continuamente.

El método defeco tiene las siguientes ventajas sobre el método clásico:

- Procesa remolacha de calidad variable (incluyendo remolachas de baja pureza o dañadas) de manera eficiente.
- Produce un precipitado con mejor sedimentación, filtrabilidad y capacidad de absorción.
- Tiene un coste de equipo menor y requiere menos espacio.
- Produce un jugo de pureza superior.

Por estos motivos se elige este método para la planta de producción de azúcar.

Los pasos que sigue el jugo de difusión son los siguientes:

1. El jugo de difusión entra en el preencalador.
2. Parte del barro de la primera carbonatación regresa a unos compartimentos de el preencalador. Este regreso parcial del barro de la primera carbonatación crea precipitados estables.
3. El jugo preencalado se introduce en un encalado frío, que produce un jugo de color claro
4. El jugo encalado es calentado
5. Una vez caliente va a un tanque durante unos 10 minutos
6. El jugo encalado es gaseado en un carbonatador
7. El jugo es clarificado en filtros y el barro es separado en un tambor giratorio
8. El jugo claro es gaseado por segunda vez
9. El jugo es nuevamente filtrado en la 2ª carbonatación.

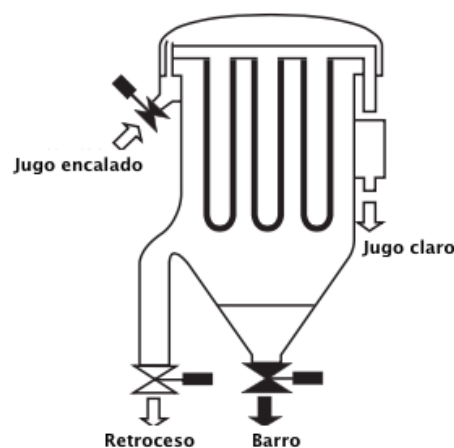


Ilustración 3-29: Filtros de espesamiento del proceso [3]



### 3.8 EVAPORACIÓN DEL JUGO:

La evaporación es el proceso de concentración de una solución por ebullición para convertir parte del líquido en vapor.

En las fábricas de azúcar, la evaporación se realiza bajo vacío, lo que disminuye la presión del jugo. La presencia de un vacío aumenta la diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) entre el vapor y el jugo, de modo que el jugo hierve a una temperatura más baja. La energía también se ahorra debido al descenso del punto de ebullición del jugo.

Para obtener una temperatura de ebullición baja en los evaporadores, un condensador mantiene el jugo a vacío. La presencia del vacío hace que el jugo hierva a una temperatura más baja.

La presión de vapor hasta el primer efecto es de 240 a 380 kPa. El efecto final funciona a presión cercana a la atmosférica.

Como se ha mencionado anteriormente, las funciones de la estación de evaporación en una fábrica de azúcar pueden resumirse como sigue:

- Concentrar el jugo.
- Producir condensado para calderas.
- Producir vapor y condensado para los usuarios de calor y condensado.

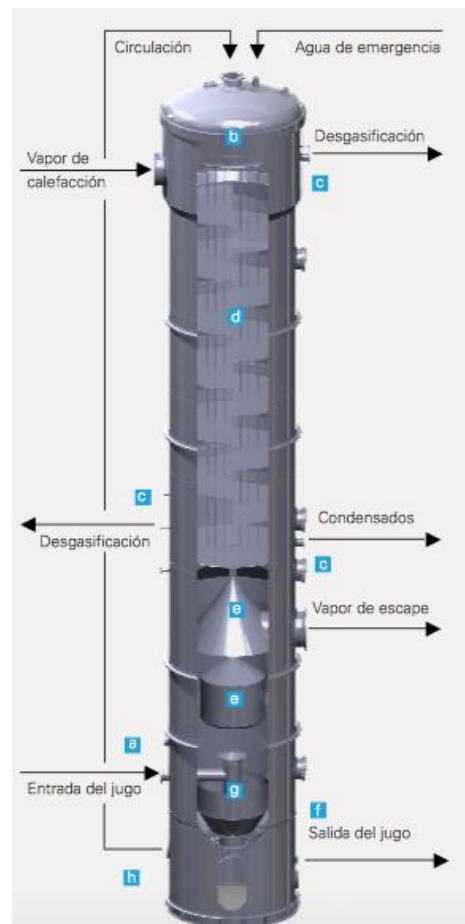


Ilustración 3-30: Evaporador [11]

La integración adecuada de estas tres funciones resulta en un uso eficiente de la energía en la fábrica. (La producción de vapor en la caldera, su distribución y su utilización en los intercambiadores de calor, evaporadores y concentradores son importantes para la eficiencia energética de cualquier fábrica de azúcar).

En la estación de evaporación, el jugo con aproximadamente el 15% de materia seca se calienta hasta aproximadamente 90°C. Entonces se bombea en los evaporadores para aumentar su concentración a aproximadamente 60% materia seca. El vapor cede su calor al jugo y deja los evaporadores como vapor y condensado. El jugo recibe el calor, hierve, pierde agua y deja los evaporadores en forma de jugo espeso, además; el vapor se puede suministrar a otras instalaciones usuarias de vapor, como la estación de cristalización y los intercambiadores de calor. El condensado se utiliza principalmente como agua de alimentación de la caldera y agua de suministro de difusión en la fábrica. El calor en el condensado también se usa para calentar algunos productos en proceso tales como el jugo de difusión.

### 3.8.1 EVAPORACIÓN MÚLTIPLE EFECTO:

Una estación de evaporación de efectos múltiples consta normalmente de tres a seis efectos, aunque lo más común en una fábrica azucarera son cinco efectos.

Una operación de evaporación de un solo efecto no es eficiente porque el vapor tiene una gran cantidad de energía y baja presión. Por lo tanto, las fábricas de azúcar utilizan la evaporación de múltiples efectos, en la que el jugo parcialmente concentrado que deja el primer efecto se introduce en el segundo efecto, y el vapor producido a partir del primer efecto se utiliza como medio de calentamiento para calentar el segundo efecto. Después de una concentración adicional, el producto del segundo efecto se convierte en la alimentación para el tercer efecto, y así sucesivamente. El vapor del último efecto va a un condensador. Finalmente, el producto del último efecto con la concentración final deseada es bombeado fuera del último efecto.

En la evaporación de múltiples efectos, el vapor se utiliza sólo en el primer efecto, lo que resulta en un ahorro de energía considerable para la fábrica. Cada efecto está equipado con un tanque de condensado que convierte el condensado en vapor disminuyendo la presión a utilizar en el siguiente efecto.

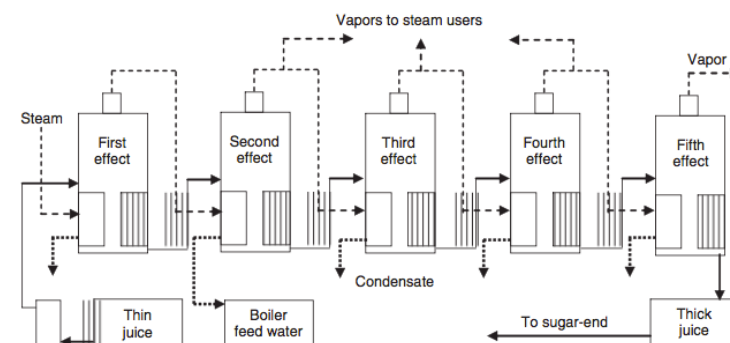


Ilustración 3-31: Evaporador múltiple efecto [3]



Ilustración 3-32: Evaporadores de efecto múltiple [12]

### 3.8.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR:

En la fábrica de azúcar, los intercambiadores de calor se utilizan para calentar los productos del proceso (jugos, jarabes y licores).

Son importantes para la economía de vapor de la fábrica porque los productos se calientan generalmente para un tener mejor rendimiento. Por ejemplo, para disminuir la diferencia de temperatura entre el jugo y el vapor que entra en la estación de evaporación, el jugo se calienta en calentadores a una temperatura próxima a la ebullición.

Los intercambiadores de calor se calientan generalmente utilizando vapor o condensado suministrado por la estación de evaporación. En las fábricas de azúcar se utilizan dos tipos de intercambiadores de calor:

- Intercambiador de calor de tubo.
- Intercambiador de calor de placas.

Un intercambiador de calor de tubo consiste en una tubería situada dentro de otra tubería. El vapor o condensado se introduce entre las tuberías, y el jugo se mueve dentro de la tubería más pequeña.



Ilustración 3-33: Intercambiador de tubos.

Un intercambiador de calor de placas consiste en un conjunto de placas paralelas de acero. Cada dos placas, se forma un canal de circulación. El caudal total del fluido, se divide en partes iguales por la cantidad de placas del intercambiador. Este se vuelve a dividir por la cantidad de subcanales internos de cada placa. Los intercambiadores de calor de placas pueden manejar un alto caudal (hasta 20 toneladas por hora).

Se están volviendo populares en las fábricas de azúcar debido a las siguientes ventajas:

- Superficie baja.
- Mantenimiento simple.
- Baja inversión de capital.
- Se puede aumentar la capacidad añadiendo más placas al marco.
- Operar satisfactoriamente, particularmente para calentar productos de baja viscosidad.

La desventaja de estos calentadores es la rápida acumulación de deposición de incrustaciones sobre la superficie de las placas debido a la estrecha separación entre placas. La deposición a escala disminuye la velocidad de transferencia de calor, por lo que las placas deben limpiarse a intervalos regulares.

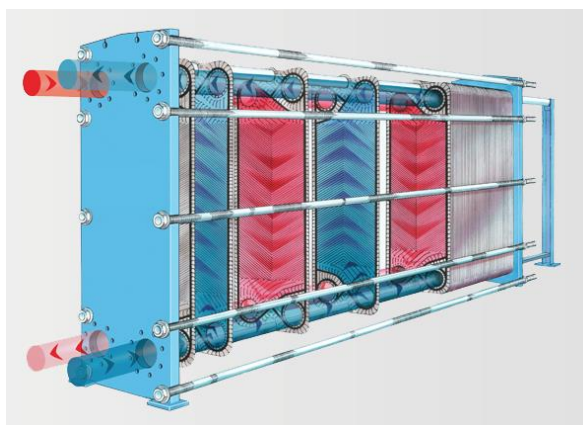


Ilustración 3-34: Intercambiador de calor de placas. [13]

El intercambiador de calor de placas se compone de una serie de placas metálicas integradas con juntas dispuestas de forma alternativa y atornilladas entre los bastidores de los extremos para formar canales mediante los cuales fluyen medios calientes y fríos.

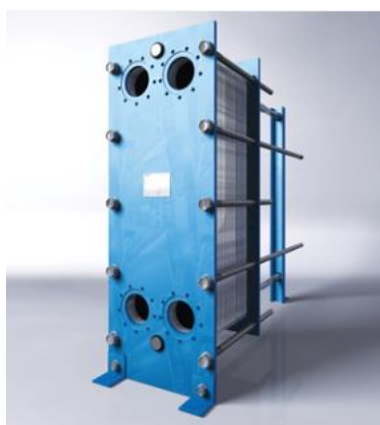


Ilustración 3-35: Intercambiador de calor de placas II. [13]

### 3.9 CRISTALIZACIÓN Y CENTRIFUGACIÓN.

La cristalización ocurre cuando el soluto, la sacarosa, se mueve de una solución sobresaturada y se une a la estructura cristalina, es una de las técnicas de separación más eficaces, proporcionando un efecto de eliminación de impurezas de hasta el 99,9%.

En otras palabras, las impurezas están excluidas del proceso de cristalización y el soluto puro es la única sustancia que cristaliza (el azúcar refinado granulado contiene más del 99,9% de sacarosa y el azúcar en bruto del 96 al 99%).

Desde el punto de vista de la tecnología del azúcar, la cristalización se realiza bien cuando se producen cristales uniformes de alta pureza.

Los principales propósitos de la cristalización en la fábrica de azúcar son producir:

- Azúcar con la máxima calidad posible, con alta eficiencia y bajo coste
- Melazas con la menor pureza posible (llamadas melazas agotadas o satisfactorias)

En términos azucareros, el producto del proceso de cristalización se denomina "masa cocida", que es una mezcla semisólida constituida por cristales y la solución alrededor de los cristales, llamada miel madre. Es decir, la miel madre es la miel de donde se crean los cristales.

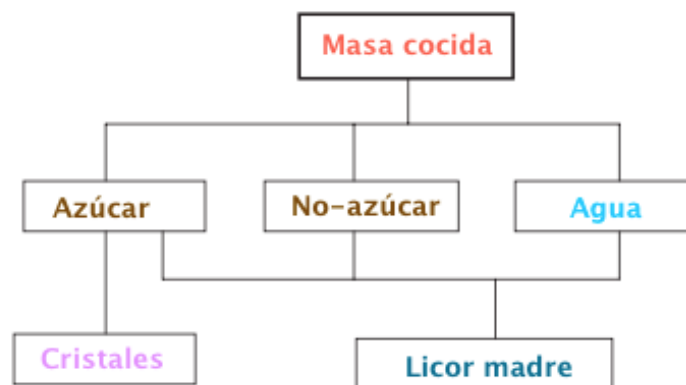


Ilustración 3-36: Componentes de la masa cocida

En esta etapa lo que se busca es que la sacarosa disuelta en el jarabe cristalice para obtener azúcar sólido, este es un proceso complejo, que consta de varias cristalizaciones y refundición para poder llegar al producto final, con una calidad adecuada para su venta.

Las soluciones de sacarosa se reutilizan tantas veces como sea posible hasta que dejan de cristalizar y producen lo que se conoce como melaza, que es un subproducto del proceso, que se almacena en la fábrica y tiene distintos usos (*Instalación auxiliar explicada en el Capítulo 5*)

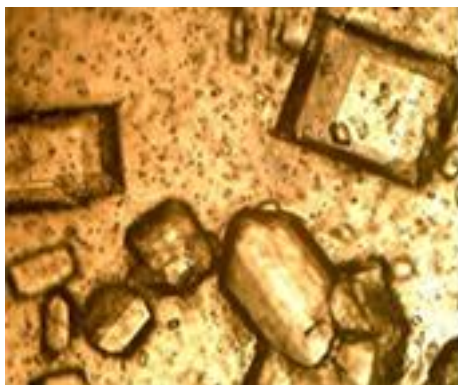


Ilustración 3-37: Proceso de cristalización. [14]

### 3.9.1 CRISTALIZACIÓN EN UNA FÁBRICA AZUCARERA.

El cuarto de azúcar es el último departamento de la fábrica azucarera y es en este lugar donde se obtiene el azúcar mediante un proceso de cristalización, este proceso se lleva a cabo en unos cristalizadores de vacío llamados tachas. En ellas se forman los cristales de azúcar que dan lugar al azúcar refinado.

El proceso se realiza en tres etapas (1ª, 2ª y 3ª), cada una con sus correspondientes tachas, que conectadas en serie procesan la parte de la sacarosa no cristalizada en las tachas anteriores.

Las etapas más importantes en un proceso de cristalización batch son:

- (i) Alcance de la sobresaturación.
- (ii) Formación de núcleos de cristales (nucleación).
- (iii) Crecimiento para formar cristales grandes.

La cristalización, tiene por objeto obtener cristales de azúcar de la mayor pureza posible. La primera cristalización tiene lugar en las tachas de 1ª, donde cristaliza parte de la sacarosa disuelta en el jarabe estándar, mediante evaporación del agua que contiene el jugo. Todas las tachas operan bajo condiciones de vacío, con objeto de rebajar el punto de ebullición de los productos que se procesan en ellas y así evitar la descomposición térmica de la sacarosa denominada caramelización.

Cuando se alcanza la condición de sobresaturación en el jugo, se siembran pequeños cristales de azúcar y se les hace crecer añadiendo nuevo jarabe, manteniendo en todo momento las condiciones de sobresaturación. Cuando se ha conseguido un tamaño adecuado de los cristales y se ha llenado la tacha completamente se tiene en su interior un producto denominado *masa cocida* de 1ª, formado por sacarosa cristalizada (azúcar), sacarosa y no-azúcares disueltos en una solución llamada *miel madre*, es entonces cuando la tacha se descarga y se limpia, quedando lista para un nuevo ciclo.

Para recuperar la cantidad máxima de sacarosa del jugo espeso y producir melaza de baja pureza, la industria azucarera utiliza un proceso de cristalización en tres etapas.

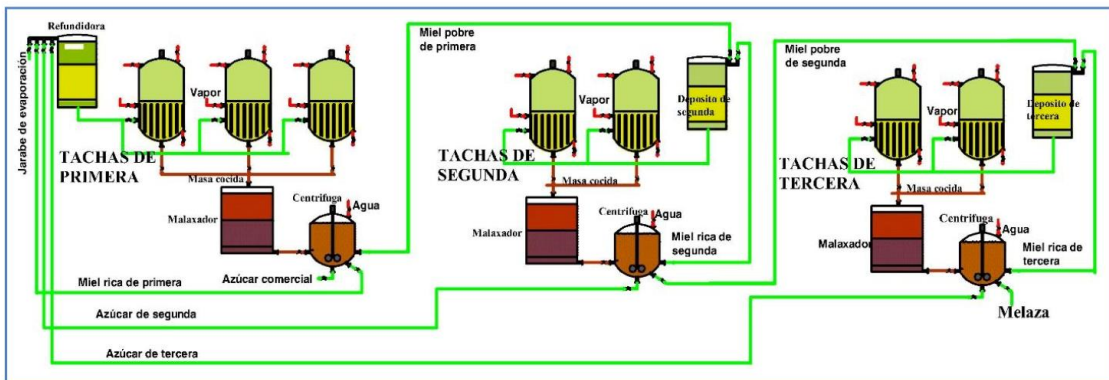


Ilustración 3-38: Esquema cristalización.

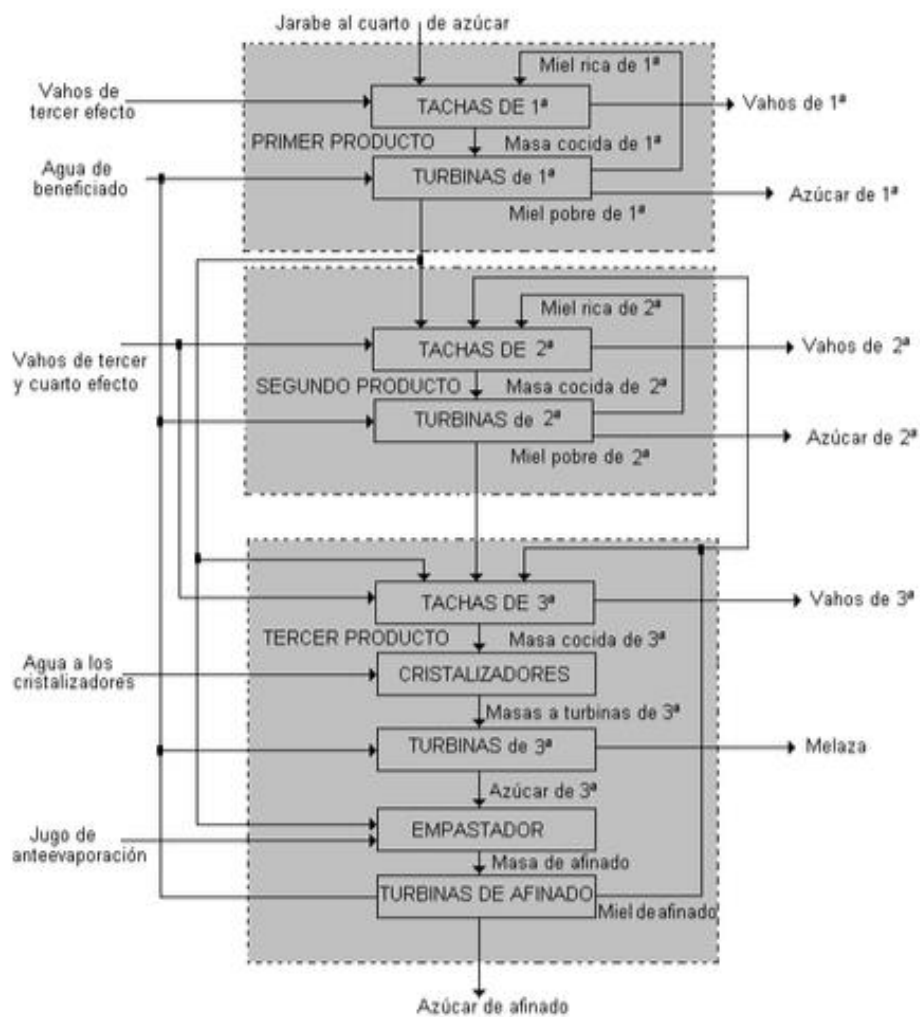


Ilustración 3-39: Diagrama del proceso de cristalización. [15]

El proceso de cristalización se puede subdividir en las siguientes etapas:

a) Refundición:

El jarabe procedente de la etapa de evaporación se envía a la refundidora, y en él se disuelve el azúcar de 2ª y el azúcar de afinado, obteniéndose una solución que se denomina jarabe estándar y que, tras un proceso de filtrado, se encamina a las tachas de 1ª.

b) Primera Cristalización:

La cristalización tiene por objeto obtener cristales de azúcar de la mayor pureza posible. La Primera Cristalización tiene lugar en las tachas, donde cristaliza parte de la sacarosa disuelta en el jarabe estándar, mediante evaporación del agua que contiene el jugo. Cuando se ha conseguido llenar una tacha se tiene en su interior un producto denominado masa cocida de 1ª, formado por sacarosa cristalizada, sacarosa y no-azúcares disueltos en una solución llamada miel madre. Todas las tachas operan bajo condiciones de vacío, con objeto de rebajar el punto de ebullición de los productos que se procesan en ellas y así evitar la descomposición térmica de la sacarosa (pérdida de sacarosa).

c) Centrifugado del Primer Producto:

El centrifugado de la masa cocida de 1ª tiene como objeto la separación de la sacarosa cristalizada de la miel madre. Esta operación se realiza en centrífugas, donde la sacarosa retenida en el cesto es sometida, durante una segunda etapa de centrifugado a un lavado de los cristales con agua y vapor a presión.

Por esta razón, la miel madre separada en las centrífugas se divide en dos tipos:

- Miel pobre: La centrifugada en la primera etapa.
- Miel rica: La que procede del lavado de los cristales en la segunda etapa.

d) Secado y acondicionado del azúcar.

Los cristales de sacarosa separados en las centrífugas de primera constituyen el azúcar blanquilla. A estos cristales se le somete a un proceso de secado, enfriamiento y posterior cribado, antes de proceder a las operaciones de envasado y empaquetado.

Las etapas b) y c) se repiten en las tachas de 2ª y de 3ª con las siguientes modificaciones: Las tachas de 2ª reciben como entrada miel procedente de la centrifugación del primer producto y la masa cocida que se obtiene se denomina masa cocida de 2ª. El centrifugado de la masa de 2ª da lugar al azúcar de 2ª y a la miel de 2ª. Este proceso se efectúa en centrífugas continuas cuyo efecto es análogo al de las del primer producto.

Las tachas de 3ª se alimentan con miel pobre para hacer el pie de tacha y luego con miel de 2ª y miel de afinado. Como producto se obtiene la masa cocida de 3ª, cuyo centrifugado da lugar al azúcar de 3ª y a la melaza.

El azúcar de 3ª y la miel de afinado se mezclan en un tratamiento de lavado de los cristales que se realiza en la afinadora. La masa resultante se centrifuga obteniéndose un azúcar de afinado y la miel de afinado.



Por último, la melaza obtenida se convierte en alcohol en una fábrica adjunta a la azucarera. El proceso es, pues, un ciclo cerrado donde la mayoría de los productos obtenidos se vuelven a reincorporar al proceso, con la salvedad del azúcar de 1ª (objetivo del proceso) y de la melaza (subproducto).

A continuación, se ilustran las tachas, centrifugas y cristalizadores presentes en esta etapa:

**Tachas:** En ellas se lleva a cabo la separación del azúcar del jugo extraído de las remolachas mediante un método de cristalización controlada por evaporación en un ambiente de vacío. Inicialmente, la tacha se carga con un jarabe azucarado subsaturado llamado jarabe estándar y que se almacena en los depósitos de jarabe estándar. Una vez cargada, el jarabe se calienta en condiciones de vacío con objeto de rebajar el punto de ebullición y así evitar la descomposición térmica de la sacarosa (proceso conocido como caramelización). Cuando se alcanza la condición de sobresaturación en el jugo, se siembran pequeños cristales de azúcar y se les hace crecer añadiendo nuevo jarabe y manteniendo condiciones de sobresaturación. Cuando se ha alcanzado el nivel máximo en la tacha, se descarga y limpia, quedando lista para un nuevo ciclo.



Ilustración 3-40: Tachas [10]

**Cristalizador:** El cristalizador tiene una doble misión; la primera es servir de depósito a la masa cocida cuyo destino son las turbinas y la segunda es permitir un aumento del porcentaje de cristales, esto último es consecuencia directa del enfriamiento que experimenta la masa cocida y por lo tanto del tiempo de residencia de ésta en el cristalizador. Se suele añadir a la masa un cierto caudal de agua para que no espese demasiado.



Ilustración 3-41: Cristalizador. [10]

**Centrífugas:** En ellas es donde se produce la separación de las masas en cristales y miel. Las centrífugas son máquinas que poseen una canasta cilíndrica giratoria forrada internamente por una delgada tela de cobre o acero inoxidable perforada con agujeros de pequeño diámetro que permiten el paso de la miel a la vez que retienen los cristales de azúcar. La separación se da a partir de la fuerza centrífuga que se genera en la máquina por el giro de la canasta a gran velocidad. La Masa Cocida se introduce a la máquina por medio de un canal de poca longitud desde el vaso de retención. El canal se cierra por medio de una compuerta apropiada. En el momento de la carga la máquina gira a baja velocidad. La masa forma entonces una capa vertical contra la pared de la canasta. Cuando esta capa adquiere el espesor deseado se suspende la entrada de la masa cocida.

Seguidamente la máquina es acelerada hasta alcanzar la velocidad de operación. Cuando el ciclo finaliza se descarga el azúcar a un conductor que transporta esta hasta la parte alta de la fábrica en donde se ubican las máquinas secadoras



Ilustración 3-42: Centrífugas [10]

### **3.10 SECADO, ALMACENAMIENTO Y ENVASADO**

El azúcar húmedo descargado de la estación centrífuga tiene un contenido de humedad entre el 0,1 y el 1% y está a una temperatura de aproximadamente 60°C. La humedad se elimina secando en el secador de azúcar.

El proceso de secado y enfriamiento del azúcar consiste en eliminar el agua del azúcar húmedo. La mayor parte del agua en el azúcar húmedo se encuentra en la superficie de los cristales en forma de una solución saturada de sacarosa con alta pureza (muy cerca del 100%) y alta concentración (aproximadamente 80%).

El azúcar húmedo se seca y se enfría en el secador de azúcar hasta un contenido de humedad de aproximadamente 0,05% y una temperatura inferior a 35 °C. El azúcar pierde más humedad y se enfría durante el transporte de la secadora al silo o en la estación de embalaje. Para asegurarse de que el azúcar es seguro para el embalaje y el envío, generalmente se mantiene durante 24 a 72 horas (dependiendo de su contenido de humedad) bajo suficiente corriente de aire con baja humedad relativa, por ejemplo, en un silo de azúcar.

Durante este proceso, conocido como acondicionamiento del azúcar, el azúcar alcanza el contenido de humedad de equilibrio, y su temperatura se reduce. El azúcar acondicionado tiene un contenido de humedad de aproximadamente 0,03, tiene una temperatura ambiente y es de flujo libre. El azúcar con tales propiedades es seguro para almacenar y enviar, esto se explicará con más detalle en la sección de almacenamiento.

#### **3.10.1 SECADO Y REFRIGERACIÓN DE AZÚCAR.**

Después de que el azúcar húmedo es descargado de las centrifugas, un transportador de tornillo o elevador de cangilones lo transporta hasta una tolva que alimenta el azúcar húmedo al secador de azúcar.

El proceso de secado de los cristales de azúcar húmedos los cuales están cubiertos por una capa de solución saturada de sacarosa va acompañado de un proceso de cristalización. La cristalización se produce porque la solución alrededor de los cristales se sobresaturiza a medida que el contenido de agua disminuye, por lo que el soluto, la sacarosa, se mueve de la solución sobresaturada y se adhiere a la estructura cristalina. Como se ha mencionado, la reducción del contenido de humedad hasta el nivel deseado (por debajo de 0,03%) se produce durante el enfriamiento y acondicionamiento del azúcar. Por lo general, el azúcar se enfría a 25 a 35°C, que es una temperatura segura para almacenar azúcar en silo.

El enfriamiento, y en particular el acondicionamiento, es el paso final de la producción de azúcar blanca y refinada. Sitúa al azúcar en una condición estable para el almacenaje, el empaquetado y el transporte. El contenido máximo de agua residual depende de la calidad del azúcar y debe estar en el rango de 0,03% a 0,04%, mientras que la temperatura máxima, que depende de las especificaciones del cliente, las condiciones climáticas y la tecnología del silo disponible, debe estar entre 25 ° C y 40 ° C.

El producto terminado debe estar libre de grumos de azúcar.

En general, el secado del azúcar tiene lugar en un secador de tambor, el movimiento entre los cristales debe ser suave para evitar la formación de capas de cristal amorfo sobre la superficie del cristal.



Ilustración 3-43: Sistema secador de tambor. [10]

En un tambor secador en contracorriente se dan las condiciones ideales para un secado efectivo de los cristales de azúcar que vienen directamente de la centrífuga con la humedad correspondiente. Mediante el movimiento de los cristales en el tambor de secado se producen interacciones mecánicas entre el licor ya seco y componentes aún líquidos que crean los gérmenes de cristalización necesarios.

El tambor, que rota en su eje longitudinal, tiene una ligera inclinación desde la alimentación del producto hasta la descarga del mismo, lo que garantiza el transporte del producto. El aire necesario para el secado se calienta en recalentadores de aire hasta adquirir la temperatura necesaria y se pasa por el secador por contracorriente

### 3.10.2 ALMACENAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AZÚCAR

Después del cribado, el azúcar a granel se almacena en silos de acero o de hormigón. El primer silo de acero Weibull fue desarrollado en Suecia en 1933. Desde entonces, muchas fábricas de azúcar han instalado silos de acero con una capacidad de 20000 a 80000t. La principal razón para instalar un silo de azúcar es que tiene menor coste que otros tipos de almacenamiento.

El objetivo del acondicionamiento es que el azúcar que se descarga del secador pueda perder el agua que aún tengan y alcanzar el contenido de humedad de equilibrio. Si no se eliminase esta agua y se almacenara el azúcar en un lugar sin ventilación, se producirían aglomeraciones. Por lo tanto, el azúcar debe estar acondicionado a una temperatura segura (alrededor de 25°C) y un contenido de humedad (aproximadamente 0.03%) en el enfriador o en el silo con un sistema de ventilación completo.



Ilustración 3-44: Silos de Azúcar [16]

### 3.10.3 ENVASADO:

La fábrica de embalaje de azúcar opera todo el año recibiendo el azúcar del silo para producir diferentes tamaños de envases de azúcar. El azúcar se envasa en diferentes tamaños desde stick o sobres de 5g (para uso en restaurantes y otros lugares comerciales), hasta 1000kg.

En general, los paquetes de azúcar se dividen en dos tamaños:

- Tamaño industrial: Paquetes de más de 10kg.
- Tamaño al por menor: Paquetes de hasta 10kg.

La empresa de venta al por menor consta de varias máquinas automáticas de envasado. Por lo general, las máquinas de embalaje se utilizan para empaquetar paquetes de peso particular. Los tamaños más comunes son 2kg y 2.5.

Las máquinas de embalaje varían en diseño y velocidad. La máquina para líneas de embalaje de 1 y 5 kg embala de 30 a 100 bolsas por minuto, las máquinas más modernas pueden embalar hasta aproximadamente 220 paquetes por minuto.

Al embalar bolsas de pequeño tamaño, la máquina pesa la cantidad requerida de azúcar y la pone en el empaquetador, que envasa el azúcar en una bolsa de papel de dos paredes. La bolsa se sella con un pegamento de acetato de polivinilo (PVA), se dobla y se comprime para fijar el pegamento. Los paquetes viajan a una máquina de embalar, que pone seis o doce paquetes (dependiendo del tamaño del paquete) dentro del papel Kraft para producir un fardo de paquetes, que luego se pone en pallets.

Los envases de tamaño industrial común son 20 kg ,40 kg, 100 kg y 1000 kg. A diferencia de las bolsas pequeñas, las bolsas de gran tamaño no se embalan en fardos, sino que se apilan directamente en el pallet.

El azúcar también se envasa en bolsas a granel FibC. Los FIBC (Flexible Intermediate Bulk Containers) comúnmente conocidos como **Big-Bags** son la forma más popular disponible en el mercado para el envasado de mercancías a granel. El Big-Bag está fabricado con un tejido de diferentes tramas, formado por "hilos" de polipropileno.



Ilustración 3-45: Big bags [17]

En España, en la propia fábrica se empaqueta en Big Bags para – posteriormente – el destinatario (mayorista) realice el empaquetado para venta al público.

### 3.11 DISTRIBUCIÓN.

Hoy en día, más de la mitad del azúcar se transporta en forma masiva por camiones cisterna o vagones. También se usan contenedores móviles para entregar el azúcar a los clientes que no tienen su propio contenedor y necesitan grandes cargas de azúcar.

Lo más es el transporte en camión, este llega a la fábrica y se carga en la zona destinada a ello con las bigbags de azúcar, y las lleva a un centro donde se realizan los distintos tipos que envasado que se conocen actualmente.

## 4 SUBPRODUCTOS DE LA FÁBRICA.

---

**E**n 100kg de remolacha azucarera, alrededor de 75kg es agua y 25kg es materia seca.

Alrededor de 15 kg de la materia seca termina en forma de un producto (la cantidad de azúcar producida es aproximadamente un séptimo del peso de las remolachas) y el resto que serían 10 kg terminaría en una combinación de subproductos. Esto se traduce en que aproximadamente un 60% de la materia seca de la remolacha se convierte en producto, y un 40% en subproducto. Los subproductos de la fábrica de azúcar de remolacha son los siguientes:

**Pulpa en pellets:** A partir de la remolacha se extrae la pulpa que, tras ser sometida a un proceso de prensado, secado y granulado, se comercializa como pienso para ganado.



Ilustración 4-1: Pulpa prensada en pellets. [14]

**Pulpa prensada:** Constituida por unos filamentos estrechos y largos de remolacha obtenidos tras la extracción del azúcar mediante agua y a los que se les elimina el exceso de líquido por presión mecánica.



Ilustración 4-2: Suministros de pulpa. [14]

la pulpa se puede suministrar, como se muestra en la ilustración, a granel, en microsilos de 1 tonelada y ensilada.

**Melaza:** Del proceso de extracción del azúcar también se obtiene la melaza, la principal materia prima para la fabricación de alcohol, ácido cítrico, levadura para panificación y pienso para ganado.



Ilustración 4-3: Melaza [14]

**Carbocal:** Fertilizante ecológico que mejora la calidad del suelo y la nutrición de las plantas. Es el resultado del proceso de separación de los “no azúcares” del jugo azucarado extraído de la remolacha azucarera, por lo que contiene elementos bioestimulantes. Se suele suministrar en big bags



Ilustración 4-4: Proceso de obtención Carbocal [14]



## 5 INSTALACIONES AUXILIARES PARA PROCESOS.

---

**E**n este capítulo se explican tanto las instalaciones auxiliares comunes a cualquier tipo de industria como las propias de una fábrica azucarera.

### INSTALACIONES PROPIAS AZUCARERA

PRODUCCIÓN DE LECHADA DE CAL Y GAS CO<sub>2</sub>

LABORATORIO DE REMOLACHA.

AGOTAMIENTO DE LA MELAZA

ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE LA PULPA

### INSTALACIONES COMUNES A PLANTAS INDUSTRIALES

INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

PRODUCCIÓN DE VAPOR Y ELECTRICIDAD.

INSTALACIÓN SATÉLITE DE GAS NATURAL.

INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN Y VENTILACIÓN.

RED DE SANEAMIENTO

ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES.

SUMINISTRO DE AGUA.

INSTALACION DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

INSTALACIONES ELECTRICAS

## 5.1 PRODUCCIÓN DE LECHADA DE CAL Y GAS CO<sub>2</sub>

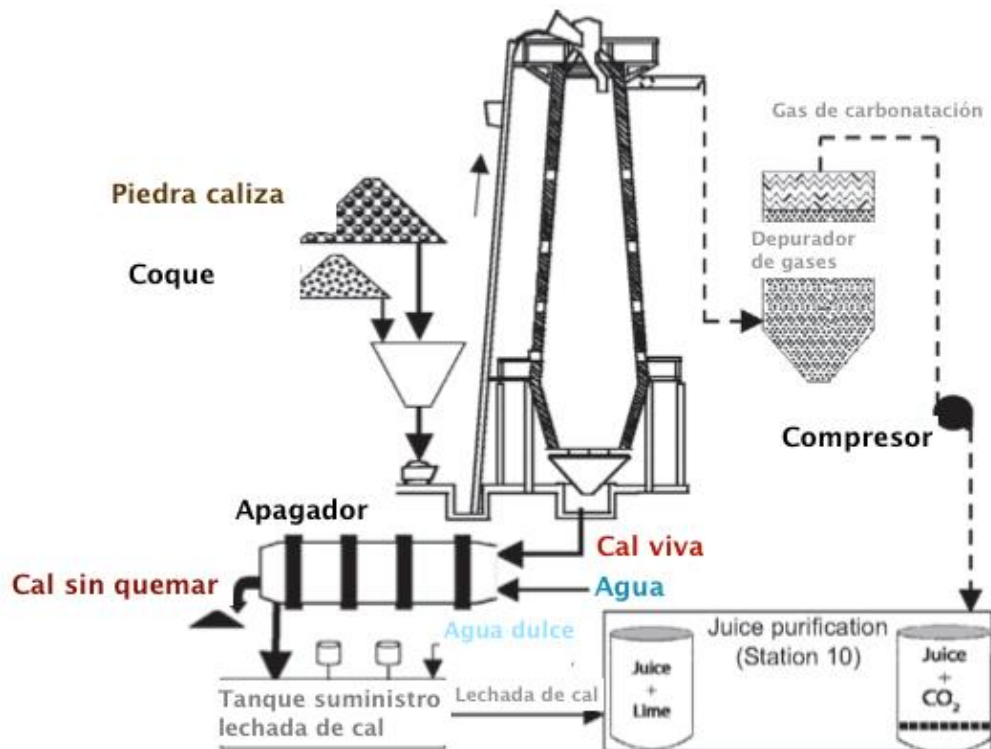
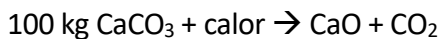
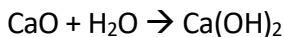


Ilustración 5-1: Esquema instalación.

La estación de producción de lechada de cal y gas, consiste en dos procesos; el primero es la calcinación, que consiste en la descomposición de la piedra caliza (CaCO<sub>3</sub>) en cal viva (CaO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).



El siguiente proceso es la mezcla de cal viva con agua para producir lechada de cal, que es una suspensión de Ca(OH)<sub>2</sub> en agua



En la operación del horno de cal, se mezcla la piedra caliza y el coque, esta alimentación se mueve lentamente a través del horno atravesando tres zonas:

- Zona de precalentamiento.
- Zona de calcinación.
- Zona de enfriamiento.

Cada una de estas zonas ocupa aproximadamente un tercio de la altura del horno, la temperatura en la zona media alcanza los 1100 °C y es la más alta.

Tras la descarga por la zona baja del horno la cal viva es transportada al apagador, para ser mezclada con el agua y producir lechada de cal.

A continuación, se guarda la lechada de cal en los tanques de suministro durante aproximadamente 30 minutos con el objetivo de que se complete totalmente la reacción entre la cal y el agua.

Tras esto la cal está lista para ser utilizada en la depuración.

El gas de carbonatación es recogido en la zona superior del horno y canalizado al depurador de gases, donde las partículas de cal que pudieran quedar son eliminadas y el gas es enfriado. El gas limpio pasa por un compresor para aumentar su presión y tras este paso, está listo para ser usado. La combustión del fuel suministra la energía necesaria para la reacción, aunque se pueden usar varios combustibles, las fábricas azucareras usan sobre todo el coque y el gas natural, debido a que son los que menores costes tienen en términos de su contenido energético y además funcionan bien en la operación del horno de cal.

TIPOS DE HORNOS: Existen muchos tipos de hornos, pero el más usado en la industria azucarera son los hornos verticales, a los que también se les conoce como hornos verticales de alimentación mixta, porque la piedra caliza y el coque son mezclados previamente antes de ser alimentados al horno.



Ilustración 5-2: Horno para producir cal y gas carbonico. [18]

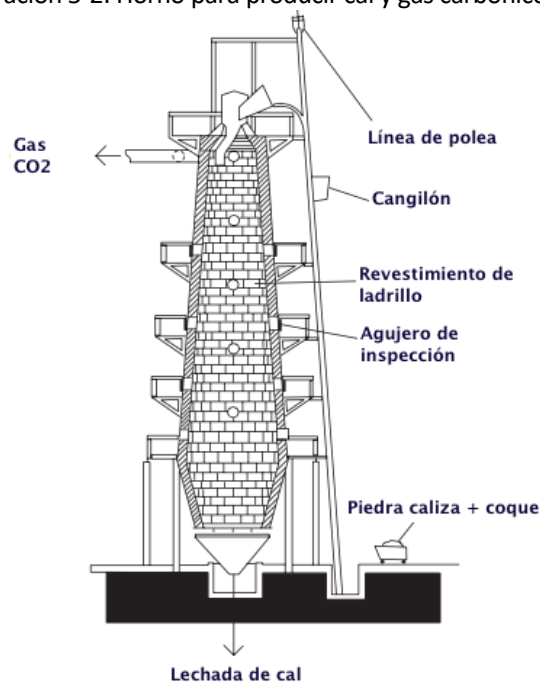


Ilustración 5-3: Partes del horno.

## 5.2 LABORATORIO DE REMOLACHA.

El laboratorio de la remolacha es un laboratorio pequeño colocado generalmente cerca del área que recibe la remolacha. La función principal del laboratorio de remolacha es determinar el contenido de tara de remolacha (arcilla, arena, piedra y malezas mezclada con la remolacha) y azúcar. Los datos del laboratorio de remolacha se utilizan para calcular los pagos de los productores.

El pago de las remolachas a los productores se basa en el peso neto de la remolacha (peso de la remolacha sin tara) y en el contenido de sacarosa. Las estaciones receptoras de remolacha están equipadas con un dispositivo de muestreo, que se instala delante de la báscula, ya se ha visto previamente que, por lo general las remolachas llegan a la fábrica por camión o vagón.

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

Cada entrega que se aporta a la fábrica lleva no solamente la remolacha propiamente dicha sino también bastantes impurezas como son: tierra adherida o suelta en camión, materias vegetales (hierbas, hojas, raíces) y piedras (arenas y gravas).



Ilustración 5-4: Análisis de remolacha en el laboratorio.



Ilustración 5-5: Laboratorio de remolacha.

## 5.3 AGOTAMIENTO DE LA MELAZA

El azúcar es la sustancia más valiosa presente en la remolacha azucarera, y su lugar en la fase final de la producción de azúcar debe estar en el producto final, no en la melaza. En la tecnología del azúcar, la acción de reducir la pureza de la melaza al nivel más bajo posible se denomina agotamiento de melaza.



Ilustración 5-6: Melaza [14]

Cada fábrica de azúcar fabrica melaza, pero el hecho de que exista azúcar en la melaza se considera una pérdida de azúcar. La reducción de la presencia de azúcar en la melaza es uno de los objetivos más importantes de la fábrica de azúcar porque aumenta la rentabilidad. La forma más fácil de evaluar el rendimiento de una fábrica de azúcar es la pureza de la melaza (cuanto menor sea la pureza de la melaza, menos azúcar quedará en la melaza, con la misma cantidad de melaza). La producción de melaza con baja pureza es el mejor crédito que una fábrica de remolacha puede obtener.

### 5.3.1 FORMACIÓN DE LA MELAZA:

En la fase final de cristalización, la carga no azucarada en la miel madre y su viscosidad aumentan en la medida en que no es posible el mantenimiento adicional de la supersaturación.



Ilustración 5-7: Almacenamiento de melaza

Como se ha indicado en la sección previamente, la cristalización del azúcar se produce porque las moléculas de sacarosa se trasladan de la miel madre a la estructura cristalina. En una miel madre viscosa, como la melaza, el movimiento de las moléculas de sacarosa se hace extremadamente lento, causando una tasa de cristalización demasiado baja.

La melaza que se ha obtenido en la tercera etapa de la cristalización es separada y almacenada. Entre las aplicaciones pueden citarse:

- Tratamientos para la obtención de más azúcar.
- Preparación de piensos.
- Fermentación para la obtención de alcohol, ácido cítrico, ácido láctico y otros productos minoritarios.

En la fábrica se instalarán depósitos para el almacenamiento de la melaza.

## 5.4 ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE LA PULPA.

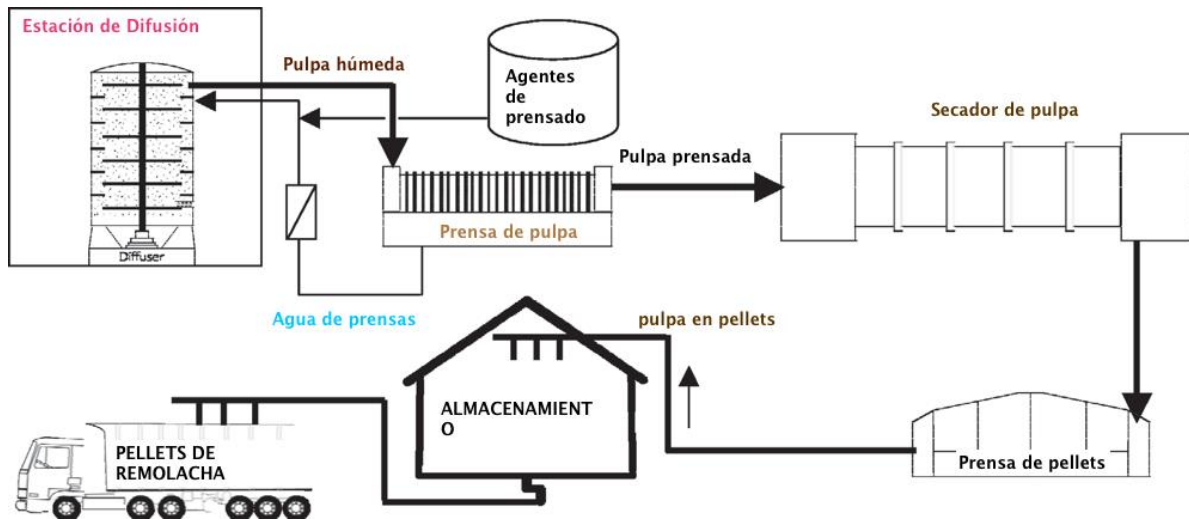


Ilustración 5-8: Esquema estación tratamiento pulpa.

### 5.4.1 PRENSADO DE PULPA:



Ilustración 5-9: Prensas de pulpa I. [19]



Ilustración 5-10: Prensas de pulpa II. [19]

La pulpa húmeda que sale del difusor es transportada por un transportador de tornillo a la sección de prensado de pulpa. El prensado mecánico es el proceso más económico que se conoce para eliminar el agua, El agua de prensa se recoge en un tanque y después se bombea a un filtro donde se retiran partículas finas de pulpa y se devuelven para volver a prensarlas.

El agua utilizada se calienta hasta unos 80 ° C antes de ser devuelta al difusor.

La operación de prensado de pulpa es importante porque:

- Elimina aproximadamente el 80% del agua total presente en la pulpa húmeda
- Proporciona parte del agua necesaria para el proceso de difusión
- Reduce la carga al sistema de aguas residuales
- Ahorra energía en el secado de la pulpa

Sin prensar, sería antieconómico secar la pulpa porque hacerlo requeriría demasiada energía.

#### 5.4.2 SECADO DE PULPA:

La pulpa prensada es dirigida por un transportador de cinta al secador de pulpa para producir pulpa seca con un contenido de humedad de aproximadamente 10%. Las partículas de pulpa húmeda son altamente porosas, por lo que la humedad puede ser eliminada fácilmente en el secador, donde el calor se forma por la combustión del combustible con aire para evaporar el agua de la pulpa.

Como combustible se usan tanto el carbón, petróleo o el gas natural. Las fábricas de remolacha generalmente utilizan secadores de tambor, que tienen un horno similar al horno en una caldera.

Un tipo son los secadores de tambor, que son populares en la industria azucarera porque pueden usar varios combustibles. Un secador de tambor es un tambor giratorio grande que gira a aproximadamente 2 RPM para evitar que la pulpa se pegue a la pared del tambor. Los secadores producen aire caliente-seco (700 a 900°C) para quitar el agua de la pulpa.

En el extremo de descarga del tambor, el gas de secado pasa a través de un vaso de expansión para separar el gas de secado de la pulpa seca.



Ilustración 5-11: Equipo para secar la pulpa. [20]

Actualmente se lleva a cabo en la mayoría de las fábricas (en la medida que sea posible ya que en el norte de España esta medida no sería viable) el proyecto del secado solar de pulpa.

A día de hoy, el secado solar de la pulpa es ya una realidad en todas las plantas de producción de Azucarera Ebro, con la excepción de Miranda de Ebro, donde no se dan las condiciones climatológicas oportunas para llevarlo a cabo.

Desde el punto de vista medioambiental, el secado solar facilita una significativa reducción de emisiones de  $\text{CO}_2$  estimada en unas 12.500-13.000 toneladas al año dependiendo de la fábrica.

Por otra parte, se consigue un importante ahorro de costes en infraestructuras de secado, mantenimiento de las mismas y, sobre todo, minimización del gasto energético al dejar de utilizar combustibles fósiles y utilizar fuentes alternativas mucho más ecológicas como es el sol.

Además, los resultados obtenidos han constatado que el secado natural no sobrecalienta la pulpa tanto como los secaderos, evitando la pérdida de calidad y cualidades organolépticas del producto final.



Ilustración 5-12: Logros del secado solar.



## 5.5 INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.

El aire comprimido es un elemento muy habitual en todo tipo de instalación industrial. Normalmente se emplea para obtener trabajo mecánico lineal o rotativo, asociado al desplazamiento de un pistón o de un motor neumático.



Ilustración 5-13: Estación de aire comprimido [21]

- **Compresor:**



Ilustración 5-14: Compresor con depósito integrado [22]

El compresor aspira aire de la atmósfera y lo comprime hasta un menor volumen, a continuación, lo almacena en un depósito. Los compresores se agrupan dentro de dos grandes familias: compresores de desplazamiento positivo (CDP) y turbocompresores (TC).

- **Equipo refrigerador posterior**

El flujo de aire, una vez sale del compresor, además de salir a mayor presión, también sale a mayor temperatura (oscila según el grado de compresión entre 70 °C y los 200 °C). El aire a mayor temperatura también aumenta su capacidad de contener agua, pero conforme se vaya enfriando toda esta agua irá condensando y si no se ha extraído previamente terminará en el interior de la instalación y llegará hasta los puntos de consumo, con el riesgo que ello conlleva,

no sólo en cuanto a durabilidad de la instalación y sus equipos (riesgo de oxidación), sino por el peligro de formación de plagas de microorganismos y el consiguiente riesgo de enfermedades.

Por ello, para evitar posibles condensaciones se coloca, nada más salir del compresor, un enfriador (aftercooler). El aftercooler no es más que un intercambiador de calor, que puede funcionar bien con agua o bien con aire como fluido caloportador. En la figura siguiente se muestra un esquema del dispositivo.

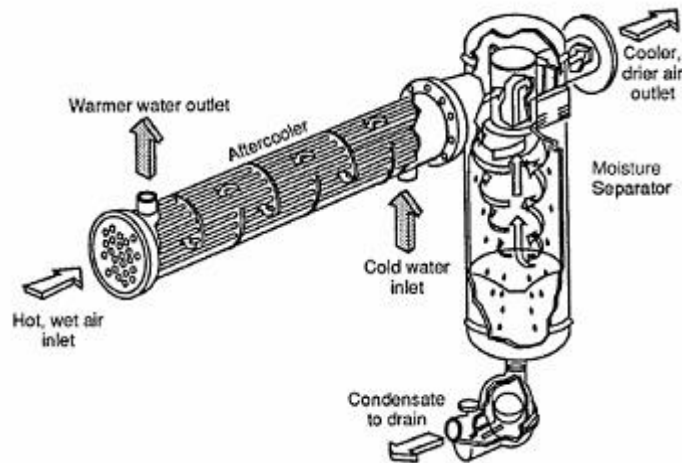


Ilustración 5-15: Aftercooler con deshumidificador incorporado. [22]

Justo detrás del enfriador, se coloca un deshumidificador que recoja lo antes posible el condensado producido. Este sistema ofrece una eficiencia entre el 80-90%, por lo que habrá que tener en cuenta la presencia todavía de agua en la instalación. Así, en el siguiente equipo, que suele ser el depósito de acumulación, habrá que dotarlo de una válvula en su fondo para que siga drenando el agua que no se ha eliminado con el deshumidificador.

- **Depósito de acumulación**

En todo sistema de aire comprimido es habitual la colocación de un depósito de acumulación de aire que alimente a las unidades de consumo. En una instalación con un compresor tipo todo / nada donde no exista un sistema de regulación de su velocidad que pueda acomodar la producción de aire a las necesidades de consumo, el depósito de acumulación funciona como un depósito pulmón, que permita reducir el número de arranques del compresor para hacer frente a la demanda de aire comprimido cada vez que se produzca. Generalmente es recomendable que un compresor tenga un régimen de arranques y paradas que se sitúe entre las 5-10 veces / hora.

El volumen de acumulación del depósito vendrá determinado por la capacidad del compresor, el sistema de regulación que se disponga y del modelo de consumo que va a seguir la instalación.

En la siguiente figura se muestra un depósito vertical dotado de las tubuladuras de entrada y salida de aire, boca de inspección, manómetro de medida de la presión interior, válvula de seguridad y válvula de desagüe o grifo de purga en la parte inferior del depósito.



Ilustración 5-16: Depósito de acumulación vertical [22]

La válvula de seguridad estará regulada a no más de un 10% por encima de la presión de trabajo y deberá poder descargar el total del caudal generado por el compresor. Deberá contar además con un dispositivo de accionamiento manual para poder probar periódicamente su funcionamiento.

Cuando el tanque se instala en el exterior y existe peligro que la temperatura ambiente se sitúe por debajo de 0° C, el manómetro y la válvula de seguridad, para evitar problemas de congelación, se deberán instalar en el interior y disponer de tuberías que los conecte con el depósito exterior. Estas tuberías deberán tener pendiente hacia el depósito de modo que sean autodrenantes.

En los depósitos de tamaño pequeño la inspección se realizará por medio de una simple boca bridada de 100 a 150 mm de diámetro, mientras que en los de tamaño mayores las bocas de inspección serán del tipo entrada de hombre (460 a 508 mm de diámetro).

Las tuberías para el control (regulación) deberán estar conectadas al depósito en un punto donde el aire sea lo más seco posible.

El filtro con válvula de purga permitirá drenar el agua y aceite acumulado en el fondo del depósito.

Para el cálculo del Volumen ( $V$ ) del depósito de acumulación es habitual el empleo de la siguiente expresión que relaciona las condiciones de funcionamiento del compresor con el consumo de aire de la instalación:

$$T = \frac{V \cdot (P_1 - P_2)}{C \cdot P_{atm}}$$

donde:

$T$  : Tiempo en minutos que transcurre entre arranques consecutivos del compresor, es decir, el tiempo que transcurre entre pasar de la presión máxima en el depósito ( $P_1$ ) a la presión mínima ( $P_2$ ) de tarado que produce el arranque del compresor. El número de arranques / hora que resulta óptimo para cada compresor es un dato que puede ser consultado en su hoja de especificaciones

$P_1 - P_2$  : Es la diferencia de presiones máxima y mínima alcanzada en el interior del depósito

$C$  : Es el consumo de aire en condiciones normales (CN) de la instalación ( $m^3/\text{minuto}$ )

$P_{atm}$  : Es la presión atmosférica.

Por otro lado, el depósito de acumulación es un punto donde el aire irá acumulándose a la vez que enfriándose, y por lo tanto, con la segura probabilidad que se produzcan condensaciones. De esta manera, habrá que disponer de un drenaje en la parte inferior del depósito para evacuar el agua que vaya condensando en su interior.

Generalmente este agua estará contaminada con aceite procedente de la lubricación del compresor, si es del tipo lubricado con aceite, por lo que no se podrá verter directamente a un desagüe sino que habrá que conducirla hacia un separador aceite-agua que extraiga la fracción de aceite contenido.

En muchas ocasiones, sobretodo en instalaciones con necesidades no muy grandes o en compresores portátiles, el depósito de acumulación va incorporado como un elemento más del compresor, como se aprecia en la figura siguiente.



Ilustración 5-17 Compresor con depósito integrado [22]

Por último, recordar que los depósitos de acumulación de aire comprimido es un aparato a presión, y por lo tanto deberá cumplir con la reglamentación específica de aparatos a presión válido en cada país.

- **Filtros:**

Como ya se ha dicho, el aire es una mezcla incolora, inodora e insípida de muchos gases, principalmente nitrógeno y oxígeno. Pero además, el aire se contamina de forma natural con partículas sólidas, como polvo, arena, hollín y cristales de sal, dependiendo del entorno y la altitud donde se encuentre la instalación. El vapor de agua es otro ingrediente natural que se puede encontrar en cantidades variables en el aire, además de restos de aceites que provengan de la lubricación del compresor.

Cuando se comprime el aire, aumenta la concentración de la humedad y de todos estos contaminantes, que si no se eliminan y permanecen en el sistema, producirán un efecto negativo sobre los equipos neumáticos, causando paradas de producción, productos defectuosos y reducción de la vida útil de los equipos, además de problemas higiénicos que pueden causar la proliferación de microorganismos por la presencia de humedad y otros contaminantes como aceites en los conductos del sistema de aire comprimido.



Ilustración 5-18: Filtro de aire. [22]

Resulta muy conveniente situar los filtros previos a los puntos de consumo, de manera que adecuen perfectamente su sistema de filtrado a los valores admisibles en cuanto contenido de aceite y de partículas, así como de vapor de agua antes de que el aire alcance el punto final de consumo.

- **Secado del aire comprimido**

El contenido de humedad del aire o de un gas comprimido se expresa normalmente por su punto de rocío, PR, en °C, es la temperatura a que tendría que enfriarse el aire para que el vapor de agua contenido en él condense.

Los fabricantes de secadores para aire comprimido, para especificar la eficacia de un secador, usan la terminología del PR alcanzado con él para describir la sequedad del aire. Pueden dar el punto de rocío a la presión atmosférica (PR), o sea 760 mm Hg, o bien el referido a la presión de trabajo, denominado punto de rocío a presión (PRP). Este último es más alto, es decir  $PRP > PR$ , y es el que realmente deberá tenerse en cuenta, dado que el aire comprimido se emplea a presión, y por lo tanto, a la presión de trabajo es cuando pueden producirse condensaciones perjudiciales en las conducciones y en los sitios de consumo.

Se realiza un primer secado del aire mediante un equipo refrigerador que se instala a la salida del compresor y que lleva incorporado un dispositivo para recogida del condensado (aftercooler con deshumidificador). Este equipo permite extraer entre un 80-90% del contenido de agua presente en el flujo de aire.

No obstante, hay muchas aplicaciones (sanitarias, equipos de laboratorio...) donde se requiere un aire de gran calidad y completamente seco. Para ello hay que someter al aire a un nuevo proceso de secado que elimine completamente el contenido de agua.

Existen varias tipologías de secadores, cada una con una complejidad y coste de instalación distinta. La variable que va a condicionar el coste y complejidad del secador necesario va a ser el punto de rocío a presión que tenga el aire a tratar. A menor punto de rocío mayor complejidad del secador.

Básicamente existen cinco técnicas aplicables al proceso de secado del flujo de aire: mediante refrigeración con separación posterior de la humedad, aplicando sobrepresión, secado por absorción, por adsorción y secado por membrana.

- **Separador de aceite / agua**

La fracción de condensado que decante en el fondo de los depósitos de acumulación, así como la fracción separada en los filtros separadores de agua, resulta ser un efluente acuoso con contenidos en aceite, sobre todo si se utilizan compresores lubricados con aceite.

La reglamentación vigente en la mayoría de los países impide el vertido en la red pública de saneamiento de agua con contenidos en aceite, por lo que previo a su vertido, habrá que someter al agua recogida a un proceso de separación, que permita recuperar el contenido de aceite y almacenarlo de forma independiente, y poder así verter el agua limpia resultante a la red de saneamiento. El aceite separado será retirado por un gestor autorizado para el tratamiento de este tipo de residuos.

Toda esta labor la desempeña un tipo de equipos llamados separadores de aceite/agua, como pueden ser los filtros de membrana.

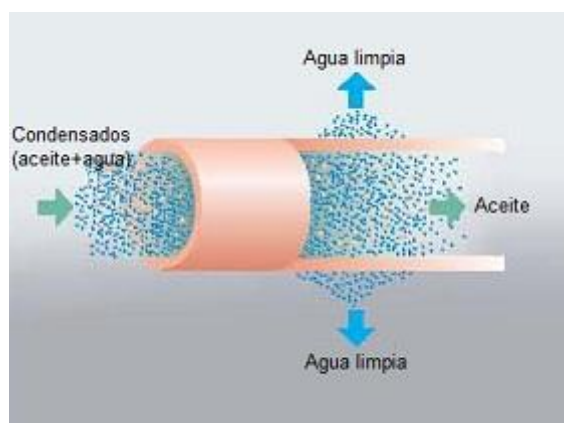


Ilustración 5-19: Filtro de membrana [22]

El principio de funcionamiento de un filtro de membrana es muy sencillo. La estructura de constitución de la membrana es tal que deja pasar a las moléculas de pequeño tamaño (agua limpia), mientras que retiene en su interior las moléculas de mayor tamaño (aceite) que son separadas del flujo y conducidas hasta un contenedor para su almacenamiento.

### 5.5.1 ETAPAS EN EL DISEÑO

Para realizar un buen diseño de un sistema de aire comprimido, éste debe cumplir con tres objetivos básicos: que la pérdida de carga sea mínima, disminuir las pérdidas o fugas en el sistema, y realizar un diseño tal que se facilite el drenaje del agua que se condense en el interior del circuito.

La red de distribución de aire comprimido deberá dimensionarse de tal forma que la caída de presión máxima entre la salida del compresor y el punto de consumo más lejano sea como máximo de 0,1 bar. A esta caída de presión habría que añadirle las pérdidas finales originadas en la manguera flexible de conexión y otros conectores con el instrumento o utensilio que constituye el punto de consumo.

En general en un sistema de distribución de aire comprimido se pueden distinguir distintos tipos de tuberías según su función:

- Tuberías o ramales principales que provienen directamente de la sala de compresores;
- Tuberías de distribución, que parten del ramal principal y se distribuyen por los locales de uso;
- Tuberías de servicios, que son las derivaciones de la tubería de distribución hasta los accesorios de aire comprimido o puntos de consumo finales.

La mejor forma de implantar la línea de distribución es formando un anillo cerrado alrededor de la zona de consumo de aire, del que cuelgan los ramales hasta los puntos de consumo final. Con ello se consigue una alimentación uniforme dado que cada punto recibe el aire desde dos direcciones, aunque los consumos sean intermitentes.

Por último, decir que en todo diseño de un sistema de aire comprimido se recomienda seguir la siguiente secuencia lógica de etapas:

- 1.- Identificar los accesorios, herramientas y equipos consumidores de aire comprimido, señalando su localización en planta y determinando las condiciones de su consumo, tales como: caudal de aire y presión de suministro o de trabajo del equipo, máximo nivel de humedad admitido en el aire, de partículas y de contenido de aceite;
- 2.- Establecer el porcentaje de tiempo de funcionamiento de cada consumidor y el número de consumidores que pueden trabajar de forma simultánea en cada línea de distribución y en la línea principal;
- 3.- Estimar las posibles pérdidas por fugas, incorporándolo en el cálculo;
- 4.- Realizar el cálculo de la caída de presión máxima para cada punto final de consumo. El mayor valor obtenido será el que condicionará las prestaciones del compresor;
- 5.- Selección de los restantes elementos del sistema (compresor, depósito, equipos de tratamiento, etc.) y diseño final del piping de la red.

### 5.5.2 ESTIMACIÓN DE CONSUMOS

En general, el consumo total de aire comprimido es aquel que resulta de sumar el consumo de todos los equipos neumáticos conectados en la planta, trabajando a pleno rendimiento. Este es un dato básico que permitirá la elección del tipo y dimensión del compresor.

A este valor hay que sumarle el obtenido por la estimación de las posibles fugas que en un futuro se originen en la instalación. Como nota extraída de la experiencia, decir que instalaciones bien conservadas presentan normalmente fugas que rondan entre el 2 y el 5%. Instalaciones con varios años de servicio pueden llegar a tener fugas del orden del 10%. Si además, las condiciones de mantenimiento no son del todo correctas, éstas pueden llegar a alcanzar valores del 25%.

Por otro lado, es habitual colocar en los puntos finales de consumo elementos como filtros y reguladores de presión que adecuen las características del aire a las especificaciones del equipo.



Ilustración 5-20: Regulador de presión y filtro [22]

## 5.6 PRODUCCIÓN DE VAPOR Y ELECTRICIDAD.

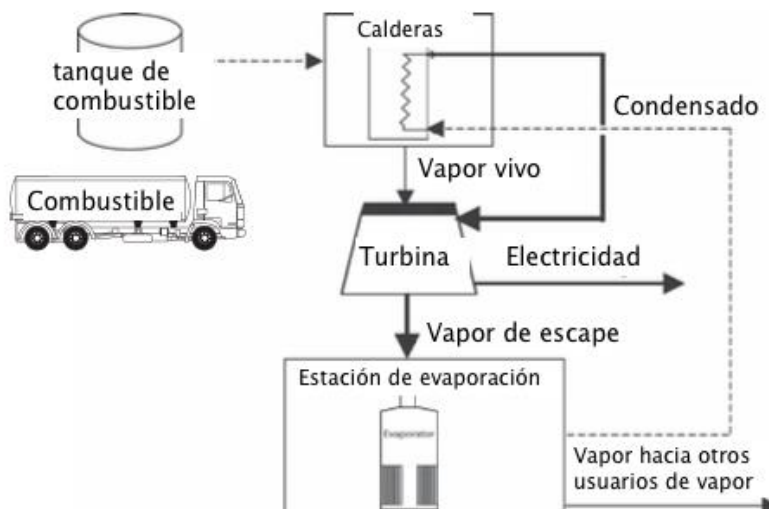


Ilustración 5-21: Esquema producción de vapor.



La producción de vapor en la sala de calderas y su uso eficiente en los evaporadores, turbinas e intercambiadores de calor son de gran importancia para la economía de la producción de azúcar.

Hoy en día, las fábricas de azúcar tratan de mantener el consumo de vapor en torno a 155kWh y el consumo de energía a unos 33kWh por tonelada de remolacha.

#### **VAPOR:**

El vapor de agua es el gas formado cuando el agua pasa de un estado líquido a uno gaseoso. Para convertir agua en vapor se usa energía térmica.

Cuando un combustible reacciona con el oxígeno del aire, la energía del combustible es absorbida por el agua para producir vapor, que se dirige a varios lugares de la fábrica, como la estación de evaporación. El combustible puede ser gas natural, petróleo o carbón.

#### **CALDERA:**

Una caldera industrial es un recipiente cerrado en el cual se evapora agua para producir vapor de alta presión con el propósito de calentamiento y de producir potencia. La alta presión aumenta la temperatura del vapor. En otras palabras, la alta presión aumenta el punto de ebullición del agua (a mayor presión, el agua hierve a una temperatura más alta), produciendo vapor con una mayor energía térmica.

Las fábricas de azúcar utilizan calderas de alta presión con una presión de 30 a 60 bar. Hoy en día, algunas fábricas de azúcar utilizan calderas de 80 bar, que producen vapor supercalentado con temperaturas de hasta 525°C.

Una turbina que trabaje con vapor vivo a 80 bar y 525°C descarga un vapor de escape con una temperatura de aproximadamente 145°C, que está por encima del estado saturado y puede ser usado eficazmente en el proceso. Los costes de energía en la producción de vapor son los que siguen a los costes de materia prima en los costes de operación de una fábrica.

La sala de calderas es el lugar donde se encuentran las calderas, tuberías y equipo auxiliar, tales como bombas, tanques y la turbina de vapor o turbo generador. El jefe de calderas opera la sala de calderas, y el ingeniero jefe de la fábrica supervisa la sala de calderas, la estación de evaporación, la distribución del vapor y el equipo auxiliar relacionado con la producción de vapor.

La seguridad es una de las principales preocupaciones en el funcionamiento de la sala de calderas. Por este motivo, es importante una formación adecuada de los operadores de la sala y los supervisores es de la mayor importancia.

En una fábrica de azúcar, el vapor se utiliza principalmente en lo siguiente:

- Evaporadores para concentrar jugo y producir vapor
- Generador de turbina de vapor (turbogenerador) para producir energía eléctrica

El vapor vivo se dirige al colector de vapor, donde se divide en derivaciones que van a la turbina de vapor y a una estación de reducción de presión, donde se reduce la presión para su uso en otros equipos donde no se necesita una presión tan elevada. Desde la estación de reducción de presión, el vapor se divide para alimentar la estación de evaporación y también se dirige a las bombas y compresores.

En la estación de evaporación, el vapor se utiliza para concentrar jugo. El vapor (a baja presión) que se ha producido se utiliza en otras áreas de la fábrica, como en el proceso de cristalización, la estación de difusión y los calentadores de jugo. El vapor de los evaporadores se condensa en un estado líquido, llamado condensado, y regresa a las calderas como agua de alimentación de la

caldera y a otros lugares de la fábrica.

A medida que el vapor se expande y se enfría en la operación de la turbina, dona parte de su energía térmica para impulsar la turbina. El rotor de la turbina está conectado al generador, que genera energía para la fábrica. El vapor liberado del escape de la turbina, conocido como vapor de escape, se envía a la estación de evaporación.

La combinación de vapor y producción de energía para usar en el proceso de una fábrica se conoce como **cogeneración** de calor y energía. Las instalaciones que producen electricidad y vapor se llaman cogeneradoras. En una operación de cogeneración (caso A), el vapor vivo se utiliza para impulsar las turbinas para producir electricidad y vapor de escape. El interés en la cogeneración ha aumentado recientemente, ya que el coste del combustible y la electricidad ha aumentado constantemente.

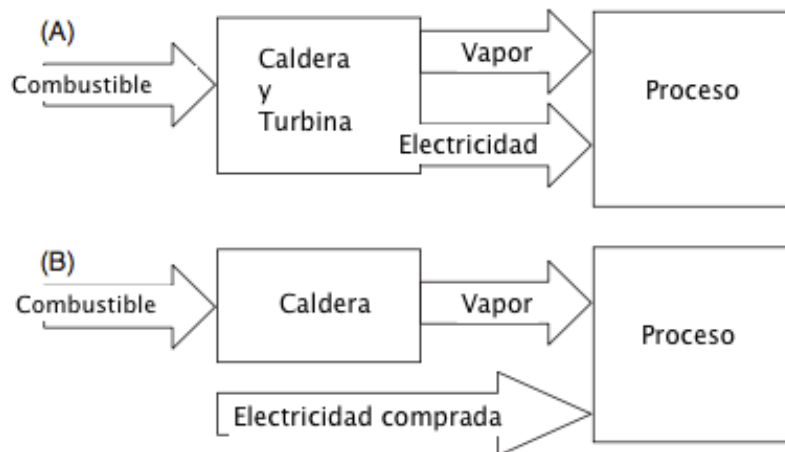


Ilustración 5-22: Producción con y sin cogeneración [3]

Durante la intercampaña de remolacha, casi todas las fábricas de azúcar compran electricidad, llamada energía de reserva, de las centrales eléctricas locales para sus necesidades. Durante la intercampaña, se necesita energía para el mantenimiento del equipo y las actividades tales como la manipulación del azúcar a granel, el envasado y la producción de azúcares especiales.

Después de que el vapor haya liberado su calor, se condensa, el condensado es agua destilada pura y se devuelve a la sala de calderas para ser reutilizado como agua de alimentación de la caldera.

### 5.6.1 TIPOS DE CALDERAS

Existen dos tipos de calderas:

- Calderas acuotubulares (el agua está en el interior y el calor está en el exterior de los tubos)
- Calderas piro-tubulares (el agua está en el exterior y el calor está en el interior de los tubos)

Las calderas acuotubulares son las más comunes en las fábricas azucareras, estas pueden producir vapor con una presión de vapor más alta que las piro-tubulares. Las acuotubulares pueden tener los tubos rectos o doblados, es más beneficioso tubos curvados ya que tienen más superficie de calentamiento y proporcionan una mejor eficiencia energética.

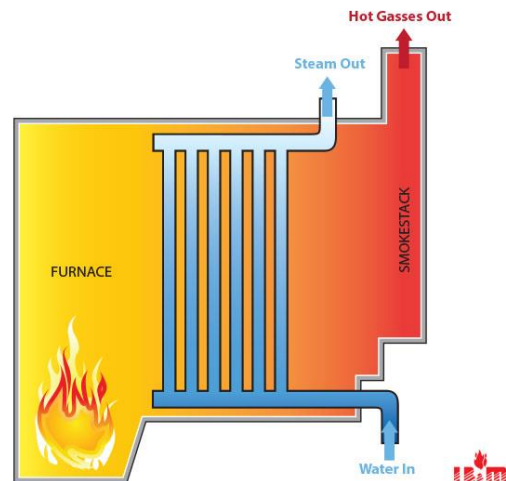


Ilustración 5-23: Caldera acuotubular. [23]

## 5.6.2 COMBUSTIBLE DE LAS CALDERAS

Los combustibles son compuestos químicos que contienen principalmente carbón, oxígeno y sulfuro. La presencia de sulfuro es indeseable. Es deseable combustibles con bajo contenido de oxígeno. Los más comunes que se utilizan en las calderas son:

- Carbón
- petróleo
- gas natural.
- 

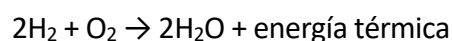
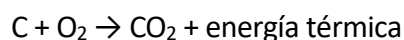
El tipo de combustible utilizado en las calderas de fábricas de azúcar depende de lo siguiente:

- Precio del combustible
- Disponibilidad de recursos de combustible
- Políticas ambientales con respecto a las emisiones

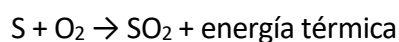
Las fábricas españolas trabajan normalmente con gas natural.

La combustión es la reacción química de los componentes combustibles del combustible con el oxígeno para crear calor y una llama. Las reacciones de combustión son exotérmicas. Antes de que el combustible pueda quemarse, se debe calentar a la temperatura de ignición.

A medida que el combustible se quema, sus enlaces carbono-hidrógeno se rompen y los átomos de carbono e hidrógeno se combinan con las moléculas de oxígeno en el aire para producir dióxido de carbono, agua y calor:



El azufre en el combustible se combina con el oxígeno para formar dióxido de azufre:



El oxígeno necesario para la reacción de la combustión es proporcionado por el aire, que se debe mezclar con el combustible de la manera más eficiente. El aire que respiramos es una mezcla de

nitrógeno (N), oxígeno (O), agua (y una pequeña cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)). El aire seco contiene típicamente aproximadamente 21% (en volumen) de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de gas dióxido de carbono. Estos datos suelen usarse en cálculos técnicos.

La cogeneración es un sistema de producción simultánea de calor y electricidad. La alta eficiencia de la cogeneración se debe al aprovechamiento del calor residual de un proceso de generación eléctrica, con el objetivo de producir energía térmica útil, en el caso de la planta azucarera, producción de vapor que se consumirá en el proceso productivo. La eficiencia global de esta cogeneración es aproximadamente un 80% con lo que se consigue una disminución de aproximadamente 17500 toneladas de CO<sub>2</sub>/año.

La planta de cogeneración consta de varias partes:

La primera es una turbina de gas donde se obtienen de 12 a 15 MW de energía eléctrica mediante la combustión de gas natural.

El siguiente elemento, es la caldera de recuperación donde se aprovecha la alta temperatura de los gases de combustión (aproximadamente 500°C), generando alrededor vapor a alta presión. La caldera cuenta con un quemador de post-combustión para aumentar la cantidad de vapor generado, según las necesidades de la fábrica. Este quemador, puede ser alimentado tanto con gas natural como con biogás. En total, se puede llegar a generar alrededor de 40 toneladas de vapor a alta presión.

Adicionalmente, hay varios aprovechamientos de calor residual que llegan a generar 5 toneladas de vapor de baja presión.

El último elemento en la instalación es una turbina de vapor, que aprovecha la alta presión del vapor para generar 4,2 MW extra de energía eléctrica. Por lo tanto, globalmente la instalación es capaz de generar de 16,2 a 19,2 MW/h eléctricos que significa la generación de 135.000 MW eléctricos al año. De los cuales alrededor de 4MW se destinan a autoconsumo de la propia planta y el resto se inyectan a la red eléctrica.



Ilustración 5-24: Instalación de cogeneración La Azucarera, Guadalete.

## 5.7 INSTALACIÓN SATÉLITE DE GAS NATURAL.

Se necesitará un suministro continuo de gas natural para suplir las necesidades del área de producción en cuanto a vapor, que será suministrado mediante una caldera dimensionalizada de forma correcta para dichas necesidades. El suministro de Gas Natural, dirigido a instalaciones industriales, se puede realizar mediante una planta satélite de Gas Natural Licuado.



Ilustración 5-25: vista isométrica de la instalación. [24]

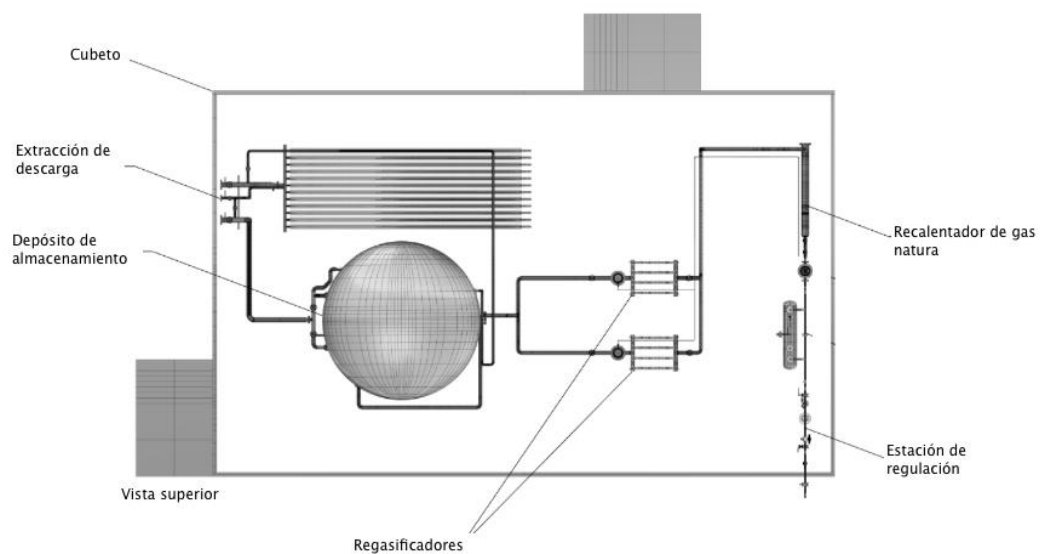


Ilustración 5-26: Alzado de la instalación. [24]

### Estación de descarga de cisterna:

La instalación de descarga de cisterna tiene como objetivo efectuar el trasvase del Gas Natural Licuado desde la cisterna hasta los depósitos criogénicos de almacenamiento.

Dicho trasvase se efectuará mediante la presurización de la cisterna, mediante la evaporación parcial del propio líquido de la cisterna con el vaporizador atmosférico de descarga.

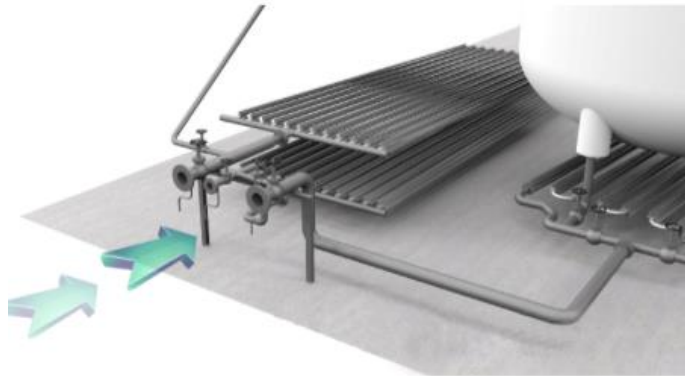


Ilustración 5-27: Estación de descarga. [24]

### Depósito de Almacenamiento:

La instalación de almacenamiento tiene por objetivo almacenar el gas licuado procedente de la descarga de cisternas y suministrarlo a la instalación.

Cada depósito criogénico, se compone de dos recipientes concéntricos. El recipiente interior es de acero inoxidable y el exterior de acero al carbono.

En la cámara intermedia destinada al aislamiento térmico, se realiza un vacío elevado y esta rellena de perlita en polvo. Anexo al depósito de encuentran unos evaporadores, para presurización del mismo mediante vaporización de parte de su fase líquida.



Ilustración 5-28: Depósito de almacenamiento. [24]

### **Vaporizador depósito (PPR)**

Para el correcto funcionamiento de la planta satélite, el PPR del tanque tiene como función básica mantener la presión de servicio de la instalación. El equipo coge gas licuado del interior del tanque, lo vaporiza instantáneamente y lo introduce de nuevo en la zona gaseosa del tanque. La presión del depósito se mantiene gracias a un regulador de presión que hay en el circuito de conexión.

El circuito del PPR del tanque permite mantener la presión en el interior del depósito cuando su valor desciende por debajo del valor de consigna. La presión de consigna oscilará entorno los 4 y 5 bar.



Ilustración 5-29: Vaporizador. [24]

### **Regasificadores:**

La instalación de regasificación es imprescindible para el correcto funcionamiento de la planta satélite:

La regasificación atmosférica consta de dos partes claramente diferenciadas pero interconectadas, como son:

Gasificación natural: obtenida mediante evaporadores ambientales: La principal misión de esta instalación de la planta es la de vaporizar el gas natural líquido procedente de los depósitos de almacenamiento.

Con este proceso se consigue evaporar, con una temperatura de salida de los regasificadores, entre 5 °C y 10 °C por debajo de la temperatura ambiente.

Recalentamiento de gas: obtenida mediante intercambiadores de calor: Una vez el gas ha sido vaporizado por el sistema de vaporización ambiental, mediante los vaporizadores ambientales, la temperatura a la que sale el gas es de 5 °C a 10 °C por debajo de la temperatura ambiente en ese momento reinante.

Por lo que la misión principal del intercambiador de calor es que la temperatura de emisión a la salida del vaporizador no esté por debajo de la temperatura de disparo de seguridad de Baja Temperatura.



Ilustración 5-30: Evaporadores ambientales. [24]



Ilustración 5-31: Recalentador de gas natural. [24]

**Válvula de corte por producción fría:**

Se instalará una válvula de corte con accionamiento neumático, aguas abajo del recalentador de gas natural, que se cierra automáticamente cuando la temperatura del gas natural emitido por la planta es inferior a  $-10^{\circ}\text{C}$ .



Ilustración 5-32: Válvula de corte. [24]



## 5.8 INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN Y VENTILACIÓN.

### 5.8.1 INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN:

#### CALDERA:

El equipo autónomo de producción de calor estará ubicado en la cubierta del edificio a la intemperie en zonas no transitadas por el uso habitual del edificio, salvo por personal especializado de mantenimiento de estos u otros equipos. Debe satisfacer las condiciones que establece la norma UNE 60601:2006.

En caso de que se sitúen en zonas de tránsito de personas o bienes se debe dejar una franja libre alrededor del equipo que garantice el mantenimiento del mismo, en todo caso con un mínimo de 1 m, delimitada por medio de elementos que impidan el acceso a la misma a personal no autorizado.

Las bombas correspondientes al circuito primario de calor se introducirán en el interior del equipo autónomo de producción de calor y las del secundario de calor se introducirán en un cuarto destinado a tal uso.



Ilustración 5-33: Equipo autónomo de generación de calor [25]

#### GRUPO FRIGORÍFICO:

El grupo frigorífico estará ubicado en la cubierta dando servicio a todo el edificio. Estará formado por una enfriadora aire-agua para la producción de agua fría de refrigeración además de los elementos y accesorios necesarios para el correcto funcionamiento. A su vez estarán ubicadas en dicha cubierta las bombas del circuito primario de frío y las bombas del circuito secundario.

Las enfriadoras serán de versión silenciosa y estarán apantalladas mediante un panel acústico vertical para evitar la transmisión de ruido al complejo. El sistema de climatización será de caudal constante.



Ilustración 5-34: Enfriadora aire-agua. [26]

#### GRUPOS HIDRÁULICOS:

Para transportar el agua con la presión y caudal necesarios en cada circuito, se instalará en cada uno de ellos los correspondientes grupos de bombas.

En el circuito primario se instalará una bomba de reserva. En los circuitos secundarios se instalará una bomba de reserva. En el caso de que el grupo de bombeo conste de dos bombas, la bomba de reserva garantizará el cien por cien del caudal necesario con la presión necesaria.

#### FAN-COILS:

La selección de los fan-coils se debe realizar de manera que las necesidades térmicas y frigoríficas sean cubiertas en los locales. Los equipos estarán situados en el falso techo y se instalarán a cuatro tubos (dos de agua fría y dos de agua caliente).

A la hora de seleccionar los equipos debe asegurarse que estos puedan hacer frente a las cargas latente y sensible de verano y a la carga total de calefacción en invierno

Se tendrá suministro del aire de ventilación necesario mediante unidades de ventilación con recuperadores entálpicos teniendo por objeto el acondicionamiento tanto en verano como en invierno del aire introducido en el edificio para garantizar la renovación del mismo. Por tanto, su función consiste en acondicionar el aire introducido para que no suponga carga térmica.

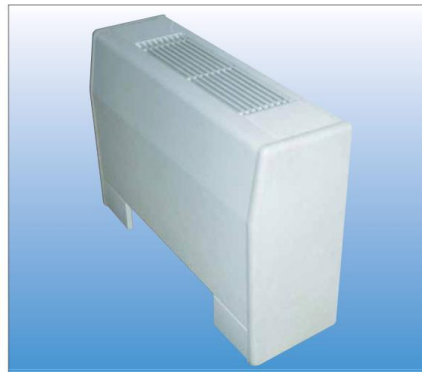


Ilustración 5-35: Fan-coil [27]

#### CLIMATIZADORES:

Se utilizarán los climatizadores para las salas más grandes.

Una vez conocidas las potencias y fijados los caudales de impulsión, ventilación y retorno es cuando se procede a la selección de un climatizador. Cada equipo estará compuesto por una batería de frío, una batería de calor, un ventilador de impulsión, un ventilador de retorno, dos filtros y tres compuertas, una para expulsar aire al exterior, una segunda compuerta para recircular aire de la habitación y una tercera para tomar aire del exterior.

La función de los climatizadores será tomar el caudal de ventilación exterior, mezclarlo con el aire de retorno hasta alcanzar la temperatura adecuada y, finalmente, distribuirlo a través de los conductos y difusores.



Ilustración 5-36: Climatizador. [28]

#### TUBERÍAS:

Las redes de tuberías deberán diseñar de forma que se garantice una velocidad no superior a 2 [m/s] en ninguno de los tramos para reducir los posibles ruidos y vibraciones que podrían producir velocidades mayores en las tuberías.

En la red de tuberías se instalarán llaves de paso para poder cortar el suministro de agua a las zonas que se desee. Esto es especialmente importante en caso de averías ya que permite cortar el paso únicamente a la zona afectada sin perjudicar el resto de la instalación.

La red de tuberías debe cumplir con los requerimientos técnicos estipulados en el RITE.

#### CONDUCTOS:

Los conductos de aire empleados para la climatización serán de acero galvanizado y con sección rectangular. El retorno se hará gracias al sistema "plenum" dejando un tramo de conducto disponible para el retorno. Se dispondrá de la forma más conveniente en la sala para poder retornar el aire hasta el climatizador.

Una vez calculada la pérdida de carga en difusores se procederá a calcular la presión estática disponible que debe proporcionar el ventilador del climatizador para hacer circular el caudal de impulsión y retorno.

#### DIFUSORES:

Se emplearán difusores para hacer llegar el caudal de impulsión al espacio que se desee climatizar. Estos dispositivos se seleccionarán en base a características sonoras.

En el proceso de colocación de los difusores se tiene en cuenta el caudal de aire a impulsar en el módulo así como la superposición de los chorros de aire de varios difusores diferentes que podría crear efectos de turbulencia indeseables para el confort de los ocupantes.

#### ELEMENTOS DE CONTROL:

Los equipos de control previstos permitirán la regulación de los siguientes parámetros:

-La temperatura de los fluidos portadores de la carga térmica según la demanda térmica, y la temperatura de impulsión del aire o el agua en cada subsistema según la temperatura del ambiente o de retorno.

-La temperatura y el caudal del fluido refrigerante.

-La temperatura de impulsión del aire o del agua, o el caudal del aire de cada unidad térmica terminal según la temperatura del ambiente o de retorno.

Se instalará un sistema de control digital que, por medio de microprocesadores interconectados a un centro de control informático, se encargará de gestionar el sistema entero. Este equipo se encargará de arrancar los equipos cuando sea requerido.

ELEMENTOS AUXILIARES:

- Compuerta cortafuegos para las zonas de seguridad que estén atravesadas por conductos de impulsión o retorno del aire.
- Válvulas de interrupción y regulación en todos los equipos que permitirán regular el caudal necesario que debe pasar por la tubería hasta la batería de frío o de calor del equipo.
- Válvulas de corte para todos los equipos
- Válvulas de control para regular el caudal de los climatizadores y los fan-coils.
- Filtros que aseguran la limpieza del agua del sistema.
- Equipos de medida. Se dispondrán de termómetros y manómetros diferenciales en todos los equipos para conocer tanto el caudal como la temperatura del agua.

**5.8.2 INSTALACIÓN DE VENTILACIÓN**

El RITE obliga a ventilar mecánicamente en este tipo de edificios. Por este motivo se necesita un sistema de ventilación y de extracción de aire para cumplir con la normativa.

El aire de ventilación necesario se suministra mediante unidades de ventilación con recuperadores entálpicos, encargándose de acondicionar el aire introducido del exterior para que no suponga carga térmica.

Para el cálculo del caudal de ventilación se tienen en cuenta tanto el nivel de ocupación como la calidad del aire interior requerido por la normativa de ventilación de locales

Los recuperadores entálpicos suministran el aire de ventilación necesario sin que supongan carga térmica. El aire interior viciado y el aire exterior de renovación se cruzan en el intercambiador de calor transmitiendo el calor o frío del aire viciado al nuevo, con ello se reducen considerablemente las pérdidas.

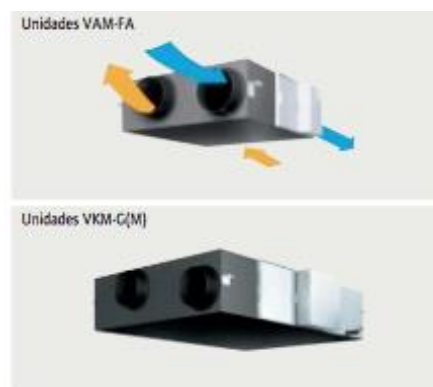


Ilustración 5-37: Recuperadores entálpicos

## **NORMATIVA A CUMPLIMENTAR:**

La climatización sigue los reglamentos definidos en el siguiente apartado:

-RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación). La instalación de climatización y ventilación se dimensionará conforme a las exigencias del RITE, quedando sujeta a los requisitos exigidos, y que dependen tanto de la ocupación como de la superficie, en función de la calidad del aire interior.

-DB HE 2 (Documento Básico de Exigencias Básicas de Ahorro de Energía, Rendimiento de las Instalaciones Térmicas), en el que se indica que los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes.

-DB HS 3 (Documento Básico de Exigencias Básicas de Salubridad, Calidad del aire interior), en el que se regula la disposición de medios para ventilación adecuada, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso normal de los edificios.

-NTE ICI (Norma Técnica de Edificación para las Instalaciones de Climatización Industrial). En la que se normaliza y regula las actuaciones de diseño, cálculo, construcción, control, valoración y mantenimiento de las instalaciones de climatización industrial.

### **5.8.3 ZONAS CON ATMÓSFERAS ATEX**



Ilustración 5-38: Símbolo atmósfera explosiva. [29]

Las zonas explosivas se clasifican en zonas. Esta clasificación es función de su tamaño y ubicación y de la probabilidad de que ocurra una explosión y su persistencia. Dichas zonas deben ser protegidas contra fuentes de ignición.

Las zonas EX son definidas por la presencia de gas, niebla o vapor y polvo de la siguiente manera:

#### **Gases, vapores y niebla:**

**Zona 0:** Lugar cuya atmósfera explosiva consiste en una mezcla de sustancias peligrosas en el aire, vapores o niebla están presentes continuamente, por largos periodos o frecuentemente.

**Zona 1:** Lugar donde la atmósfera explosiva es una mezcla consistente de aire o sustancias peligrosas en la forma de gases, vapor o niebla como una operación normal.

**Zona 2:** Lugar donde la atmósfera explosiva es una mezcla consistente de aire o sustancias peligrosas en forma de gases, vapores o niebla que no ocurren en una operación normal, pero, si ocurre, se presentará en un pequeño periodo.

#### **Polvo:**

**Zona 20:** Lugar donde una atmósfera explosiva en forma de nubes o polvo de combustible está presente continuamente, por largos periodos o frecuentemente.

**Zona 21:** Lugar donde una atmósfera explosiva en forma de nubes o polvo de combustible en el aire ocurre en una operación normal y ocasional.

**Zona 22:** Lugar donde una atmósfera explosiva en forma de nubes o polvo de combustible no es algo que

ocurra en una operación normal, pero si eso ocurre, permanecerá sólo en un periodo corto.

La fuente de incendio efectiva es un acontecimiento que, en combinación con el oxígeno suficiente y combustible en el gas, niebla, vapor o polvo; puede provocar una explosión (Polvo metano, hidrógeno o carbón son ejemplos de ese tipo de combustibles).

En este caso, las industrias azucareras se encuentran dentro de las industrias que deben seguir las directivas ATEX, en zonas con atmósferas ATEX: donde pueda existir polvo, gases o vapores, se coloca un foco localizado para absorber el aire contaminado y limpiarlo, se coloca un foco localizado para absorber el aire contaminado y limpiarlo, este aire irá a un filtro de mangas en el cual el aire entra por acción de un ventilador y choca contra una pared, aquí se caen las partículas gruesas a un depósito y el aire sigue avanzando. Se hace pasar por una banca de tubos recubiertos de un material poroso para que las partículas pequeñas que no han caído anteriormente queden retenidas en ellos. Posteriormente se expulsa el aire al exterior. Estos tubos van acumulando suciedad que retienen del aire por lo que necesitarán una limpieza que se consigue haciendo pasar aire a presión por los tubos.

En una fábrica azucarera los lugares dónde suele haber ATEX son los silos de almacenamiento de productos, y la zona de envasado entre otros.



Ilustración 5-39: Equipos para ATEX [30]

## 5.9 INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

La generación de energía eléctrica del motor de cogeneración se efectúa en baja tensión. Esta energía eléctrica es conducida al centro de transformación que se encontrará en el exterior de la planta de cogeneración. En el centro de transformación se ubicará un transformador equipado con una celda de línea y una celda de protección, donde la tensión es elevada. Este transformador permitiría en un futuro una posible ampliación de la potencia del motor de cogeneración.

La evacuación y medida de la energía generada se efectuará en Media Tensión, para lo cual se ejecutará una red de Media Tensión enterrada, desde el centro de transformación hasta centro de seccionamiento, de donde se realiza la conexión con la compañía eléctrica. El punto de conexión a la compañía eléctrica se situará en el centro de seccionamiento y consistirá en una serie de celdas: entrada-salida, remonte, medida y protección.

Por otra parte, se llevará a cabo el diseño de una red de tierras por todo el edificio que proteja las instalaciones y sobre todo los contactos indirectos de las personas que se encuentren en él.

La energía procedente de la planta de cogeneración será vertida a la red de la compañía distribuidora en corriente alterna trifásica a 50 Hz de frecuencia, y una tensión de 20 kV.

La conexión a la red de distribución de la compañía distribuidora se realizará en el centro de seccionamiento y medida.

La instalación está formada por centro de transformación, centro de seccionamiento y medida y línea de interconexión entre ellos, así como la alimentación en baja tensión del cuadro del motor al centro de transformación.

### 1. Centro de Transformación.

El Centro de Transformación se instalará en edificio prefabricado, instalando en su interior un transformador y las correspondientes celdas prefabricadas con envoltorio metálica para la protección y maniobra.



Ilustración 5-40: Transformador [31]

### →Cuadro Eléctrico de Baja Tensión

En el centro de transformación se colocará un cuadro eléctrico con interruptor. Dicho interruptor estará enclavado con sus respectivas celdas de protección de M.T de forma que cuando éstas por cualquier anomalía se disparen abran el correspondiente interruptor. Con ello conseguimos que no se produzca tensión de retorno en el mismo y pueda dañar a la persona que esté reparando el transformador.

## 2. Centro de Seccionamiento y Medida.

El Centro de Seccionamiento y Medida se instalará en el punto de conexión solicitado a la compañía distribuidora de electricidad, instalando en su interior las correspondientes celdas prefabricadas con envoltorio metálica para el seccionamiento, protección y medida.

### →Red de tierras

#### TIERRA DE PROTECCIÓN

Se conectarán a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente, pero puedan estarlo a consecuencia de averías o causas fortuitas, tales como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envoltorios metálicos de las cabinas prefabricadas y carcasas de los transformadores.

Las celdas dispondrán de una pletina de tierra que las interconectará, constituyendo el colector de tierras de protección.

Tanto las puertas como las rejillas, irán instaladas de tal manera que no tengan contacto eléctrico con el sistema equipotencial.

TIERRAS INTERIORES Las tierras interiores del centro de medida tendrán la misión de poner en continuidad eléctrica todos los elementos que deban estar conectados a tierra con sus correspondientes tierras exteriores.

## 3. Línea de interconexión en media tensión.

## 4. Línea de Baja Tensión: Centro de Transformación – Cuadro del Motor de Cogeneración.

### →Cuadros eléctricos.

Los cuadros generales de distribución se colocarán lo más cerca posible del transformador que le da suministro. En él se instalará un interruptor de corte omnipolar que permita su accionamiento manual y que está dotado con dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

En la instalación contaremos con el cuadro de baja tensión del centro de transformación al que llega el circuito de alimentación proveniente del motor y el correspondiente cuadro del motor que contará con las protecciones propias de éste, formando un conjunto compacto diseñado por el fabricante y descrito en las especificaciones técnicas del material suministrado.

El interruptor general de corte omnipolar, tendrá la capacidad de corte suficiente para la intensidad de cortocircuito que pueda producirse en ese punto de la instalación. Igualmente, los interruptores diferenciales deberán resistir las corrientes de cortocircuito que puedan presentarse en ese punto de la instalación.



### LEGISLACIÓN APLICABLE:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, según decreto del Ministerio de Industria nº 842/2002 de agosto, Instrucciones Técnicas Complementarias y normas UNE de aplicación.
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, según decreto 3275/1982 de 12 de noviembre de 1.982 e Instrucciones Técnicas Complementarias denominadas instrucciones MIE-RAT con orden de fecha 6 de Julio de 1.984.
- REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Normas particulares de la Compañía distribuidora.
- Normas UNE y Recomendaciones UNESA que sean de aplicación.
- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas. (Ayuntamiento, Bomberos y Medio Ambiente).
- Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo, según orden Ministerial del 9 de marzo de 1.971.

### 5.10 INSTALACIÓN DE ALUMBRADO EN LA FÁBRICA:

Para una planta industrial, o una instalación administrativa deben preverse diferentes servicios complementarios, algunos de ellos son el vapor, el aire comprimido, la energía eléctrica, los servicios de limpieza y por supuesto la iluminación. La iluminación en una instalación de cualquier carácter afecta dos aspectos sumamente importantes, el primero es el confort y segundo es el costo. El costo de la iluminación depende del tipo de luz que se use, de la geometría y el tipo de la iluminación, y de las características del entorno

Las lámparas empleadas en iluminación de interiores abarcan casi toda la tipología existente en el mercado (incandescentes, halógenas, fluorescentes, etc.). Las lámparas escogidas, por lo tanto, serán aquellas cuyas características (fotométricas, cromáticas, consumo energético, economía de instalación y mantenimiento, etc.) mejor se adapten a las necesidades y características de cada instalación (nivel de iluminación, dimensiones del local, ámbito de uso, potencia de la instalación etc.).

<b>OFICINAS</b>	Alumbrado general: Fluorescente
	Alumbrado localizado: Halógenas de baja tensión e incandescentes.
<b>INDUSTRIAL</b>	Luminarias de baja altura: Fluorescentes
	Luminarias alta altura: Descarga alta
	Alumbrado localizado: Incandescentes

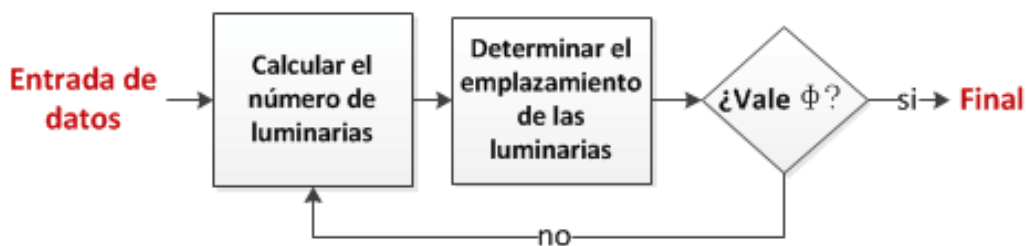
En los exteriores existirán dos tipos de alumbrado:

En los viales y zonas de tránsito se colocarán farolas, y en las distintas fachadas de los edificios principales se pondrán farolas de pared para exteriores

### 5.10.1 CÁLCULO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO SEGÚN EL MÉTODO DE LÚMENES

Uno de los métodos de cálculo de niveles de iluminación de una instalación de alumbrado de interiores más sencillo es el de lúmenes, éste método consiste en la obtención del valor medio del alumbrado general. En el momento dado en que precisemos del cálculo del alumbrado general localizado o el alumbrado localizado recurriremos a un método más complejo denominado método del punto por punto.

El siguiente diagrama nos explica el proceso general del método:



### 5.11 RED DE SANEAMIENTO.

El objetivo de la red de saneamiento de la instalación es llevar las aguas residuales producidas en la planta hasta la red principal de recogida de aguas, en unas condiciones admisibles por la misma. Pueden encontrarse varios tipos de aguas fecales en función de su procedencia. Así, se va a diferenciar entre tres tipos de redes:

- Red de fecales: Encargada de llevar las aguas residuales producidas en el edificio de oficinas hasta la acometida central.
- Red de pluviales: Cuya misión es recoger el agua procedente de lluvias y del regadío de las zonas verdes.
- Red de procesos: Encargada de llevar el agua procedente de procesos a la estación depuradora de aguas residuales de la planta, y de ésta a la red principal.

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA RED:

La red de saneamiento de la planta es de tipo separativo, es decir, cada una de las tres redes independientes por separado para finalmente unirlas al colector común y comunicarlas con la red general mediante la acometida principal.

En todas las redes mencionadas, el sistema de circulación va a ser la gravedad, por lo que no va a ser necesario el uso de bombas ni otros elementos para impulsar el agua. Cada tubería tiene una inclinación de entre un 1 y un 4% para facilitar una velocidad del agua óptima para que no se produzcan atascos debido a la baja velocidad, ni corrosión como consecuencia de exceso de

velocidad.

#### **NORMATIVA A CUMPLIMENTAR :**

- Documento básico HS: Salubridad, referente a las exigencias básicas HS-5: evacuación de aguas del nuevo CTE. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo del Ministerio de Vivienda. (BOE 28-03-2006).

-Instrucciones Técnicas para Redes de Saneamiento PD 005 12 - Revisión 5 EMASESA

#### **5.11.1 RED DE FECALES**

Las aguas de la red de fecales tienen su origen en el edificio de oficinas y tienen las características propias de las aguas residuales urbanas, por lo que no necesitan ningún tipo de tratamiento para poder ser vertidas a la red.

Todas las aguas residuales producidas en el edificio de oficinas salen de éste mediante un colector general, que lo lleva directamente al colector más cercano a la acometida.

#### **5.11.2 RED DE PLUVIALES**

La red de pluviales recoge todas las aguas procedentes del exterior del edificio de oficinas.

Los imbornales tienen como misión la recogida de las aguas de escorrentía, se distribuyen por todo el plano exterior de la planta, separados entre sí una distancia no superior a 30m, colocándose principalmente en los cruces de las calles y por las zonas de calzada.

Además, las tuberías deben distribuirse de forma que el reparto de las aguas en la superficie sea recogido de la forma más homogénea y equilibrada posible por las tuberías.

Las tuberías de la red de pluviales suelen estar fabricadas de hormigón. Las tuberías principales de la red de pluviales, así como la proveniente del edificio de oficinas se unen en un colector central que las lleva a la acometida mediante la que son llevadas a la red principal.

#### **5.11.3 RED DE PROCESOS.**

Son las aguas que se han ido usando en los distintos procesos por lo que pasa la remolacha. Algunas de estas aguas se recirculan y otras van a la estación depuradora ya que constituyen las aguas residuales.

### **5.12 ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES.**

La depuradora está compuesta por una línea de agua y otra de fangos.

El objetivo de la línea de aguas es depurar el agua que entra en la depuradora y disminuir la concentración de contaminantes. Está formada principalmente por cuatro etapas:

pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado.

La gran mayoría de industrias y fábricas hacen uso de este agua limpia para sus procesos de producción tomándola de ríos o lagos en los que el agua está en un estado óptimo para los ecosistemas que conviven en estos lugares. Tras su utilización por parte de estos organismos, es vertida nuevamente a estos ríos y canales fluviales. Dado la cantidad desmesurada de productos necesarios de este agua y de residuos producidos por las industrias en su fabricación, es sumamente importante la depuración de estas aguas antes de ser devueltas al medio natural, debido a que no pueden ser autodepuradas completamente por los ecosistemas fluviales.

La función que desarrolla la EDAR es la de limpiar el agua contaminada resultante de los tratamientos para la producción de azúcar que se lleva a cabo en las industrias del sector.

### 5.12.1 CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

Una vez visto el proceso de producción del azúcar se hace visible la gran cantidad de residuos que son producidos por las fábricas que llevan a cabo esta tarea. El principal problema que generan estas plantas de producción son sus vertidos de aguas residuales, ya que como se ha visto anteriormente los procesos que conllevan agua están presentes en casi todas las fases de la producción del azúcar. Estos vertidos deben ser tratados debido a su gran volumen como a su alto contenido de contaminantes.

El nivel de contaminación de las aguas residuales de la industria azucarera se mide a través de los siguientes parámetros:

**DBO<sub>5</sub>:** La demanda bioquímica de oxígeno se define como la cantidad de oxígeno necesaria para biodegradar (degradar por microorganismos) la materia orgánica. Se mide mediante un ensayo cuya duración es de 5 días, a 20°C, midiendo la cantidad de oxígeno de una muestra antes y después de este periodo. La diferencia será la DBO<sub>5</sub>.

**DQO:** La demanda química de oxígeno es un parámetro que mide las materias susceptibles a oxidarse presentes en el agua. El ensayo consiste en la oxidación de cualquier sustancia tanto orgánica como inorgánica mediante un oxidante fuerte.

**Sólidos en suspensión (SS):** Indica la cantidad de sólidos que están en suspensión en el agua y que pueden ser separados físicamente.

**Conductividad eléctrica:** Es la facilidad con la que la corriente eléctrica puede atravesar el agua. Cuantas más impurezas hay en el agua mayor es la conductividad. También indica la salinidad del agua.

**pH:** Tiene una gran repercusión sobre las biocenosis existentes. Mide la cantidad de iones H<sup>+</sup> en el agua. Un pH elevado indica baja concentración de iones hidrógeno en el agua y por tanto una alcalinización del entorno. Por el contrario, un pH bajo indica una acidificación debido a la alta concentración de iones hidrógeno.

### 5.12.2 CONSUMOS DE LAS AGUAS:

Como ya se ha visto previamente, el consumo de agua en la industria azucarera es muy elevado ya que este elemento está presente en la gran mayoría de procesos que se llevan a cabo para la obtención del azúcar.

La procedencia del agua utilizada en el proceso azucarero es:

- Lavado de la remolacha
- Proceso de difusión
- Creación de la lechada de cal
- Carbonatación del jugo bruto
- Descalcificación del jugo
- Cristalización del jugo
- Limpieza de instalaciones y equipos

Por consiguiente, podemos establecer una clasificación del tipo de agua utilizado en la industria azucarera en función del tratamiento que tienen que recibir esas aguas:

- Aguas de proceso: Son aguas contaminadas que han sido generadas o utilizadas en el proceso del azúcar y por tanto han de ser tratadas para poder ser liberadas al medio u otros usos.
- Aguas limpias: Son aguas que no han sido contaminadas por ningún proceso y por tanto no necesitan ser tratadas.

Cabe señalar que la mayoría de las fábricas azucareras disponen de circuitos cerrados de agua, los cuales se basan en los procesos de reciclado y reutilización.

Los principales circuitos son los siguientes:

**Aguas de lavado de remolacha.** Este tipo de agua es conducida a un decantador y a partir de éste a las balsas. Posteriormente, el agua almacenada es sometida a un tratamiento según las necesidades de los parámetros a cumplir establecidos en función del medio receptor.

**Aguas de Quentín.** Este tipo de agua normalmente se almacena, no es sometida a ningún proceso de depuración y su eliminación se produce por evaporación.

**Otras aguas.** Aguas sanitarias, de refrigeración, etc., que tendrán distinto tratamiento en función del uso que vayan a tener posteriormente.

El método de separación de aguas es muy importante a la hora de aislar las aguas de procesos que posteriormente se tratarán en la EDAR de las aguas limpias que no necesitan ningún tratamiento.

Fases	Operación generadora de residuos	Circuito de agua	Destino
Descarga remolacha	Limpieza camión de transporte	Otras aguas	Depuradora
Lavado remolacha	Lavado de la remolacha con una mezcla de agua y agentes antiespumantes y floculantes	Agua de lavado de la remolacha	Depuradora
Extracción de la pulpa	Limpieza de los restos orgánicos del proceso de separación de la pulpa	Agua de lavado de la remolacha	1. Depuradora 2. Recirculación para difusión
Proceso de difusión	Agua necesaria para llevar a cabo del proceso	Aguas de lavado de la remolacha	Depuradora
Producción de la lechada de cal	El agua de mezcla con cal para producir la lechada	Aguas de lavado de la remolacha	Depuradora
Carbonatación y filtrado	Uso del agua para retirar las impurezas resultantes del proceso	Aguas de lavado de la remolacha	1. Recirculación para lechada de cal 2. Depuradora
Descalcificación del jugo	Eliminación de los restos de cal presentes en el jugo	Otras aguas	Depuradora
Cristalización del jugo	Se usa agua mezclada con sacarosa para producir la formación de los cristales de azúcar	Otras aguas	Depuradora
Limpieza de instalaciones y equipos	Agua utilizada en todo el proceso y sobre todo al final para limpiar las instalaciones y equipos de la planta	Otras aguas	Aguas limpias

Circuito de enfriado del agua condensada	Agua condensada proveniente del circuito de enfriado que se almacena en torres de refrigeración	Aguas de Quentín	Aguas limpias
Evaporador de múltiple efecto	Agua proveniente de la condensación de las distintas evaporaciones que se dan a lo largo del proceso	Aguas de Quentín	Aguas limpias

### 5.12.3 PROCESOS DE DEPURACIÓN.

Para controlar las aguas residuales y su impacto en el medioambiente se han creado normativas y leyes, como la Directiva 91/271/CEE, que determina las concentraciones máximas permitidas de contaminantes presentes en el agua utilizada en la industria justo antes de que ésta sea vertida a un determinado ecosistema o sea destinada para un determinado uso que pueda conllevar el contacto con seres vivos o impacto biológico.

Las principales funciones de la depuradora son:

- Eliminar los sólidos de gran tamaño, tales como ramas, hojas y demás desperdicios que pudieran dañar los equipos de depuración.
- Eliminar la materia orgánica sedimentable, tanto orgánica como inorgánica.
- Eliminar la materia biodegradable, ya sea mediante tratamientos biológicos y/o químicos.
- Tratar los lodos y fangos resultantes de la depuración y biodegradación de la materia orgánica.

Toda depuradora convencional tiene dos principales líneas de acción: La línea de aguas y la línea de fangos.

**Línea de aguas:** Es la línea de acción principal de la depuradora. Su función es la de tratar el agua y reducir la concentración de agentes contaminantes presentes en ella.

Las diferentes partes de la línea de aguas son:

- Pretratamiento: Físico y/o Químico.
- Tratamiento primario: Físico o Físico-Químico.
- Tratamiento secundario: Biológico y/o Químico.
- Tratamiento terciario o avanzado: Físico y/o Químico y/o Biológico

**Línea de fangos:** Este circuito se encarga de recoger y tratar los fangos y lodos de la depuración. Los fangos son residuos sólidos sedimentables que se extraen de la línea de agua, principalmente en los decantadores y en las balsas de aireación. Tras ser convenientemente tratados, los fangos pueden ser reutilizados en otras actividades tales como agricultura o jardinería.

Las diferentes partes de la línea de fangos son:

- Espesador: Físico.
- Digestor: Químico o Biológico.
- Deshidratador: Físico.

**Línea de gas:** Esta línea es necesaria cuando tenemos un **reactor biológico anaerobio** en la línea de agua, ya que se genera biogás.

Un posible esquema de la planta depuradora donde se pueden apreciar todas las líneas de acción podría ser el representado en la siguiente figura:



#### 5.12.4 LÍNEA DE AGUAS.

La línea de aguas se compone de las siguientes etapas:

**Pretratamiento:** El principal objetivo de esta etapa es eliminar del agua a tratar los sólidos más grandes, así como las arenas y grasas que pueda contener.

Es un tratamiento físico, aunque si las circunstancias lo requieren se puede potenciar su efecto con elementos químicos.

Este tratamiento es el primero que reciben las aguas residuales una vez que entran en la depuradora. Es de vital importancia ya que eliminan los sólidos y materias más grandes reduciendo el riesgo de avería o ruptura de algún componente en las etapas posteriores de la depuradora como pueden ser bombas o conductos. También es el encargado de eliminar las arenas y grasas que pueda contener el efluente en función del tipo de vertido que contenga.

**Tratamiento Primario:** La principal función del tratamiento primario es la de eliminar los sólidos sedimentables que no se han podido retirar del agua en el pretratamiento. El elemento indispensable en esta fase de la depuradora es el decantador, que no sólo elimina sólidos en suspensión mediante la sedimentación sino que también consigue eliminar materia orgánica, es decir, DBO<sub>5</sub> y DQO.

Como ya se ha dicho, el principal elemento de este tratamiento es un instrumento de carácter físico, el decantador.



**Tratamiento secundario:** El tratamiento secundario es considerado el más importante o “el corazón” de la depuradora. Esto es así debido a que en esta etapa es donde más contaminantes se consiguen eliminar del agua a tratar, reduciendo en gran medida la concentración de DBO<sub>5</sub> y DQO.

Este tratamiento suele constar de una etapa biológica o de biodegradación seguido posteriormente de una etapa física de decantación. La etapa de decantación siempre es colocada al final del tratamiento ya que es necesaria para recoger en forma de fangos la materia sedimentable que transportaba el agua.

A la hora de elegir el tipo de tratamiento secundario es necesario tener en cuenta la biodegradabilidad del agua (DBO<sub>5</sub>/DQO) en el caso de la industria azucarera se elige el **tratamiento biológico anaerobio** con el consiguiente aprovechamiento del biogás producido en forma de energía.

Tras este tratamiento, aunque los SS son bajos, las concentraciones de DBO<sub>5</sub> y DQO aún son altas para el nivel máximo permitido y por tanto es necesario una etapa biológica más a la salida del reactor anaerobio. Por tanto, se optará por un sistema dual de tratamiento biológico con el uso de un reactor aerobio de fangos activos de media carga.

El tratamiento consiste en un reactor donde se encuentran bacterias en suspensión mediante el uso de aireadores. Se consigue de esta forma que el agua a tratar que entre dentro del reactor esté cargada del oxígeno necesario para los microorganismos aerobios que se encargan de reducir los contaminantes.

Dado que el contenido en nitrógeno es considerablemente alto se incluirá junto con el reactor aerobio un intercambiador anóxico de nitrificación para reducir en este caso un 90 % la concentración de nitrógeno presente en el agua.

Tras estas dos etapas de tratamientos biológicos se colocará la etapa física de decantación para recoger los sólidos sedimentables en forma de lodos. Estos lodos pasarán a formar parte de la línea de fangos que funcionará en paralelo con el resto de las instalaciones que conforman la línea de aguas

**Tratamiento terciario:** Este tratamiento, también llamado avanzado, se utiliza cuando necesitas que el agua de salida sea de una calidad muy alta o con unas características muy concretas para un determinado uso posterior. Principalmente se usa para reducir contaminantes que no han sido lo suficientemente purgados en etapas anteriores tales como nitratos, fosfatos, patógenos o metales pesados entre otros.

### 5.12.5 LÍNEA DE FANGOS.

Esta línea es la encargada de recoger los fangos resultantes principalmente de la decantación primaria y secundaria. Estos fangos o lodos tienen que ser tratados para posteriormente ser reutilizados para diversos fines como agricultura o compostaje de abono. En esta línea tenemos tres etapas o tratamientos principales, como son los de espesamiento, la estabilización del fango y finalmente la deshidratación del fango.

**Espesamiento del fango:** Los fangos provenientes de los decantadores contienen una gran cantidad de agua. Por tanto, la función principal de esta etapa es eliminar esta agua y como resultado obtener un fango con una mayor proporción de residuo seco y conseguir reducir su volumen. Sin embargo, es necesario que los fangos contengan una cantidad de humedad suficiente para que se pueda producir la posterior estabilización de forma correcta.

**Estabilización del fango:** Esta etapa consiste en varios tratamientos indispensables para la posterior retirada de los fangos. Se tienen varios objetivos como reducir la materia volátil que puedan contener, la mineralización de la materia orgánica, la neutralización de las bacterias y/o virus que pudieran estar presentes en estos lodos y finalmente conseguir una menor concentración de éstos.

**Deshidratación del fango:** Este tratamiento es la etapa final de la línea de fangos donde se separa por completo todo el exceso de agua que aún pudiera contener el fango para finalmente poder retirarlos y poder reutilizarlos o ser vendidos para usos diversos. Se puede realizar de forma natural, térmica o mecánica.

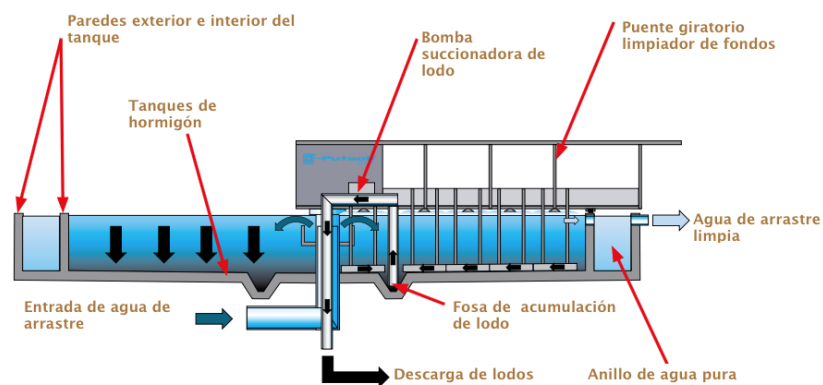


Ilustración 5-41:Clarificador.

### 5.13 SUMINISTRO DE AGUA.

Antes de comenzar a describir la instalación debe justificarse su existencia; en nuestro caso son varios los usos que se hacen del agua:

-Uso doméstico: los empleados de la planta industrial necesitan dicha instalación para cubrir las necesidades de higiene fundamentales.

-Tareas de limpieza.

-Uso industrial: el agua se emplea como materia prima en el proceso de producción de arroz, concretamente en la fase de precocción del arroz.

-Uso agrícola: para el regadío de las zonas verdes presentes en el solar.

Queda justificada la existencia de una instalación de abastecimiento de agua, dado que ésta es fundamental en el proceso productivo, además de ser exigida por ley, dadas las necesidades de consumo humano.

#### NORMATIVAS A CUMPLIMENTAR :

El diseño de la instalación debe realizarse acorde a las exigencias y sugerencias presentes en las siguientes normas técnicas:

-Documento Básico HS Salubridad. Sección HS 4: Suministro de agua

-Documento Básico HE Ahorro de Energía. Sección HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.

-Norma Española UNE-EN 806-3: empleada para un diseño simplificado de las tuberías de agua sanitaria y agua caliente sanitaria (ACS).

#### **5.13.1 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.**

**Acometida:** Es el punto inicial de nuestra instalación. Por la acometida nos llega el suministro de agua de parte de la empresa proveedora. Acto seguido tenemos el armario del contador general, donde se encuentran la llave de corte, a emplear en caso de tener que interrumpir el suministro, y el contador a partir del cual se obtendrán datos de nuestro consumo de cara a ser facturados por la empresa proveedora.

**Distribuidor principal:** Tubería encargada de transportar la totalidad del agua necesaria en nuestra planta industrial.

**Montantes de agua sanitaria y agua caliente sanitaria para las oficinas:** Tuberías encargadas de transportar el caudal de agua sanitaria y agua caliente sanitaria requerido en las oficinas.

**Edificio de oficinas:** Este edificio debe contar con suministro de agua sanitaria para el consumo humano. Además, será necesaria una red de abastecimiento de agua caliente sanitaria, exigida por la ley, puesto que en nuestra planta se realizan actividades que fomentan una atmósfera polvorienta y por consiguiente, los empleados necesitarán unos vestuarios dotados con duchas para poder asearse tras la jornada laboral.

**Montante de agua sanitaria para los procesos:** Tubería encargada de abastecer los procesos que necesiten agua.

**Depósito auxiliar de agua:** Este depósito cumple dos funciones muy importantes. La primera de ellas es proveer de agua al sistema de protección contra incendios. La otra consiste en disponer de una reserva de agua, en caso de un corte eventual del suministro por parte de la empresa proveedora, de forma que no tengamos que interrumpir la actividad productiva. Este depósito tiene ciertas peculiaridades que serán descritas en secciones posteriores de este documento.

### 5.13.2 OBTENCIÓN DEL AGUA CALIENTE SANITARÍA.

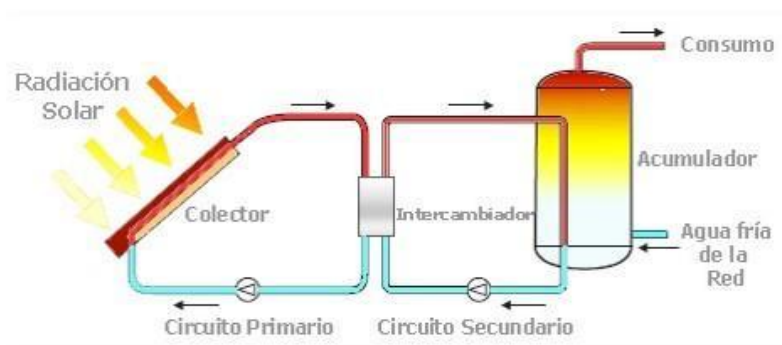
El objetivo principal de la instalación ACS es que, en cada punto de consumo, se disponga en cualquier momento del caudal necesario de agua caliente a la temperatura adecuada

Para la generación de agua caliente sanitaria existen dos alternativas:

-Sistema de calentamiento de agua a través de energía solar: En nuestro caso podrá satisfacer un 70 % de las necesidades de agua caliente sanitaria.

-Calentamiento de agua a través de calderas: Nuestra industria dispone de calderas que intervienen en el proceso productivo. Estas calderas podrían al mismo tiempo servir como sistema auxiliar de calentamiento de agua siendo conectadas a la instalación de abastecimiento de agua caliente sanitaria.

Se describe a continuación cómo funciona el sistema de calentamiento de agua a través de energía solar a partir de un esquema básico:



Esquema básico de una instalación

Ilustración 5-42: Instalación ACS [32]

La energía solar como fuente energética presenta las siguientes características:

- Elevada calidad energética.
- El impacto ambiental es nulo, esta energía no produce desechos, residuos, basura, ruido, olores...
- Es una fuente inagotable, su fin sería el fin de la vida en la tierra.
- Se produce en el mismo lugar donde se consume.

El colector solar es el elemento principal de una instalación solar. Éste se encarga de captar la radiación solar incidente y transformarla en calor, que es cedido al fluido caloportador.

Los componentes principales son:

1. Cubierta: sus funciones son por una parte obtener el efecto invernadero, es decir, permitir la entrada de la radiación solar incidente, de pequeña longitud de onda e impedir la salida de la energía irradiada por la placa absorbidora al calentarse, de gran longitud de onda, y por otra proteger el absorbedor y el aislamiento térmico dentro de la carcasa contra todo el efecto

nocivo del medio ambiente.

2. Absorbedor: su misión es absorber de la forma más eficiente posible la radiación solar y transformarla en energía térmica utilizable mediante su transferencia al fluido caloportador. La superficie captadora debe presentar una alta absorptancia de la radiación solar y baja emitancia, se denominan selectivas y tienen por objeto aumentar la ganancia solar y reducir las pérdidas térmicas en el interior del colector.
3. Aislamiento: los materiales aislantes se usan con el fin de reducir las pérdidas de calor desde el absorbedor hacia la carcasa.
4. Carcasa: es el elemento que recoge el resto de componentes del colector aportando rigidez y estanqueidad al conjunto.

El funcionamiento es el siguiente:

- Los colectores recogen la energía calorífica de los rayos del sol.
- Un fluido caloportador recorre el circuito primario absorbiendo la energía solar de los colectores.
- El agua del circuito secundario se calienta a través de un intercambiador absorbiendo la energía del fluido caloportador.
- La instalación se realiza en dos circuitos separados (primario y secundario) para evitar que las impurezas del agua de la red dañen los colectores.

Para poder transmitir la energía del circuito primario al secundario se requiere diseñar un intercambiador apropiado. Se ha escogido un intercambiador de placas cuyo esquema fundamental es el siguiente:

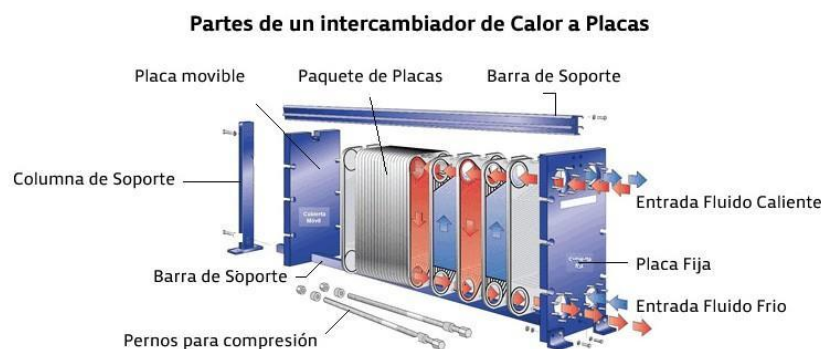


Ilustración 5-43: Intercambiador de calor de placas [33]

### 5.13.3 DEPÓSITOS DE AGUA.

Cuya funciones son:

1. Abastecer al sistema de protección contra incendios
2. Proveer a la nave de procesos en caso de un corte de suministro por parte de la empresa proveedora: Con esto se pretende no tener que interrumpir la actividad productiva en caso de un corte de suministro. Se ha establecido que la planta estará desprovista de suministro como mucho un único día.
3. Acumular el agua caliente sanitaria necesaria para las oficinas. Este depósito debe tener como mínimo la capacidad del ACS que se produce con él.

## 5.14 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS [PCI].

El objetivo principal de este reglamento es establecer y definir los diferentes requisitos y condiciones que se tienen que cumplir en los establecimientos e instalaciones de uso industrial para la seguridad en caso de incendio, evitando su generación, y en caso de producirse, dar una respuesta adecuada, minimizando su propagación y haciendo posible su extinción, con el fin de eliminar o reducir los daños y pérdidas que el incendio pueda provocar en personas o bienes.

Las condiciones y requisitos que tienen que satisfacer los establecimientos industriales en relación con su seguridad contra incendios estarán determinadas por la configuración y emplazamiento con relación a su entorno y el nivel de riesgo intrínseco.

Cuando se detecta un fuego, bien de forma personal o por medio de cualquiera de los detectores automáticos, se activa el sistema de emergencia. Dicha activación puede ser manual o automática.

El algoritmo que se emplea en caso de incendio será el siguiente:

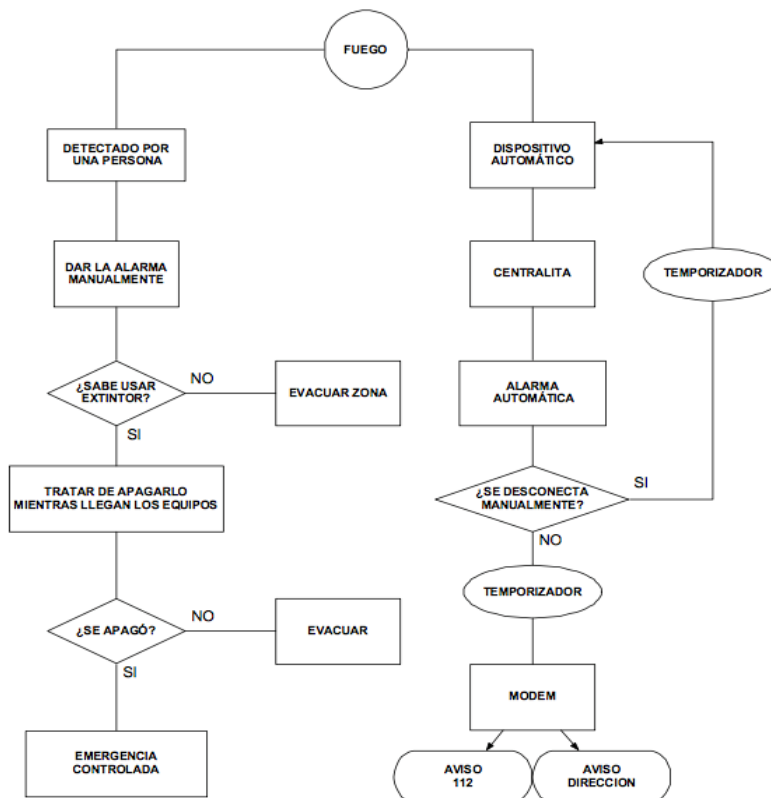


Ilustración 5-44: Algoritmo de actuación.

### 5.14.1 REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Según el Artículo 1 del Anexo III del RSCIEI, todos los aparatos, equipos, sistemas y componentes de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales, así como el diseño, la ejecución, la puesta en funcionamiento y el mantenimiento de sus instalaciones, cumplirán lo preceptuado en el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, aprobado por el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, y en la Orden de 16 de abril de 1998, sobre normas de procedimiento y desarrollo de aquel. Además, deberán cumplir la Directiva Europea de Productos de la Construcción, desarrollada a través del Real Decreto 1630/92 y posteriores resoluciones, donde se recogen las referencias de normas armonizadas, periodos de coexistencia y entrada en vigor del mercado CE.

## 5.14.2 RIESGOS INHERENTES A LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES:

Los riesgos inherentes a los establecimientos industriales vienen regulados en el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales.

En este Reglamento se establecen los factores de caracterización determinantes del nivel de protección adecuado, incluido lo relativo a su emplazamiento y a ubicaciones no permitidas.

Se establecen cinco tipologías o configuraciones distintas para los establecimientos industriales:

→ Establecimientos industriales ubicados en edificios:

**Tipo A:** El establecimiento industrial que ocupa parcialmente un edificio que tiene, además, otros establecimientos, ya sean éstos de uso industrial o bien de otros usos.

**Tipo B:** El establecimiento industrial que ocupa totalmente un edificio que está adosado a otro/s edificio/s, ya sean éstos de uso industrial o bien de otros usos.

**Tipo C:** El establecimiento industrial que ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos.

→ Establecimientos industriales que desarrollan su actividad en espacios abiertos que no constituyen edificios:

**Tipo D:** El establecimiento industrial ocupa un espacio abierto, que no puede tener cubierta más del 50% de la superficie ocupada.

**Tipo E:** El establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede tener cubierta hasta el 50% de la superficie ocupada.

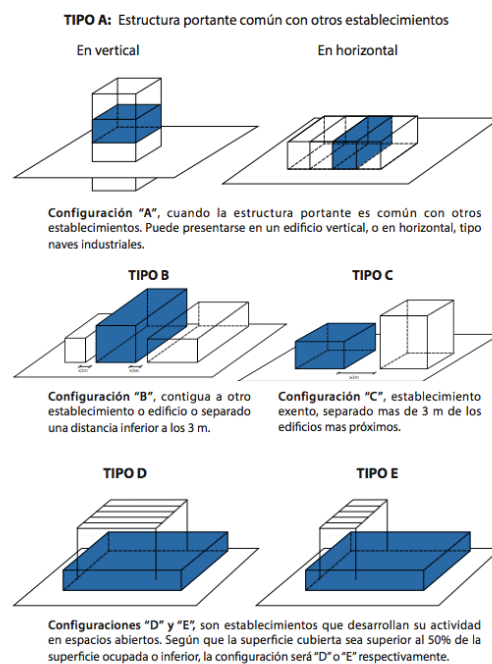


Ilustración 5-45: Clasificaciones para establecimientos industriales

### 5.14.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO:

Desde un punto de vista legal, el técnico de prevención tiene que evaluar el riesgo de incendio de acuerdo a los criterios que se establecen en las distintas normas o disposiciones para determinar el nivel de protección adecuado a las características del centro de trabajo o edificio.

En este sentido, los parámetros o variables determinantes del nivel de protección a aplicar son distintos, según se trate de un edificio o de un establecimiento industrial.

En el caso de los edificios, el criterio de protección contra incendios viene determinado por el uso, su superficie construida y su altura. En función de estas variables se determina el nivel de protección general que requiere el edificio en su conjunto.

El Código Técnico de la Edificación – CTE - contempla los requisitos de protección en su documento DB-SI, “Seguridad en caso de incendio”, cuyo objetivo es reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio accidental. Estas condiciones de seguridad mínima aplicarían a las fases de proyecto, construcción, uso y mantenimiento del edificio, y se pueden encontrar en los capítulos 7 y 8 de la GUÍA TÉCNICA DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS, publicada por el ministerio de economía.

Además de los niveles generales de protección es preciso considerar los niveles de protección particular que requieren las zonas y locales de “riesgo especial”, en función de su nivel de riesgo.

En el caso de los establecimientos industriales, el nivel de protección que han de disponer se determina en función de su “riesgo intrínseco” y de su “configuración” o situación relativa respecto al entorno.

**RIESGO INTRÍNSECO:** El Riesgo Intrínseco es un método de evaluación antiguo que recogía la primera Norma Básica de la Edificación, la NBE-CPI-82, pero que luego no recogieron las versiones del 91 y del 96. Ahora, sin embargo, adquiere nuevamente actualidad porque viene utilizado en el Reglamento de Seguridad contra Incendios para los Establecimientos Industriales, como uno de los factores determinantes del nivel de seguridad y de protección que se debe aplicar. Tiene sentido por tanto en la actualidad cuando se considera un establecimiento industrial.

El riesgo intrínseco parte del concepto de “carga térmica”, que indica la cantidad de combustible por metro cuadrado expresada en calorías, o también, el calor que se desprendería por metro cuadrado en caso de incendio. La carga térmica puede definirse también como el poder calorífico por metro cuadrado. La carga térmica es un índice de riesgo de propagación, significa cantidad o soporte material disponible para que el fuego avance y se desarrolle. No nos da idea del riesgo de activación porque sólo tiene en cuenta los poderes caloríficos de los materiales. Por ello, para calcular el riesgo intrínseco la carga térmica se corrige y pondera previamente, mediante la aplicación de unos coeficientes de peligrosidad ( $C_i$  y  $R_a$ ) que son indicadores del riesgo de activación.



La fórmula de cálculo - general - que se aplica es la siguiente:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i G_i q_i C_i}{A} R_a \text{ (MJ/m}^2\text{) o (Mcal/m}^2\text{)}$$

Donde:

**Q<sub>s</sub>**: Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, en MJ/m<sup>2</sup> o Mcal/m<sup>2</sup>.

**G<sub>i</sub>**: Masa, en Kg, de cada uno de los combustibles (i) presentes.

**q<sub>i</sub>**: Poder calorífico, en MJ/Kg o Mcal/Kg, de cada uno de los combustibles (i) presentes.

**C<sub>i</sub>**: Coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) presentes.

**R<sub>a</sub>**: Coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla.

**A**: Superficie construida considerada en metros cuadrados.

Los criterios para determinar los valores de los coeficientes de peligrosidad por combustibilidad C<sub>i</sub>, de cada combustible, se pueden obtener en el Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales, coincidentes con los criterios de clasificación del Reglamento de almacenamiento de productos químicos, aprobado por Real Decreto 379/2001, de 6 de abril -ITC MIE-APQ001.

Los valores que se establecen para los coeficientes de aplicación C<sub>i</sub> son:

- Nivel bajo de peligrosidad de los combustibles: 1,00.
- Nivel medio de peligrosidad: 1,30.
- Nivel alto de peligrosidad: 1,60.

Los valores del coeficiente de peligrosidad R<sub>a</sub>, se determinan igualmente en el Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales. Los valores que se establecen para los coeficientes que corresponde aplicar en cada caso son:

- Para un R<sub>a</sub> alto es: 3,00.
- Para un R<sub>a</sub> medio es: 1,50.
- Para un R<sub>a</sub> bajo es: 1,00.

De los valores de carga térmica ponderada y corregida que se obtengan, se deducen ocho niveles de riesgo que se indican en la siguiente tabla:

Nivel de riesgo intrínseco ( $R_i$ )		Densidad de carga de fuego ponderada y corregida ( $Q_s$ )	
		En Mcal/m <sup>2</sup>	En MJ/m <sup>2</sup>
Bajo	1	$Q_s < 100$	$Q_s < 425$
	2	$100 < Q_s < 200$	$425 < Q_s < 850$
Medio	3	$200 < Q_s < 300$	$850 < Q_s < 1.275$
	4	$300 < Q_s < 400$	$1.275 < Q_s < 1.700$
	5	$400 < Q_s < 800$	$1.700 < Q_s < 3.400$
Alto	6	$800 < Q_s < 1.600$	$3.400 < Q_s < 6.800$
	7	$1.600 < Q_s < 3.200$	$6.800 < Q_s < 13.600$
	8	$Q_s < 3.200$	$Q_s < 13.600$

Ilustración 5-46: Niveles de riesgo intrínseco. [34]

Los valores correspondientes a las potencias caloríficas son inherentes a cada uno de los combustibles, son propiedades físicas que cada uno tiene y, por tanto, se pueden obtener fácilmente. El Reglamento, no obstante, proporciona información de las potencias caloríficas de los productos o sustancias de uso más común.

Una vez clasificados los establecimientos industriales en uno de los 5 tipos de con guraciones y asignado un NRI, en los anexos siguientes se indican los requisitos exigibles al establecimiento, tanto en lo referente a aspectos de seguridad pasiva como en instalaciones de lucha contra incendios.

#### 5.14.4 CONDICIONES CONSTRUCTIVAS O DE PROTECCIÓN PASIVA:

La protección pasiva incluye todos aquellos aspectos de la protección que van incorporados en el diseño del edificio y en los materiales y elementos constructivos que se emplean y/o aplican en su construcción.

El objetivo de su desarrollo es reducir la “carga combustible inmobiliaria” y el riesgo de propagación por la utilización de materiales y diseños inadecuados.

Al incorporarse estas condiciones en el proyecto constructivo, proporcionan un alto nivel de seguridad que no siempre se valora suficientemente. Se comprende fácilmente, no obstante, que un edificio construido con materiales adecuados, con una distribución interior que evite la propagación de humos y gases de combustión, con unas condiciones de salida que garantice la seguridad de las personas y una estructura a prueba de fuego, es un edificio seguro en sí mismo, en su construcción y en su diseño.

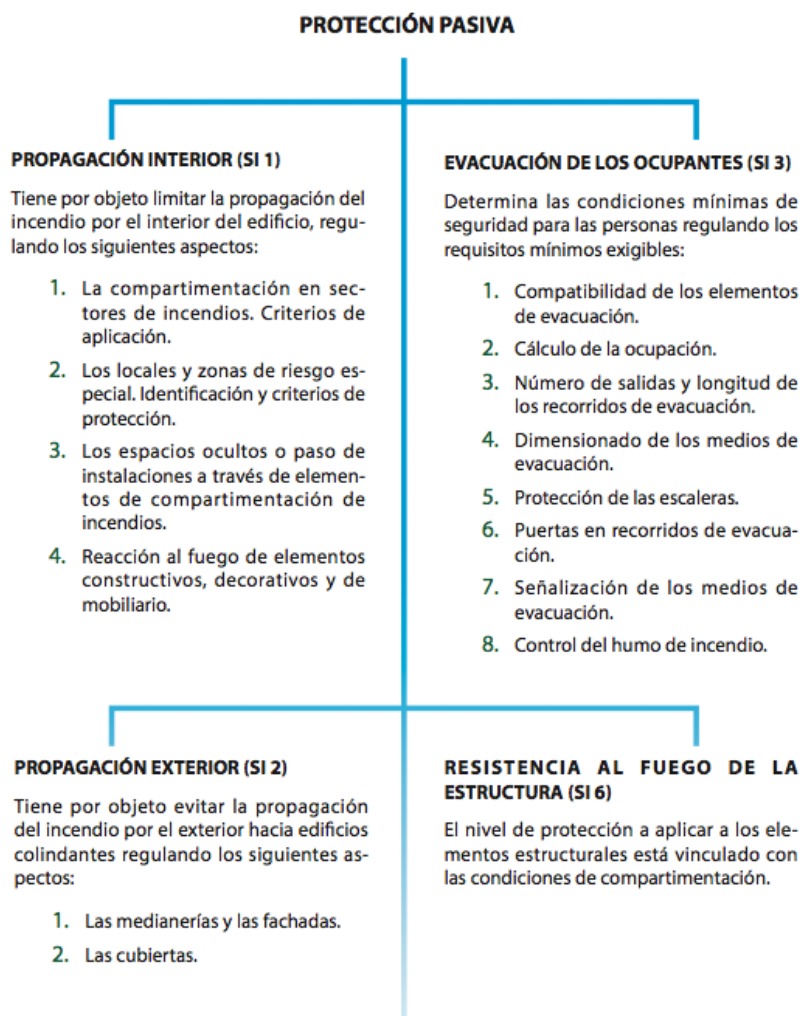


Ilustración 5-47: Esquema general de los contenidos de "protección pasiva" en el CTE

#### 5.14.5 REQUISITOS DE LAS INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS:

Todas las instalaciones de protección contra incendios, su diseño, ejecución, puesta en funcionamiento y el mantenimiento cumplirán con el Reglamento de las instalaciones de protección contra incendios aprobado por RD 1942/1993, de 5 de noviembre y la orden de 16 de abril de 1998 sobre normas de procedimiento y desarrollo del mismo.

Las siguientes tablas, elaboradas a partir de los contenidos del Anexo III del Reglamento, pretenden resumirlo con carácter didáctico.

Tabla 5: Requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales (Tipos A, B, C)

	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
	Producción, montaje, transformación, reparación, etc.	Almacenamiento	Producción, montaje, transformación, reparación, etc.	Almacenamiento	Producción, montaje, transformación, reparación, etc.	Almacenamiento
<b>Sistema automático detección<sup>(1)</sup></b>	S ≥ 300 m <sup>2</sup>	S ≥ 150 m <sup>2</sup>	RM y S ≥ 2000 m <sup>2</sup> RA y S ≥ 1000 m <sup>2</sup>	RM y S ≥ 1000 m <sup>2</sup> RA y S ≥ 500 m <sup>2</sup>	RM y S ≥ 3000 m <sup>2</sup> RA y S ≥ 2000 m <sup>2</sup>	RM y S ≥ 1500 m <sup>2</sup> RA y S ≥ 800 m <sup>2</sup>
<b>Sistema manual de alarma<sup>(2)</sup></b>	S ≥ 1000 m <sup>2</sup> o no se requiere SADI	S ≥ 800 m <sup>2</sup> o no se requiere SADI	S ≥ 1000 m <sup>2</sup> o no se requiere SADI	S ≥ 800 m <sup>2</sup> o no se requiere SADI	S ≥ 1000 m <sup>2</sup> o no se requiere SADI	S ≥ 800 m <sup>2</sup> o no se requiere SADI
<b>Sistema de hidrantes exteriores<sup>(3)</sup></b>	Cuando lo exijan las disposiciones que regulan actividades industriales sectoriales o específicas, de acuerdo con el art. 1 del Reglamento.					
	RM y S ≥ 300 m <sup>2</sup> RB (excepto si en la tabla 3 de la NTP 832 aparece como RB 1) y S ≥ 1000 m <sup>2</sup>		RA y S ≥ 1000 m <sup>2</sup> RM y S ≥ 2500 m <sup>2</sup> RB y S ≥ 3500 m <sup>2</sup>		RA y S ≥ 2000 m <sup>2</sup> RM y S ≥ 3500 m <sup>2</sup>	
<b>Extintores<sup>(4)</sup></b>	Se instalarán en todos los sectores de incendio del establecimiento industrial. Dotación y eficacia mínima: para fuegos tipo A estará en función del NRI, y para fuegos tipo B en función del volumen máximo de combustible líquido en el sector, según tablas 3.1 y 3.2 del RD. Distribución: será tal que el recorrido horizontal desde cualquier punto del sector hasta el extintor ≤ 15 m.					
<b>BIE<sup>(5)</sup></b>	S ≥ 300 m <sup>2</sup>		RA y S ≥ 200 m <sup>2</sup> RM y S ≥ 500 m <sup>2</sup>		RA y S ≥ 500 m <sup>2</sup> RM y S ≥ 1000 m <sup>2</sup>	
<b>Columna seca</b>	En establecimientos de RM o RA y altura de evacuación ≥ 15 m					
<b>RAA<sup>(6)</sup></b>	RM y S ≥ 500 m <sup>2</sup>	RM y S ≥ 300 m <sup>2</sup>	RA y S ≥ 1000 m <sup>2</sup> RM y S ≥ 2500 m <sup>2</sup>	RA y S ≥ 800 m <sup>2</sup> RM y S ≥ 1500 m <sup>2</sup>	RA y S ≥ 2000 m <sup>2</sup> RM y S ≥ 3500 m <sup>2</sup>	RA y S ≥ 1000 m <sup>2</sup> RM y S ≥ 2000 m <sup>2</sup>

Tabla 6: Requisitos de las instalaciones industriales de protección contra incendios de los establecimientos industriales (Tipos D, E)

	Producción, montaje, transformación, reparación, etc.	Almacenamiento
<b>Sistema manual de alarma<sup>(2)</sup></b>	S ≥ 1000 m <sup>2</sup>	S ≥ 800 m <sup>2</sup>
<b>Sistema de hidrantes exteriores<sup>(3)</sup></b>	Cuando lo exijan las disposiciones que regulan actividades industriales sectoriales o específicas (art. 1 del Reglamento).	
	RM y RA y S ≥ 5000 m <sup>2</sup> RB, RM y RA y S ≥ 15.000 m <sup>2</sup>	
<b>Extintores<sup>(4)</sup></b>	Se instalarán en todas las áreas de incendio del establecimiento industrial, excepto en aquellas con RB 1. Dotación y eficacia mínima: para fuegos tipo A estará en función del NRI, y para fuegos de tipo B en función del volumen máximo de combustible líquido en el sector, según tablas 3.1 y 3.2 del RD. Distribución: será tal que el recorrido horizontal, desde cualquier punto del sector hasta el extintor ≤ 25 m.	
<b>BIE<sup>(5)</sup></b>	RA y S ≥ 5000 m <sup>2</sup>	
<p>S: Superficie total construida del sector de incendio del establecimiento industrial / SADI: Sistema Automático de Detección de Incendio</p> <p>(1) Cuando es exigible la instalación de un sistema automático de detección de incendio y las condiciones del diseño (Anexo III, punto 1) den lugar al uso de detectores térmicos, podrá sustituirse por rociadores automáticos de agua.</p> <p>(2) Cuando se requiera la instalación de un sistema manual de alarma de incendio, se situará, en todo caso, un pulsador junto a cada salida de evacuación del sector de incendio, y la distancia a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador será ≤ 25 m.</p> <p>(3) Cuando se requiera un sistema de hidrantes, la instalación debe proteger todas las zonas de incendio que constituyen el establecimiento industrial.</p> <p>(4) Podrá justificarse su no instalación en las zonas de los almacenamientos operados automáticamente, en los que la actividad impide el acceso de personas.</p> <p>(5) Las BIE podrán ser de 25 mm en establecimientos con RB y de 45 mm para RM y RA. En establecimientos de RB y RM el tiempo de autonomía será 60 min para una simultaneidad 2; en establecimientos de RA el tiempo de autonomía será 90 min para una simultaneidad 3. La presión en boquilla estará comprendida entre 2 y 5 bar.</p> <p>(6) Cuando es exigible la instalación de rociadores automáticos, concurrentemente con un sistema automático de detección que emplee detectores térmicos, de acuerdo con las condiciones de diseño (Anexo III, punto 1) quedará cancelada la exigencia del sistema de detección.</p>		

Tabla 7: Requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales

<b>Sistema de comunicación de alarma</b>	Si la suma de la S de todos los sectores del establecimiento $\geq 10.000 \text{ m}^2$ . La señal acústica permitirá diferenciar entre "emergencia parcial" y "emergencia general", siendo preferente el uso de megafonía.
<b>Sistema de abastecimiento de agua</b>	Cuando lo exijan las disposiciones que regulan actividades industriales, sectoriales o específicas (art. 1 del Reglamento). Cuando sea necesario para dar servicio en las condiciones de caudal, presión y reserva calculados a uno o varios sistemas de lucha contra incendios.
<b>Columna seca</b>	Si la altura de evacuación $\geq 15 \text{ m}$ y existe RM o RA.
<b>Sistemas de agua pulverizada</b>	Cuando lo exijan las disposiciones que regulan actividades industriales, sectoriales o específicas (art. 1 del Reglamento). Cuando por la configuración, contenido, proceso y ubicación del riesgo sea necesario refrigerar partes de este para asegurar la estabilidad de su estructura y evitar los efectos del calor de radiación emitido por otro riesgo cercano.
<b>Sistemas de espuma física</b>	Cuando lo exijan las disposiciones que regulan actividades industriales, sectoriales o específicas (art. 1 del Reglamento). En general, cuando se manipulan líquidos inflamables que, en caso de incendios, puedan propagarse a otros sectores.
<b>Sistemas de extinción por polvo</b>	Cuando lo exijan las disposiciones que regulan actividades industriales sectoriales o específicas (art. 1 del Reglamento).
<b>Sistemas de extinción por agentes gaseosos</b>	Cuando lo exijan las disposiciones que regulan actividades industriales sectoriales o específicas (art. 1 del Reglamento). Cuando constituyan recintos donde se ubiquen equipos electrónicos, centros de cálculo, bancos de datos, de centros de control o medida y análogos y la protección con sistemas de agua pueda dañar dichos equipos.
<b>Sistemas de alumbrado de emergencia</b>	En planta bajo rasante. En planta sobre rasante si $P \geq 10$ personas y existe RA o RM. En cualquier caso cuando $P \geq 25$ personas. Donde estén instalados cuadros, centros de control o manos de instalaciones técnicas de servicios (Anexo II.8). Locales o espacios donde estén instalados los equipos centrales o los cuadros de control de los sistemas de protección contra incendios.
<b>Señalización</b>	Salidas de uso habitual o de emergencia. Medios de protección contra incendios de uso manual, cuando no sean fácilmente localizables. Teniendo en cuenta lo dispuesto por el RD 485/1997, de 14 de abril.

#### 5.14.6 ELEMENTOS DE EVACUACIÓN:

##### 1. Salidas:

La disposición adoptada de puertas, así como la anchura total de las mismas es superior al mínimo exigido en el R.D. 2267/2004.

Según la norma, el ancho mínimo de las puertas de salida debe verificar:

$$A = P / 200$$

Donde:

A = Ancho mínimo de las puertas en metros.

P = Ocupación de los recintos a evacuar.

##### 2. Vías de evacuación:

- Cada recinto dispondrá de una salida, si el recorrido máximo de evacuación desde cualquier punto ocupable, es inferior a 25 metros.
- En el caso de que dicho recorrido sea superior a 25 metros, se deberán disponer de dos salidas opuestas y alejadas.
- En el caso de dos salidas, ningún punto de origen de evacuación, distará más de 50 metros de una salida del edificio u otro sector de incendio independiente.
- La longitud del recorrido desde todo origen de evacuación, hasta algún punto que partan dos recorridos alternativos, hacia sendas salidas, no será mayor de 25 metros.

##### 3. Pasillos.

Todos los pasillos cumplen las indicaciones del R.D. 2267/2004, siendo su ancho superior al ancho mínimo indicado, de 1 m.

## 5.14.7 INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.

### SISTEMA MANUAL DE ALARMA DE INCENDIOS.

En aplicación del Apartado 4 del Anexo III del R.S.C.I.E.I., se proyecta la instalación de sistema manual de alarma de incendios.

Esta instalación estará provista de pulsadores y centralita, con campanas emisoras de señales acústicas, de forma que cuando se pulse un pulsador, empezará a sonar la alarma



Ilustración 5-48: Señal pulsador de alarma.

### EXTINTORES.

En la instalación que se proyecta se ubicarán extintores de las siguientes características:

- Extintores portátiles de polvo CO<sub>2</sub>, de capacidad 5 kg. de agente extintor, grado de eficacia 21A, en previsión de fuegos de origen eléctrico.
- Extintores portátiles de polvo químico polivalente ABC, de capacidad 6 kg. de agente extintor, grado de eficacia 21A 113B C, en previsión de incendios de origen fortuito.

Emplazamiento y distribución:

La ubicación y número de extintores, se debe hacer de manera que la distancia entre unos y otros no sea demasiado grande. El lugar de emplazamiento será de fácil visibilidad y acceso.

Se colocará sobre un soporte fijado a paramentos verticales o pilares, de forma que la parte superior del extintor quede preferiblemente a una altura de 1,20 m como mínimo y de 1,70 m como máximo del suelo.

Los extintores portátiles de CO<sub>2</sub> se colocarán en las proximidades de los cuadros eléctricos, en previsión de incendios de origen eléctrico. Se colocará sobre un soporte fijado a paramentos verticales o pilares, de forma que la parte superior del extintor quede preferiblemente a una altura de 1,20 m como mínimo y de 1,70 m como máximo del suelo.



Ilustración 5-49: Señal extintor.

Mantenimiento y control de funcionamiento:

Los extintores se someterán a las siguientes operaciones de mantenimiento y control de funcionamiento:

- Se verificarán periódicamente la situación, accesibilidad y estado aparente de los mismos.
- Cada 6 meses se realizarán las operaciones previstas por el fabricante y cada 12 meses se verificará por el personal especializado, que se recogerán en tarjetas unidas a los extintores.

### SISTEMAS DE BOCAS DE INCENDIO EQUIPADAS.

Red de Bocas de Incendio Equipadas (BIE):



Ilustración 5-50: Señal boca de incendio equipada.

Los sistemas de boca de incendio equipadas estarán compuestos por:

- Fuente de abastecimiento de agua.
- Red de tuberías para la alimentación de agua.
- Equipos de bocas de incendio equipadas.

### SEÑALIZACIÓN DE EMERGENCIA

Como señalización de emergencia, se utilizarán bloques de emergencia incandescentes de 6 W, en todas las puertas interiores y zonas de recorrido hacia las salidas al exterior, de tal forma que, si se produjese un corte en el suministro, garanticen al menos por una hora una intensidad luminosa de 5 lux, siendo la fuente de energía independiente del sistema normal de iluminación.

### SEÑALIZACIÓN DE EVACUACIÓN

Las salidas de recinto o edificio estarán señalizadas y serán fácilmente visibles desde todo punto de dichos recintos.

Deben disponerse señales indicativas de dirección de los recorridos que deben seguirse desde todo origen de evacuación hasta un punto desde el que sea directamente visible la salida o la señal que lo indica.

En dichos recorridos, las puertas que no sean salida y que puedan inducir a error en la evacuación, deberán señalarse con la señal correspondiente, dispuestas en lugar fácilmente visible y próxima a la puerta.

Para indicar las salidas, de uso habitual o de emergencia, se utilizarán las señales definidas en la norma UNE 23 034.



### SEÑALIZACIÓN DE LOS MEDIOS DE PROTECCIÓN

Se procederá a la señalización de las salidas de uso habitual o de emergencia, así como la de los medios de protección contra incendios de utilización manual, cuando no sean fácilmente localizables desde algún punto de la zona protegida, teniendo en cuenta lo dispuesto en el Reglamento de señalización de los centros de trabajo, aprobado por el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, (B.O.E. nº 97, de 23 de abril ) sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.



Ilustración 5-51: Señal salida de emergencia.



## 6 LAYOUT

**E**n este documento se recoge el proceso que sigue la remolacha desde su entrada a la fábrica hasta que sale en forma de azúcar lista para su distribución, pero además de la explicación de dichos procesos, también es necesaria una representación gráfica para ilustrar como quedaría la fábrica completa.

La representación debe tener en cuenta tanto aspectos estéticos como la optimización de los espacios y del proceso.

A continuación, se explica detalladamente cada una de las partes que conforman la fábrica azucarera.

Cabe señalar que, el producto sale de la fábrica en bigbags, y es en otro centro aparte al diseñado en este proyecto donde se empaquetan en los distintos formatos que se pueden encontrar en el mercado.

### 6.1 EXTERIOR.

A Primera vista se identifican distintas zonas: los edificios principales (oficinas, nave de procesos y almacén) los aparcamientos y la zona de procesos a la interperie.

también se cuenta con una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) y una planta de cogeneración. Con esta distribución del solar se garantiza una buena comunicación entre las diferentes zonas.

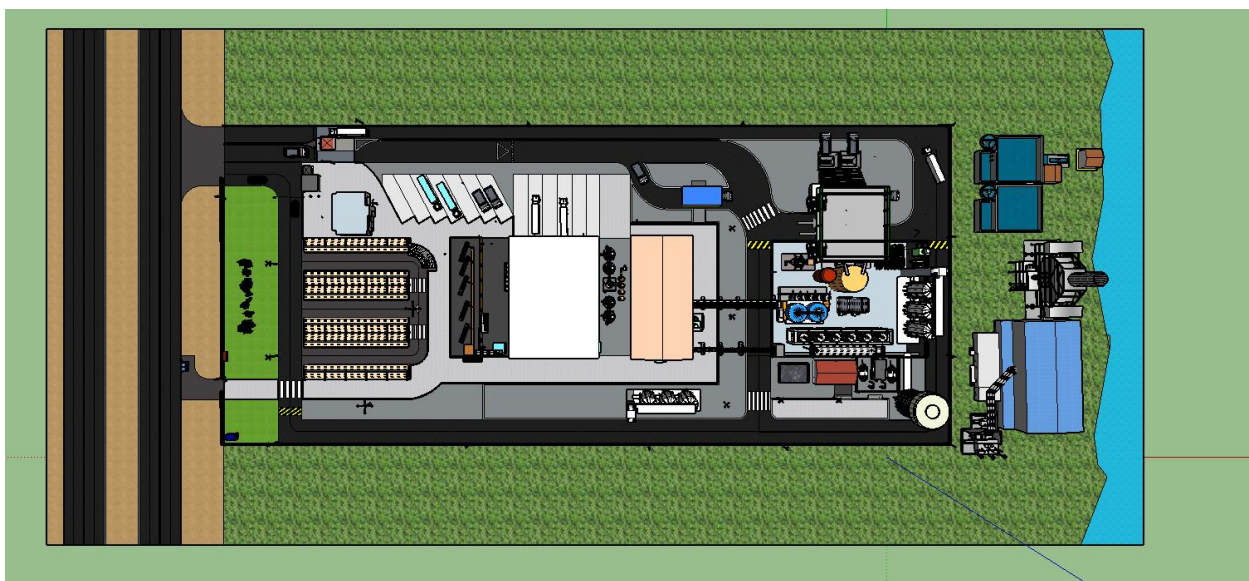


IMAGEN 1: Vista de la planta I

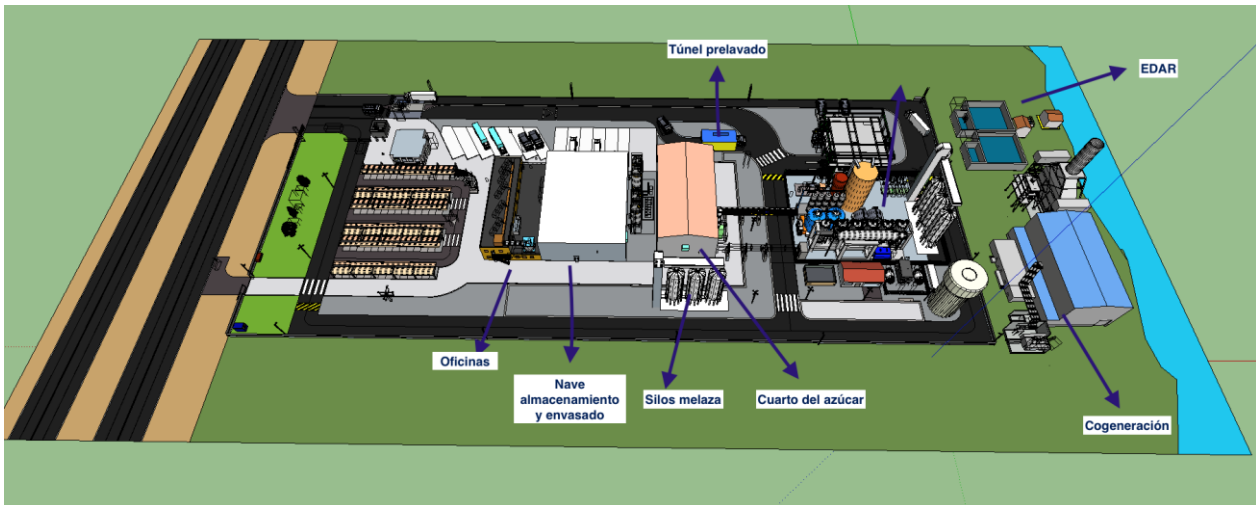


Ilustración 6-1: Vista de la planta II

En la imagen se puede ver la distribución de la planta desde el exterior, con los diferentes sectores en los que se han estimado convenientes:

- Entrada y aparcamientos:

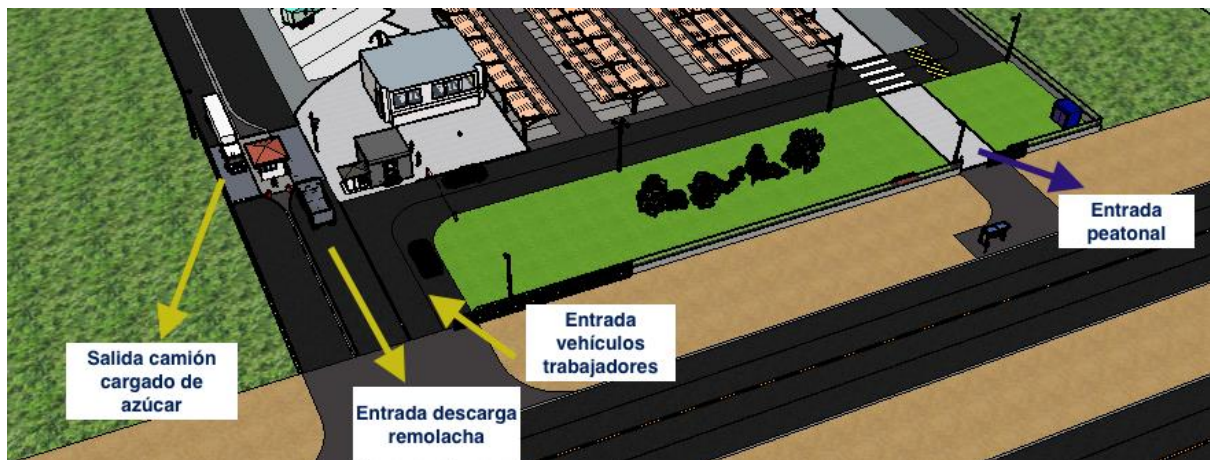


Ilustración 6-2: Entrada al solar

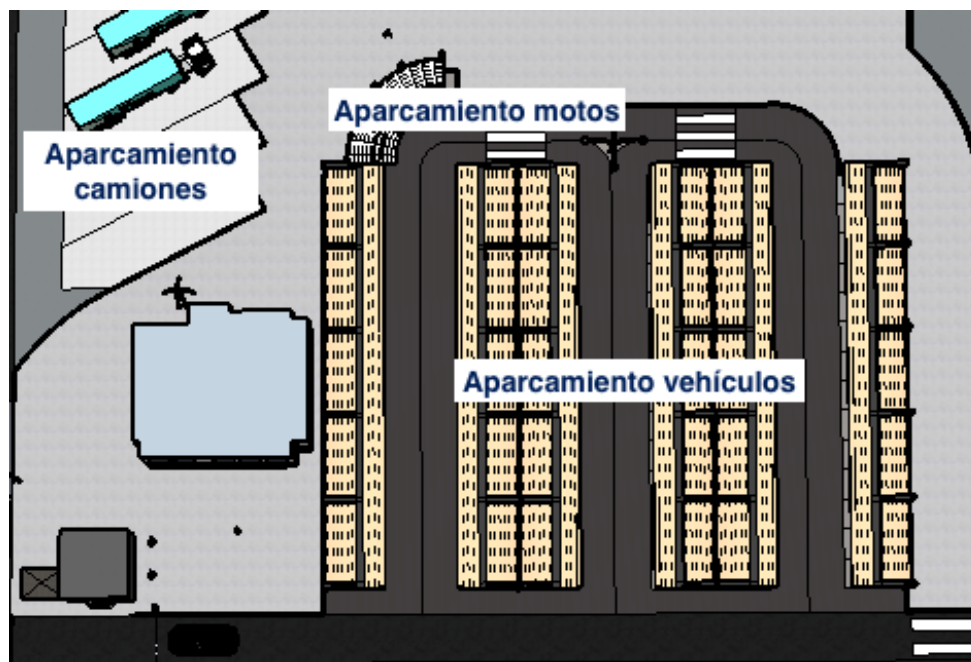


Ilustración 6-3: Zona de aparcamientos

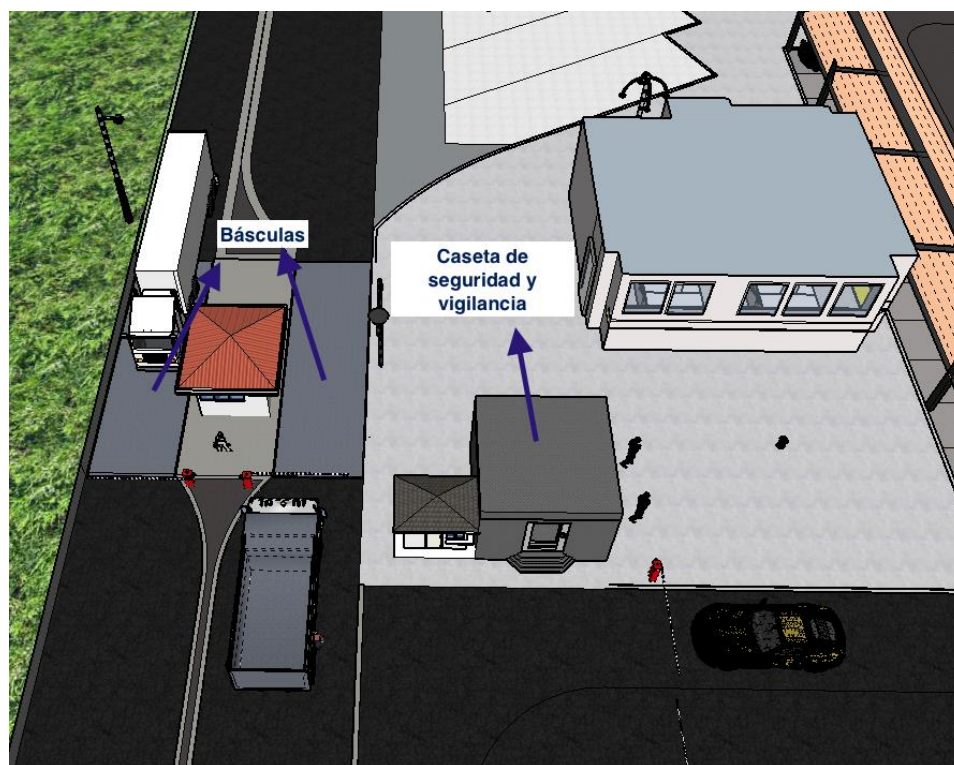


Ilustración 6-4: Básculas para camiones y casetilla de seguridad

- Laboratorio y aparcamiento de camiones:

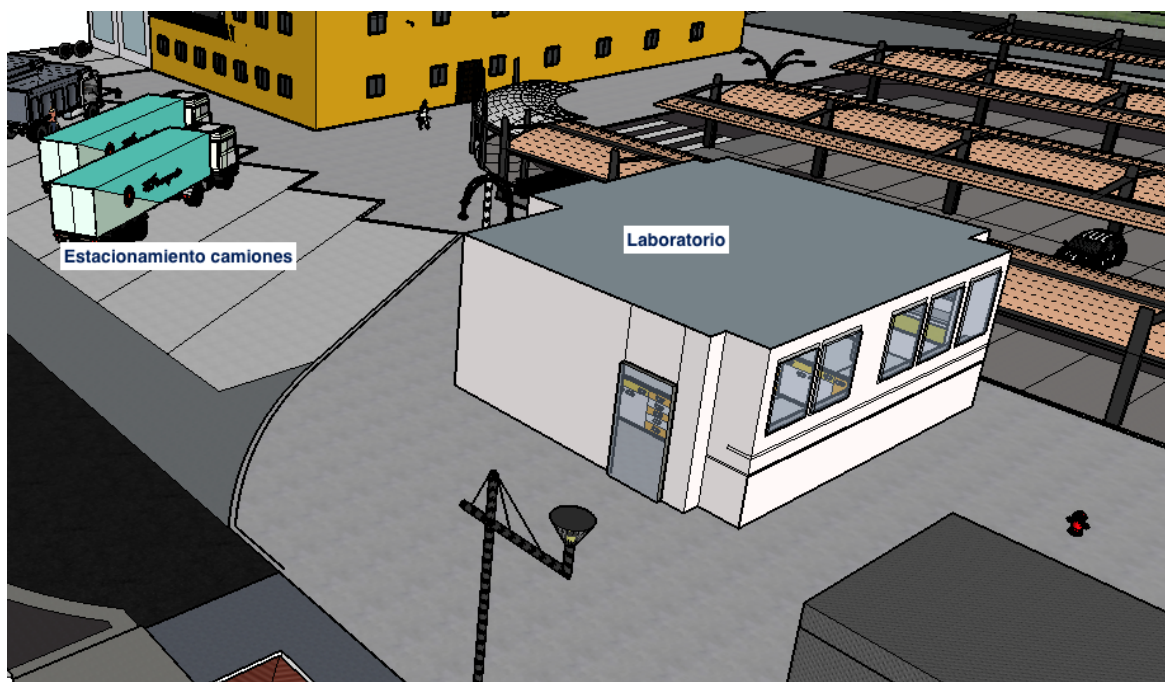


Ilustración 6-5: Laboratorio de remolacha y estacionamiento camiones.

- Edificios principales:



Ilustración 6-6: Cuarto del azúcar, nave envasado y oficinas.

- Zona exterior de procesos:

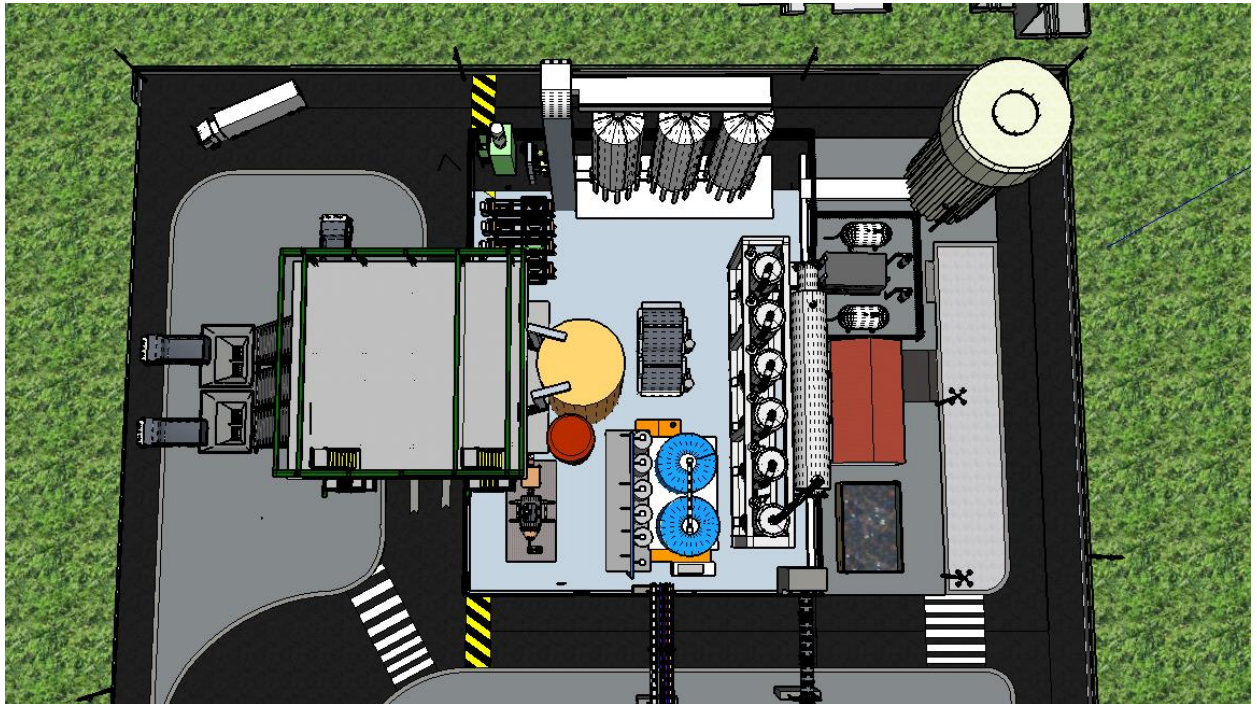


Ilustración 6-7: Zona de procesos exterior

## 6.2 ZONA DE OFICINAS.

En las oficinas es donde se llevan a cabo tareas como la organización y gestión de la planta y el trabajo administrativo.

El edificio de oficinas es el primero según se entra en la fábrica, de esta forma los empleados de este edificio no tienen que recorrer el resto del solar para llegar a su lugar de trabajo.

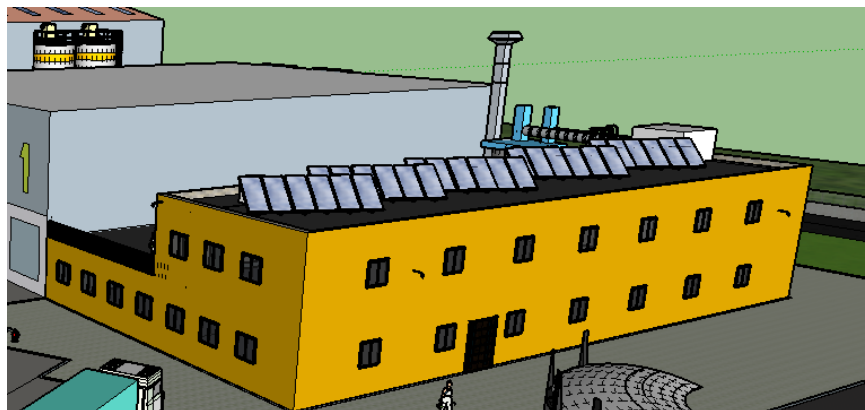


Ilustración 6-8: Edificio de oficinas.

→ PLANTA BAJA:

A la planta baja se accede directamente desde los aparcamientos, Al entrar se encuentra un espacio dedicado a la recepción y una zona de espera, donde hay sofás y máquinas expendedoras. Desde la entrada existen tres recorridos:

- Izquierda: ascensor y escaleras para subir de planta
- Frente: pasillo para acceder al almacén
- Derecha: pasillo que lleva a las distintos despachos y salas de la fábrica.

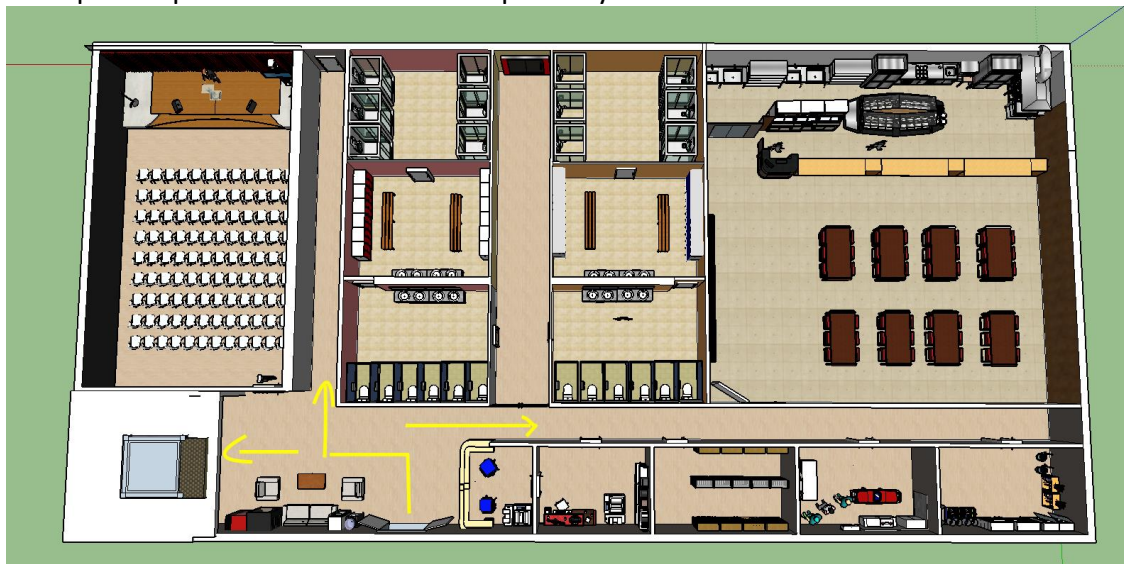


Ilustración 6-9: Entrada a las oficinas



Ilustración 6-10: Vista planta baja.

Desde el edificio de oficinas existen dos accesos al almacén; uno desde los vestuarios, para el personal que trabaje en almacenamiento o procesos, y otro desde recepción, que se utilizaría para guiar a las visitas o para aquel trabajador que no trabaje en los siguientes edificios.



### 6.3 VIALES.

Dentro de la planta los vehículos pueden realizar cuatro acciones:

- Carga de camion con producto final /azúcar
- Descarga de la materia prima
- Entrada de Vehículos de mantenimiento y/o servicios de emergencia
- Entrada de vehículos de trabajadores.

En funcion de la acción, se tomará uno de los siguientes caminos que se muestran a continuación.

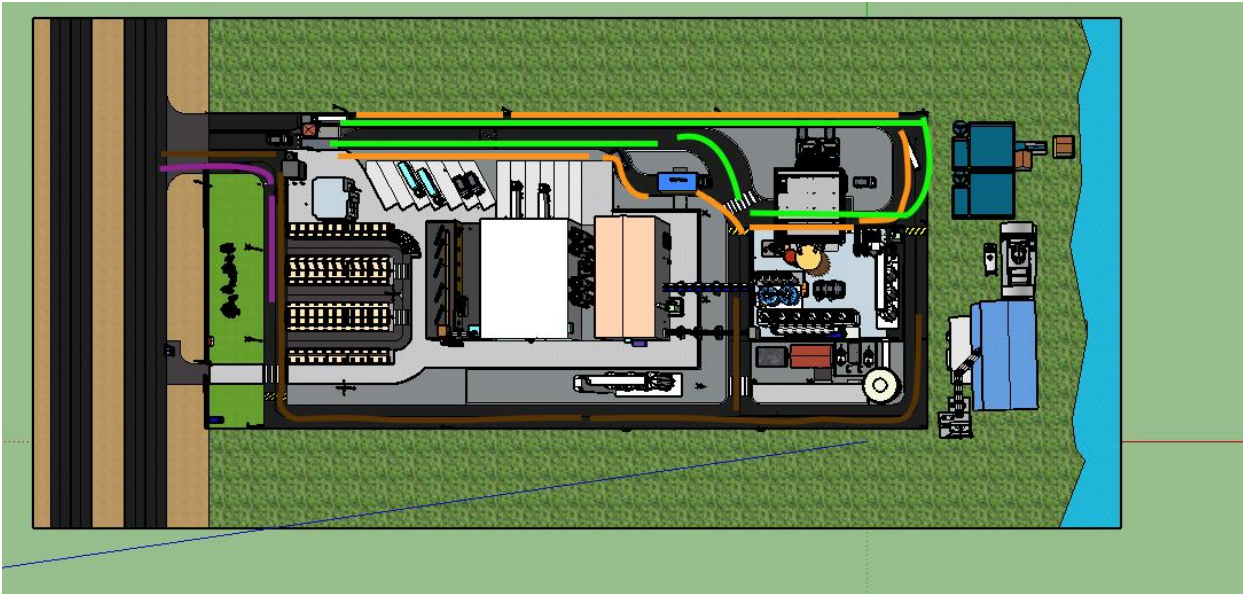


Ilustración 6-13: Viales

En un vistazo general, se tiene que el flujo señalado en **naranja** sería el que realizaría el camión cargado de remolacha, que va a descargar a la planta. El camino en **verde** indica el que seguiría un camión que va a cargarse de producto terminado. Por otra parte, el flujo **morado** describe la trayectoria de los vehículos propios que accedan al solar. Y, para finalizar, el **marrón** muestra el recorrido que llevan a cabo los equipos de mantenimiento que trabajan en las instalaciones.

A continuación, se explica detalladamente cada los flujos de carga y descarga, para la mejor comprensión del proceso.

#### → DESCARGA DE MATERIA PRIMA.

Los camiones que llegan para descargar las remolachas se encuentran con un paso a nivel, a continuación se dirigen a las básculas, donde son pesados, después se dirigen a una zona de estacionamiento, para tomar una muestra de las remolachas y evaluarlas en el laboratorio de remolacha. Esto es primordial ya que el pago a los agricultores es función de los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tras los análisis el camión se dirige a la zona de descarga, pasando antes por un túnel de lavado para quitar algunas impurezas, una vez terminada la limpieza descargan las remolachas y se incorporan al vial de salida.



En caso de que un camión no pase los análisis de laboratorio, deberá tomar el camino de regreso sin descargar las remolachas, por este motivo el carril de descarga debe bifurcarse en dos, de manera que se facilite la salida a los camiones que no pasen los análisis.



Ilustración 6-14: Proceso de descarga

#### →CARGA DE AZÚCAR.

El recorrido de carga es similar al que siguen los camiones de descarga. Tras el paso a nivel se dirigen al edificio de almacén, que tiene unas compuertas para realizar la carga, los camiones maniobran para llegar de culo a las compuertas. Una vez terminada la carga los camiones realizan el recorrido de salida que se ha explicado en el apartado de viales.

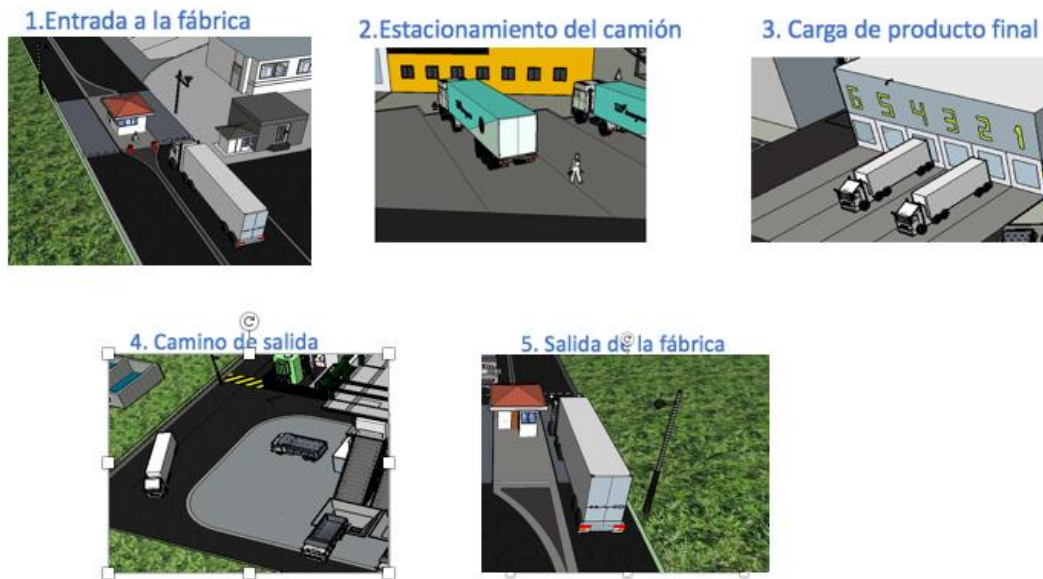


Ilustración 6-15: Proceso de carga de camiones

Como se prevé que la planta poseerá un gran flujo de camiones, se ha reservado un espacio para que aparquen los camiones mientras esperan su turno ya sea para cargar o descargar, de forma que no se formen colas ni obstaculicen el tránsito normal de la planta.

→ MANTENIMIENTO.

Los vehículos de mantenimiento disponen de un vial de doble sentido que recorre todo el solar, este carril estaría pensado para vehículos de emergencia, vehículos de obras o vehículos de mantenimiento de la zona de EDAR o la instalación de gas natural.

## 6.4 Laboratorio

El laboratorio se sitúa cerca de la entrada, ya que una vez pesados los camiones y, antes de proceder a la descarga, es necesario tomar una muestra de la materia prima para realizar un análisis de la misma.

Su ubicación se debe a la necesidad de realizar el análisis cuanto antes y agilizar el proceso de descarga.

En el laboratorio se encuentran todas las máquinas requeridas y un espacio para almacenar las muestras.



Ilustración 6-16: Laboratorio.

## 6.5 INSTALACIONES AUXILIARES.

En el apartado del documento llamado “**Instalaciones auxiliares**” están explicadas en detalle cada una de ellas.

**Depósito de agua:** Con este depósito se cubren dos necesidades básicas en un complejo de este tipo: proveer de agua al sistema de protección contra incendios, y disponer de una reserva de agua, en caso de un corte eventual del suministro, de forma que no tengamos que interrumpir la producción.

**Instalación satélite de gas natural:** se explica en el apartado destinado al mismo

**Cubeta de residuos:** Este volumen es reservado para todos los residuos propios producidos por el funcionamiento habitual de la planta a lo largo del tiempo.

**Caseta de mantenimiento y almacenamiento de productos:** Tiene la función de almacén de repuestos de todo tipo, y de zona de descanso de los equipos de mantenimiento.

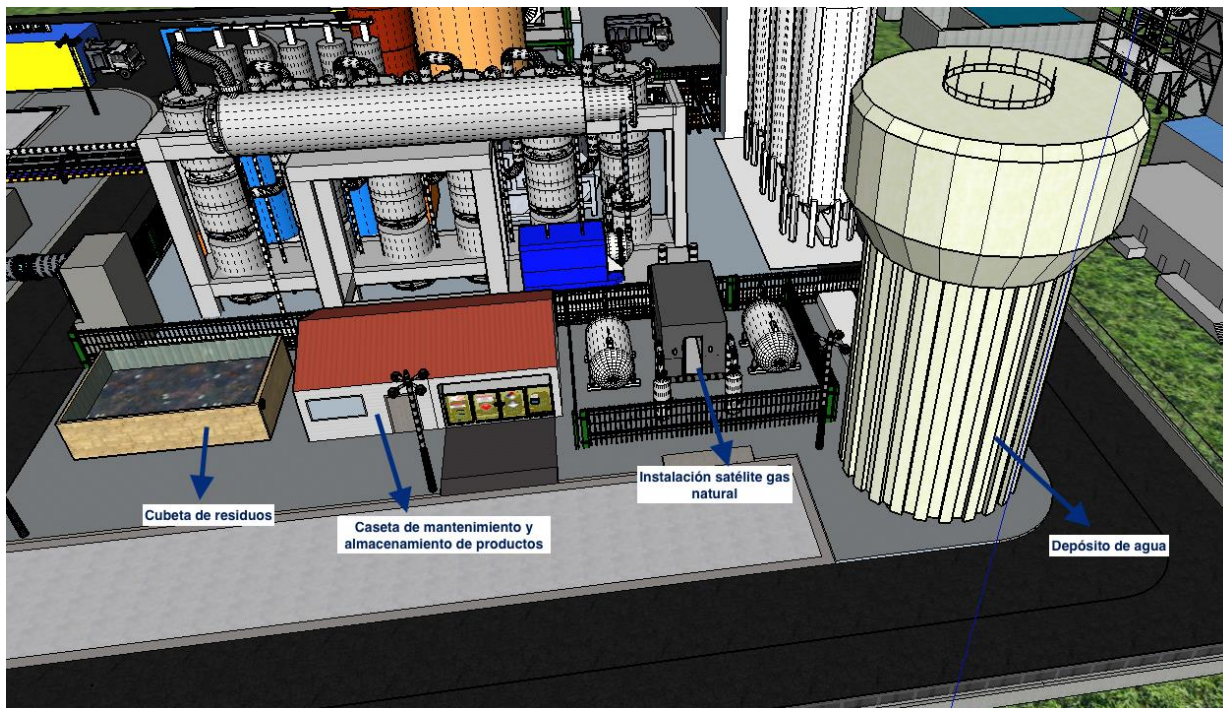


Ilustración 6-17: Instalaciones auxiliares I

-EDAR: En una planta de procesamiento de materia agroalimentaria como la que se presenta, se cuenta con diferentes flujos de aguas que no se pueden verter directamente al desagüe según la normativa vigente. Por ello es necesario implantar una depuradora que realice un tratamiento al agua previo a su vertido a la red general.

- Cogeneración:

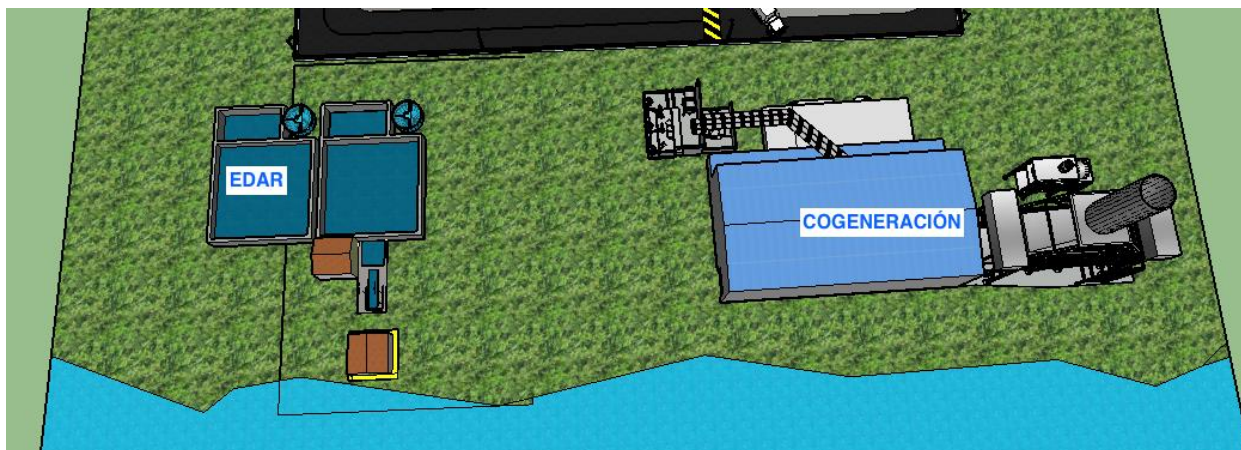


Ilustración 6-18: Instalaciones auxiliares II

## 6.6 PROCESO.



Ilustración 6-19: Diagrama del proceso. [14]

Aunque el proceso ya ha sido explicado en detalle, se verá en como sería en particular para la fábrica diseñada.

Una vez los camiones han pasado el análisis del laboratorio, estos descargan en las tolvas, las cintas transportadoras elevan las remolachas hasta la estación de lavado:



Ilustración 6-20: Descarga remolachas

En el lavadero, las remolachas pasan por los equipos que se ven en la ilustración 6-22, para finalmente, una vez han sido cortadas en cosetas, pasar al difusor.

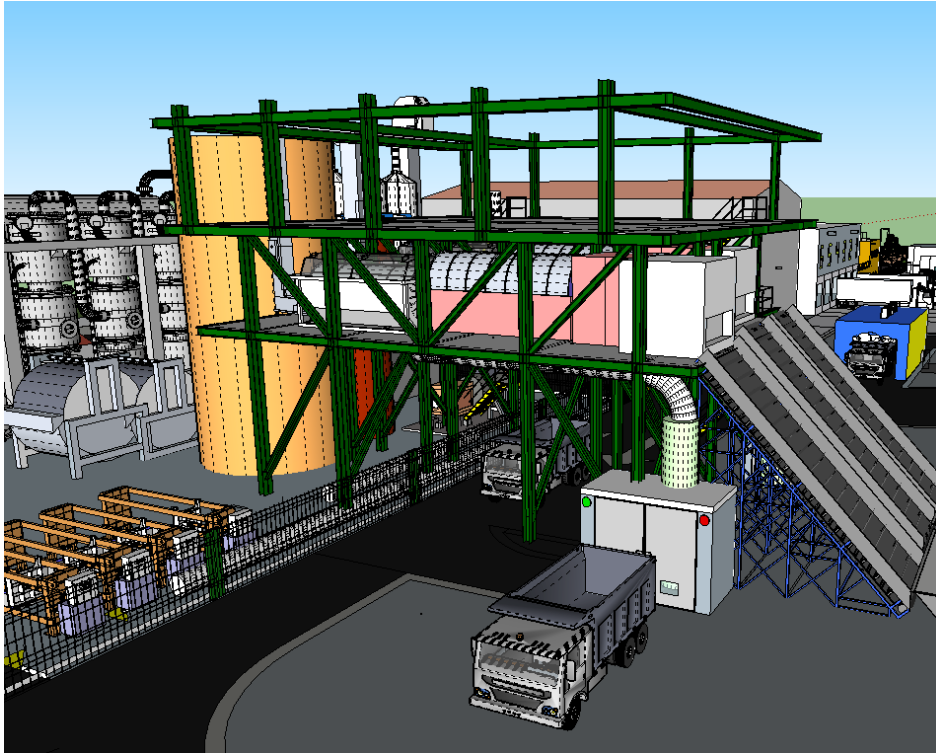


Ilustración 6-21: Cintas transportadoras y zona de lavado

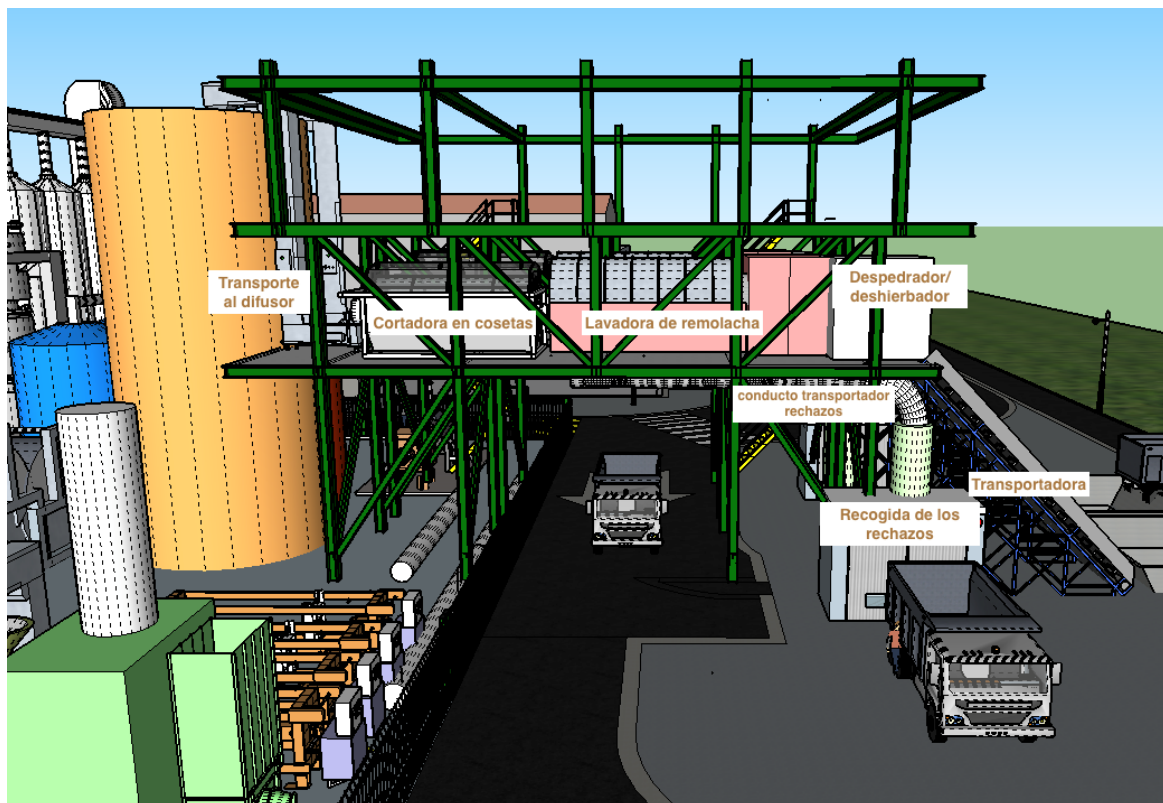


Ilustración 6-22: Zona de pretratamiento y lavado

En la zona exterior de procesos tiene lugar la difusión, depuración, filtración y evaporación múltiple efecto.

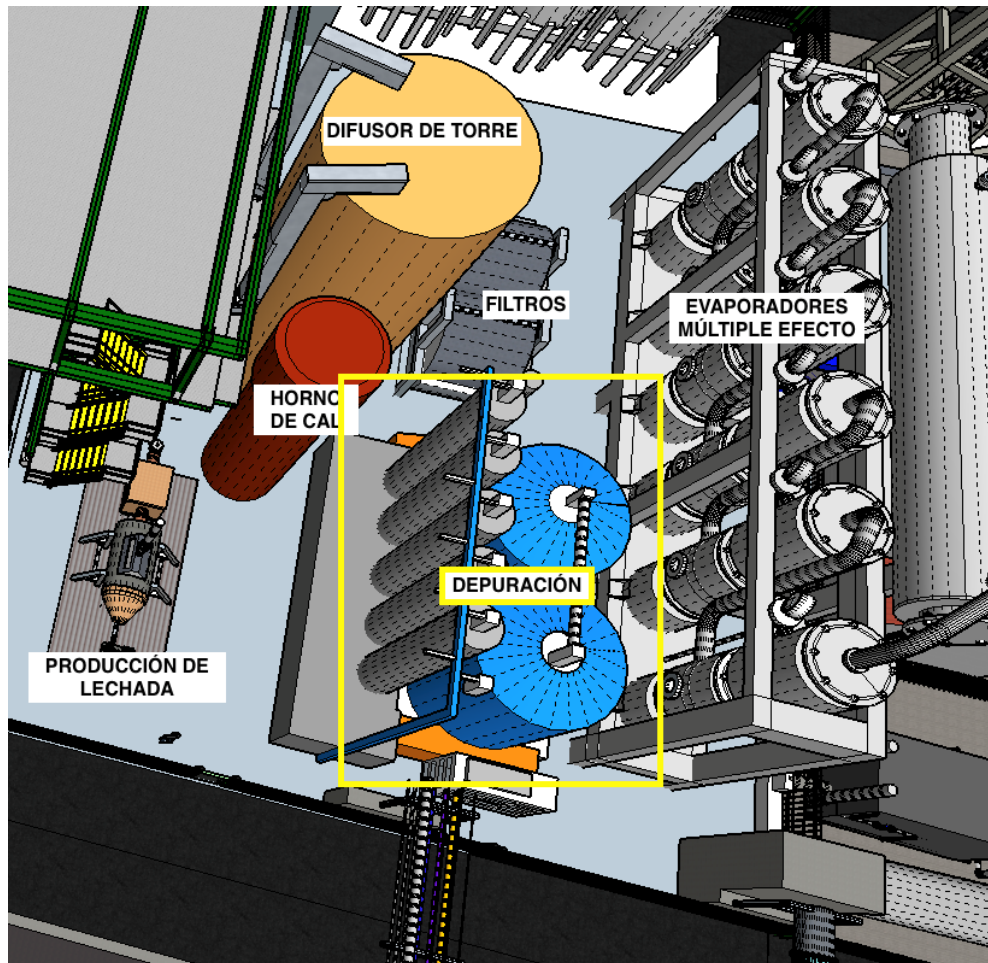


Ilustración 6-23: Zona de procesos

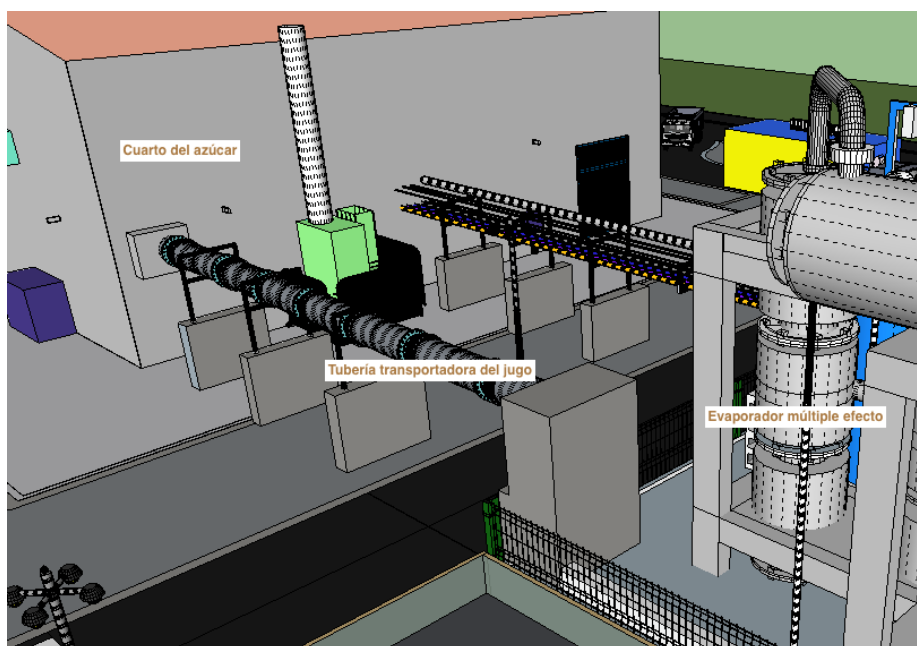


Ilustración 6-24: Evaporación y transporte al cuarto del azúcar

El jugo azucarado obtenido en la evaporación múltiple efecto es transportado a la nave conocida como cuarto del azúcar, donde se producen las últimas etapas antes de obtener el producto final. En el cuarto del azúcar es donde tiene lugar la cristalización y secado del azúcar.

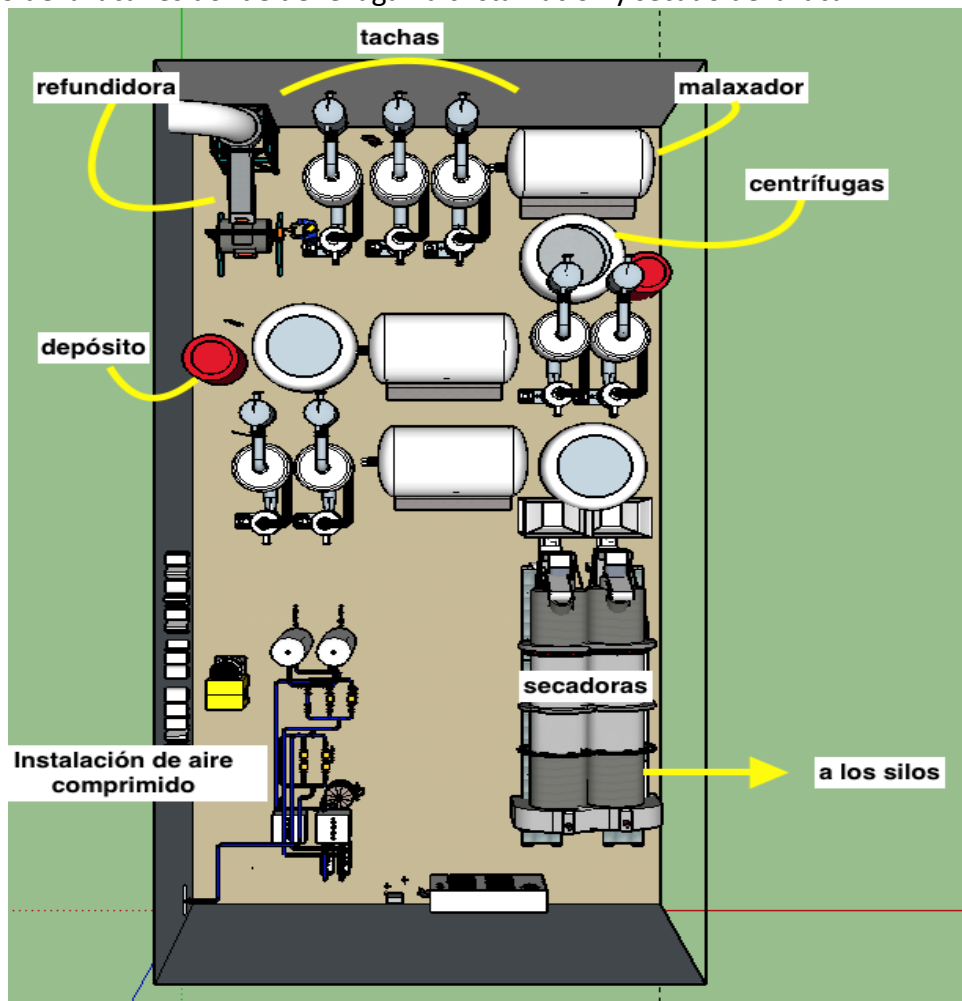


Ilustración 6-25: Cuarto del azúcar

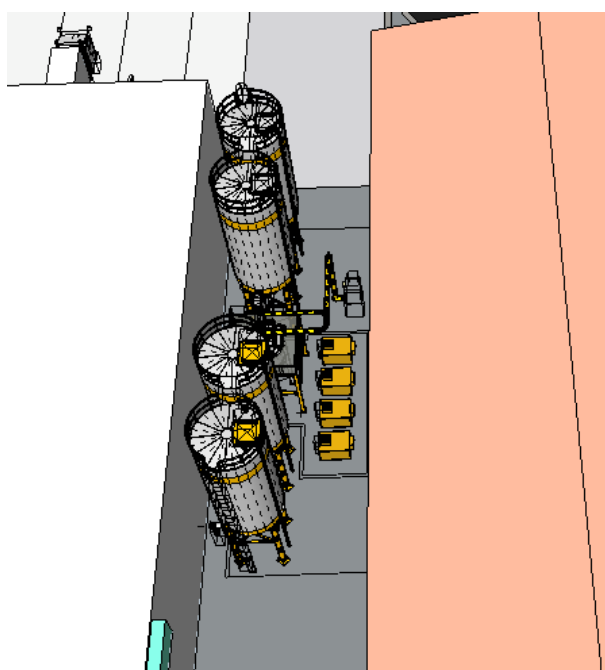


Ilustración 6-26: Silos de almacenamiento de azúcar.



De los silos de almacenamiento pasa a la nave de empaquetado en big-bags y almacenamiento de los mismos, donde finaliza el proceso.

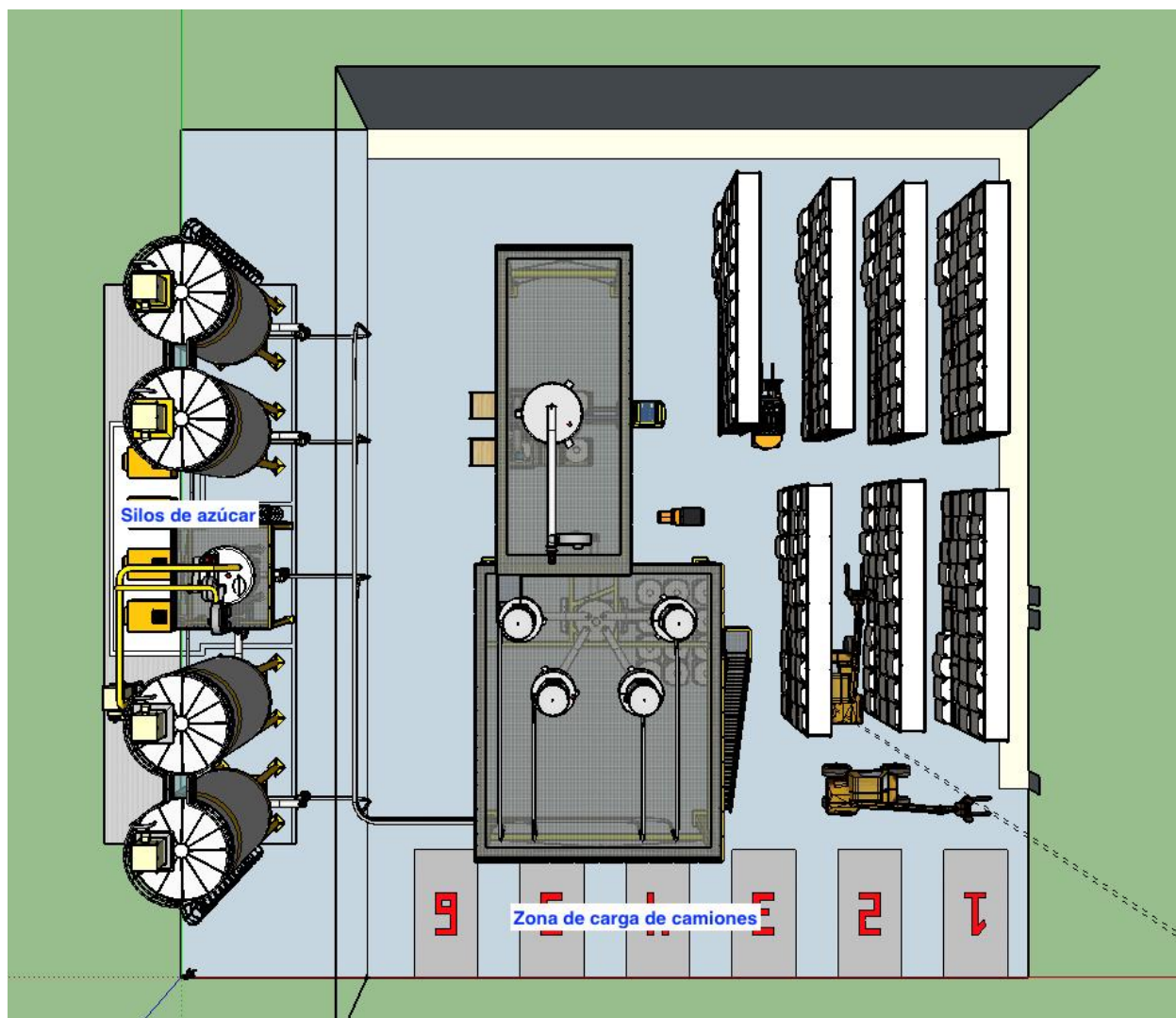


Ilustración 6-27: Silos y nave de almacenamiento

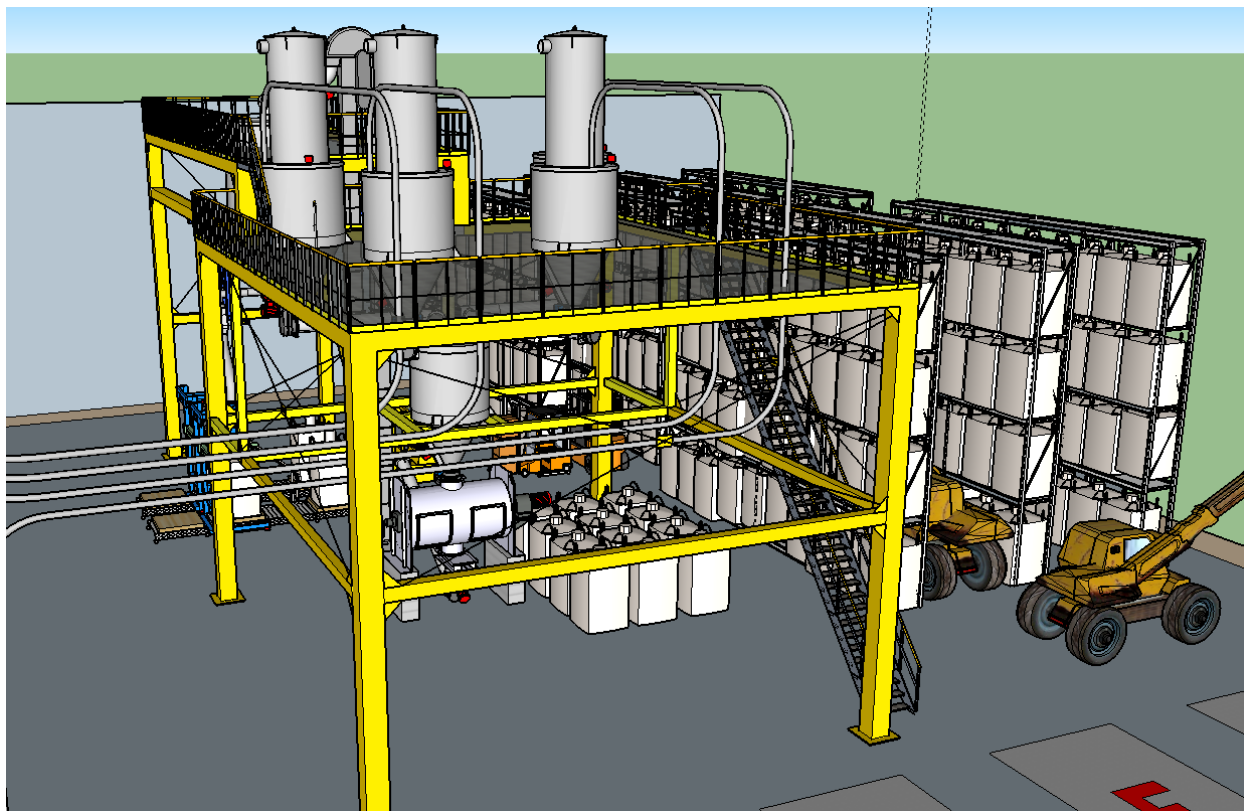


Ilustración 6-28: Envasado en big bags

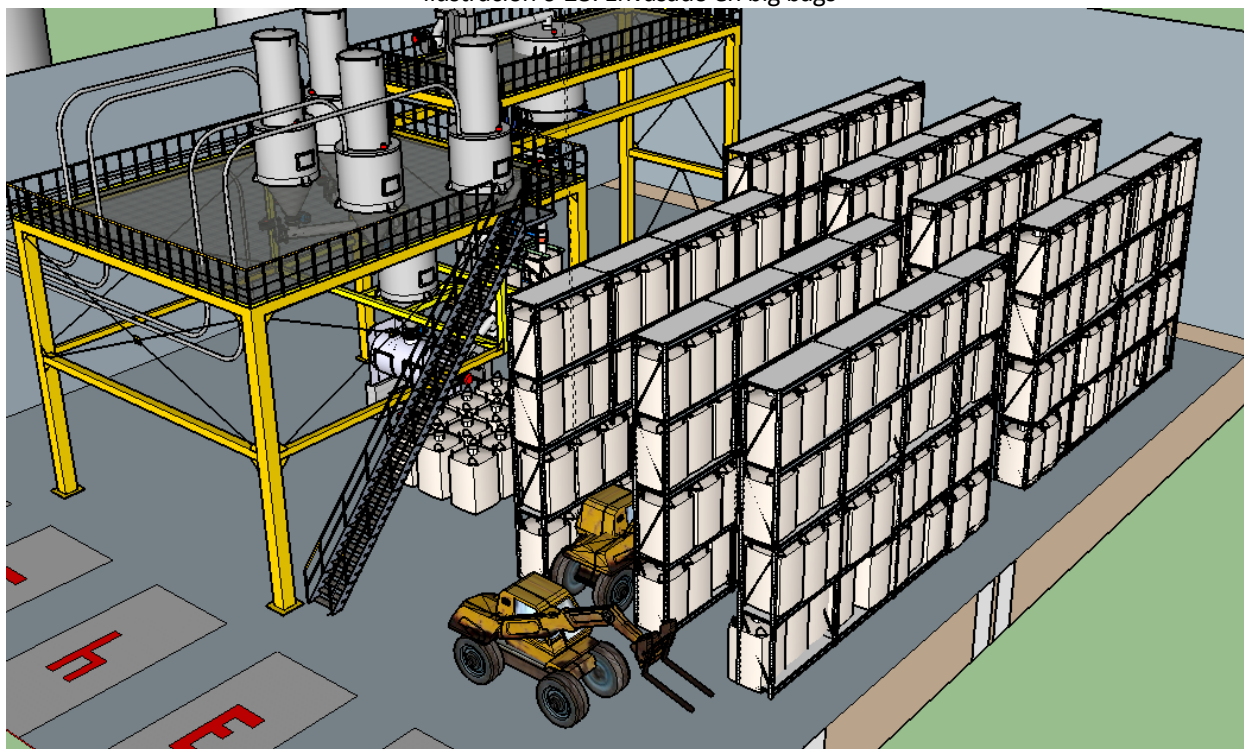


Ilustración 6-29: vista almacén

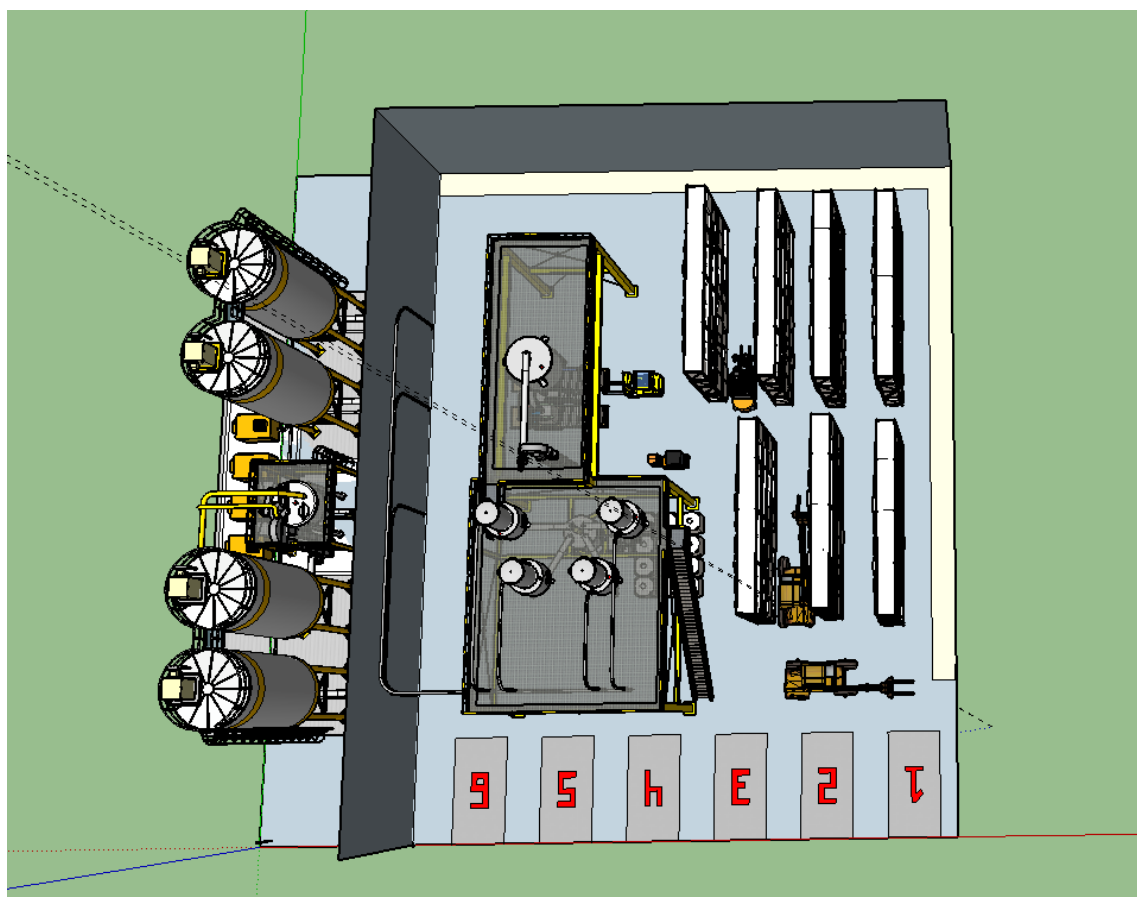


Ilustración 6-30

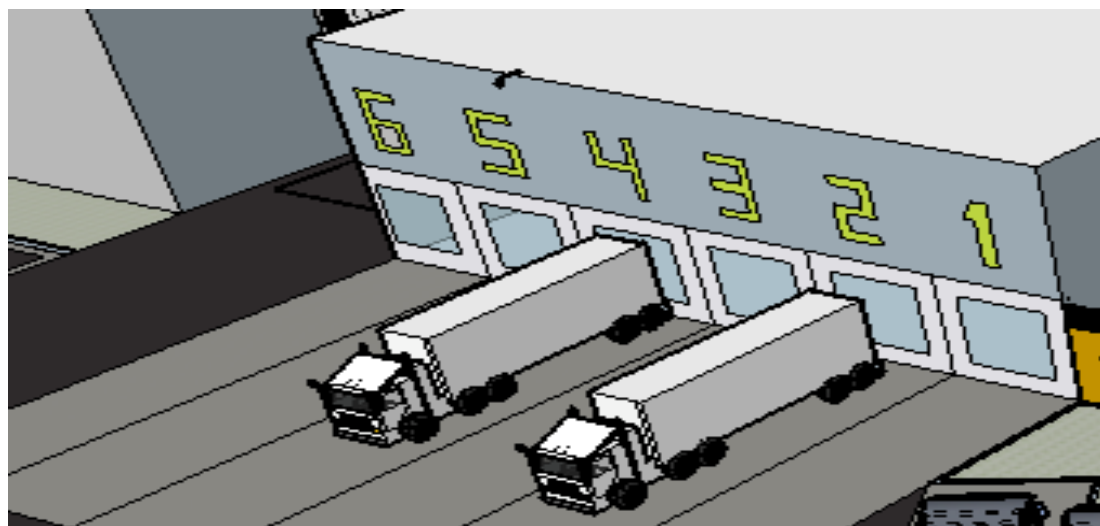


Ilustración 6-31

Aquí finalizaría el proceso del azúcar, pero en la difusión se obtuvo como subproducto la coseta agotada (pulpa agotada)

Esta pulpa se envía a las prensas de pulpa, y se seca al aire libre (como se ha explicado en la memoria) ya que es un método más económico y sostenible que el empleo de un secadero de pulpa.

La pulpa se puede almacenar como pulpa prensada o convertirla en pellets y almacenar estos pellets, esto se ve en la siguiente imagen:

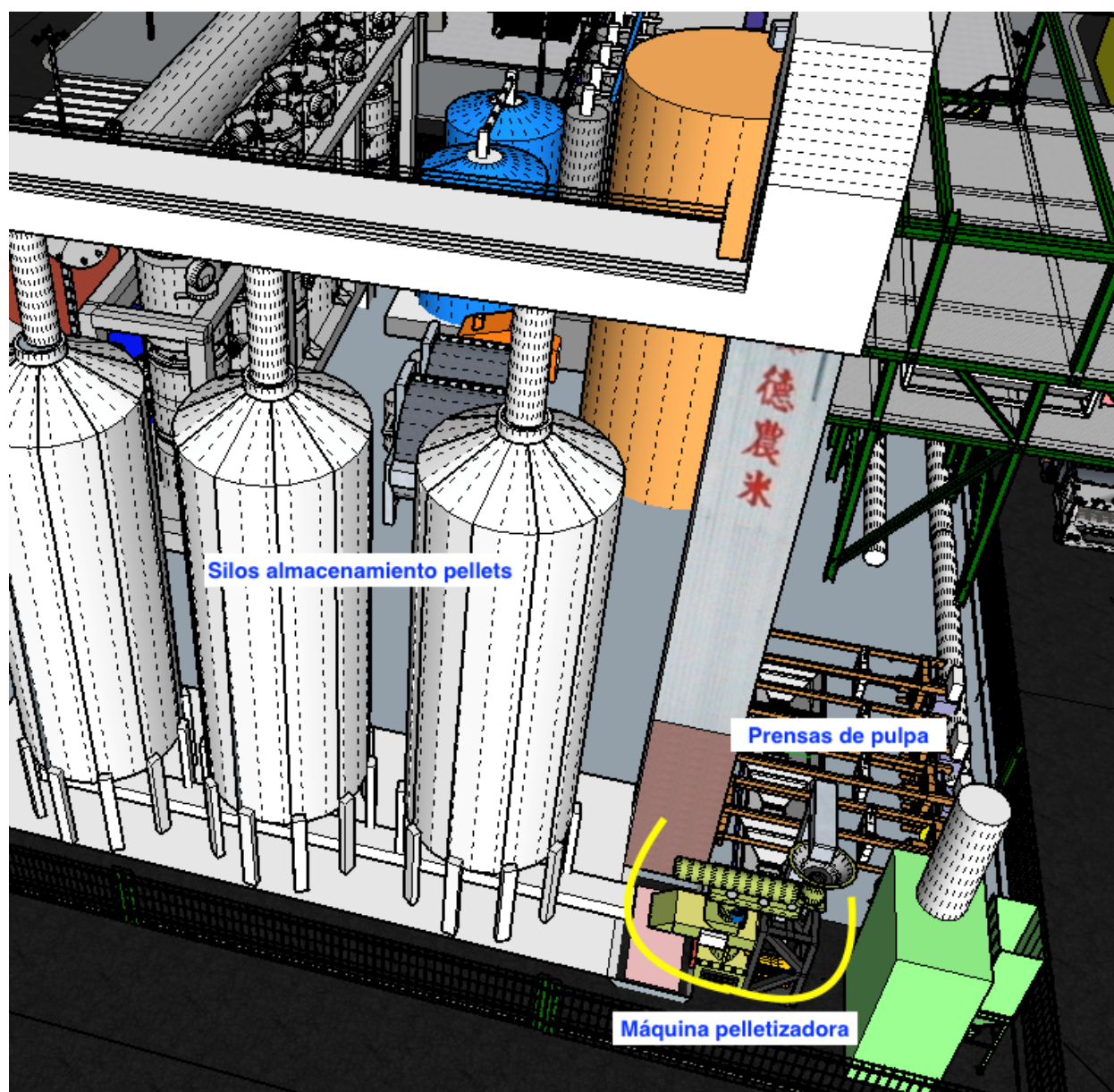


Ilustración 6-32:Prensas de pulpa, pelletizadora y silos de pellets

## 7 CONCLUSIONES

---

**E**ste trabajo finaliza con la representación en 3D de una fábrica, utilizando el programa Sketchup, y cuenta con todas las instalaciones propias de una planta de producción de azúcar, aunque no es fácil encontrar información de este sector, lo cual ha sido un obstáculo a la hora de realizar este proyecto; cabe destacar que la fábrica propuesta en este documento pretende ser eficiente y dispone algunas mejoras, que se han ido desarrollando en los últimos años en algunas fábricas presentes en España; como puede ser el uso del secado solar en el tratamiento de la pulpa, ya que como se ha mencionado en la memoria, con este tipo de secado, además la creación de puestos de trabajo, desde el punto de vista medioambiental, el secado solar facilita una importante reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, estimada en unas 12.500 toneladas al año dependiendo de la fábrica. Por otro lado, se consigue un importante ahorro de costes en infraestructuras de secado, mantenimiento de las mismas y, sobre todo, una minimización del gasto energético al dejar de utilizar combustibles fósiles y utilizar fuentes alternativas mucho más ecológicas.

El hecho de contar con una planta de cogeneración, le permite ser más independiente de formas de energía externa, además de vender a la red el excedente generado, que hace más rentable y sostenible su proceso. Dicha planta cogeneradora utiliza como combustible gas natural, que es la energía más limpia. En la misma línea que con el secado solar las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales también se ven reducidas.

La elección del transporte seco de las remolachas frente al húmedo resulta beneficiosa tanto para el agua como para la remolacha; en el caso del agua se disminuye el consumo de la misma y su carga contaminante (al evitar que la tierra caiga en el agua), y en el de la remolacha, se obtiene un mejor aprovechamiento de la materia prima por la reducción de pérdidas de azúcar.

El consumo de agua en la industria azucarera es alto debido a su presencia en la gran mayoría de procesos que se llevan a cabo para la obtención del azúcar y a su uso en las operaciones de limpieza de los instrumentos e instalaciones de la fábrica. En cuanto a este consumo, lo deseable es minimizarlo en la medida de lo posible, por este motivo algunos circuitos de agua son reciclados y reutilizados en los procesos.

El uso de un reactor biológico anaerobio en la depuración, genera biogás, que puede ser utilizado como combustible generador de energía.

Como mejoras a realizar de cara a incrementar los beneficios, se propone la construcción de un edificio anexo, destinado al envasado y empaquetado de azúcar en formatos industriales, ya que la fábrica empaqueta en Big-Bags y es en otro centro donde se realiza en empaquetado en los formatos de venta para hogares, hostelería o usos industriales.

Otra mejora sería la ampliación de las instalaciones de la fábrica con una refinería de azúcar crudo de caña importado de terceros países. Esto aumentaría la producción de azúcar y garantizaría el mantenimiento de la actividad no sólo durante la campaña de remolacha, sino todo el año.

Finalmente, el consumo de azúcar está íntimamente ligado a la situación económica del momento. Si tenemos en cuenta las previsiones de crecimiento de la economía española para los próximos años, el consumo aumentaría, por ello la puesta en marcha de una industria de este tipo puede ser muy rentable.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] [En línea]. Available: [http://www.davidfunesbiomed.es/2015\\_10\\_01\\_archive.html](http://www.davidfunesbiomed.es/2015_10_01_archive.html) .
- [2] «Necesidades de agua de la remolacha azucarera,» [En línea]. <http://www.aimcra.es/Plan2014/documentos/charla%20riego%20Palencia%20rodrigo.pdf>.
- [3] M. Asadi, Beet-Sugar Handbook, ISBN: 978-0-471-76347-5 ed., Wiley, 2006, p. 866.
- [4] [En línea]. Available: <http://rvtraveldakotaduo.blogspot.com.es/2014/11/week-2-sugar-beet-harvest.html>.
- [5] [En línea]. Available: [http://www.gw-putsch.de/Pu\\_Ge\\_Se/englischeVersion/Ebene5/Frame2e/PP\\_GuW\\_e/PPTrStAbG](http://www.gw-putsch.de/Pu_Ge_Se/englischeVersion/Ebene5/Frame2e/PP_GuW_e/PPTrStAbG).
- [6] «BM-Industrietechnik,» [En línea]. Available: [http://www.bm-i.dk/eng/graesfangere\\_uk.shtml](http://www.bm-i.dk/eng/graesfangere_uk.shtml).
- [7] «TONG,» [En línea]. Available: <http://tongengineering.com/product/sugar-beet-washer/>.
- [8] «Drum beet washer,» [En línea]. Available: <http://www.techinservice.com.ua/en/products/sugar/beet-transport-washer.html>.
- [9] [En línea]. Available: <http://www.putschnerva.com/en/productos/sugar-manufacturing-technology>.
- [10] «BMA worldwide,» [En línea]. Available: <https://www.bma-worldwide.com>.
- [11] [En línea]. Available: [https://www.bma-worldwide.com/...evaporator/.../BMA\\_Evaporators\\_B\\_es\\_00.pdf](https://www.bma-worldwide.com/...evaporator/.../BMA_Evaporators_B_es_00.pdf) .
- [12] «gominolas de petróleo. El mito de los cinco venenos blancos (II): El azúcar,» [En línea]. <http://www.gominolasdepetroleo.com/2014/12/el-mito-de-los-cinco-venenos-blancos-ii.html>. [Último acceso: 2017].
- [13] «Intercambiadores de calor de Placas,» [En línea]. Available: <https://www.tranter.com/es/products/plate-heat-exchangers>.
- [14] [En línea]. Available: [http://www.azucarera.es/descubre\\_fases\\_proceso.php#](http://www.azucarera.es/descubre_fases_proceso.php#).
- [15] A. García García. [En línea]. Available: [https://www.ecosimpro.com/wp-content/uploads/2015/02/C01\\_06\\_es.pdf](https://www.ecosimpro.com/wp-content/uploads/2015/02/C01_06_es.pdf).
- [16] «Putsch-nerva,» [En línea]. Available: <http://mercierinfa.es/productos-y-servicios/sugar/equipos>.
- [17] [En línea]. Available: <http://www.norsac.com.pe/nuestros-productos/big-bags-o-maxi-sacos/>.
- [18] M. d. M. Ambiente, «GUÍA DE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES EN ESPAÑA DEL SECTOR AZUCARERO,» [En línea]. Available: <http://mercierinfa.es/productos-y-servicios/sugar/equipos>.
- [19] [En línea]. Available: <http://mercierinfa.es/productos-y-servicios/sugar/equipos>.
- [20] [En línea]. Available: <https://www.hotfrog.es/empresa/secadero-de-pulpa-de-remolacha-secador-de-pulpa-de-remolacha>.
- [21] «KAESER aire comprimido,» [En línea]. Available: <http://www.kaeser.es>.
- [22] «Diseño de Sistemas de Aire Comprimido,» [En línea]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201>.
- [23] [En línea]. Available: <http://www.industrialboiler.com/boilers/watertube-boilers.aspx>.
- [24] «Instalación satélite gas natural,» [En línea]. Available: <http://novagascriegenia.com/portfolio/laoreet-mattis-quam-4/>.
- [25] Adisa. [En línea]. Available: [http://adisaheating.com/wp-content/uploads/2015/02/DOSSIER\\_MINI\\_ROOF\\_TOP](http://adisaheating.com/wp-content/uploads/2015/02/DOSSIER_MINI_ROOF_TOP). [Último acceso: septiembre 2017].
- [26] HITECSA. [En línea]. Available: <http://www.hitecsa.com/sistemas-climatizacion/enfriadoras-de-agua> . [Último acceso: septiembre 2017].
- [27] «TERMOVEN,» [En línea]. Available: [http://personales.upv.es/vsoto/index\\_archivos/FTP/Tuberias/FL.pdf](http://personales.upv.es/vsoto/index_archivos/FTP/Tuberias/FL.pdf). [Último acceso: septiembre 2017].
- [28] TERMOVEN. [En línea]. Available: <http://www.recosur.biz/PDFs/Catalogo2012.pdf>. [Último acceso: septiembre 2017].
- [29] «iagua,» [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/noticias/espana/barmatec/16/09/30/que-es-certificado-atex>.
- [30] [En línea]. Available: <http://www.elube.es/wp-content/uploads/2017/08/Filtros-aspiración-ATEX.jpg>.
- [31] [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/201602maquinaselectricas/transformadores/tipos-de-transformadores>.
- [32] [En línea]. Available: [http://www.barbercoll.com/noticias/noticias.php?id\\_noticia=52](http://www.barbercoll.com/noticias/noticias.php?id_noticia=52).
- [33] [En línea]. Available: <http://www.saincal.com/susto-o-buen-mantenimiento/>.
- [34] i. y. e. Consejería de economía, «Guía técnica de seguridad contra incendios.».
- [35] Azucarera, «Dossier de Prensa Azucarera,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.azucarera.es/pdf/conoce>.

- Azucarera.pdf. [Último acceso: 2017].
- [36] BMA, «Programa técnico,» [En línea]. Available: [https://worldwide.com/fileadmin/Templates/BMA/PDF/products/sugar\\_and\\_sweeteners/extraction\\_plants/BMA\\_Beet-Extraction\\_B\\_es\\_00.pdf](https://worldwide.com/fileadmin/Templates/BMA/PDF/products/sugar_and_sweeteners/extraction_plants/BMA_Beet-Extraction_B_es_00.pdf).
- [37] A. V. Delgado y C. d. A. Casanova, Sugar processing and by-products of the sugar industry, Roma, 2001.
- [38] ACOR. [En línea]. Available: <http://www.acor.es/Acor/Actividades/Remolacha/Az%FAcar/La%20extracci%F3n>. [Último acceso: 2017].
- [39] [En línea]. Available: <http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/alumno/2bachillerato/biotec/contenidos9.htm>.
- [40] [En línea]. Available: [http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es\\_IEA\\_IEI05\\_Contenidos/website\\_4\\_partes\\_de\\_una\\_instalacin\\_de\\_puesta](http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es_IEA_IEI05_Contenidos/website_4_partes_de_una_instalacin_de_puesta).
- [41] «Diseño de Sistemas de Aire Comprimido - Tutorial N° 201 -,» [En línea]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>.
- [42] «Características y tratamientos de las aguas residuales industriales por sectores,» [En línea]. Available: <https://static.eoi.es/savia/documents/componente48096.pd>.
- [43] M. d. s. L. azucarera, 2013. [En línea]. Available: <http://www.azucarera.es/rsc/informes/informe-sostenibilidad-azucarera-es>.
- [44] «Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente,» [En línea]. Available: <http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/remolacha-azucarera/>. [Último acceso: marzo 2017].
- [45] Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Facultad de Ciencias. Universidad de Valladolid, «ECOSIMPRO,» [En línea].
- [46] «PUTSCHNERVA,» [En línea]. Available: <http://www.putschnerva.com/en/productos/sugar-manufacturing-technology>.