

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRA-  
CCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE  
AZÚCAR

Autora: Carolina ROBLEDO RODRÍGUEZ

Fecha: Junio 2006





## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### ÍNDICE:

#### DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

#### 1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETO DEL PROYECTO	2
1.2. UBICACIÓN	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. ANTECEDENTES	4
1.5. LA CAÑA DE AZÚCAR	6
1.6. DESCRIPCIÓN COMPLETA DEL PROCESO	9
1.6.1. PREPARACIÓN DE LA CAÑA	11
1.6.1.A. PATIOS DE CAÑA	11
1.6.1.B. ALMACENAMIENTO	12
1.6.1.C. LAVADO	12
1.6.1.D. FRAGMENTACIÓN	14
1.6.2. EXTRACCIÓN	14
1.6.2.A. EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO	15
1.6.2.B. PROCESO	18
1.6.2.C. OBJETIVOS PARA UNA BUENA EXTRACCIÓN	21
1.6.3. GENERACIÓN DE VAPOR Y ELECTRICIDAD	23
1.6.4. PURIFICACIÓN DEL JUGO BRUTO (CALENTAMIENTO, CLARIFICACIÓN Y FILTRACIÓN)	24

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

1.6.4.A. PROCESO	26
1.6.5. EVAPORACIÓN	27
1.6.5.A. EVAPORACIÓN MÚLTIPLE EFECTO	29
1.6.6. CRISTALIZACIÓN Y CENTRIFUGACIÓN	31
1.6.6.A. PROCESO	34
1.6.7. SECADO Y ALLMACENAMIENTO DEL AZÚCAR	36
1.7. BALANCES	37
1.7.1. EXTRACCIÓN	39
1.7.1.A. BALANCE DE MATERIA	39
1.7.2.B. BALANCE DE ENERGÍA	41
1.7.2. PURIFICACIÓN DEL JUGO DILUIDO	44
1.7.2.A. BALANCE DE MATERIA	44
1.7.2.B. BALANCE DE ENERGÍA	48
1.7.3. EVAPORACIÓN	50
1.7.3.A. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA	50
1.7.4. CRISTALIZACIÓN	58
1.7.4.A. BALANCE DE MATERIA	58
1.7.4.B. BALANCE DE ENERGÍA	60
<b>2. SISTEMA DE EXTRACCIÓN</b>	<b>63</b>
2.1. SELECCIÓN DE EQUIPO	63
2.1.1. EQUIPOS PARA EL PRENSADO	63

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

2.1.1.A. SELECCIÓN	69
2.2. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ETAPAS	70
2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS MOLINOS	74
<b>3. EVAPORADOR</b>	<b>78</b>
3.1. SELECCIÓN DEL EVAPORADOR	78
3.1.1. EQUIPOS DE EVAPORACIÓN	78
3.1.1.A. SELECCIÓN	85
3.2. CÁLCULOS	85
<b>4. CRISTALIZACIÓN</b>	<b>86</b>
4.1. SELECCIÓN DEL CRISTALIZADOR	86
4.1.1. EQUIPOS DE CRISTALIZACIÓN	86
4.1.1.A. SELECCIÓN	92
<b>5. IMPULSIÓN Y TRANSPORTE</b>	<b>92</b>
5.1. TUBERÍAS	92
5.1.1. CÁLCULOS PARA TUBERÍAS	93
5.1.2. MATERIAL DE LA TUBERÍA	93
5.2. BOMBAS	94
5.2.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO	94
5.2.1.A. CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS	95
5.2.1.B. SELECCIÓN DE BOMBAS	98
5.2.2. CÁLCULOS	99

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

5.2.3. DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA	99
5.2.3.A. MATERIAL DELA BOMBA	100
<b>6. SISTEMA DE CONTROL</b>	<b>100</b>
<b>7. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES</b>	<b>103</b>
7.1. INTRODUCCIÓN	103
7.2. CORTADO, PENSADO Y EXTRACCIÓN	104
7.3. DEPURACIÓN DEL JUGO	105
7.4. EVAPORACIÓN, CRISSTALIZACIÓN Y SECADO	106
7.5. ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO	107
7.6. GESTIÓN DEL AGUA	108
<b>8. SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO</b>	<b>109</b>
8.1. INTRODUCCIÓN	109
8.2. INSTRUCCIÓN Y ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL	110
8.3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	111
8.4. ROTULACIÓN E IDENTIFICACIÓN	118
<b>9. MANTENIMIENTO</b>	<b>121</b>
9.1. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN PERIODO DE INTERCAMPAÑA	123
9.2. PROGRAMA DE INSPECCIÓN EN PERIODO DE CAMPAÑA	125
<b>10. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA</b>	<b>126</b>

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **DOCUMENTO II: PLIEGO DE CONDICIONES**

<b>1. PLIEGO GENERAL DE CONDICIONES</b>	<b>128</b>
1.1. DISPOSICIONES GENERALES	128
1.2. CONDICIONES FACULTATIVAS	129
1.3. CONDICIONES ECONÓMICAS	150
<b>2. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES</b>	<b>174</b>
2.1. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA	174
2.2. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA	176
2.3. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL	178

### **DOCUMENTO III: PRESUPUESTO**

<b>1. EQUIPOS Y ACCESORIOS</b>	<b>183</b>
<b>2. PRESUPUESTO FINAL</b>	<b>186</b>

### **ANEXOS:**

ANEXO I: CÁLCULO DEL NÚMERO DE ETAPAS	188
ANEXO II: DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS	197
ANEXO III: CÁLCULO DE LA POTENCIA Y DEL NPSH DE LA BOMBA	200
ANEXO IV: CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO Y DEL CALOR TRANSFERIDO EN LOS EVAPORADORES	208
ANEXO V: TABLAS	212

**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR  
DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

ANEXO VI: ANEXO GRÁFICO 224

**BIBLIOGRAFÍA** 229

**DOCUMENTO IV: PLANOS**

**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR  
DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

**DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA**

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **DOCUMENTO 1: MEMORIA DESCRIPTIVA**

#### **1. INTRODUCCIÓN**

##### **1.1. OBJETO DEL PROYECTO**

El objetivo de este proyecto es la obtención de azúcar a partir de la caña de azúcar. La planta objeto del proyecto procesará 7200 Tm/día de caña de azúcar. La planta dispondrá de diversas unidades de molienda y mezclado para la obtención del jugo y se completará con otras operaciones unitarias para la purificación y concentración de los extractos obtenidos.

##### **1.2. UBICACIÓN DE LA PLANTA**

La instalación sería ubicada en el polígono industrial Alborán, en Motril (Granada). La principal razón de dicha ubicación es la necesidad de realizar el transporte desde el lugar de cultivo, y comenzar a procesar la caña de azúcar dentro de las 24 horas después del corte. De no realizarse así, se producirían pérdidas por inversión de glucosa y fructuosa. Es por tanto, necesario situarla próxima al lugar de cultivo.

La temperatura óptima de crecimiento de la caña de azúcar parece situarse en torno a los 30 °C, con humedad relativa alta y buen aporte de agua.

Se necesita un lugar que se adecue a estas características, y la localidad de Motril las cumple. Además posee una buena red de

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

comunicaciones, ya que se encuentra junto a la carretera N-340 y el puerto de Motril.

Otro aspecto a favor, es que la industria de producción de azúcar a partir de la caña existe desde hace años, por lo que se dispondrá de personal que conozca el sector.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El azúcar que comemos es exactamente el mismo que existe en la caña de azúcar, las frutas y vegetales. Es una fuente de energía eficiente, económica, pura y a la vez un alimento muy útil. Pocas veces se consume en forma directa siendo lo usual adicionarlo a otros alimentos para mejorar su sabor, textura y cuerpo (bebidas, jugos, helados), utilizarlo como preservante (leche, frutas, jamones) y como mejorador de la apariencia (panadería, pastelería). Ningún otro edulcorante puede realizar todas las funciones del azúcar con su coste y facilidad, por lo que el consumo de este producto es muy elevado. Además, este consumo está en aumento debido al cambio en los hábitos alimenticios. Por lo que, existe una gran demanda de este producto y con su producción se podrá satisfacer parte de esta demanda.

Además, la puesta en marcha de una nueva instalación industrial viene siempre afectada por los factores tanto económico como social. Por tanto, se van a crear y modificar los indicadores económicos de la zona: creación de puestos de trabajo directos e indirectos, mayor riqueza de la región, aumento de la utilización de recursos (investigación por parte de la universidad, empresas de servicios auxiliares,....), aceptación social, etc.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### 1.4. ANTECEDENTES

Los carbohidratos, azúcares y almidones son los principales alimentos destinados al consumo humano que se sintetizan por plantas que emplean dióxido de carbono y agua de la atmósfera. Se utilizan como las principales sustancias alimenticias para animales, incluyendo los seres humanos, y son altamente prometedores como materias primas químicas importantes.

Es muy común que los seres humanos deseen dulzura en su dieta y la naturaleza se la proporciona de varias fuentes. El azúcar no adquiere valor solamente por su sabor dulce, sino porque proporciona el 13% de la energía requerida para vivir. Como resultado, la producción y refinación del azúcar es una gigantesca industria.

#### -Historia

es difícil determinar la época en que el azúcar se hizo presente en la humanidad, pero probablemente se importó de Nueva Guinea a la India muchos siglos antes de Cristo. Los métodos para la extracción y purificación del azúcar a partir de la caña se desarrollaron en una forma muy lenta, pero se ha encontrado una gran variedad de métodos primitivos que se llevaron desde el Este a Europa hacia el año 1400. El comercio del azúcar entre Asia y Europa fue una de las transacciones comerciales más importantes de los primeros siglos. La primera vez que se extrajo azúcar fue en Norte- América en 1689, al emplear caña de las Antillas, ya en 1751 se pudo cultivar en ese continente. A partir de entonces, la industria ha evolucionado tanto en tamaño como en calidad de sus productos. En la última parte del siglo XVIII se inventaron el triturador y

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

molino accionado por vapor; en 1824, Howard inventó la paila al vacío, y la decoloración por medio de hueso carbonizado se empleó por primera vez en 1812. La evaporación de efecto múltiple se conoció en 1934 y la primera centrifuga suspendida fue creada por Weston en 1852. En la actualidad, es muy común el empleo de carbón activado granulado y los procesos de intercambio iónico para eliminar color y cenizas. Desde los comienzos, la evaporación, adsorción, centrifugación y filtración fueron pasos importantes y necesarios para los procesos de manufactura y gran parte de los conocimientos de estos métodos proviene de su aplicación en la industria del azúcar, y de hecho su empleo ayudó a establecer el concepto de operaciones unitarias.

En 1747 se descubrió el azúcar de remolacha, y sólo en 1870 se emplearon plantas para el procesamiento de ella. Fue necesario mucho tiempo, trabajo y dinero para que la industria del azúcar de caña llegara a un punto donde pudiera competir contra ésta. Las tarifas impuestas a las importaciones de azúcar de caña, entre otras, han ayudado a que las industrias de azúcar de caña y de remolacha puedan seguir trabajando juntas.

La primera vez que se fabricó dextrosa, en 1811, condujo a la formación de la industria del azúcar de maíz en Estados Unidos, cuya fabricación comenzó en 1872, y el producto fue glucosa líquida. Sin embargo, no fue sino hasta 1918 cuando se produjeron cantidades apreciables de dextrosa cristalina pura. El cambio principal más reciente en esta industria fue la presentación de edulcorante derivado del maíz con alto contenido de fructosa, comercializado en 1970. Esto hizo posible la adquisición de un material endulzante de alta calidad basado en el maíz y

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

que fuera competitivo con la caña y la remolacha como fuente principal de ese tipo de producto.

En el comienzo del siglo XX surgió el primer intento del proceso Bergius para la producción de azúcar por sacarificación, o hidrólisis de la madera. También son importantes los estudios que realizaron con las transformaciones que pueden realizar la enzima celulasa en desechos de madera para formar glucosa que se pueda fermentar para producir alcohol que funcione como combustible para motores.

Los empleos no alimenticios del azúcar son muy pocos y sólo forman una pequeña cantidad del total; comprenden su empleo como octaacetato de sacarosa, un desnaturalizador de alcohol etílico; como diacetato, hexaisobutirato y octobenzoato de sacarosa, plastificantes; la alil sacarosa, como ésteres de mono y diácidos grasos para surfactantes, y como materia prima para la fabricación de glicerol y manitol. El dextrano, un polisacárido producido a partir de la sacarosa por algunas bacterias, es un dilatador del volumen plasmático muy eficaz; al administrarse por infusión intravenosa, evita los choques y además previene la pérdida de los fluidos corporales después de quemaduras fuertes o de otro tipo de heridas.

### 1.5. LA CAÑA DE AZÚCAR

#### -Taxonomía y morfología.

Pertenece a la familia de las gramíneas, género *Saccharum*. Las variedades cultivadas son híbridos de la especie *officinarum* y otras afines (*spontaneum*,..).

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Procede del Extremo Oriente, de donde llegó a España en el siglo IX. España la llevó a América en el siglo XV. Las zonas en España de más producción son Málaga, Granada y Canarias. En total se cultivan unas 2.200 ha. Es un cultivo plurianual. Se corta cada 12 meses, y la plantación dura aproximadamente 5 años.

La planta tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 ó 6 cm de diámetro. El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo; puede propagarse por estos rizomas y por trozos de tallo.

La caña tiene una riqueza de sacarosa del 14% aproximadamente, aunque varía a lo largo de toda la recolección.

### -Aprovechamiento.

La caña de azúcar suministra, en primer lugar, sacarosa para azúcar blanco o moreno. También tiene aproximadamente 40 kg/tm de melaza (materia prima para la fabricación del ron) y unos 150 kg/tm de bagazo. Hay otros aprovechamientos de mucha menor importancia como los compost agrícolas, vinazas, ceras, fibra absorbente, etc.

### -Exigencias del cultivo.

La caña de azúcar no soporta temperaturas inferiores a 0 °C, aunque alguna vez puede llegar a soportar temperaturas inferiores, dependiendo de la duración de la helada. Para crecer exige un mínimo de temperaturas de 14 a 16 °C. La temperatura óptima de crecimiento parece situarse en torno a los 30 °C., con humedad relativa alta y buen aporte de agua.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Se adapta a casi todos los tipos de suelos, vegetando mejor y dando más azúcar en los ligeros, si el agua y el abonado es el adecuado. En los pesados y de difícil manejo constituye muchas veces el único aprovechamiento rentable. Únicamente en suelos ácidos, que no suelen existir en las zonas donde se cultiva la caña en España, crea problemas graves. Finalmente, los suelos muy calizos a veces dan problemas de clorosis.

### -Variedades.

Hay cientos de variedades en todo el mundo. En España, más del 80% de la superficie plantada es de la variedad NC0310, que procede de África del Sur, aunque últimamente está en regresión por ser propensa al virus del mosaico.

Otras variedades importantes son la CP 44-101 y la CP 65-357 procedentes de Florida.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

### 1.6. DESCRIPCIÓN COMPLETA DEL PROCESO

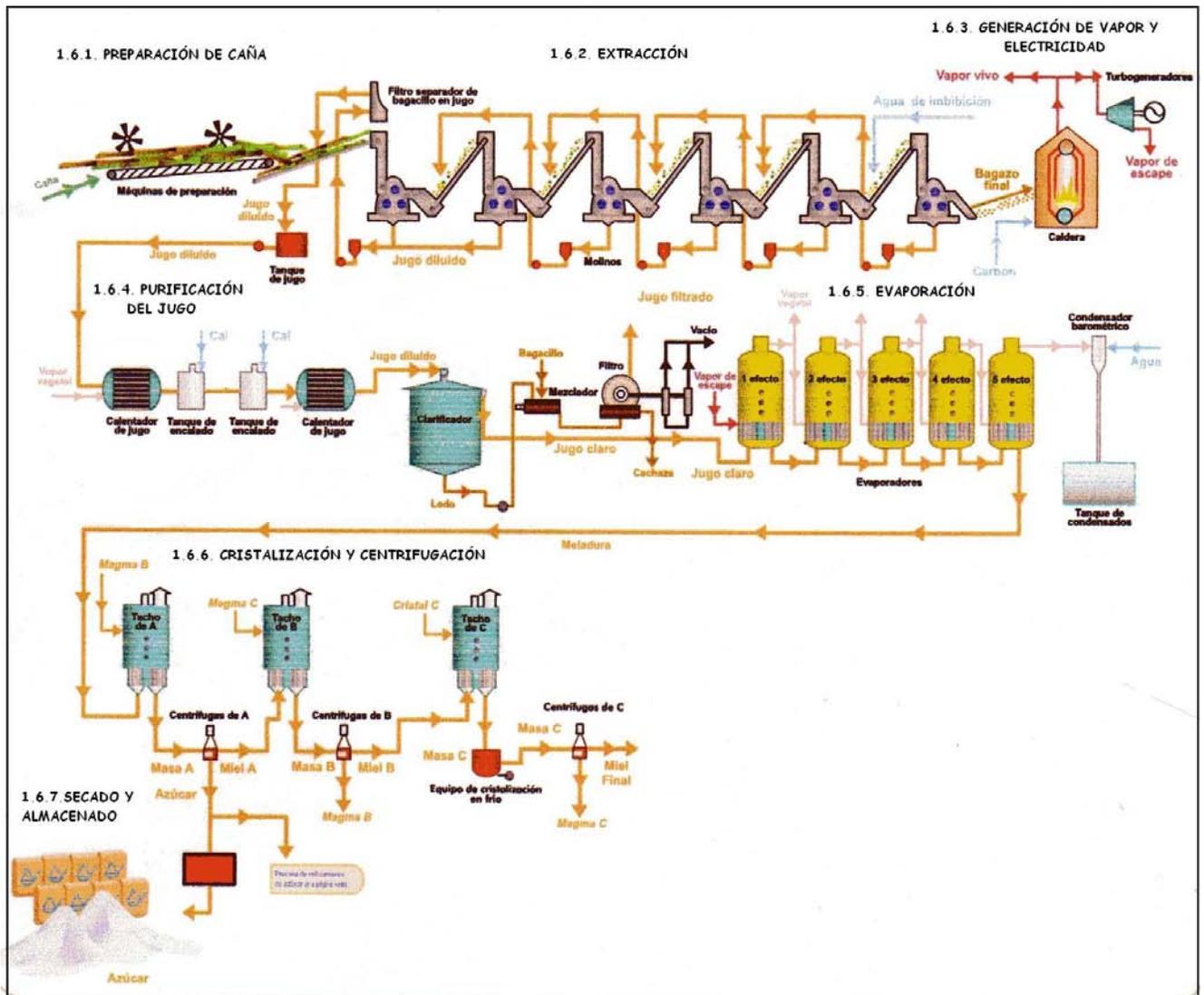


Figura F.1. Diagrama del proceso

La caña que llega del campo es sometida a diversas operaciones de acondicionamiento de la materia prima, pasa por un lavado, cortado y desfibrado. Luego pasa a la etapa de molienda, donde se le extraerá el

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

jugo rico en sacarosa. Esta etapa consta de molinos dispuestos en serie, constituido cada uno de ellos por tres o cuatro mazas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua, caliente, para extraer al máximo la cantidad de sacarosa que contiene el material fibroso. Éste proceso de extracción es llamado maceración. El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a una bagacera para que seque y luego se va a las calderas como combustible, produciendo el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas de los molinos.

El jugo obtenido en la etapa de molienda pasa a las siguientes etapas que son de calentamiento clarificación y filtración. Este jugo, jugo diluido, es de carácter ácido, y se trata con lechada de cal, la cual eleva el pH con el objetivo de minimizar las posibles pérdidas de sacarosa. La cal también ayuda a precipitar impurezas orgánicas o inorgánicas que vienen en el jugo y para aumentar o acelerar su poder coagulante. La clarificación del jugo se da por sedimentación; los sólidos no azúcares se precipitan en forma de lodo y el jugo claro queda en la parte superior del tanque. Éste jugo sobrante, jugo claro, pasa a la siguiente etapa, evaporación, donde se elimina la mayor parte del agua y el jugo se concentra en sacarosa. La corriente resultante de los evaporadores se denomina meladura. Éste proceso se da en evaporadores de múltiples efectos al vacío.

La meladura pasa a la etapa de cristalización. La cristalización se realiza en los tachos, que son recipientes al vacío de un solo efecto. El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos o templeas para lograr la mayor concentración de sacarosa.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

La masa pasa por las centrífugas, donde los cristales se separan del licor madre por medio de una masa centrífuga aplicada a tambores rotatorios que contienen mallas interiores. La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a superiores evaporaciones y cristalizaciones en los tachos. Al cabo de tres cristalizaciones sucesivas se obtiene una miel final que se retira del proceso y se comercializa como materia prima para la elaboración de alcoholes.

El azúcar húmedo se transporta por elevadores y bandas para alimentar las secadoras donde el azúcar se coloca en contacto con el aire caliente que entra en contracorriente. El azúcar debe tener baja humedad, aproximadamente 0,05%, para evitar la formación de terrones.

### **1. 6.1. PREPARACIÓN DE LA CAÑA**

#### **1.6.1.A. PATIOS DE CAÑA**

La caña que llega del campo se muestrea. Luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde se almacena temporalmente o se dispone directamente en las mesas de lavado de caña para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras.

Se extraen muestras de aproximadamente 5 Kg. Luego la muestra se hace pasar por una máquina desfibradora. Del producto resultante se toma una segunda muestra de 500 g a la cual se le realizan diferentes análisis.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

El propósito de estos es entre otros determinar la cantidad de sólidos, cantidad de sacarosa, porcentaje de fibra y cantidad de impurezas presentes en la caña.

El resultado de dichos análisis junto con el registro de peso determina el precio a pagar al productor. La caña con mayor contenido de sacarosa tendrá un mayor precio.

### **1.6.1.B. ALMACENAMIENTO**

La caña se descarga en silos, sobre el área de almacenamiento. El transporte de la caña se realiza mediante equipos fijos constituidos por una tolva fija que dispone de un extractor y diversos transportadores mediante equipos móviles.

El almacenamiento se efectúa normalmente en silos, cuya forma depende esencialmente: de la importancia del stock, del emplazamiento disponible, de los equipos de ensilado y desensilado.

Los silos son rectangulares, ya que permiten una mejor utilización de las superficies disponibles de suelo y, además, se adaptan fácilmente a las eventuales ampliaciones.

### **1.6.1.C. LAVADO**

Lavado en canales al efecto, en los que el agua forma remolinos, o en baños con vibración. Las aguas se clarifican y recirculan. Este lavado se realiza con el fin de extraer al máximo todas las materias extrañas, tales como tierra, hojas, piedras, etc. Que han sido entregadas con la

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

caña. Evitando de esta manera una disminución de la filtrabilidad, deterioro de la materia prima... Para suprimir los microorganismos se ajusta el pH a 10-12 con CaO.

### -Operación de lavado

Se emplea un lavadero de chorro, que está constituido por un transportador de gran anchura, concebido para hacer avanzar la caña, en lo posible, en una capa uniforme, bajo la acción de chorros de agua a presión elevada. Se utilizan rodillos sucesivos que favorecen la rotación de la caña. Los chorros de agua provienen de inyectores que dirigen el agua de lavado sobre la parte superior de la caña.

A continuación, la caña pasa a una mesa tamiz-vibrante que permite el escurrido de la caña hasta llegar al aparato denominado separador balístico, que separa por una parte las hierbas y por otra las raicillas y las gravas finas. Esta separación se efectúa como consecuencia de la diferencia de la densidad de los productos a separar y de su aptitud más o menos marcada a adherirse a la banda transportadora. Gracias a la regulación de la inclinación, se puede obtener un excelente rendimiento de separación.

Después del tamizado, las aguas son enviadas a un depósito decantador ciclónico de agua fangosa, que efectúa una primera concentración de lodos. Las aguas menos cargadas de residuos se llevan sucesivamente a dos depósitos de agua predecantada, donde son recicladas como agua de transporte, mientras que las más cargadas son enviadas a decantadores circulares con purga continua de lodos.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **1.6.1.D. FRAGMENTACIÓN**

Las picadoras son unos ejes colocados sobre los conductores accionados por turbinas, provistos de cuchillas giradoras que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos y conseguir una extracción más uniforme.

Las grúas depositan la caña en la mesa. La mesa consiste en una plataforma metálica con inclinación provista de un conductor de cadena con velocidad variable. La caña es conducida en la mesa hasta las cuchillas. Estas cortan por impacto la caña en partes pequeñas. Inmediatamente la caña cae al segundo conductor que acarrea los trozos hacia las segundas cuchillas.

Finalmente la caña pasa por una máquina desfibradora la cual consiste en un tambor giratorio provisto de martillos que desmenuzan completamente la caña. De esta forma la fibra queda totalmente accesible a la operación de molienda.

### **1.6.2. EXTRACCIÓN**

Para extraer los componentes líquidos de la caña de azúcar se lleva a cabo el prensado mecánico. El prensado mecánico es una operación básica que consiste en la separación de los líquidos contenidos en productos sólidos, mediante la aplicación de fuerzas de compresión.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Para maximizar la extracción de la sacarosa se añade agua o jugo pobre en sacarosa a la salida de los molinos. Paralelo al prensado se realiza una extracción en contracorriente.

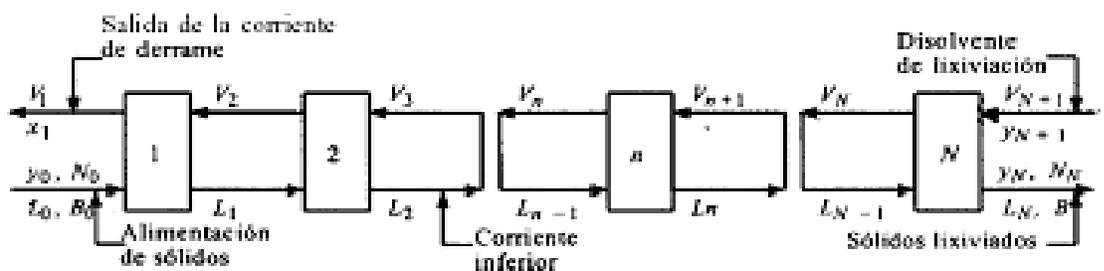
La eficiencia del proceso de estrujamiento depende de varios factores entre los que cabe citar:

- El umbral de fluencia de la fase sólida (es decir, la resistencia a la deformación).
- La porosidad de la torta formada.
- La viscosidad del líquido exprimido.
- La fuerza de compresión aplicada.

### 1.6.2.A. EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

La extracción sólido-líquido consiste en la disolución de un componente que forma parte de un sólido, empleando un disolvente adecuado en el que es insoluble el resto del sólido, que se denomina inerte.

La extracción del azúcar de la caña de azúcar se realiza mediante la adición de agua. Para conseguir la máxima concentración de azúcar se realiza una extracción a contra-corriente en etapas múltiples.



## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Figura F.2. Esquema extracción sólido-líquido en contracorriente

Para el caso objeto de estudio:

- La alimentación de sólidos es la caña de azúcar
- El disolvente de lixiviación es el agua
- Los sólidos lixiviados sería el bagazo
- La corriente de derrames es la corriente de disolución de sacarosa

-Extracción de la caña de azúcar:

Los materiales biológicos tienen estructura celular y los constituyentes solubles suelen estar dentro de las células. En ocasiones, la velocidad de extracción es bastante baja, debido a que las paredes celulares constituyen una resistencia adicional a la difusión.

El azúcar se encuentra dentro de las células de la caña, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de la extracción su estructura celular. La célula de la caña está rodeada por una membrana celulósica que es permeable al agua y a las sustancias disueltas. En el interior de la célula se encuentra el protoplasma (materia proteica que contiene sebos, gomas, coloides) y que está rodeado por la membrana ectoplasmática, que es impermeable a las sustancias disueltas y permeable al agua. En el interior del protoplasma está el núcleo (necesario para la multiplicación de las células) y una vacuola que contiene el azúcar que es necesario extraer.

**Factores que influyen en la extracción:**

-Molienda:

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

- Cuanto mayor sea la molienda, mayor será el área superficial por lo que tendremos una mayor superficie de contacto entre el sólido y el disolvente, y por tanto mayor será el porcentaje de extracción.

- En cambio, un exceso de molienda aumenta la extracción de sólidos solubles no-azúcares, y si los sólidos son demasiado finos, habrá una alta resistencia al flujo en la extracción.

-Temperatura:

- Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la velocidad de difusión, menos infecciones y mayor extracción de sólidos solubles no-azúcares se va a producir.

-Disolvente extractante

- A mayor cantidad de agua, mayor extracción de azúcar, mayor extracción de no-azúcar y mayor consumo de energía.

### **1.6.2.B. PROCESO**

En la industria se utilizan 2 formas diferentes de extraer la sacarosa de la caña de azúcar: mediante prensas (también denominados molinos) o difusores. El primero es el método más extendido en la industria.

-Extracción mediante molinos

En la figura F.3. se puede observar que la caña desmenuzada entra en el primer molino donde mediante presión extrae el jugo cargado de

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

sacarosa de las células vegetales. El bagazo que sale del primer molino pasa a través de un conductor al segundo molino y a partir de éste, el proceso continúa en forma similar hasta la última unidad de molida.

A la entrada del último molino se realiza el proceso de imbibición. Este proceso consiste en añadir agua caliente, agua de imbibición, al bagazo aumentando la extracción en un 15% aproximadamente. Paralelo a la imbibición se realiza el proceso de maceración que tiene la misma finalidad (aumentar la extracción). La maceración consiste en remojar el bagazo con el jugo diluido producto de la imbibición. El jugo extraído por un molino se aplica a la entrada del molino anterior, así que antes de cada molino se macera con un jugo más pobre proveniente de la extracción anterior. En un támden de 4 molinos se aplica maceración al segundo, tercero y cuarto molino e imbibición al quinto molino. Así que, el jugo del último molino se bombearía hasta la entrada del anterior donde se produciría la maceración, el jugo de este molino se bombearía hacía el anterior y así sucesivamente hasta llegar a la entrada del segundo. El jugo resultante del primer molino junto con el jugo del segundo, jugo diluido, molino se bombea hacia la etapa de purificación.

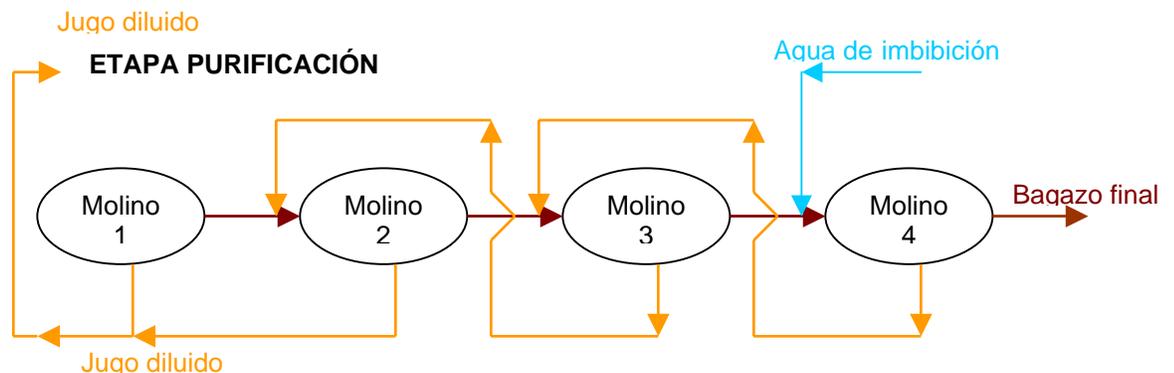


Figura F.3. Diagrama etapa de extracción

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

-extracción mediante difusor

Existen otras soluciones para la extracción de sacarosa que utilizan la difusión. Estos sistemas consisten, fundamentalmente, en uno o varios conductores con fondo perforado por donde la caña o bagazo es conducido y sobre el cual se producen baños o maceraciones a contracorriente, dándose un tiempo de retención para que se efectúe la extracción a la temperatura de 70 - 80°C. El conductor donde se realiza el proceso puede ser continuo o en forma modular en cuyo caso se emplean varios conductores. Tanto uno como otro tipo está diseñado para procesar caña o bagazo. La instalación para el proceso del bagazo incluye equipos para la preparación de la materia prima y la extracción primaria previas a la difusión y equipos para la deshidratación o secado del bagazo a ella.

El prototipo más cercano que se conoce es aquel que utiliza el sistema Van Hengel y que consiste en una serie de módulos conductores del tipo arrastre con fondo perforado y 30° de inclinación, pasando la materia prima (caña o bagazo) de uno a otro conductor, del módulo superior al inferior, mientras es sometida a reiterados baños de maceración a contracorriente con un tiempo de retención entre 30 – 45 min. Este sistema es alimentado por un conductor y no directamente desde una unidad de molida.

Entre las deficiencias que presenta este sistema se encuentra la utilización de conductores de tablillas tipo arrastre inclinadas 30° lo cual propicia la compactación de la materia a medida que se transporta, trayendo como consecuencia que el líquido de maceración no penetre en el colchón.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Como desventaja se puede citar la complejidad del equipamiento, la necesidad de materiales especiales inoxidables. Además una rotura de alguno de los módulos conductores implicaría la parada de toda la planta.

Cuando este sistema se aplica a la extracción sobre bagazo, la instalación se complica y se hace más voluminosa ya que se hace necesaria la instalación de unidades de extracción por compresión antes y después del difusor, lo que provoca grandes consumos de potencia. Además, la extracción que se consigue no es alta.

Para el presente proyecto se utilizará el primer método descrito, debido a los inconvenientes ya mencionados del método mediante difusores. Además, el primer método presenta las siguientes ventajas:

-resultados en la extracción superiores

-un ahorro de potencia consumida de 20 –30% con mejores facilidades de mantenimiento y menores costos de inversión inicial.

Al bagazo final producido en esta etapa se le dará diferentes usos tales como:

- Combustible en las calderas, donde el vapor generado se usa como fuerza motriz de las turbinas que mueven los molinos y las turbinas para generar energía eléctrica, el vapor también se usa para calentamiento en las diferentes etapas del proceso.
- El más fino llamado bagacillo, se emplea como ayuda para la etapa de filtración de cachaza.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

- Materia prima fundamental en la fabricación de tableros aglomerados de bagazo utilizados en la fabricación de muebles, divisiones, etc.

### 1.6.2.C. OBJETIVOS PARA UNA BUENA EXTRACCIÓN

Los objetivos a conseguir en la extracción son:

1. Máxima extracción del azúcar: este es el principal objetivo. Tiene las limitaciones de la necesidad de obtener una buena pureza de jugo y un caudal de agua razonable.

2. Jugo lo más puro posible: este objetivo y el anterior son incompatibles ya que cuanto mayor sea la extracción, además de más azúcares, también se obtendrá mayor cantidad de no- azúcares por lo que la pureza disminuirá con el aumento de extracción. Por esto, se debe llegar a un equilibrio entre agotamiento y pureza del jugo. Un jugo impuro ocasiona dificultades de en la filtración y como la solubilidad del azúcar aumenta con la cantidad de no-azúcar disuelto se obtendrán melazas menos agotadas.

Para ello es necesario que:

1. Añadir agua a la extracción (agua de imbibición): el agua añadida es directamente proporcional a la máxima extracción y es inversamente proporcional a la máxima pureza de jugo. Siempre hay que añadir una mínima cantidad de agua ya que posteriormente hay que evaporarla con el consiguiente gasto de energía. Por otra parte a mayor

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

cantidad de agua añadida se obtendrán mayores caudales que transportar con los inconvenientes que esto conlleva.

2. Máxima capacidad de trabajo: Se refiere a la mayor molienda posible. A mayor molienda se tendrá más extracción de sacarosa y de no azúcares. Por tanto habrá más dificultades a la hora de la purificación del jugo.

3. Mínimas infecciones: interesa controlar los microorganismos que transforman azúcar en alcohol, y los microorganismos que producen bajada del pH (por degradación de azúcar en ácido) favoreciendo la creación de azúcar invertido. Las bacterias se clasifican en función de la temperatura en:

Criófilas.- Se reproducen a temperaturas menores de 25°C

Mesófilas.- Se reproducen a temperaturas entre 25 y 40°C

Termófilas.- Se reproducen a temperaturas superiores a 45°C

Una de las causas más importantes que producen la infección es la tierra que lleva la caña. Por lo tanto es fundamental un buen lavado de la caña seguido de un desinfectado con hipoclorito sódico u otro bactericida.

Para cortar la infección que se pueda producir se utilizan los bacteriostáticos como el Butrol 881 o el Annios.

Detección de infecciones.- las infecciones se detectan por:

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

- a) Bajada brusca del pH debido a una serie de degradaciones de la sacarosa en ácidos.
- b) Examen microscópico del jugo.
- c) Colorimetría a una muestra de jugo.
- d) Contenido de ácido láctico, que es el último producto de degradación de la sacarosa.

### **1.6.3. GENERACIÓN DE VAPOR Y ELECTRICIDAD**

El residuo del proceso de la molienda, bagazo final, se utiliza como combustible junto con carbón para alimentar las calderas. Durante esta combustión se genera una corriente de vapor denominada vapor vivo. Es un vapor de alta presión y se utiliza para generar energía mecánica, térmica y eléctrica. Esta transformación es llevada a cabo en los turbogeneradores, constituidos por un generador eléctrico y una turbina de vapor. El vapor vivo se expande dentro de la turbina y se transforma en vapor de escape. Luego es aprovechada su energía calorífica en la evaporación, se utiliza como fuente de calor para aumentar la temperatura en el jugo claro en el proceso de evaporación. La corriente de vapor de escape disminuye su temperatura al paso por los evaporadores. Esta corriente de menor temperatura se aprovecha en la etapa de purificación del jugo bruto, se utiliza como fuente de calor para calentar el jugo diluido antes del encalado.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### 1.6.4. PURIFICACIÓN DEL JUGO (CALENTAMIENTO, CLARIFICACIÓN Y FILTRACIÓN)

Por una serie de **razones**, que a continuación se explican, difícilmente puede obtenerse directamente el azúcar por evaporación y cristalización, sin previa depuración:

- El jugo contiene partículas en suspensión a las que se adhiere, cuando se produce el recalentado, flóculos de materias proteicas coaguladas. Por ello es necesario eliminar todas esas partículas para evitar que se encuentren mezcladas con cristales de azúcar, sin embargo resulta difícil separar esas partículas, ya que atraviesan el filtro y el jugo filtrado resultante no es limpio.
- El jugo bruto es ácido y si se le calienta directamente se produce una inversión sensible del azúcar presente por lo que es necesario neutralizarlo. Por razones económicas suele utilizarse cal.
- El jugo bruto es coloreado y esta coloración se encontraría en los cristales de azúcar.
- El jugo bruto forma mucha espuma, es imposible evaporarlo tal cual.
- El jugo contiene impurezas o no-azúcares que están disueltos o en solución coloidal en el mismo, y que deben ser eliminadas en la medida de lo posible, pues esas sustancias impiden parcialmente la cristalización del azúcar y arrastran azúcar a la melaza, disminuyendo, por tanto, el rendimiento de la fábrica en azúcar cristalizado.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### -Objetivos de la depuración:

La purificación del jugo conduce a la eliminación del 30-40% de los compuestos no-azúcar y tiene los siguientes objetivos:

- ✓ Eliminación de fibras y restos celulares.
- ✓ Precipitación de proteínas y polisacáridos
- ✓ Precipitación de aniones inorgánicos (fosfatos, sulfatos) y orgánicos (citrato, malato, oxalato) como sales de calcio y precipitación de iones magnesio como  $Mg(OH)_2$ .
- ✓ Degradación de azúcares reductores (azúcar invertido, galactosa) e inhibición consiguiente de la reacción de *Maillard* durante la evaporación.
- ✓ Transformación de la glutamina en ácido pirrolidoncarboxílico y de la asparagina en ácido aspártico. Estas reacciones suceden sólo parcialmente en las condiciones habituales de purificación de jugo.
- ✓ Adsorción de los pigmentos al  $CaCO_3$  formado.

### 1.6.4.A. PROCESO

El jugo diluido sale de la extracción turbio y coloreado de gris oscuro o azul negruzco debido a la oxidación enzimática de fenoles, especialmente de tirosina, y debido a la presencia de complejos fenol-hierro. Tiene un pH de 6.2 y en promedio un peso seco del 15%, del cual

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

el 13% es sacarosa. Primero, por lo general en dos etapas (preencalado y encalado principal), se le agrega lechada de cal. El preencalado se suele realizar a 60-70°C hasta un pH de 10,8-11,9 con un tiempo de espera de al menos 20 min y a continuación el encalado principal a 80-85°C hasta un contenido total de CaO del jugo del 2-2,5%, con un tiempo de espera de 30 min. Una serie de ácidos orgánicos y el fosfato precipitan como sales cálcicas; los coloides flocculan.

Con el fin de eliminar el exceso de calcio, de destruir el sacarato cálcico formado y para que las sustancias turbias se filtren con facilidad, el dióxido de carbono necesario para la formación del carbonato cálcico se añade con rapidez. El carbonato de calcio formado posee igualmente la propiedad de absorber una gran parte de no-azúcar y de colorantes y tiene igualmente un efecto depurante. Además, constituye un excelente ayudante de filtración. Por la bajada de pH, el CO<sub>2</sub> descompone los sacaratos liberando la sacarosa. Se trabaja en dos etapas, con una primera y una segunda carbonatación. Mediante la primera carbonatación a 85°C el pH se lleva de nuevo a 10,8-11,9. El lodo formado se separa por decantación y filtración a 90-95°C, lavándose en los filtros hasta que el azúcar residual sea del 0.1-1%. En la segunda carbonatación se alcanza un pH de 8,9-9,2 a 94-98°C. Se separa por filtración de la pequeña cantidad de lodos. Hay que medir cuidadosamente la adición de CO<sub>2</sub>, para evitar transformar el carbonato de calcio precipitado en bicarbonato soluble. En el curso de la carbonatación, la potasa y la sosa liberados en el encalado, que constituyen la alcalinidad natural, son transformadas en carbonato de potasio y de sodio solubles que quedan en el jugo. Para aclarar el color y mantener su estabilidad, en muchas ocasiones se añaden 50g/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> (sulfitado) durante la subsiguiente evaporación. Este proceso consigue inactivar o al menos minimizar la acción de los

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

polifenoles y los amino compuestos. A continuación se vuelve a filtrar: se obtiene así finalmente un jugo claro, límpido con un peso seco del 15-18%. En esta filtración se añade el bagacillo residuo de la molienda de la caña, este en mezcla con el lodo mejora la operación de los filtros. En esta filtración se obtiene como residuo la cachaza, ésta se aprovecha como abono orgánico.

### 1.6.5. EVAPORACIÓN

La evaporación es la fase de fabricación que sigue a la purificación y tiene por finalidad concentrar el jugo depurado separando el agua mediante la evaporación de la misma.

Desde el punto de vista de la evaporación, hay que tener en cuenta que el jugo de azucarera se comporta como un agua impura. En la práctica, una solución acuosa azucarada hierve siempre a una temperatura más elevada que un agua pura, colocada a las mismas condiciones de presión. La elevación de los puntos de ebullición es tanto mayor cuanto más concentrado están los productos. Está, además, afectada por la pureza de las soluciones azucaradas. La tabla siguiente, establecida por Claasen, proporciona la elevación del punto de ebullición del agua pura a presión atmosférica.

Brix*	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Elevación	0	0,1	0,3	0,65	1,15	2	3,3	5,4	10

Un aspecto importante es que habrá que evitar en la evaporación degradar el jugo y alterar sus propiedades, por lo que la temperatura,

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

calculada para provocar la evaporación, no puede utilizarse, puesto que el jugo debe ser sometido lo menos posible a una acción prolongada del calor, sobre todo a brix elevado. En efecto, bajo la acción del calor:

-Se pueden formar nuevos reductores (los reductores de jugo de difusión han sido eliminados por el encalado), con caída de pH y riesgo de pérdidas importantes en las ultimas etapas de fabricación.

-Se puede destruir azúcar por la formación de caramelos en la primera etapa.

Todo esto conlleva un aumento más o menos importante de la coloración (comparación al mismo Brix a calores más elevados), con degradación final de la calidad del azúcar. En los casos graves, el azúcar se va a carbonizar y aquí también las pérdidas serán considerables, llegando incluso los tubos del equipo de evaporación a taponarse. Por todo ello, la concentración del jugo debe limitarse para operar a temperatura razonable.

### **1.6.5.A. EVAPORACIÓN DE MÚLTIPLE EFECTO**

El jugo claro contiene del 15 al 20% de sólidos, según la concentración del jugo original de la caña y el procedimiento de maceración empleado. Para conseguir la formación de cristales de azúcar el jugo debe ser concentrado hasta el estado de mieles. Para alcanzar tal condición es necesario eliminar la totalidad del agua presente.

En la Evaporación, por medio de intercambio de calor con vapor de baja

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

presión (20 psi), el jugo se concentra en un jarabe de uso llamado Meladura (no saturado). El proceso se da en varias etapas. Es común el uso de 5 cuerpos de evaporación dispuestos en serie en los cuales el jugo fluye por diferencia de presión en los cuerpos.

Este proceso se da en evaporadores alternativos de efectos múltiples o de corriente descendente, que consisten en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie, en los que, para evitar la inversión de sacarosa, conviene mantener, como ya se ha dicho, una reacción débilmente alcalina ( $\text{pH} \approx 9$ ) y temperaturas de ebullición de 130-90°C. El jugo entra primero en el preevaporador y se calienta hasta el punto de ebullición. El intercambio de calor se da a partir de vapor de escape proveniente de las turbinas con una presión de aproximadamente 20 psi. Al comenzar a ebullicir se generan vapores los cuales sirven para calentar el jugo en el siguiente efecto, logrando así al menor punto de ebullición en cada evaporador y un menor coste. En el proceso de evaporación se obtiene la meladura.

Durante la concentración precipitan sales de calcio, la glutamina todavía presente se transforma en ácido pirrolidonicarboxílico por descenso del pH, en pequeña medida tiene lugar una degradación alcalina de azúcares y un oscurecimiento del jugo dependiente del proceso (temperatura, tiempo en cada etapa de evaporación) debido a la reacción de *Maillard* y a la caramelización.

En la figura F.4. se presenta un esquema de un evaporador de quintuplo efecto:

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

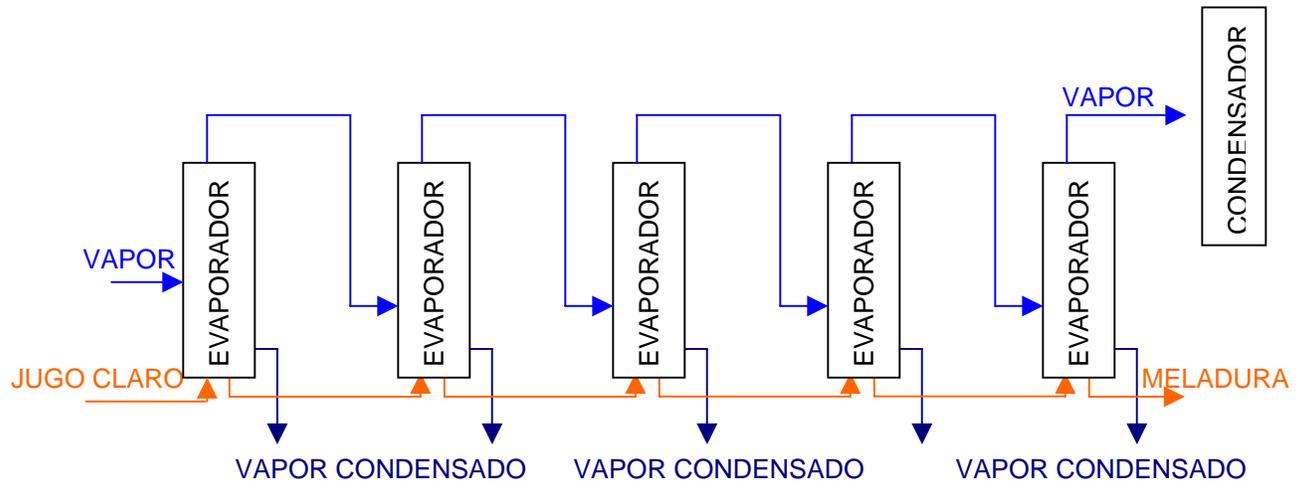


Figura F.4. Diagrama de la etapa de evaporación

El vapor producido por la caja precedente llega a la caja siguiente y allí se condensa; las aguas condensadas son evacuadas a medida que se producen. Se hace notar que la presión que reina en los efectos va decreciendo del primero al último, de forma que el jugo es realmente aspirado de una caja de evaporación a la otra. La presión de vapor introducida en el primer efecto que es de hecho limitada, porque:

- Si la presión es demasiado elevada la temperatura lo es igual y sería nefasto para el jugo a concentrar.

- El vapor utilizado ha servido ya en su mayor parte para producir energía eléctrica y la presión de escape de los grupos turbo-alternadores es limitada.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

El efecto práctico obtenido es, en realidad, netamente inferior al número de efectos evaporatorios, pues todos los vapores producidos por una caja de evaporación no son canalizados hacia la caja siguiente, ya que una parte, a veces una gran parte de estos vapores, es extraída para las diferentes necesidades de calentamiento y cocción.

### **1.6.6. CRISTALIZACIÓN Y CENTRIFUGACIÓN**

Se conoce también como cocción de azúcar. La cristalización consiste básicamente en la formación de los cristales de azúcar a partir de diferentes mieles.

La cristalización trata la meladura. La meladura es el material obtenido en la evaporación del jugo claro. Es una solución concentrada que contiene una pequeña parte de impurezas, del orden de 11 a 15 partes de impurezas por 100 partes de azúcar, que no se han podido eliminar en la etapa de purificación del jugo bruto. En la cristalización se opera a la inversa de la depuración: el azúcar es eliminado de la solución concentrada bajo forma de cristales mientras que las impurezas se concentran para formar una solución residual agotada denominada miel. Esta solución residual contendrá aún entre 12 y el 18% del azúcar del jarabe: el azúcar-miel. Ha de considerarse que el cristal del azúcar es tanto más puro cuanto más puro es el medio en el cual se forma, por lo que para la producción de un azúcar de alta pureza, el esquema de cristalización llevará refundiciones y cristalizaciones sucesivas. El cristal, presenta la propiedad de ser muy selectivo en el curso de su crecimiento y de no admitir en su red más que trazas de impurezas, lo que reduce el número de cocciones sucesivas a un máximo de tres.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

El proceso se efectúa en evaporadores a vacío de efecto sencillo comúnmente llamados tachos. Los tachos están diseñados para la manipulación de materiales viscosos y al igual que los evaporadores se componen de un cuerpo provisto internamente de tubos verticales soportados por espejos en sus extremos. El tacho es un cristalizador evaporativo en el que el grado de sobresaturación se controla y se mantiene por medio de la evaporación del disolvente, en tanto que el material disuelto cristaliza.

Primeramente se concentra la Meladura hasta que esta alcanza el punto de saturación. En tal condición se introducen cristales de siembra que sirven de núcleos a los cristales de azúcar. A medida que se evapora el agua se agrega Meladura con el fin de aumentar el tamaño de los cristales.

La mezcla de cristales de siembra y meladura se concentra hasta formar una masa densa llamada "Masa Cocida". En este punto el proceso finaliza y el contenido del tacho (llamado Templa) se descarga a través de una válvula colocada en la parte inferior.

Para la elaboración de azúcar blanco se utiliza el proceso de Tres Templas y Doble Magma, que tiene como propósito principal minimizar las pérdidas de azúcar en la miel final. Como parámetro aceptable se considera que la pureza de la miel final no debe ser mayor de 35% de sacarosa en su contenido.

Las masas cocidas resultantes de la cristalización se depositan en tanques o vasos de retención para pasar seguidamente al área de

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

centrífugas en donde se consigue la separación de las masas en cristales y miel.

Las centrífugas están dotadas de una canasta cilíndrica giratoria forrada internamente por una delgada tela de cobre o acero inoxidable perforada con infinidad de 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 donde se ubican las máquinas secadoras.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

### 1.6.6.A. PROCESO

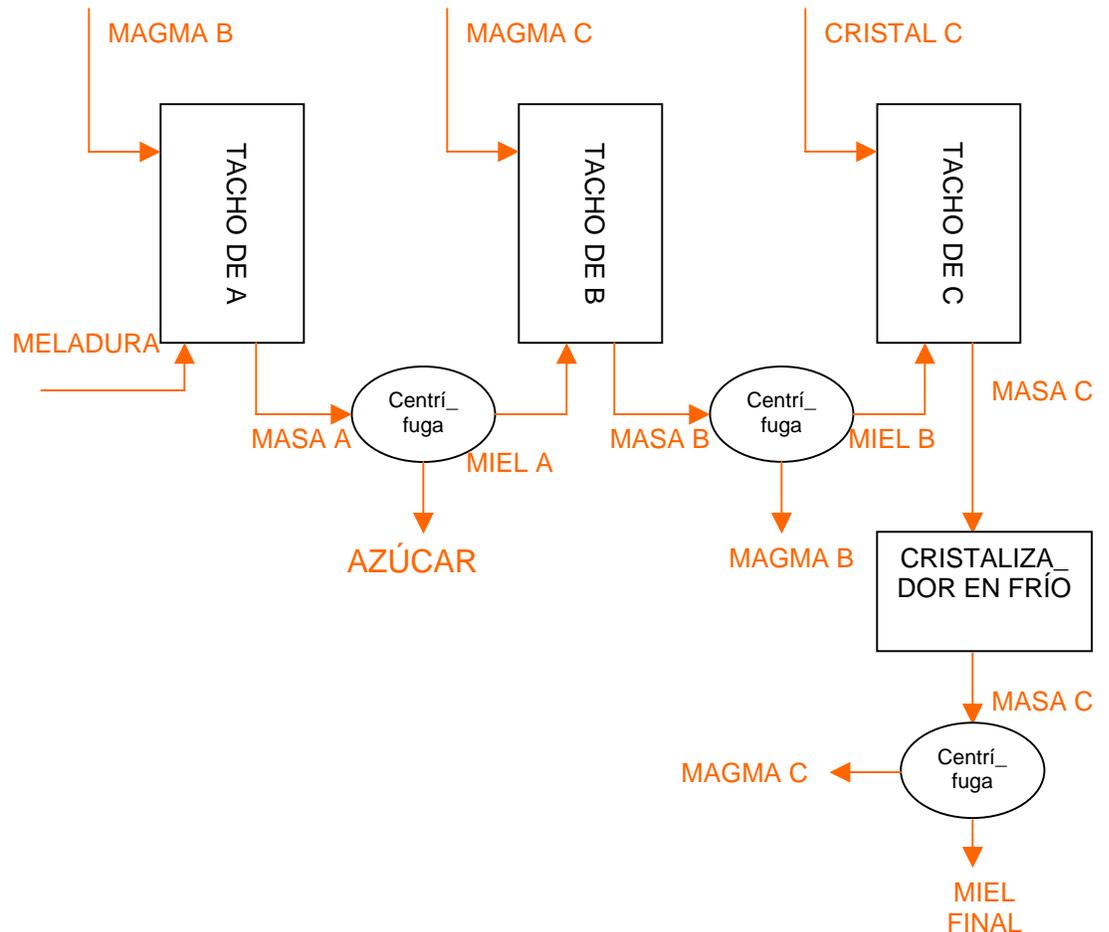


Figura F.5. Diagrama de la etapa de cristalización

La meladura producida en la evaporación se lleva al depósito de tachas, esta entra en el tacho de A junto al magma B. El magma B es utilizado como semilla en la cristalización en el tacho de A, está compuesto de cristales de sacarosa. Es el material resultante de la centrifugación de la masa B. En el tacho A se concentra durante la primera

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

cocción obteniéndose la masa cocida de primer producto, llamada masa A, constituida por dos fases:

-Una fase sólida, que contiene sólo azúcar en estado cristalino.

-Una fase líquida, en la que se encuentra el agua no evaporada durante la cocción, todo el no-azúcar y azúcar.

Para separar ambas fases se efectúa el centrifugado, en la centrífuga A, obteniéndose: Azúcar cristalizado y Miel A.

El azúcar cristalizado se lleva al secadero para después almacenarlo en el silo. Mientras que la miel A pasa al tacho B donde se realizará una segunda cocción. En este tacho se utiliza como semilla de cristalización el magma C. El magma C es el material obtenido de separar la miel final de la masa C en la centrífuga de C. Tras la cocción, del tacho B se obtiene la masa B. Ésta se centrifuga y da lugar al magma B y a la miel B. El magma B, como se dijo anteriormente, se utiliza como semilla en el tacho de A. Mientras la miel B pasa al tacho de C donde se realiza la tercera cocción. Aquí se utiliza como semilla para la cristalización cristal de C. Estos cristales de siembra son cristales de 0,010 mm de diámetro que se obtienen a partir de la mezcla de miel A, miel B (4,8 kg) y alcohol Iso propílico (1,5 galones). Dentro de las tachas permanece por un tiempo de aproximado de 24 horas.

Del tacho C sale masa C que entra en el equipo de cristalización en frío, donde por enfriamiento lento a 35-40°C se produce en parte una nueva cristalización.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### 1.6.7. SECADO Y ALMACENADO DEL AZÚCAR

La mayor parte del azúcar producido debe ser almacenado en la fábrica durante un tiempo más o menos largo, pues la venta se realiza durante todo el año.

El almacenado puede hacerse de dos formas diferentes, en sacos o a granel (en silo). El almacenado en sacos ocasiona una mano de obra importante, por tanto, el azúcar suele ser almacenado a granel, en silos (horizontales o verticales), a partir de los que se ensaca a medida de su venta.

El azúcar almacenado en silos debe satisfacer una serie de normas relacionadas, fundamentalmente, con el grado de secado y temperatura. Las alteraciones que desean evitar en el almacenado del azúcar son básicamente:

-De orden físico.

- El endurecimiento o apelsonamiento más o menos importante de los cristales.
- La humidificación hasta 0,1 ó 0,2%, pudiendo incluso llegar hasta escurrido de miel.

-De orden químico y bacteriológico.

- Crecimiento de microorganismos, con aumento de la acidez del medio que acelera la alteración.
- Aumento del contenido de azúcares reductores.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

El secado se hace generalmente en secaderos de tambor llamados granuladores; se trata de un cilindro, ligeramente inclinado sobre la horizontal, donde el azúcar pasa en sentido descendente, mientras que se insufla el aire caliente en sentido opuesto. Sobre la pared inferior del cilindro están fijados unas palas que elevan el azúcar y lo dejan caer en forma de lluvia de cristales a través de la corriente de aire. Un segundo granulador, recorrido por aire frío, sirve para enfriar el azúcar.

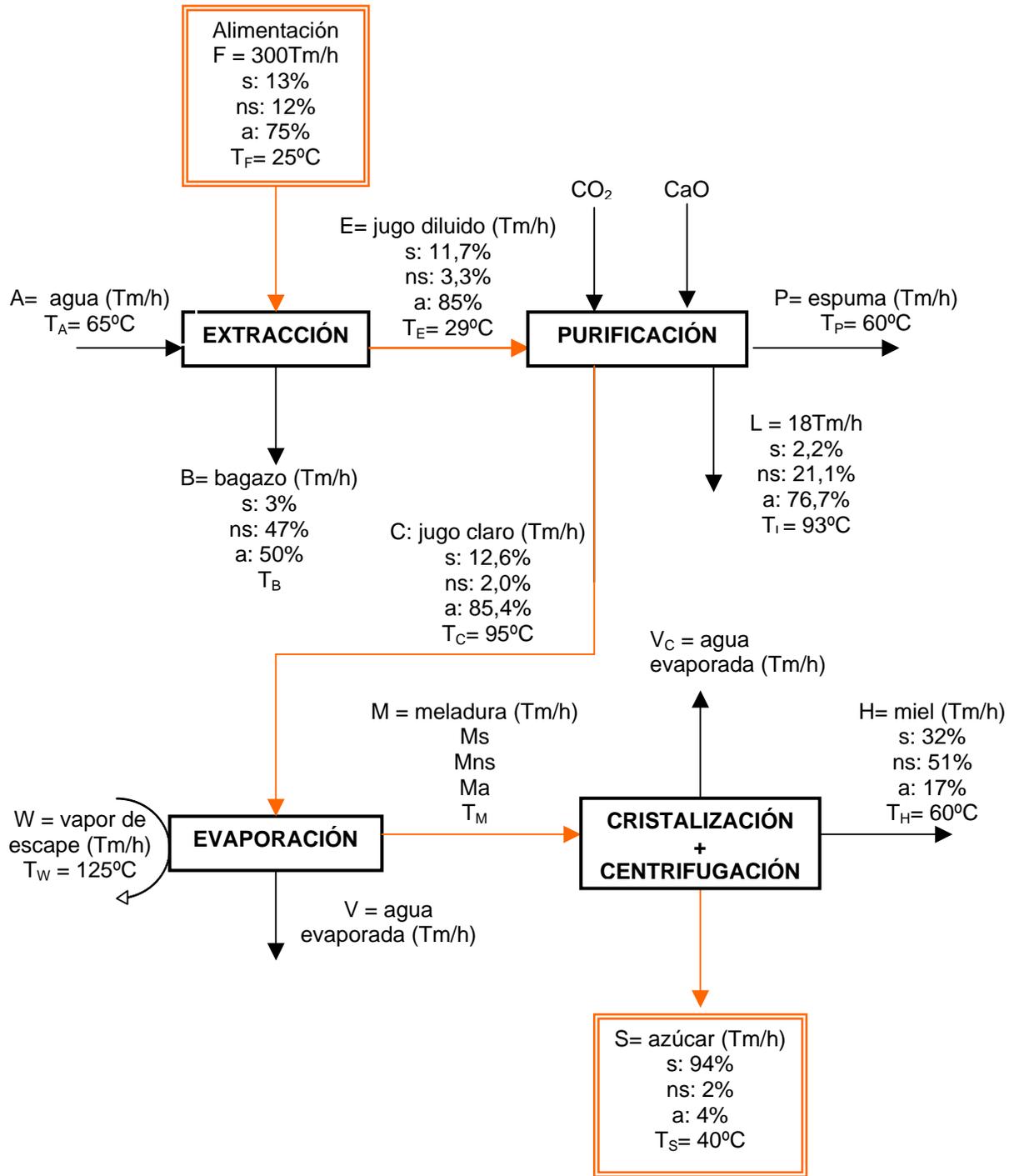
### **1.7. BALANCES**

Se van a realizar los balances de materia y energía para las etapas principales del proceso como son: la extracción, purificación, evaporación, cristalización y centrifugación para la obtención de azúcar.

En el siguiente diagrama se muestran las corrientes de entrada y salida de las distintas etapas, además del valor de sus composiciones en sacarosa, no-sacarosa y agua y de la temperatura. Estos datos han sido aportados por la bibliografía (empresa Ingenio Pichichí, [pág.web](#)), estos valores vienen determinados para que el proceso productivo tenga un rendimiento elevado. Una composición más bajas en sacarosa en el producto final o más alta en los residuos generados supone un rendimiento más bajo del proceso.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Diagrama del proceso de producción de azúcar:



## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Donde:

F, A, E, B, C, P, L,  $V_C$ , W, V, H y S = caudales másicos de entrada y salida de las diferentes etapas del proceso y vienen dados en unidades de Tm/h.

s= composición de sacarosa de las corrientes, viene dado en tanto por ciento.

ns= composición de no- sacarosa, es decir, sólidos solubles distintos a la sacarosa e inertes en las corrientes, viene dado en tanto por ciento.

a= composición de agua en las corrientes , viene dado en tanto por ciento.

### 1.7.1. EXTRACCIÓN

#### 1.7.1.A. BALANCE DE MATERIA

Los datos iniciales de los cálculos, de composición y temperatura de las corrientes, son los obtenidos de la bibliografía (empresa Ingenio Pichichí, pág.web)



## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Tenemos tres componentes así que podemos plantear tres ecuaciones linealmente independientes, una la correspondiente al balance global y las otras dos correspondientes a dos balances parciales:

- Balance global:  $F + A = E + B$  (1)

- Balance de sacarosa:

$$(X_S)_F * F + (X_S)_A * A = (X_S)_E * E + (X_S)_B * B \quad (2)$$

- Balance de no-sacarosa:

$$(X_{NS})_F * F = (X_{NS})_E * E + (X_{NS})_B * B \quad (3)$$

Sustituyendo los valores numéricos del diagrama en las expresiones anteriores, tenemos un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas:

- Balance global:  $300 + A = E + B$

- Balance de sacarosa:  $0,13 * 300 = 0,117 * E + 0,03 * B$

- Balance de no-sacarosa:  $0,12 * 300 = 0,033 * E + 0,47 * B$

Resolvemos el sistema de ecuaciones, con las ecuaciones 2 y 3, y obtenemos los valores de E y B:

$$\mathbf{E = 319,44Tm/h}$$

$$\mathbf{B = 54,17Tm/h}$$

Aplicando el balance global de materia determinaremos la cantidad de disolvente necesaria para la extracción:

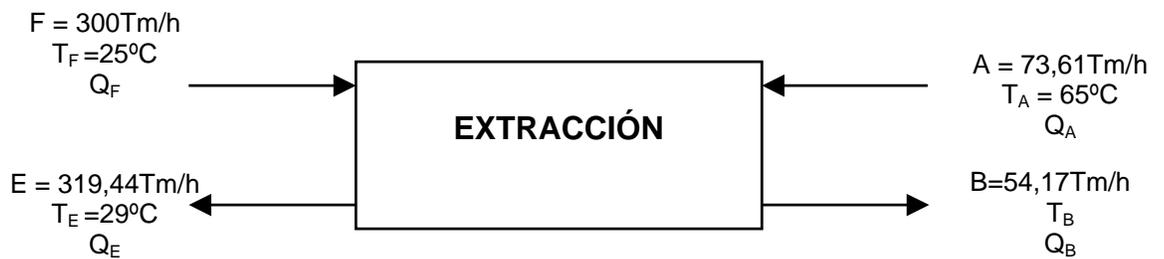
## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

$$(1) \quad 300 + A = 319,44 + 54,17$$

$$\mathbf{A = 73,61Tm/h}$$

### 1.7.1. B. BALANCE DE ENERGÍA



Para los cálculos de entalpías se ha utilizado como temperatura de referencia 0° C.

Balance global de energía para la extracción:

$$Q_F + Q_A = Q_E + Q_B \quad (4)$$

Para el cálculo de la cantidad de calor que intercambia cada corriente se utilizará la expresión:

$$Q_C = C * C_P * (T - T_{Ref.}) \quad (5)$$

Donde:  $Q_C$  = cantidad de calor aportada o retirada por la corriente C dada en kcal/h

$C$  = caudal másico de la corriente C dado en kg/h

$C_P$  = capacidad calorífica de la corriente C en kcal/kg°C

$T$  = temperatura que lleva la corriente C en °C

$T_{Ref.}$  = temperatura de referencia en °C (utilizaremos 0 °C)

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

-Cálculo de  $Q_F$ :

$$(5) \quad Q_F = F * c_P * (T - T_{Ref.})$$

La caña triturada entra a temperatura ambiente en el tandem de molinos.

Puesto que no se dispone del valor de  $c_P$  para la caña de azúcar, se ha utilizado para este cálculo un valor aproximado. En la tabla T.2. del anexo V se da las propiedades térmicas para algunos alimentos. Se ha tomado el valor de un alimento con el mismo porcentaje de agua que la caña que entra en la alimentación, ya que si se observa la tabla se puede llegar a la conclusión de que el valor de  $c_P$  es directamente proporcional al porcentaje en agua, a mayor % en agua mayor valor de  $c_P$ . La caña de la alimentación tiene un 75% en agua así que se ha tomado el valor del  $c_P$  del maíz, que es uno de los alimentos de las tablas que más se aproxima a su porcentaje en agua.

$$c_P = 3,35 \text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$Q_F = 300.000 \text{kg/h} * 0,80 \text{kcal/kg } ^\circ\text{C} * (25 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$Q_F = 6.004.875 \text{kcal/h}$$

-Cálculo de  $Q_A$ :

La corriente A, agua de imbibición, no puede exceder los 65 °C, según la bibliografía (smar international corporation, pág.web), debido a que al aumentar la temperatura, además del aumento de dilución se produce un aumento de la producción de dextrosa. Esto se debe evitar ya

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

que un aumento de la producción de dextrosa supondría menor producción de sacarosa.

$$(5) \quad Q_A = A * c_P * (T - T_{Ref.})$$

$$Q_A = 73.610\text{kg/h} * 1\text{kcal/kg } ^\circ\text{C} * (65 - 0)$$

$$Q_A = 4.784.650\text{kcal/h}$$

-Cálculo de  $Q_E$ :

$$(5) \quad Q_E = E * c_P * (T - T_{Ref.})$$

El valor usado de calor específico es de la tabla T.1. del anexo V que relaciona los grados Brix y calores específicos. Se tiene un valor de 15 grados Brix por lo que el valor de  $c_P$  será de  $0,91\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$ .

$$Q_E = 319.440\text{kg/h} * 0,91\text{kcal/kg } ^\circ\text{C} * (29-0)$$

$$Q_E = 8.430.021,6\text{kcal/h}$$

No se conoce la temperatura ni la cantidad de calor eliminada por la corriente del bagazo. A partir del balance global de energía se puede calcular esos valores:

$$(4) \quad Q_B = Q_F + Q_A - Q_E$$

$$Q_B = 2.269.878,4\text{kcal/h}$$

De la ecuación (5)  $Q_B = B * c_P * (T - T_{Ref.})$  se despeja T. El valor de  $c_P$  lo se calcula como en los casos anteriores.

$$T_B = 54,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$



## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

$$(6) \quad 319,44 + \text{CO}_2 + \text{CaO} = \text{C} + \text{P} + 18$$

$$(7) \quad 0,117 * 319,44 = 0,126 * \text{C} + (\text{X}_S)_P * \text{P} + 0,022 * 18$$

$$(8) \quad 0,033 * 319,44 = 0,020 * \text{C} + (\text{X}_{NS})_P * \text{P} + 0,211 * 18$$

Se tiene un sistema de 3 ecuaciones y 6 incógnitas. Para resolver el sistema hay que determinar la cantidad de espuma y de piedra caliza para tratar la alimentación.

### Cantidad de espuma de carbonatación (P)

La cantidad de espuma producida depende de:

- o La cal empleada
- o La cantidad de materias no azucaradas, precipitadas y arrastradas.

Con arreglo a la reacción que se da en el horno:



Según la bibliografía (Porta A., 1955) se sabe que 1Kg de espuma contiene 0,5 Kg de  $\text{CaCO}_3$ , entonces se podrá escribir la siguiente proporción:

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

$$\frac{1\text{Kg espuma}}{0,5\text{KgCaCO}_3} \frac{1\text{KgCaCO}_3}{0,56\text{KgCaO}} = 3,57 \frac{\text{Kg espuma}}{\text{KgCaO}}$$

A esta cantidad hay que añadir el peso de materias no azucaradas precipitadas, por lo cual se admite que prácticamente a una parte de óxido de calcio corresponde cuatro partes de espuma.

Atendiendo a la bibliografía anterior, se trabaja con 3 partes de óxido de calcio por cada cien de caña, por lo que la espuma producida será 4 veces mayor; es decir, 12 partes por cada 100 de caña. Al ser la alimentación 300Tm/h, producirá una cantidad de espumas de 36,00Tm/h.

$$P = 36\text{Tm/h}$$

### Consumo de piedra caliza. Producción de CaO y CO<sub>2</sub>.

Como ya se ha mencionado se realiza un encalado de un 3 por 100 de óxido de calcio, y una piedra caliza de una riqueza del 97% en carbonato cálcico, que es la que emplea la bibliografía anterior.

Puesto que se tiene una alimentación de 300Tm/h de caña se necesitan:

$$300 * \frac{3}{100} = 9\text{Tm/h de CaO}$$

De acuerdo con la estequiometría de la reacción anterior, se tiene que 1Kg de CaCO<sub>3</sub> da 0,56Kg de CaO:

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

$$\begin{array}{l} 0,56\text{Kg de CaO} \text{ -----} 1\text{Kg de CaCO}_3 \\ 9\text{Tm/h CaO} \text{ -----} x \end{array}$$

$$x = 16,07\text{Tm/h de CaCO}_3$$

La piedra caliza tiene una riqueza del 97%, así que se obtiene 16,56 Tm/h de CaCO<sub>3</sub>

$$\frac{16,07}{0,97} = 16,56\text{Tm/h CaCO}_3$$

Según la estequiometría de la reacción para producir 16,56Tm/h CaCO<sub>3</sub> se consumen **7,29Tm/h de CO<sub>2</sub>**.

De la ecuación (6):

$$319,44 + 7,29 + 9 = C + 36 + 18$$

$$\mathbf{C = 281,73\text{Tm/h de jugo claro}}$$

De los balances a los componentes se obtienen las composiciones de sacarosa y no-sacarosa en la espuma:

$$(7) \quad 0,117 * 319,44 = 0,126 * 281,73 + (X_S)_P * 36 + 0,022 * 18$$

$$\mathbf{(X_S)_P = 0,041}$$

$$(8) \quad 0,033 * 319,44 = 0,020 * 281,73 + (X_{NS})_P * 36 + 0,211 * 18$$

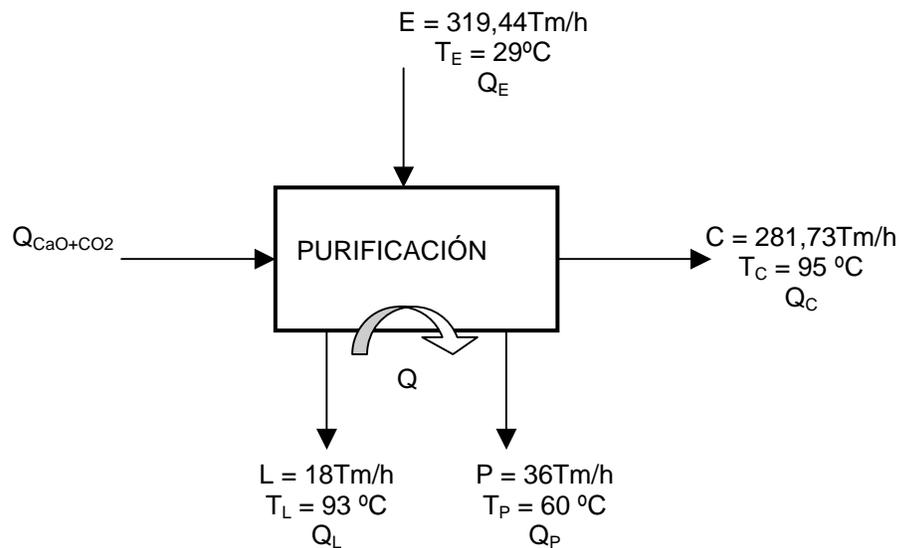
$$\mathbf{(X_{NS})_P = 0,031}$$

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Se puede calcular el porcentaje de pérdidas de sacarosa en las espumas respecto del que entra en la alimentación:

$$\frac{P^*(x_s)_P}{F^*(x_s)_F} = \frac{36 * 0.072}{300 * 0.13} = \frac{2.59}{39} = 0.066$$

### 1.7.2.B. BALANCE DE ENERGÍA



Balance global de energía para la etapa de purificación:

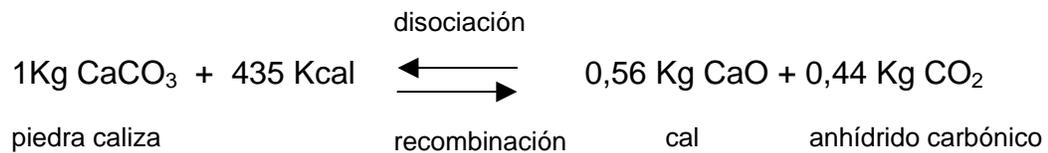
$$Q + Q_R + Q_E - Q_C - Q_L - Q_P = 0 \quad (9)$$

-Aportación de calor de la corriente de CaO y CO<sub>2</sub> (Q<sub>R</sub>)

Como hemos visto la reacción química que tiene lugar es:

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---



En la disociación se desprende 435Kcal/Kg de CaCO<sub>3</sub>, si se tiene que se consume 16,56Tm/h de CaCO<sub>3</sub>, se obtendrá:

$$16.560\text{Kg/h} * 435\text{Kcal/Kg} = 7.885.550 \text{ Kcal/h} = Q_R$$

-Calor aportado por el jugo diluido (Q<sub>E</sub>)

El jugo diluido entra a 29 °C. El valor de c<sub>p</sub> es de 0,91 para un valor de 15 grados Brix según la tabla T.1. del anexo V. Con la ecuación (5) realizamos el cálculo.

$$Q_E = 319.440 * 0,91 * (29 - 0) = 8.430.021,6\text{kcal/kg}$$

-Calor evacuado por el jugo claro (Q<sub>C</sub>)

El jugo claro sale a 95 °C, de acuerdo con la bibliografía (Belitz, 1987). El valor del c<sub>p</sub> se tomará como en los casos anteriores de la tabla T.1. del anexo V, el correspondiente para 14,6 grados Brix.

$$(5) \quad Q_C = 281.730 * 0,91 * (95 - 0) = 24.355.558,5\text{kcal/h}$$

-calor evacuado por los lodos (Q<sub>L</sub>)

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Los lodos salen a 93 °C. Según (Belitz, 1987) la clarificación se realiza 90-95° C. Tienen un valor de  $c_p$  de 0,86 según la tabla T.1. del anexo V.

$$(5) \quad Q_L = 18.000 * 0,86 * (93 - 0) = 1.439.640\text{kcal/h}$$

-Calor evacuado por la espuma ( $Q_P$ )

Salen la 60 °C, de acuerdo con la bibliografía (Porta A., 1955), y tiene un valor de  $c_p$  de 0,93, según la tabla T.1. del anexo V.

$$(5) \quad Q_P = 36.000 * 0,93 * (60-0) = 2.008.800\text{kcal/h}$$

Se han calculado todos los términos del balance global de energía para la etapa de purificación, excepto Q que es el calor aportado en el calentamiento que tiene lugar en la etapa de purificación.

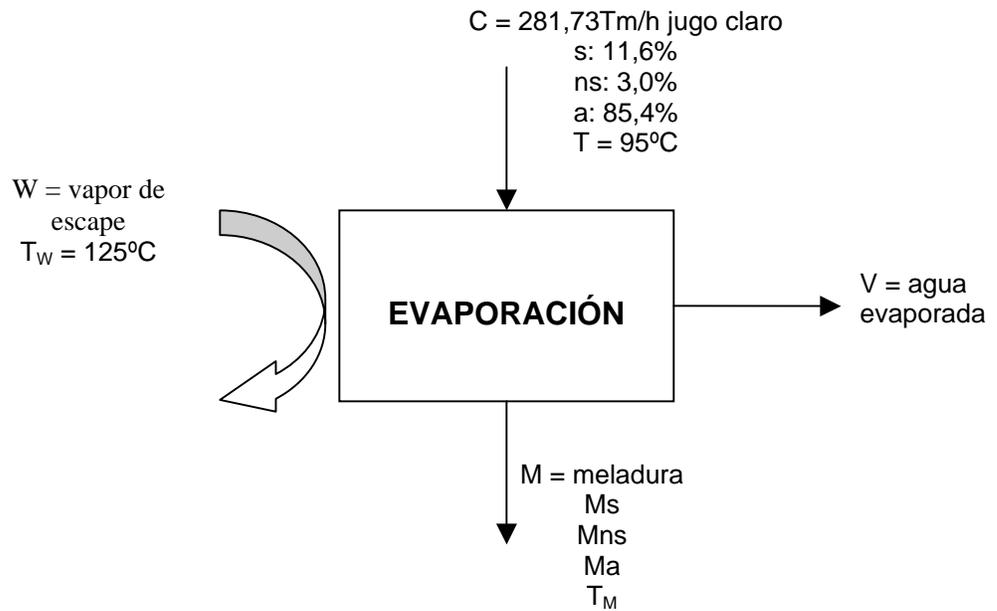
De la ecuación (9) despejamos Q:

$$Q = Q_C + Q_L + Q_P - Q_R - Q_E = 11.488.426,9\text{kcal/h}$$

### 1.7.3. EVAPORACIÓN

#### 1.7.3.A. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR



Como se explicó anteriormente para la concentración de la disolución de sacarosa se empleará un múltiple efecto, que consiste en tomar varios evaporadores y conectarlos de tal manera que la evaporación producida en el primero sirva de vapor de calefacción al segundo evaporador y así sucesivamente, para lo cual es necesario disminuir la presión de operación en cada uno de estos en forma sucesiva para que se produzca el gradiente en temperatura que produce la evaporación.

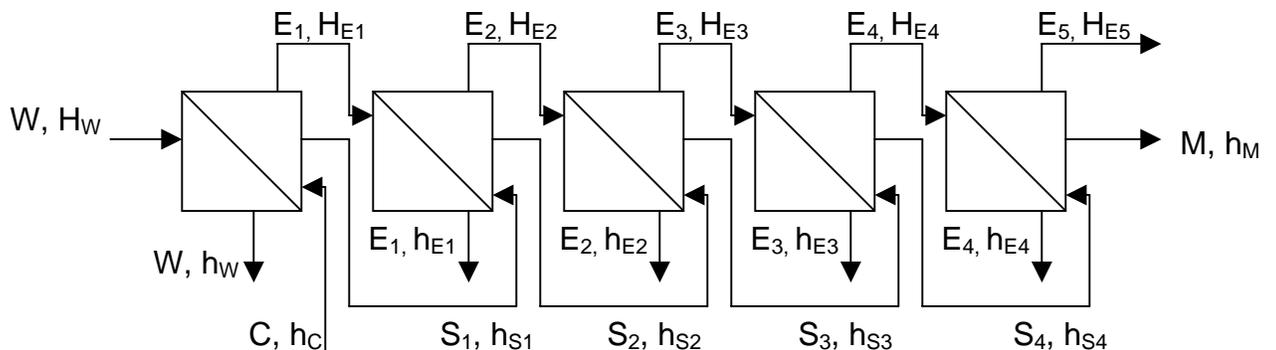


Figura F.6. Diagrama evaporación

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Ecuaciones:

Balance global	$C = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + M$	(10)
Balances al 1 <sup>er</sup> efecto	B. global: $C = E_1 + S_1$	(11)
	B. de sacarosa: $C * (x_S)_C = E_1 * (x_S)_{E1} + S_1 * (x_S)_{S1}$	(12)
	B. no-sacarosa: $C * (x_{nS})_C = E_1 * (x_{nS})_{E1} + S_1 * (x_{nS})_{S1}$	(13)
	B. de energía: $W * \lambda_W + C * h_C = E_1 * H_{E1} + S_1 * h_{S1}$	(14)
Balances al 2 <sup>o</sup> efecto	B. global: $S_1 = E_2 + S_2$	(15)
	B. de sacarosa: $S_1 * (x_S)_{S1} = E_2 * (x_S)_{E2} + S_2 * (x_S)_{S2}$	(16)
	B. no-sacarosa: $S_1 * (x_{nS})_{S1} = E_2 * (x_{nS})_{E2} + S_2 * (x_{nS})_{S2}$	(17)
	B. de energía: $E_1 * \lambda_{E1} + S_1 * h_{S1} = E_2 * H_{E2} + S_2 * h_{S2}$	(18)
Balances al 3 <sup>er</sup> efecto	B. global: $S_2 = E_3 + S_3$	(19)
	B. de sacarosa: $S_2 * (x_S)_{S2} = E_3 * (x_S)_{E3} + S_3 * (x_S)_{S3}$	(20)
	B. no-sacarosa: $S_2 * (x_{nS})_{S2} = E_3 * (x_{nS})_{E3} + S_3 * (x_{nS})_{S3}$	(21)
	B. de energía: $E_2 * \lambda_{E2} + S_2 * h_{S2} = E_3 * H_{E3} + S_3 * h_{S3}$	(22)
Balances al 4 <sup>o</sup> efecto	B. global: $S_3 = E_4 + S_4$	(23)
	B. de sacarosa: $S_3 * (x_S)_{S3} = E_4 * (x_S)_{E4} + S_4 * (x_S)_{S4}$	(24)
	B. no-sacarosa: $S_3 * (x_{nS})_{S3} = E_4 * (x_{nS})_{E4} + S_4 * (x_{nS})_{S4}$	(25)
	B. de energía: $E_3 * \lambda_{E3} + S_3 * h_{S3} = E_4 * H_{E4} + S_4 * h_{S4}$	(26)
Balances al 5 <sup>o</sup> efecto	B. global: $S_4 = E_5 + S_5$	(27)
	B. de sacarosa: $S_4 * (x_S)_{S4} = E_5 * (x_S)_{E5} + S_5 * (x_S)_{S5}$	(28)
	B. no-sacarosa: $S_4 * (x_{nS})_{S4} = E_5 * (x_{nS})_{E5} + M * (x_{nS})_M$	(29)
	B. de energía: $E_4 * \lambda_{E4} + S_4 * h_{S4} = E_5 * H_{E5} + M * h_M$	(30)

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Las condiciones de operación para los distintos evaporadores han sido tomadas de la bibliografía (Zuckerindustrie, pág. web):

	P (kg/cm <sup>2</sup> )	T (°C)	λ (kcal/kg)	h <sub>líquido</sub> (kcal/kg)	H <sub>vapor</sub> (kcal/kg)
Vapor al efecto I		122,65	523,9		
Δt <sub>1</sub>		6,22			
Ebullición I y condensación II	1,8	116,43	528,16	104,79	644,7
Δt <sub>2</sub>		7,34			
Ebullición II y condensación III	1,4	109,09	533,15	95,99	642
Δt <sub>3</sub>		9,2			
Ebullición III y condensación IV	1,0	99,89	539,38	84,91	638,5
Δt <sub>4</sub>		9,79			
Ebullición IV y condensación V	0,7	90,1	545,47	71,63	634,9
Δt <sub>5</sub>		12,88			
Ebullición V y vapor condensado	0,4	77,22		50,19	629,5
Jugo claro (C)		95			

Los valores utilizados pertenecen a la tabla T.3 del anexo V (Propiedades termodinámicas del vapor de agua saturado). Al valor de la temperatura de saturación se le ha sumado el incremento de temperatura por el contenido en sacarosa. Esta elevación del punto de ebullición del agua viene dada en función de los grados Brix de la corriente, calculada a partir de la tabla T.4 del anexo V.

El valor de h<sub>Líquido</sub> de la tabla, es el calculado a partir del c<sub>p</sub> que se ha obtenido en este apartado.

Cálculos para el primer efecto:

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

De la ecuación (12) se despeja  $E_1$  y se obtiene:

$$E_1 = \frac{\lambda_W * W + C(h_C - h_{S1})}{H_{E1} - h_{S1}}$$

- Se conoce  $\lambda_W$ ,  $C$ ,  $H_{E1}$
- Se fija un valor aproximado de  $W$
- $h_C$  se puede calcular con la ecuación

$$h_C = C_P * (T - T_{Referencia})$$

Donde  $c_p$  es el calor específico de la corriente expresado en kcal/kg°C

Para los cálculos de entalpías se ha tomado como temperatura de referencia ( $T_{Referencia}$ ) 0°C.

El valor usado de calor específico es de la tabla T.1. del anexo V que relaciona grados Brix y calores específicos. Se tiene un Brix de 14,6 en la corriente de jugo diluido que entra en el primer efecto (C), así que el valor de  $C_P$  es igual a 0,91.

La composición de la corriente  $S_1$  no se conoce, por lo que se desconoce el valor del calor específico.

Para realizar el cálculo se ha supuesto un valor de  $C_P$  para la corriente  $S_1$ , luego se ha calculado el caudal másico de  $E_1$ ,  $S_1$  y las composiciones de  $S_1$ .

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Para el cálculo de  $S_1$ , se despeja de la ecuación (11)

$$S_1 = C - E_1$$

Con la ecuación (12) y (13) se calcula la composición de sacarosa y no-sacarosa de la corriente  $S_1$ . Con el valor de grado Brix calculado se obtendrá un nuevo valor de  $c_p$  con la tabla T.1.del anexo V. Se realizarán de nuevo los cálculos con el nuevo  $c_p$ . Repetimos este proceso hasta que el  $c_p$  calculado sea igual al anterior. Realizamos estos cálculos para los efectos II, III, IV y V.

Ahora se conoce el caudal másico, composición y temperatura de la meladura. Con este proceso se busca eliminar el agua para alcanzar una meladura cuya composición oscile alrededor de 58 -62 % de sólidos según (ingenio Pichichí, pág.web). Si el valor calculado no se encuentra dentro de este intervalo, se realizan de nuevo los cálculos con un nuevo valor de  $W$ . Así que, se variará el valor de  $W$  hasta que obtengamos el Brix deseado.

W (Tm/h)	Brix
60	177,2%
50	64,3%
40	39,26%
45	48,7%
47	53,9%
49	60,4%

Se usará un caudal de vapor de escape de 49 Tm/h. Con este valor los caudales másicos y composiciones que se obtienen son los siguientes:

Primer efecto:

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Puesto que inicialmente se tiene una disolución azucarada de baja concentración el valor que se tomará de  $c_p$  inicial será el del agua  $1\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$

$E_1(\text{kg/h})$	$S_1(\text{kg/h})$	Composición de azúcar ( $S_1$ )	Composición de no azúcares ( $S_1$ )	Brix	$c_p(\text{kcal/kg}^\circ\text{C})$
32606	249123	0,131	0,034	0,165	0,9
37978	243751	0,134	0,035	0,169	0,9

Segundo efecto:

Como se puede observar en la tabla T.1. del anexo V los grados Brix tienen una relación inversamente proporcional con el  $c_p$ . Así que, a medida que se va concentrando la corriente en los distintos efectos el valor de  $c_p$  disminuirá. Por tanto, se tomará como valor inicial de  $c_p$  para la iteración el obtenido en el efecto anterior  $0,90\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ , disminuyendo así el número de operaciones.

$E_2(\text{kg/h})$	$S_2(\text{kg/h})$	Composición de azúcar ( $S_2$ )	Composición de no azúcares ( $S_2$ )	Brix	$c_p(\text{kcal/kg}^\circ\text{C})$
39845	203905	0,160	0,041	0,202	0,88
40660	203091	0,161	0,042	0,202	0,88

Tercer efecto:

Se realiza el mismo proceso anterior. Por lo que se tiene un valor inicial de  $c_p$  de  $0,88\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ .

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

$E_3(\text{kg/h})$	$S_3(\text{kg/h})$	Composición de azúcar ( $S_3$ )	Composición de no azúcares ( $S_3$ )	Brix	$c_P(\text{kcal/kg}^\circ\text{C})$
42358	160732	0,203	0,052	0,256	0,85
43228	159862	0,204	0,053	0,257	0,85

Cuarto efecto:

$$c_{P(\text{inicial})} = 0,85$$

$E_4(\text{kg/h})$	$S_4(\text{kg/h})$	Composición de azúcar ( $S_4$ )	Composición de no azúcares ( $S_4$ )	Brix	$c_P(\text{kcal/kg}^\circ\text{C})$
44145	115717	0,282	0,073	0,355	0,8
45071	114791	0,285	0,074	0,358	0,795
45163	114699	0,285	0,074	0,359	0,795

Quinto efecto:

$$c_{P(\text{inicial})} = 0,795\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$E_5(\text{kg/h})$	$M(\text{kg/h})$	Composición de azúcar ( $S_5$ )	Composición de no azúcares ( $S_5$ )	Brix	$c_P(\text{kcal/kg}^\circ\text{C})$
45391	69400	0,471	0,122	0,593	0,655
46641	68150	0,479	0,124	0,603	0,65
46686	68105	0,480	0,124	0,604	0,65

Se tienen todos los datos para calcular la cantidad de vapor que se ha evaporado en los 5 efectos:

- Balance global:  $C = M + V$  (10)

$$V = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5$$

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

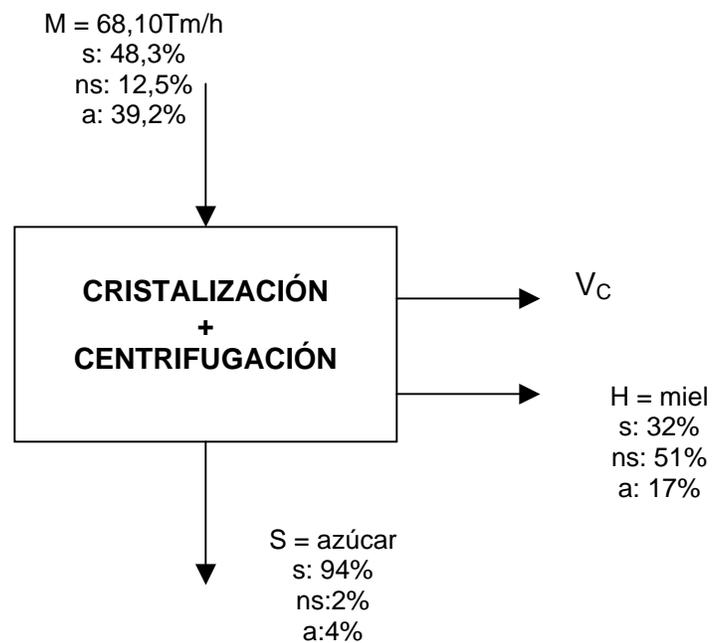
Sustituyendo por los valores numéricos:

$$(10) \quad 281,67 = 68,10 + V$$

$$V = 213,57 \text{ Tm/h de agua condensada}$$

### 1.7.4. CRISTALIZACIÓN

#### 1.7.4.A. BALANCE DE MATERIA



Se tienen tres incógnitas y se pueden plantear tres ecuaciones linealmente independientes, puesto que hay tres componentes.

- Balance global:  $M = V_C + H + S$  (31)

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

- Balance sacarosa:

$$(X_S)_M * M = (X_S)_H * H + (X_S)_S * S \quad (32)$$

- Balance no-sacarosa:

$$(X_{NS})_M * M = (X_{NS})_H * H + (X_{NS})_S * S \quad (33)$$

Sustituyendo en la ecuación los valores numéricos:

$$(31) \quad 68,10 = V_C + H + S$$

$$(32) \quad 0,483 * 68,10 = 0,32 * H + 0,94 * S$$

$$(33) \quad 0,125 * 68,10 = 0,51 * H + 0,02 * S$$

Se despeja la ecuación (33):

$$\mathbf{H = 15,5Tm/h \text{ de miel}}$$

Con este valor en la ecuación (32) obtenemos:

$$\mathbf{S = 30,25Tm/h \text{ de azúcar}}$$

De la ecuación (31):

$$\mathbf{V_C = 22,35Tm/h \text{ de vapor}}$$

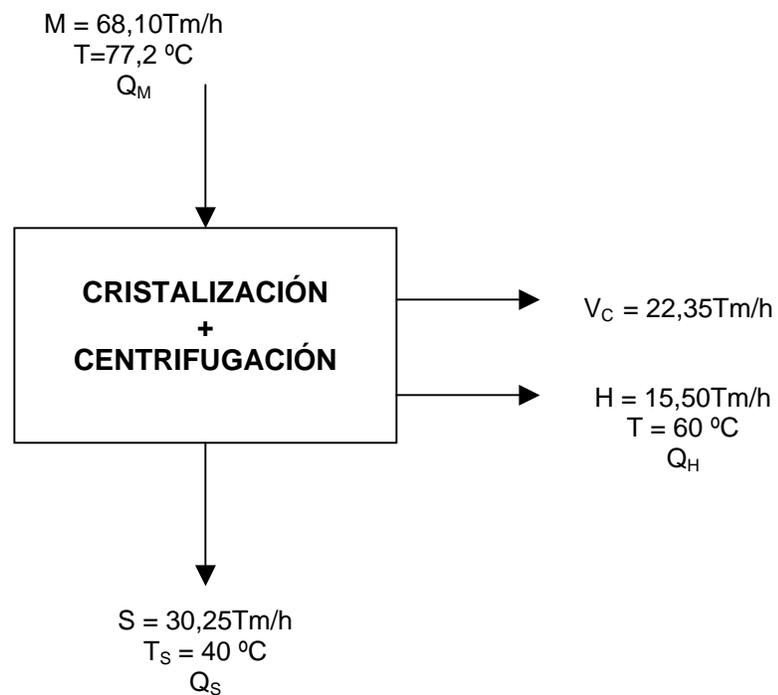
Se producirán unas pérdidas de azúcar en las mieles respecto del que entra en la alimentación de:

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

$$\frac{H^*(x_s)_H}{F^*(x_s)_F} = \frac{15,50 * 0,32}{300 * 0,13} = \frac{4,96}{39} = 12,7\%$$

### 1.7.4.B. BALANCE DE ENERGÍA



-Calor cedido por la meladura ( $Q_M$ )

El valor de  $c_p$  será el correspondiente en la tabla T.1. del anexo V para un Brix de 60,8.

$$(5) \quad Q_M = 68.100 \text{ kg/h} * 0,65 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (77,2 - 0)^\circ\text{C} = 3.418.383,7 \text{ kcal/h}$$

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

-Calor evacuado por la miel ( $Q_H$ )

Sale a 60 °C, dato aportado por la bibliografía (ingenio Pichichí, pág.web), con un valor de  $c_p$  de 0,6 kcal/kg°C, según la tabla T.1. del anexo V.

$$(5) Q_H = 15.500\text{kg/h} * 0,6\text{kcal/kg}^\circ\text{C} * (60 - 0)^\circ\text{C} = 558.000\text{kcal/h}$$

-Calor evacuado por el azúcar ( $Q_S$ )

Al igual que en el caso de la corriente de alimentación (F) el valor de  $c_p$  se ha aproximado al de un alimento de la tabla T.2. del anexo V de composición similar en agua, azúcar de arce que contiene un porcentaje de un 5% de agua, ya que como se puede comprobar en la tabla guarda una relación directa con el valor de  $c_p$ . Al aumentar el porcentaje en agua aumenta el valor de  $c_p$ . El azúcar sale a 40°C (ingenio Pichichí, pág.web).

$$(5) Q_S = 30.250\text{kg/h} * 0,24 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (40-0) = 292.081,9\text{kcal/h}$$

-Calor evacuado por el vapor ( $Q_{VC}$ )

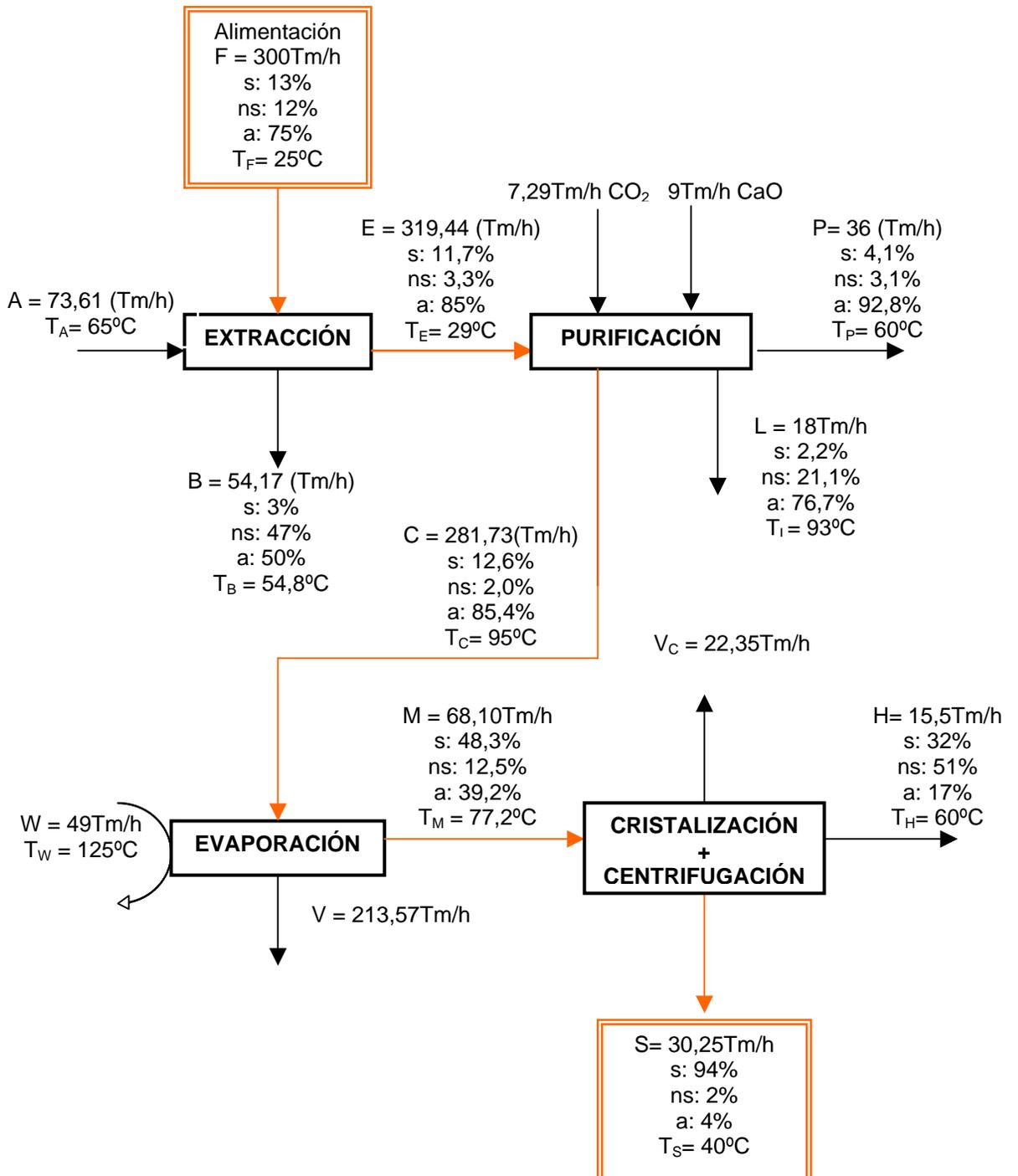
(33) Balance global de energía para la etapa de cristalización

$$Q_M = Q_H + Q_S + Q_{VC}$$

$$Q_{VC} = 2.568.301,8\text{kcal/h}$$

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Después de realizar los balances a las unidades, se sustituyen los valores obtenidos en el diagrama realizado en el apartado 1.7. BALANCES. El diagrama queda de la siguiente forma:



## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### 2. SISTEMA DE EXTRACCIÓN

#### 2.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO

##### 2.1.1. EQUIPOS PARA EL PRENSADO

Existen diversos métodos para exprimir el líquido de una matriz sólido-líquido. La clasificación que nos da la bibliografía (Brennan, 1998) es la siguiente:

#### 1. Prensado hidráulico

Tres son los tipos de prensas hidráulicas corrientemente utilizadas.

a. Las prensas de platos. La pulpa a exprimir se coloca en el interior de filtros de saco, de algodón, o de telas fuertes, que se sitúan entre platos de presión acanalados, montados en pilas verticales, y se aplica presión hidráulica ( $31-62 \text{ MN m}^{-2}$ ) entre los extremos de la pila. Con ello, la pulpa se ve sometido a fuerzas de compresión relativamente delgadas. Si las capas son delgadas, permiten un drenaje relativamente rápido del líquido, entre los intersticios de la torta y a través de las caras de los planos acanalados, hasta un recipiente colector común.

La carga, compresión, apertura y limpieza de estas unidades discontinuas requiere mucha mano de obra. Para lograr una extracción máxima a menor costo, se ha desarrollado prensas capaces de ejercer presiones crecientes en diferentes sectores. En estas unidades, el grupo de platos se desplaza bajo una serie de mandriles de presión, cada uno de los cuales ejerce una presión mayor que el anterior. La presión se debe

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

augmentar de forma gradual, porque los cambios rápidos pueden disminuir bruscamente los volúmenes vacíos del lecho, con el consiguiente descenso de la velocidad de drenaje.

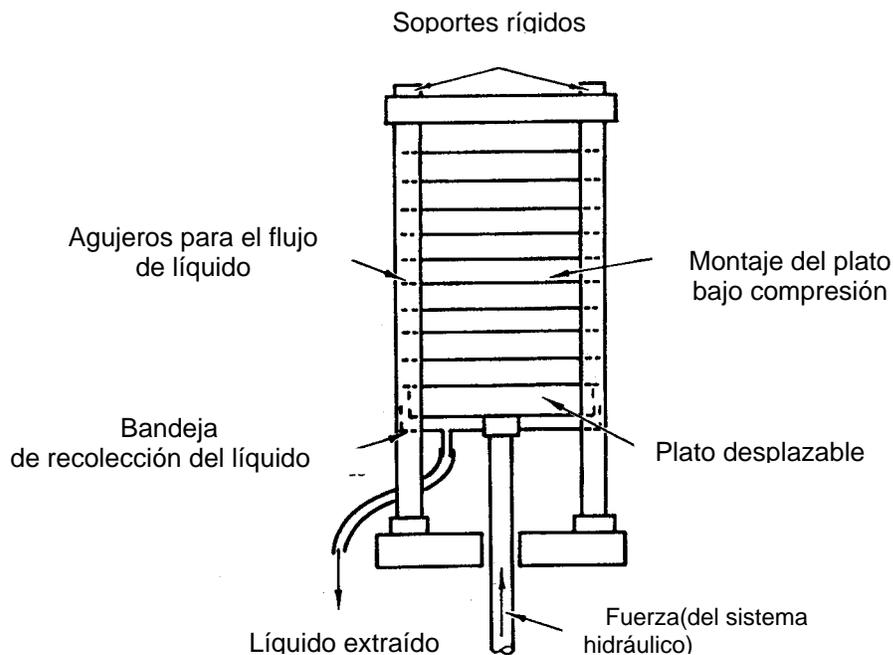


Figura F.7. Dibujo de una prensa de platos

b. Las prensas de jaula. Están compuestas por un cilindro finamente perforado, provisto de un plato de presión interno, que se puede desplazar hacia adelante y hacia atrás, hidráulicamente. El diseño del sistema permite un control riguroso de la presión ejercida sobre la pulpa cargada en el interior del cilindro. El líquido exprimido al comprimir la torta pasa a través de las perforaciones. Unos hilos de plástico que conectan el plato de presión y el extremo ciego del cilindro, actúan de canales de drenaje, mejorando con ello la velocidad de extracción. Las prensas más

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

antiguas tenían cadenas o cuerdas, en lugar de hilos de plástico. En algunas de estas prensas, el plato de presión se quita después de cierta compresión inicial. Al tensarse, los hilos aflojan la torta. Combinando esta acción con la de rotación del cilindro, se provoca la ruptura de la torta, con lo que es posible volver a comprimida. Normalmente, se efectúan varias compresiones sobre una misma carga.

c. Prensas de membrana elástica. Con este tipo de unidades, conocidas también como prensas tanque, una membrana elástica fija, que lo recorre longitudinalmente, divide el volumen de un tanque cilíndrico cerrado en dos mitades que, cuando está vacío, son aproximadamente iguales. La carga sólido-líquida se introduce, a través de un orificio de alimentación, en una de las dos mitades, la zona de prensado. A medida que se va llenando, la membrana se dilata y deforma, llegando a ocupar la zona de prensado la casi total del volumen del tanque. Al otro lado de la membrana, se introduce aire a presión, para comprimir neumáticamente la carga. El zumo exprimido fluye hacia el correspondiente orificio de descarga, situado en una pared interna de la zona de prensado, y es transferido, por medio de bombas, a los tanques de almacenamiento. Tras el prensado, la torta se desprende rotando el tanque, acción que pone en marcha también la descarga de residuo sólido. El ciclo, automáticamente controlado, dura 1,5 h y logra rendimientos máximos de zumos de alta calidad, con un contenido mínimo de sólidos insolubles, debido a que en él se ejerce una presión reducida, pero continua, sobre la membrana.

### **2. Prensas continuas**

Para reducir la mano de obra necesaria en el funcionamiento de las

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

prensas hidráulicas, se han desarrollado prensas continuas.

a. Prensas de rodillos o molinos trituradores. En estas unidades, se aplica una fuerza de compresión, haciendo pasar la pulpa entre dos rodillos pesados. Se han desarrollado variantes de este método que pretenden mejorar la separación de líquidos y sólidos. Por ejemplo, los rodillos de trituración, del tipo utilizado en la extracción del jugo de la caña de azúcar están provistos de ranuras (ranuras de Menchaert), en la superficie de los rodillos, para dirigir el drenaje. Estas ranuras reducen la rehumectación, al orientar el jugo, alejándolo de la torta comprimida.

La alimentación con pulpa tiene lugar entre los rodillos, según puede verse en la figura. El líquido exprimido escurre de la pulpa y fluye hacia una bandeja colectora. Los sólidos pasan al tercer rodillo, el de descarga, de donde los desprenden una cuchilla fija. En otros tipos de prensas de rodillos, se utilizan tambores de diseño similar a los filtros de tambor. La superficie del tambor está perforada y recubierta de un filtro de tela. Los rodillos de escurrido presionan contra la superficie del tambor. La torta se comprime entre el tambor y los rodillos; se fuerza así al líquido a pasar a través del filtro de tela al interior del tambor, en el que se puede mantener una presión reducida, para facilitar el flujo. La torta se desprende por medio de cuchillas fijas o descarga en cadena.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

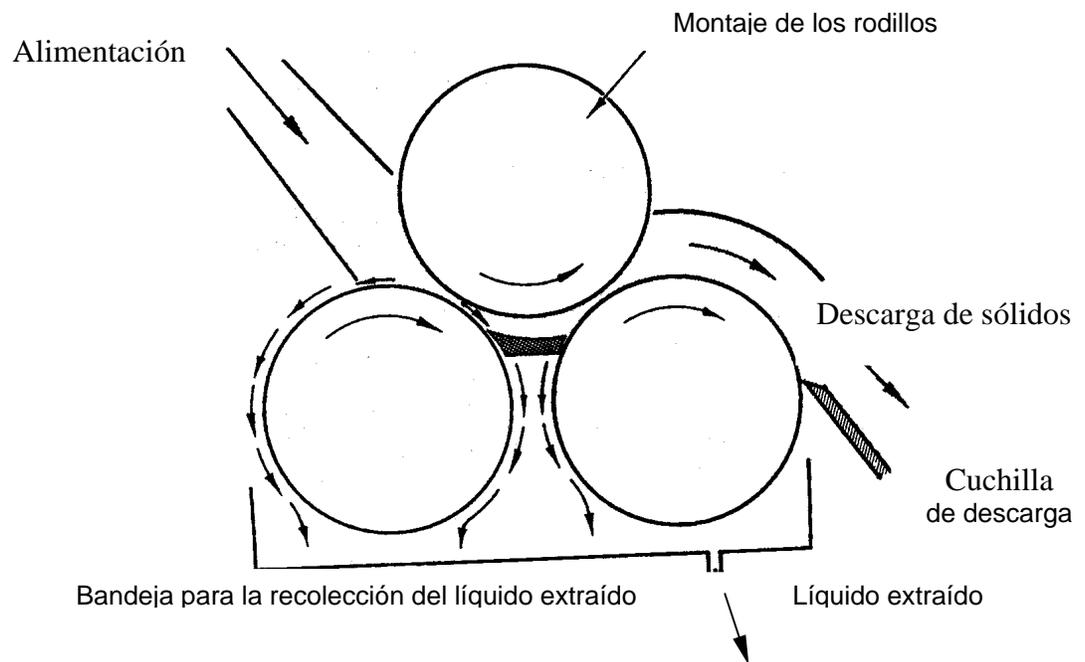


Figura F.8. Dibujo prensa de rodillos

b. Prensas de tornillo. En esta unidad que, en la industria oleícola, se conoce como el «extractor», la pulpa de frutas o la papilla de semillas oleaginosas alimentan un cilindro de paredes gruesas, en cuyo interior se alberga un tornillo sinfín, pulimentado, que gira con un paso de rosca gradualmente decreciente. De esta forma, los productos atrapados entre el tornillo y la parte inferior del cuerpo del cilindro pasan a través de un área de flujo cada vez menor, sufriendo consecuentemente una fuerza de compresión cada vez mayor. Las paredes del cilindro están provistas de perforaciones o ranuras muy pequeñas, recubiertas por rejillas ajustables, a través de las cuales fluye el líquido exprimido de la torta. La torta abandona la unidad por medio de una compuerta de descarga ajustable. El consumo de energía de estos aparatos es grande. La energía se disipa en la fricción, pudiendo elevar considerablemente la temperatura

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

de los productos. Para reducir el riesgo de degradación térmica de los productos sensibles al calor, se utilizan tornillos huecos, refrigerados con agua. El grado de compresión alcanzado se puede variar, ajustando el área de la compuerta de descarga y modificando la velocidad de rotación del tornillo. La velocidad del eje es de 5-500 r.p.m., según la aplicación: la presión del cilindro puede llegar a 138-276 MN m<sup>-2</sup>. Estas piezas consiguen buenas separaciones y tienen capacidades de hasta 200 toneladas por día (8.500 kg h<sup>-1</sup>); dejan una torta residual con 4-5% de líquido. En ciertas frutas, puede ser un problema el arrastre de partículas finas junto con el líquido exprimido. En estos casos, puede ser necesaria la posterior clarificación, por centrifugación o filtración.

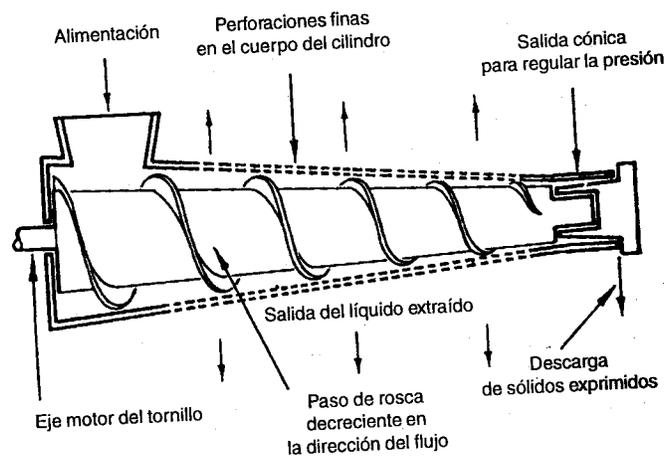


Figura F.9. Dibujo prensa de tornillo

c. Prensas de cinta sinfín. Este tipo de prensa continua se parece mucho al filtro de cinta sinfín, que ha ido adquiriendo un uso creciente durante los últimos años en la filtración-compresión. Las unidades de

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

«cintas gemelas» están constituidas por dos cintas que se mueven paralelamente y en el mismo sentido, dejando un espacio reducido entre ellas. La cinta prensa se sitúa encima de la cinta filtro; la dirección y la velocidad de las cintas están controladas por rodillos impulsores y de retorno. La cinta filtro está sostenida por cilindros situados bajo ella; otros cilindros de presión, similares, situados sobre la cinta prensa, impermeable, la mantienen a la distancia conveniente de la cinta filtro. La corriente de alimentación, constituida por sólidos húmedos, llega a la cara superior de la cinta filtro e ingresa en el estrecho espacio que queda entre las cintas gemelas. La compresión generada exprime el líquido, que atraviesa la cinta filtro y cae sobre un canal colector. Los sólidos escurridos pueden ser desprendidos por una cuchilla fija, en el extremo de descarga de la cinta. En las prensas de cinta única, la matriz sólido-líquida alimenta una cinta hueca, que es comprimida por tambores perforados impulsores y de retorno, que separan el líquido exprimido.

### **2.1.1.A. SELECCIÓN**

El modo de operación será continuo puesto que requiere menor mano de obra y mayor rapidez.

De entre las prensas continuas se va a utilizar la prensa de rodillos ya que son relativamente económicos, no consumen tanta energía, como es el caso de las prensas de tornillo; no eleva de forma considerable la temperatura de los productos y además no requiere mucho mantenimiento. Mientras que, las prensas de tornillo consumen gran cantidad de energía. Además, parte de la energía se disipa en forma de calor por la fricción, pudiendo elevar considerablemente la temperatura de los productos y no podemos superar, según la bibliografía (M.E.Rodríguez,

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

1990) los 135°C porque se produciría la caramelización del azúcar del jugo. Por otro lado, las prensas de cinta sinfín son de mantenimiento y limpieza difíciles y muy costosas (Brennan, Butters, Cowell y Litley, 1998).

### 2.1.1.A. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ETAPAS

El esquema consistiría en una serie de prensas de rodillo, que representarían cada una de ellas una etapa de equilibrio. Por lo que, para conocer el número de prensas, es necesario calcular el número de etapas necesarias para alcanzar la separación objeto del proyecto.

En la última prensa, junto con el prensado se realiza una imbibición, se agrega agua al bagazo antes de su paso por la prensa final, aumentando así la extracción de sacarosa. Paralelo a la imbibición se realiza una maceración. Ésta consiste en remojar el bagazo con el jugo diluido, producto del prensado posterior. Excepto en la primera prensa, que se realiza un prensado en seco. Así que, en un tamden de 4 molinos el esquema sería el siguiente:

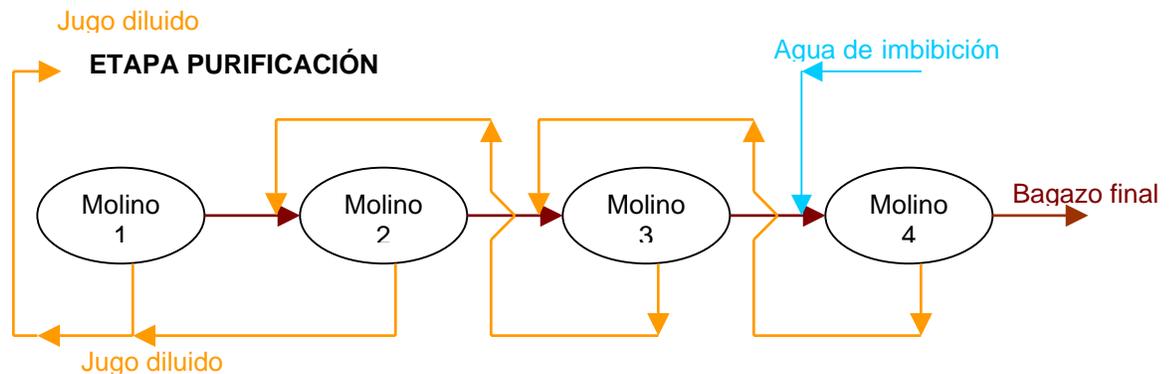


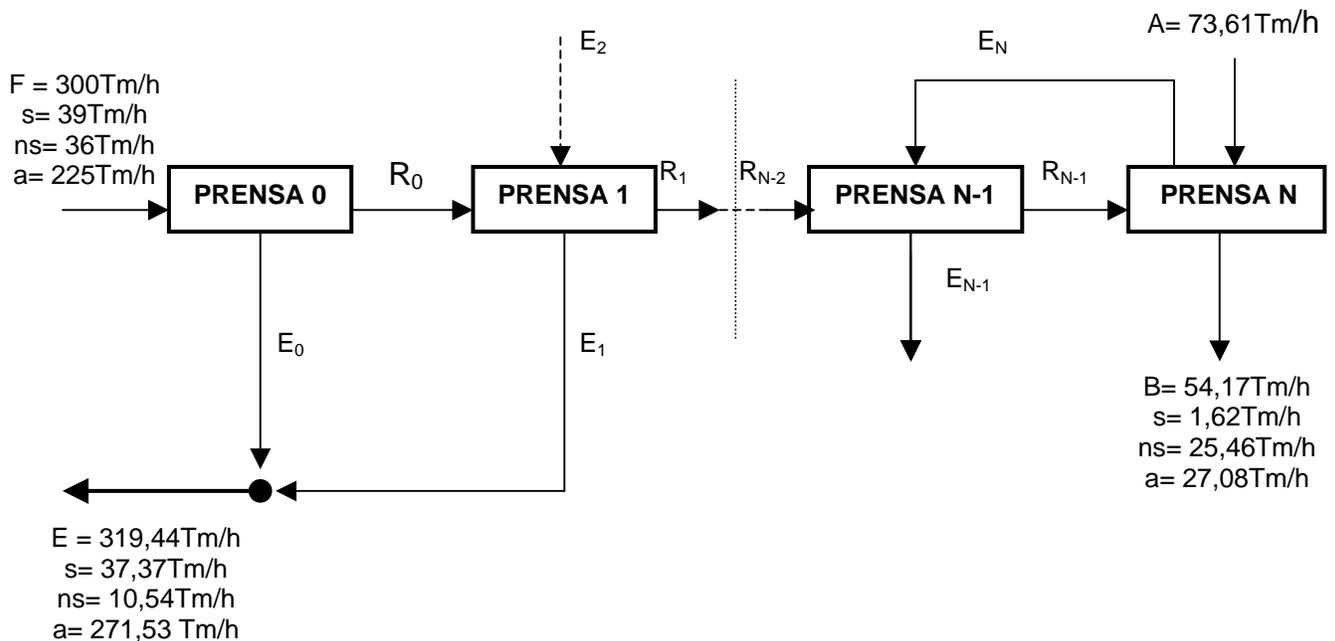
Figura F.3. Diagrama etapa de extracción

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Se realizaría imbbición en el 4º molino, maceración en el 2º y 3º y un prensado en seco en el 1º.

Así pues, en cada prensa además del prensado, se realizará una de las etapas de extracción sólido-líquido a contracorriente. Cada prensa será una de las etapas de equilibrio de la extracción a contracorriente en etapas múltiples y los cálculos se realizarán para conocer el número de etapas de equilibrio para conseguir la separación necesaria.

En la figura F.10. se puede observar el diagrama de la unidad de extracción. Los valores de las variables  $F$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $E$  son los obtenidos en el apartado 1.7.1.A. donde se realizó el balance de materia a la unidad de extracción.



Donde:

$F$ = Alimentación, caña de azúcar

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

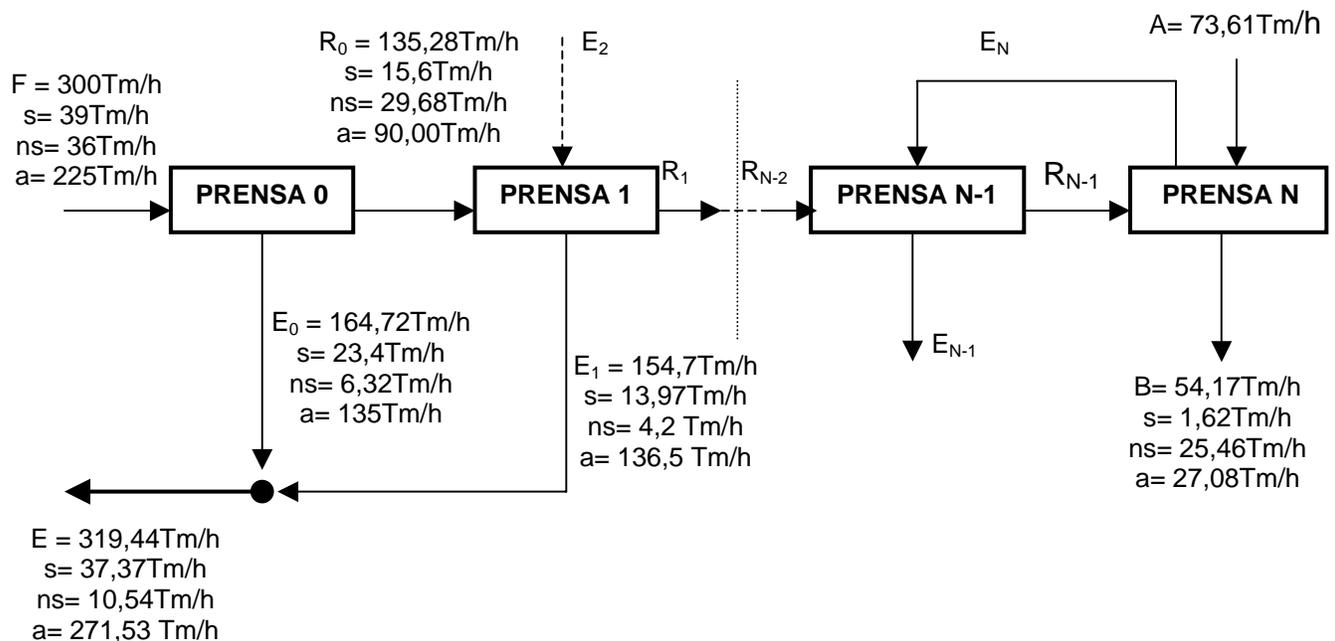
E= Extracto de la unidad de extracción

A= Agua de imbibición

B= Bagazo

Figura F.10. Diagrama de la unidad de extracción para un tamden de N molinos

La caña al pasar por el primer molino, después de haber sido preparada por las picadoras, pierde aproximadamente 60 % de su peso en jugo según la bibliografía (Shri Bhausahab Bapurao, 2000). Así que, el diagrama de la figura F.10. quedará de la siguiente forma.

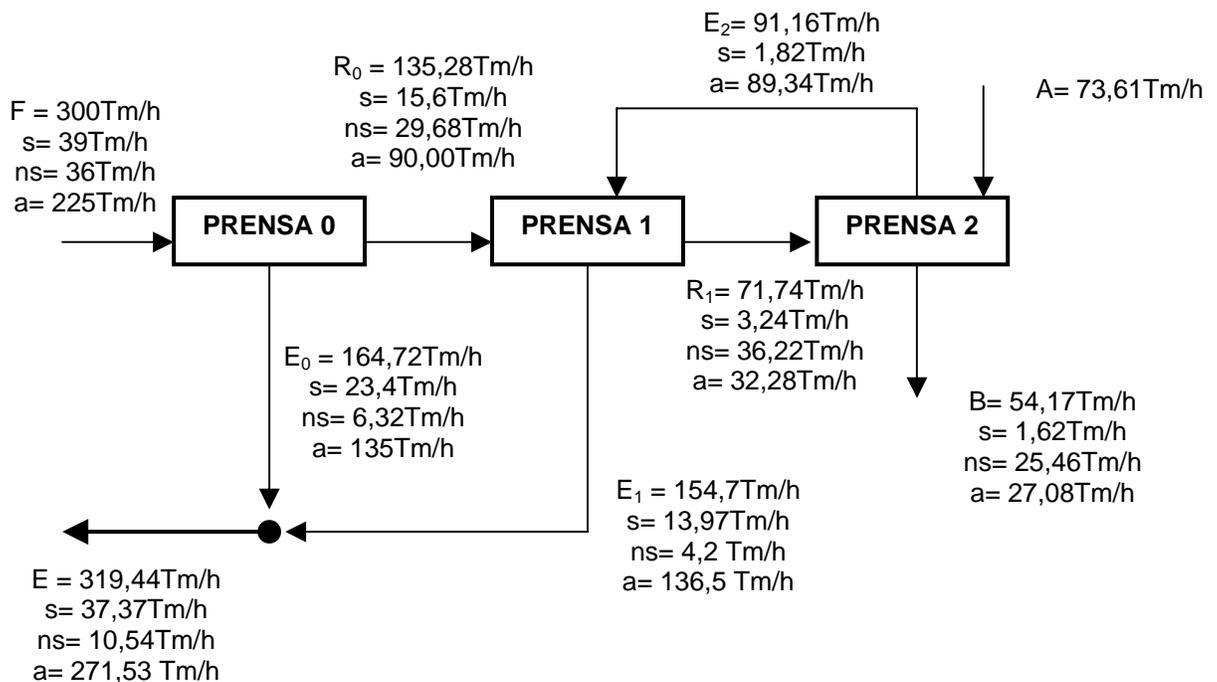


Para el cálculo del número de prensas se va a considerar cada prensado junto con la imbibición o maceración, dependiendo del caso,

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

como una etapa de equilibrio de la extracción a contracorriente en etapas múltiples. Donde  $R_0$  será la corriente de alimentación y  $E_1$  el extracto de la primera prensa, como se puede observar en el diagrama anterior, ya que en la primera prensa sólo se realiza un prensado.

El cálculo se realiza a través de un diagrama triangular (Anexo I), y se obtiene como resultado que necesitaremos dos prensas de rodillo, además de la primera. En total, se necesitarán tres prensas para lograr el grado de extracción determinado en el proyecto. El diagrama de la figura F.10. quedará



## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS MOLINOS**

El sistema de prensado de caña de azúcar, obtenido de la bibliografía (Shri Bhausahab Bapurao, 2000), consta de módulos de molinos trituradores o prensas de rodillos de tres 3 mazas, dispuestos en tándem (serie).

El molino triturador de caña de azúcar incluye un módulo de molinos de tres mazas, compuesto por una maza superior, 1, una maza alimentadora, 2, y una maza de descarga, 3. La alimentación con pulpa tiene lugar entre los rodillos. Estas mazas están dotadas de canales periféricos, y una de estas mazas es del tipo lotus, es decir, las mazas que poseen orificios radiales colocados en la parte periférica y conectados a orificios axiales. Estos canales y orificios que poseen las mazas tienen la función de dirigir el drenaje. Estas ranuras reducen la rehumectación, al orientar el jugo, alejándolo de la torta comprimida. La maza superior es accionada con presión hidráulica para mantener la compresión para la extracción del jugo. El líquido exprimido escurre de la pulpa y fluye hacia una bandeja colectora. Los sólidos pasan al tercer rodillo, el de descarga, de donde los desprenden una cuchilla fija.

Para aumentar la capacidad de alimentación de caña o del bagazo, según el presente equipo, en el primer molino se dispone de una maza alimentador dentada, 7, como se muestra en la Fig. 11, además de las mazas trituradoras de la caña, principales, o sea, la maza superior, 1, y la maza alimentadora, 2. Se presenta una gama de los mencionados molinos trituradores dispuestos en serie (tándem), formando el molino triturador.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

El colchón de caña preparada es suministrado a la misma velocidad periférica de las mazas de los molinos trituradores (1, 2) sin que haya cambios sustanciales de dirección, y separando el jugo superficial e incluyendo un transportador a presión para la extracción del jugo diluido para separar el jugo extra que no ha sido absorbido, así como extraer el jugo absorbido del bagacillo.

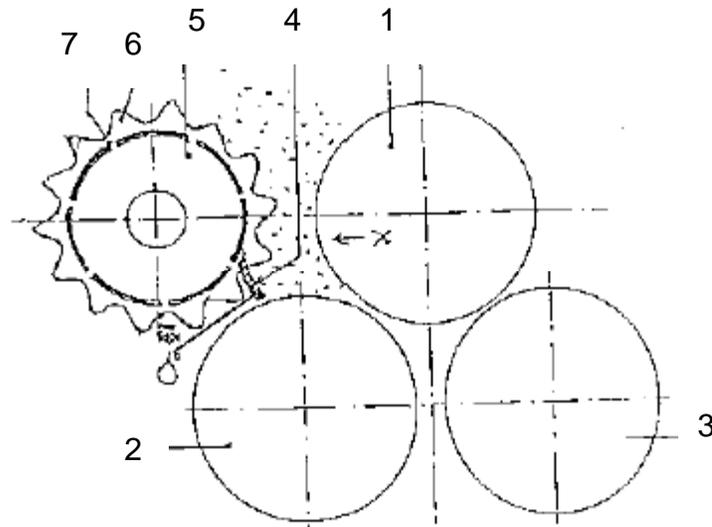


Figura F.11. Perfil del primer molino

A la maza alimentadora dentada adicional se le ha ajustado un raspador con deflector corto, 4, para raspar la caña adherida a la superficie de la maza alimentadora dentada y desviarla hacia el módulo del molino triturador en forma compacta. Simultáneamente, el raspador, 4, sirve como medio para la extracción del jugo diluido y elimina el jugo libre de la caña preparada a través de la abertura entre el raspador, 4, y la maza alimentadora dentada, 7.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

La maza alimentadora dentada, 7, está perforada, 5. La maza está provista de dientes, 6, que se proyectan fuera de su caja. Esta caja posee orificios, ranuras o aberturas radiales entre los dientes, 6. Los dientes se disponen en zig - zag.

Los orificios radiales, 5, sirven como medios para la extracción del jugo y son capaces de extraer el jugo libre de la caña o el bagazo mientras la maza alimentadora dentada y perforada suministra la caña o el bagazo, compactándolos, hasta el módulo del molino triturador.

Se puede también ajustar un raspador a la maza alimentadora dentada y perforada para raspar la caña o el bagazo adheridos a la superficie de la maza y desviarlos hacia el módulo de los molinos en forma compacta. Este sistema permite extraer, al mismo tiempo, el jugo libre de la caña o el bagazo que se están suministrando al trapiche, a través de una abertura colocada entre el raspador y la punta, base y laterales de los dientes separándose de esta forma el jugo libre de la caña o bagazo a través de los orificios radiales, así como a través de la abertura.

La superficie del raspador es dura, preferiblemente, y revestida con acero inoxidable para mejor funcionalidad.

La maza alimentadora es accionada preferiblemente por la maza superior, 1, con la ayuda de conocidos medios de transmisión, por ejemplo, tren de engranajes o accionamiento de rueda y cadena, o si fuera necesario, puede ser accionada de forma individual.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Para el ajuste de los raspadores se deja preferiblemente una separación adecuada entre éste y la caja de la maza, para que funcione, además, como deflector corto.

El primer molino es un robusto, con un máximo de presión y del que pide extraiga el máximo (aproximadamente un 60% de extracción en seco). A partir de éste, el proceso continúa en forma similar hasta la última unidad de molienda; es decir, antes de cada molino se macera con un jugo más pobre proveniente de la extracción anterior.

Delante del último molino se realiza la inhibición con agua caliente recibiendo este bagazo una compresión fuerte con vistas a lograr una extracción final de 95% y entregar a la caldera un bagazo con una humedad de 50% y un bajo contenido en sacarosa.

Para transportar el sólido triturado de un molino a otro se utilizan cintas transportadoras. El líquido exprimido escurre de la pulpa y fluye hacia un tanque colector, parte del molino.

### **-Material para el molino**

Basándose en la experiencia de la industrial, en la bibliografía (John H. Perry, 1966) se recomienda el uso del bronce o un acero inoxidable. Así evitaremos en gran medida el rápido deterioro del equipo debido a la oxidación. De entre los distintos tipos de acero inoxidable que podemos encontrar en el mercado, se ha elegido el de menor precio, el A.I.S.I.304

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **3. EVAPORADOR**

#### **3.1. SELECCIÓN DEL EVAPORADOR**

##### **3.1.1. EQUIPOS DE EVAPORACIÓN**

La evaporación consiste en la adición de calor a una solución para evaporar el disolvente que, por lo general, es agua. Usualmente, el calor es suministrado por condensación de un vapor (como vapor de agua) en contacto con una superficie metálica, con el líquido del otro lado de dicha superficie.

El tipo de equipo usado depende tanto de la configuración de la superficie para la transferencia de calor como de los medios utilizados para lograr la agitación o circulación del líquido.

Los evaporadores pueden operar bien como unidades con un paso a través o con circulación. En la operación con un paso a través, el líquido de alimentación pasa una sola vez a través de los tubos, desprende el vapor y sale de la unidad como disolución concentrada. Toda la evaporación tiene lugar en un solo paso. La relación de evaporación a alimentación está limitada en una unidad de un solo paso, por tanto, estos evaporadores se adaptan bien a la operación en múltiple efecto, donde la concentración total puede conseguirse en varios efectos. Los evaporadores de película agitada operan siempre con un solo paso a través; los evaporadores de tubos verticales de tubos largos y de tubos cortos pueden también operar en esta forma.

Los evaporadores con un solo paso a través son especialmente útiles para materiales sensibles al calor. Operando a vacío elevado se puede mantener baja la temperatura del líquido. Con un solo paso rápido a

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

través de los tubos la disolución concentrada está a la temperatura de evaporación, pero solamente durante un corto período de tiempo, y puede enfriarse muy rápidamente en cuanto sale del evaporador.

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

La disolución concentrada procedente de un evaporador con circulación se retira de la masa de líquido. Por tanto, ésta ha de tener la máxima concentración.

Puesto que el líquido que entra en los tubos puede contener varias partes de disolución concentrada por cada parte de alimentación, su concentración, densidad, viscosidad y temperatura de ebullición son próximas al valor máximo. En consecuencia, el coeficiente de transmisión de calor tiende a ser bajo.

Los evaporadores de circulación no son muy adecuados para concentrar líquidos sensibles al calor. Con un vacío razonablemente bueno la temperatura de la masa de líquido puede no ser destructiva, pero el líquido está repetidamente expuesto al contacto con los tubos calientes; por consiguiente, algo de líquido puede calentarse a una temperatura excesivamente elevada. Aunque el tiempo de residencia del líquido en la zona de calentamiento puede ser corto, parte del líquido está retenido en

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

el evaporador un tiempo considerable, y el calentamiento prolongado de una pequeña parte de un material sensible al calor, tal como un producto alimenticio, puede estropear todo el producto.

Sin embargo, los evaporadores de circulación pueden operar en un elevado intervalo de concentración entre la alimentación y la disolución concentrada utilizando una sola unidad, adaptándose bien a la evaporación en un solo efecto. Pueden operar indistintamente con circulación natural, con flujo a través de los tubos inducido por la diferencia de densidad, o con circulación forzada, promoviendo el flujo mediante una bomba. A continuación se analizan los tipos generales de evaporadores:

**1. Marmita abierta o artesa.** La forma más simple de un evaporador es una marmita abierta o artesa en la cual se hierve el líquido. El suministro de calor proviene de la condensación de vapor de agua en una chaqueta o en serpentines sumergidos en el líquido. En algunos casos, la marmita se calienta a fuego directo. Estos evaporadores son económicos y de operación simple, pero el desperdicio de calor es excesivo. En ciertos equipos se usan paletas o raspadores para agitar el líquido.

**2. Evaporador de tubos horizontales con circulación natural.** En la figura F.12.a. se muestra un evaporador de tubos horizontales con circulación natural. El banco horizontal de tubos de calentamiento es similar al banco de tubos de un intercambiador de calor. El vapor de agua entra a los tubos y se condensa; el condensado sale por el otro extremo de los tubos. La solución a ebullición está por fuera de ellos. El vapor se desprende de la superficie líquida; después, casi siempre se hace pasar por dispositivos de tipo deflector para impedir el arrastre de gotas de líquido y sale por la parte superior. Este equipo, relativamente económico,

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

puede utilizarse para líquidos no viscosos con altos coeficientes de transferencia de calor y para líquidos que no formen incrustaciones. Puesto que la circulación del líquido no es muy buena, son poco adecuados para materiales viscosos. En casi todos los casos, tanto este evaporador como los que se estudian después operan con régimen continuo, con alimentación a velocidad constante y salida de concentrado a velocidad constante.

**3. Evaporador vertical con circulación natural.** En este tipo de evaporador se usan tubos verticales en lugar de horizontales y el líquido esta dentro de los tubos, por lo que el vapor se condensa en el exterior. Debido a la ebullición y a la disminución de densidad, el líquido se eleva en los tubos por circulación natural, tal como se muestra en la figura F.12.b., y fluye hacia abajo a través de un espacio central abierto grande, o bajada. Esta circulación natural incrementa el coeficiente de transferencia de calor. No es útil con líquidos viscosos. Este equipo se llama con frecuencia **evaporador de tubos cortos**. Una variación de este modelo es el evaporador de canasta, que usa tubos verticales, pero el elemento de calentamiento se cuelga en el cuerpo, de tal manera que haya un espacio anular que sirva de bajada. El modelo de canasta difiere del evaporador vertical de circulación natural, pues éste tiene un espacio central en vez del anular como bajada.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

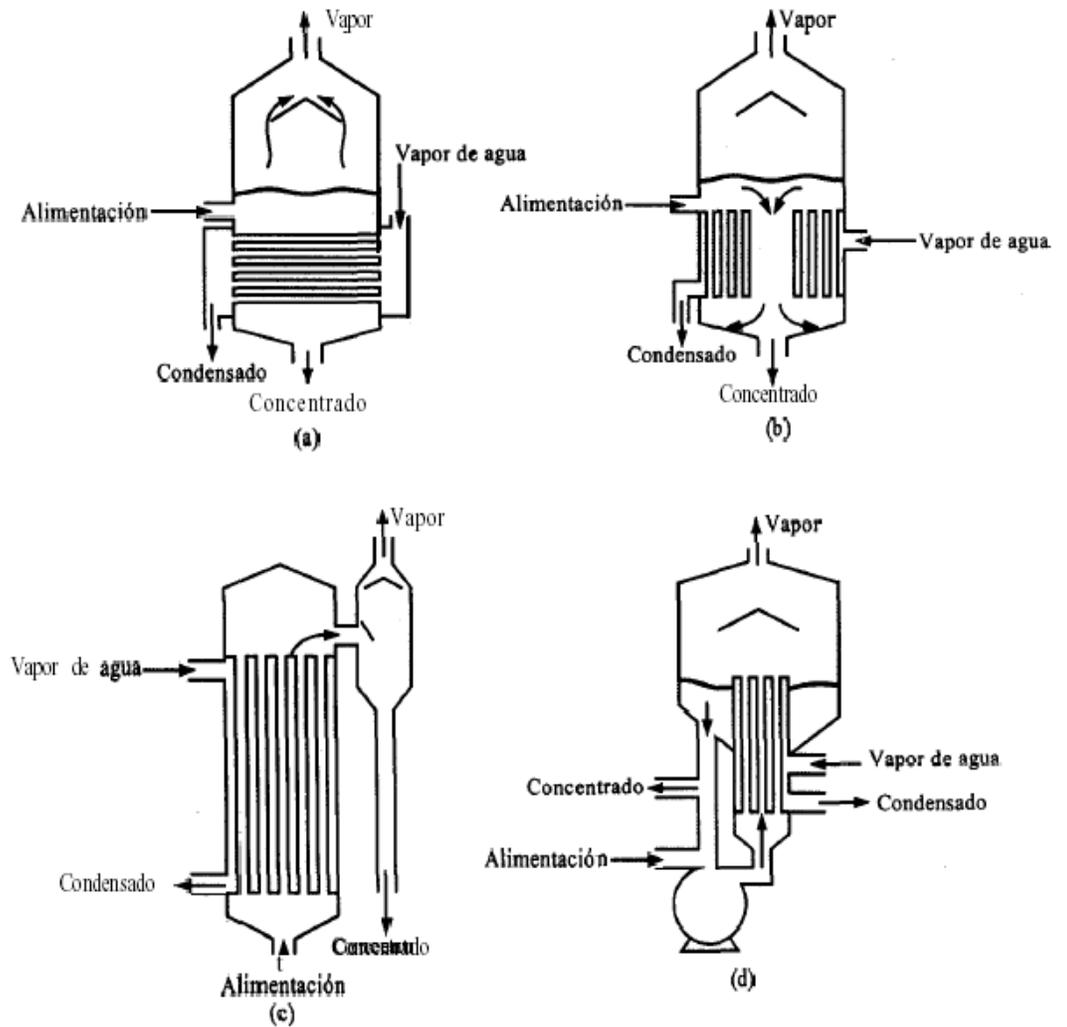


FIGURA F.12. Diferentes tipos de evaporadores: a) de tubos horizontales, b) de tubos verticales, c) de tubos largos verticales, d) de circulación forzada.

**4. Evaporador vertical de tubos largos.** Puesto que el coeficiente individual de transferencia de calor del lado del vapor es muy alto en comparación con el del lado del líquido que se evapora, es conveniente contar con velocidades altas para el líquido. En un evaporador de tipo

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

vertical con tubos largos como el de la figura F.12.c., el líquido está en el interior de los tubos. Estos miden de 3 a 10 m de alto, lo que ayuda a obtener velocidades de líquido muy altas, y de 2,5 a 5 cm de diámetro. Por lo general, el líquido pasa por los tubos una sola vez y no se recircula. Los tiempos de contacto suelen ser bastante breves en este modelo.

En algunos casos, como cuando la relación entre la velocidad de alimentación y la velocidad de evaporación es baja, puede emplearse recirculación natural del producto a través del evaporador, añadiendo una conexión de tubería entre la salida del concentrado y la línea de alimentación. Éste es un método muy común en la producción de leche condensada.

**5. Evaporador de caída de película.** Una variación del modelo de tubos largos es el evaporador de caída de película, en el cual el líquido se alimenta por la parte superior de los tubos y fluye por sus paredes en forma de película delgada. Por lo general, la separación de vapor y líquido se efectúa en el fondo. Este modelo se usa mucho para la concentración de materiales sensibles al calor, como jugo de naranja y otros zumos de frutas, debido a que el tiempo de retención es bastante bajo (entre 5 y 10 s) y el coeficiente de transferencia de calor es alto.

**6. Evaporador de circulación forzada.** El coeficiente de transferencia de calor de la película líquida puede aumentarse por bombeo provocando una circulación forzada del líquido en el interior de los tubos. Para esto se emplea el modelo de tubos verticales largos de la figura F.12.d. teniendo una tubería conectada a una bomba entre las líneas de salida del concentrado y la de alimentación. Sin embargo, los tubos de un evaporador de circulación forzada suelen ser más cortos que los tubos largos, tal como se ilustra en la figura F.12.d. Además, en otros casos se

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

usa un intercambiador de calor horizontal externo e independiente. Este modelo es muy útil para líquidos viscosos.

**7. Evaporador de película agitada.** La principal resistencia a la transferencia de calor en un evaporador corresponde al líquido. Por tanto, un método para aumentar la turbulencia de la película líquida y el coeficiente de transferencia de calor, consiste en la agitación mecánica de dicha película.

Esto se lleva a cabo en un evaporador de caída de película modificado, usando un solo tubo grande enchaquetado que contiene un agitador interno. El líquido penetra por la parte superior del tubo y a medida que fluye hacia abajo se dispersa en forma de película turbulenta por la acción de aspas de agitación vertical. La solución concentrada sale por el fondo y el vapor pasa por un separador para salir por la parte superior. Este tipo de evaporador es práctico para materiales muy viscosos, pues el coeficiente de transferencia de calor es mayor que en los modelos de circulación forzada. Se usa para materiales viscosos sensibles al calor como látex de caucho, gelatina, antibióticos y jugos de frutas. Sin embargo, tiene costo alto y capacidad baja.

**8. Evaporador solar de artesa abierta.** Un proceso muy antiguo pero que todavía se usa es la evaporación solar en artesas abiertas. El agua salina se introduce en artesas o bateas abiertas y de poca profundidad y se deja evaporar lentamente al sol hasta que cristalice.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **3.1.1.A. SELECCIÓN**

Para la concentración del jugo se ha seleccionado un evaporador de un solo paso, ya que estos evaporadores se adaptan bien a la operación en múltiple efecto. Además, son adecuados para materiales sensibles al calor como es nuestro caso, de acuerdo con la bibliografía (Warren L. Mc Cabe, Julian C. Smith, Peter Harriott, 1998). No podemos superar, según la bibliografía (M.E.Rodríguez, 1990) los 135°C porque se produciría la decoloración debido a la caramelización del azúcar del jugo. Por ello se opera a presiones bajas manteniendo así baja la temperatura del líquido. De entre los evaporadores que operan en un solo paso, como son los evaporadores de película agitada, los evaporadores de tubos verticales de tubos largos y de tubos cortos, se va a utilizar para esta planta los evaporadores verticales de tubos cortos.

Los evaporadores de película agitada se descartan por su elevado coste y el alto mantenimiento que requieren sus partes internas móviles. Los evaporadores de tubos horizontales aunque son relativamente económicos no se usarán ya que la circulación no es muy buena y ocupan mayor espacio que los verticales. (Christie J. Geankoplis, 1998)

De entre los evapores de tubos verticales se utilizarán los cortos, y en concreto el tipo canasta ya que es recomendado en la bibliografía (Christie J. Geankoplis, 1998), además, de ser el más extendido en la industria azucarera.

### **3.2. CÁLCULOS**

En el ANEXO IV se desarrollan los cálculos del área de los intercambiadores y el calor intercambiado.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

-Calor intercambiado en los evaporadores:

Nº efecto	T <sub>Cám. cond.</sub> (°C)	P <sub>Cám. cond.</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	λ(kcal/kg)	m(kg/h)	Q(kcal/h)
1	122,65	2,2	523,9	49.000	25.671.100
2	116,43	1,8	528,16	37.978,37	20.058.657,2
3	109,09	1,4	533,15	40.660,56	21.678.177
4	99,89	1,0	539,38	43.228,48	23316577,3
5	90,01	0,7	545,47	45.163,15	24635146,2

-Área de intercambio

Nº efecto	Q(kcal/h)	T <sub>L</sub> (°C)	U(kcal/(h)(m <sup>2</sup> )(K))	ΔT(°K)	A(m <sup>2</sup> )
1	25.671.100	116,43	3053,58	6,22	1351,59
2	20.058.657,2	109,09	2687,15	7,34	1016,98
3	21.678.177	99,89	2076,44	9,2	1134,79
4	23316577,3	90,01	1710,01	9,79	1392,79
5	24635146,2	77,22	1221,43	12,88	1565,92

### 4. CRISTALIZACIÓN

#### 4.1. SELECCIÓN DEL CRISTALIZADOR

##### 4.1.1. EQUIPOS DE CRISTALIZACIÓN

Cristalización es la formación de partículas sólidas a partir de una fase homogénea.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Magma: En la cristalización industrial de una disolución la mezcla bifásica formada por las aguas madres y los cristales de todos los tamaños, contenida en un cristalizador y que se saca como producto, recibe el nombre de magma.

Los cristalizadores se clasifican, según la bibliografía (Christie J. Geankoplis, 1998) en cuanto a su operación en continuos y por lotes. La operación por lotes se utiliza en aplicaciones especiales; la operación continua de los cristalizadores es el sistema más usual.

La cristalización no puede ocurrir sin una sobresaturación. Una de las principales funciones de cualquier cristalizador es la de causar la formación de una solución sobresaturada. Los equipos de cristalización pueden clasificarse con base en el método empleado para producir la sobresaturación como sigue: 1) sobresaturación producida por enfriamiento de la solución con evaporación despreciable (cristalizadores de tanque y por lotes); 2) sobresaturación producida por evaporación del disolvente con poco enfriamiento o sin enfriamiento-evaporadores-cristalizadores o evaporadores cristalizantes; 3) sobresaturación por combinación de enfriamiento y evaporación en evaporadores adiabáticos (cristalizadores al vacío).

En cristalizadores que producen sobresaturación por enfriamiento, las sustancias deben tener una curva de solubilidad que disminuya de manera apreciable con la temperatura. Muchas sustancias se comportan de esta manera, por lo que este método es bastante común. Cuando la curva de solubilidad cambia poco con la temperatura, como en el caso de la sal común, casi siempre se evapora disolvente para producir la sobresaturación. Algunas veces también se aplica una evaporación con

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

cierto grado de enfriamiento. En el método de enfriamiento adiabático al vacío, una solución caliente se somete al vacío para que el disolvente se evapore de manera repentina y la solución se enfríe adiabáticamente. Este método para provocar sobresaturación es el más importante para producción a gran escala.

Otro método de clasificación para cristalizadores, agrupa las unidades de acuerdo con el método para mantener en suspensión los cristales. Entre ellos pueden citarse los cristalizadores donde la suspensión se agita en un tanque, se hace circular por medio de un intercambiador de calor o en un intercambiador con raspadores de superficie.

Una diferencia importante en muchos cristalizadores comerciales es la manera en que el líquido sobresaturado está en contacto con los cristales en crecimiento. En el *método de circulación de magma*, la totalidad del magma de cristales y el líquido sobresaturado circulan a través de las etapas de sobresaturación y cristalización sin separar el sólido y el líquido en dos corrientes. La cristalización y la sobresaturación se verifican simultáneamente en presencia de los cristales. En el segundo sistema, llamado *método de circulación de líquido*, una corriente separada de líquido sobresaturado se hace pasar a través de un lecho fluidizado donde crecen los cristales y se forman otros nuevos por nucleación. Después, el líquido saturado se hace pasar a través de una zona de evaporación o enfriamiento para volver a producir una sobresaturación y se recircula.

Equipos de cristalización:

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

**1. *Cristalizadores de tanque.*** La cristalización en tanques (un método antiguo que todavía se usa en casos especiales) consiste en enfriar soluciones saturadas en tanques abiertos. Después de cierto tiempo, se drena el licor madre y se extraen los cristales. En este método es difícil controlar la nucleación y el tamaño de los cristales. Además, los cristales contienen cantidades considerables del licor madre y, por otra parte, los costos de mano de obra son elevados. En algunos casos, el tanque se enfría por medio de serpentines o chaquetas y se usa un agitador para lograr una mejor velocidad de transferencia de calor; sin embargo, puede haber acumulación de cristales en las superficies de estos dispositivos. Este tipo de equipo tiene aplicaciones limitadas y algunas veces se usa para la manufactura de productos químicos de alto valor y derivados farmacéuticos.

**2. *Cristalizadores con raspadores de superficie.*** Un tipo de cristalizador con raspadores de superficie es el de Swenson-Walker, que consiste en una artesa abierta de 0.6 m de ancho con fondo semicircular y chaqueta de enfriamiento en el exterior. La rotación a baja velocidad de un agitador en espiral mantiene los cristales en suspensión. Las aspas pasan cerca de las paredes y rompen los depósitos que se forman en la superficie de enfriamiento. Por lo general, el producto tiene una distribución de tamaños de cristal bastante amplia.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

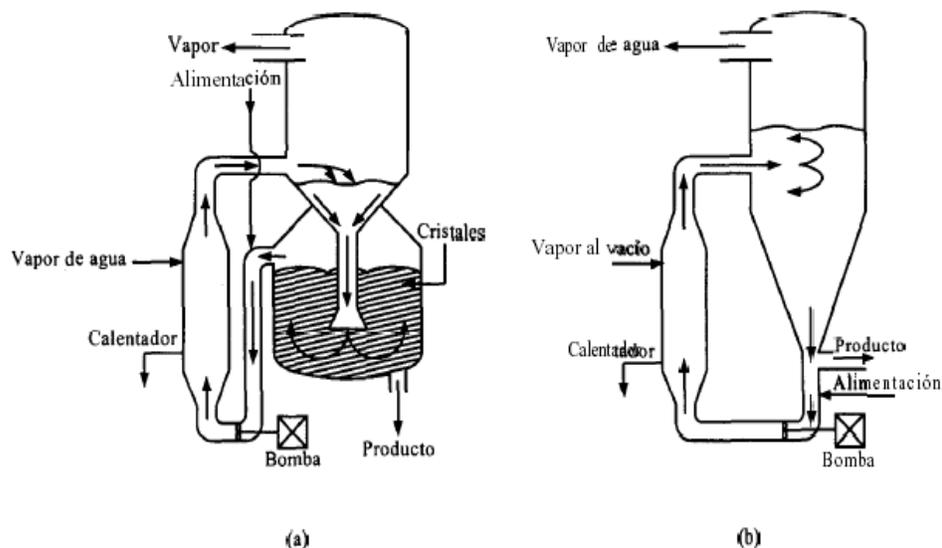


Figura F.13. Tipos de cristalizadores: a) evaporador-cristalizador con circulación de líquido, b) cristalizador al vacío con circulación de magma.

En el cristalizador de tubo doble con raspadores, el agua de enfriamiento pasa por el espacio anular. Un agitador moderno adaptado con raspadores de resorte que limpian la pared y proporcionan un buen coeficiente de transferencia de calor. Este modelo se llama votator y se usa en la cristalización de mantecado y para la plastificación de margarina.

**3. Evaporador-cristalizador con circulación de líquido.** En la combinación de evaporador-cristalizador que se muestra en la figura F.13.a., la sobresaturación se produce por evaporación. El líquido circulante se extrae por la bomba de tomillo hacia el interior del tubo del calentador por condensación de vapor de agua. El líquido caliente fluye después hacia el espacio del vapor donde se produce una vaporización repentina que causa sobresaturación. El vapor de salida se condensa, el

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

líquido sobresaturado fluye hacia el tubo de bajada y después asciende a través del lecho de cristales fluidizados y agitados, que de esta manera crecen. El líquido saturado de salida vuelve al calentador como corriente de recirculación, donde se une a la alimentación de entrada. Los cristales grandes se sedimentan y el producto se extrae como suspensión de cristales y licor madre. Este modelo se llama también ***cristalizador de Oslo***.

**4. *Cristalizador al vacío con circulación de magma.*** Los cristalizadores al vacío utilizan el enfriamiento por evaporación adiabática para generar la sobresaturación. En su forma original y más sencilla, un cristalizador de este tipo es un recipiente cerrado en el que se mantiene el vacío por medio de un condensador, generalmente con la ayuda de una bomba de vacío tipo eyector de vapor. La alimentación se introduce como una disolución saturada caliente a una temperatura muy superior a la de ebullición para la presión existente en el cristalizador. Se mantiene un volumen de magma controlando el nivel del líquido y del sólido que cristaliza, mientras que el situado por encima del magma se utiliza para retirar el vapor y eliminar el arrastre. La disolución de alimentación se enfría espontáneamente hasta la temperatura de equilibrio. Puesto que tanto la entalpía de enfriamiento como la de cristalización aparecen como calor latente de vaporización, se evapora una parte del disolvente. La sobresaturación generada por enfriamiento y evaporación da lugar a nucleación y crecimiento. El magma producto se retira del fondo del cristalizador. El rendimiento teórico de cristales es proporcional a la diferencia entre la concentración de la alimentación y la solubilidad del soluto a la temperatura de equilibrio.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **4.1.1.A. SELECCIÓN DEL CRISTALIZADOR**

Para la producción a escala industrial, generalmente, se utiliza el cristalizador al vacío con circulación de magma.

En el cristalizador al vacío con circulación de magma, una solución caliente se somete al vacío para que el disolvente se evapore de manera repentina y la solución se enfríe adiabáticamente. Este método para provocar sobresaturación es el más importante para producción a gran escala.

Se ha seleccionado este método ya que es el que utilizan en las industrias azucareras. Es el que mejor se adecua atendiendo al tipo de fluido que se va a tratar.

## **5. IMPULSIÓN Y TRANSPORTE**

### **5.1. TUBERÍAS**

Van a ser objeto de estudio las tuberías de la unidad de extracción. En esta unidad se necesitan tuberías que transporten el jugo desde la salida de los molinos hasta la entrada del anterior y a la siguiente etapa.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### 5.1.1. CÁLCULOS PARA LAS TUBERÍAS

Se va a calcular el diámetro requerido para transportar esta cantidad siguiendo la norma A.N.S.I. B-36. Las dimensiones normalizadas, calculadas en el anexo II, para las tuberías en la etapa de extracción son:

- **Tramo de tubería desde el tercer molino al segundo:**

$$D_i = 254,51\text{mm}$$

$$D_e = 273,1\text{mm}$$

$$\text{Tamaño nominal} = 10\text{in}$$

$$e = 9,27\text{mm}$$

- **Tramo de tubería desde el primer y segundo molino a la etapa de purificación**

$$D_i = 30,323\text{cm}$$

$$D_e = 32,39\text{cm}$$

$$\text{Tamaño nominal} = 12\text{in}$$

$$e = 1,031\text{cm}$$

### 5.1.2. MATERIAL DE LA TUBERÍA

La bibliografía (John H. Perry, 1966) recomienda para la circulación de una solución acuosa azucarada la utilización de un material resistente a la oxidación para evitar el rápido deterioro de las tuberías. La mejor relación resistencia-precio que podemos encontrar en el mercado para las

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

tuberías y las condiciones de operación que se están utilizando es el acero inoxidable A.I.S.I.304.

### **5.2. BOMBAS**

Se va a realizar el estudio de las bombas necesarias para la etapa de extracción. En los siguientes apartados se determinará el tipo de bomba más adecuado, la potencia necesaria para el trasvase de los fluidos y su NPSH.

En el plano nº 1 se muestra la ubicación de las bombas en la planta. Además, en el dibujo G.1. se puede observar la colocación de las bombas en la unidad de extracción.

#### **5.2.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO**

El movimiento de un líquido a través de una tubería se logra por medio de transferencia de energía. Los medios comúnmente empleados para lograr el flujo de fluidos son: gravedad, desplazamiento, fuerza centrífuga, fuerza electromagnética, impulso mecánico y combinaciones e las anteriores. Los de gravedad y fuerza electromagnética no se emplean en el proceso por lo que no se estudiarán.

En este apartado se va a realizar un estudio de las bombas necesarias para la unidad de extracción: qué tipo de bomba se va a utilizar, su material, su potencia necesaria y el NPSH. En la gráfica G.6. del anexo VI se puede ver un esquema de las bombas necesarias en esta unidad y en el plano nº 1 su ubicación en la planta.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **5.2.1.A. CLASIFICACIÓN DE BOMBAS**

Una bomba se define como cualquier dispositivo para trasvasar líquidos.

Los tipos de bombas más importantes, según la bibliografía (John H. Perry, 1966), en el campo de la ingeniería química son los siguientes:

1. Las bombas centrífugas, de los tipos de sumidero o sentina, de hélice o de flujo axial o mixto, y de pozo profundo.

2. Las bombas de movimiento alternativo o de émbolo, incluidas las bombas de vapor, las de potencia (o con máquina motriz independiente) y las de diafragma.

3. Las bombas rotativas.

4. Las bombas de presión de aire, por ejemplo, los elevadores de aire; y las bombas de desplazamiento, como los montaácidos o montajugos, los elevadores automáticos, las bombas neumáticas, las bombas para líquidos inflamables, las bombas Humphrey para gas y los pulsómetros.

5. Las bombas de chorro, que comprenden los inyectores y los eyectores, accionadas por un vapor o un líquido.

6. Los arietes hidráulicos y los Hydraulomats.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

7. Las bombas especiales, como las de tornillo, las ruedas de cangilones, etc.

### **-Bombas centrífugas:**

La bomba centrífuga es la más empleada en la industria química para trasvasar líquidos de todos los tipos, esto es, materias primas, materiales en proceso o curso de fabricación y productos terminados, así como también para los servicios generales de abastecimiento de agua, alimentación de calderas, circulación en los condensadores, retorno del condensado, etc. Se encuentra en el comercio un gran número de tamaños; con capacidades que van desde 7,5 a 11 l/min; y para cargas de impulsión o descarga (presiones) que van desde unos cuantos decímetros hasta 210kg/cm<sup>2</sup>.

### **-Bombas de movimiento alternativo o de émbolo:**

Hay dos clases generales de movimiento alternativo o de émbolo: las bombas de vapor y las accionadas mecánicamente. En general, la acción de las piezas que mueven el líquido en estas bombas es la misma: se hace avanzar y retroceder dentro de un cilindro un émbolo corriente, un émbolo buzo o una cazoleta. El dispositivo está provisto de válvulas para la entrada y aspiración y la descarga o impulsión del líquido que se bombea y el funcionamiento de ellas se relaciona de una manera concreta con los movimientos del émbolo.

Las bombas de émbolo suelen estar provistas de una cámara de aire. Esta cámara sirve para suavizar las irregularidades en la descarga o impulsión de la bomba y obtener una corriente uniforme.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **-Bombas rotativas:**

Las bombas rotativas se diferencian de las centrífugas y de las de émbolo porque rinden una cantidad positiva de líquido con condiciones variables de la carga o presión. Cuando se construyen con materiales apropiados, pueden manipular cualquier líquido que no contenga arena ni material abrasivo.

Entre los líquidos manipulados por las bombas rotativas figuran aceites minerales, vegetales y animales, grasas, glucosa, melazas, pinturas, barnices, goma laca, lacas alcohólicas, salsa de tomate, salmueras, mayonesas, aprestos, jabones, líquidos de curtiduría, vinagres y tintas.

### **-Bombas por desplazamiento:**

Las bombas de desplazamiento obligan al líquido a desplazarse de un punto a otro por medio de la presión ejercida por un gas o un vapor. El montacargas o montajugos es el dispositivo de esta clase que necesita frecuentemente el ingeniero químico. Consiste en un recipiente ovoidal que se llena con una carga del líquido que se quiere bombear. Este recipiente tiene una tubería de entrada para la carga, otra de salida para la impulsión y otra más para la admisión de aire o gas a presión. La presión de aire o gas sobre la superficie libre del líquido obliga a éste a salir por el tubo de impulsión o descarga. Estas bombas se accionan a mano o funcionan de forma automática o semiautomática.

### **-Bombas de chorro**

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Son otra clase de aparatos para la manipulación de líquidos que utilizan la presión de un fluido para su funcionamiento. Los dos tipos de bombas de chorro que interesan al ingeniero químico son los eyectores y los inyectores. El eyector, al que llaman también sifón, aspirador o eductor, se construye para utilizarlo en operaciones en que la presión o la carga que hay que vencer es baja e inferior a la del fluido utilizado para el bombeo. El inyector es un tipo especial de bomba de chorro, accionado por vapor y servicios análogos, en los que el fluido que se bombea se descarga dentro de un recipiente a la misma presión que la del vapor que acciona el inyector.

El rendimiento de un eyector o bomba de chorro es bajo, sólo de unas pocas unidades por ciento. La presión que él desarrolla es también baja, salvo en ciertos tipos especiales. Este aparato tiene el inconveniente de diluir el fluido bombeado al mezclarlo con el de bombeo. En los inyectores a vapor para la alimentación de calderas y para otros servicios similares, en los que se recupera el calor del vapor, el rendimiento se aproxima al 100 por ciento.

El sifón se usa mucho a pesar de su bajo rendimiento, para trasvasar líquidos de un tanque a otro, elevar ácidos, álcalis o líquidos que contienen sólidos abrasivos, y vaciar sumideros o pozos de recogida.

### **5.2.1.B. SELECCIÓN DE BOMBAS**

Para el trasvase de jugo desde la salida de un molino a la entrada del anterior se va a utilizar bombas centrífugas, ya que para las condiciones de operación de nuestro proceso se adaptan bien y tiene numerosas ventajas, como son su sencillez, su bajo coste inicial, su gasto

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

uniforme (sin pulsaciones), el pequeño espacio que ocupa, su gasto de mantenimiento bajo, su funcionamiento silencioso y la adaptabilidad para su acoplamiento a un motor eléctrico o de turbina, según la bibliografía (John H. Perry, 1966).

### 5.2.2. CÁLCULOS DE LAS BOMBAS

Los resultados de los cálculos realizados, anexo III, para las bombas son los siguientes:

- **Bomba B-1**

Caudal = 154.700kg/h

Potencia = 2,23kW

NPSH disponible = 3,49m

- **Bomba B-2**

Caudal = 319.440kg/h

Potencia = 3,45kW

NPSH disponible = 3,64m

### 5.2.3. DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA

Su funcionamiento consiste en que el líquido penetra a través de una unión de succión, concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, llamada impulsor o rodete que está provisto de alabes radiales solidarios con el mismo. El líquido entra aspirado como consecuencia de la disminución inicial de presión que producen los alabes al girar.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Después, el líquido circula hacia fuera, por el interior de los espacios que existen entre los alabes, y abandona el rodete con una velocidad mucho mayor que a la entrada del mismo. El líquido que sale periféricamente del rodete se recoge en una carcasa en espiral, llamada voluta, y sale de la bomba a través de una conducción tangencial de descarga. En la voluta la carga de velocidad del líquido del rodete, que a su vez es transmitida al mismo mediante un par de un eje giratorio, generalmente accionado mediante conexión directa a un motor de velocidad constante. Este motor es del tipo sincrónico y está destinado para cargas constantes.

### **5.2.3.A. MATERIAL DE LA BOMBA**

Como se puede observar en la tabla T.5. del anexo V, se recomienda para la circulación de una solución acuosa de azúcar que el material de la bomba sea bronce o un acero inoxidable. Ya que ambos materiales son poco propicios a oxidarse, evitando un rápido deterioro de las bombas.

De entre los materiales propuestos se ha elegido el tipo 4 de la tabla T.6. del anexo V (A.I.S.I.304), ya que de entre las distintas bombas normalizadas que se adecuan a nuestras condiciones de operación, la fabricada en este material es la más económica.

## **6. SISTEMA DE CONTROL**

En este apartado se aplicará un sistema de control automático a la etapa de extracción.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

El control automático de procesos se usa fundamentalmente porque reduce el costo de los procesos industriales, lo que compensa con creces la inversión en equipo de control. Además hay muchas ganancias intangibles, como por ejemplo la eliminación de mano de obra pasiva, la cual provoca una demanda equivalente de trabajo especializado. La eliminación de errores es otra contribución positiva del uso del control automático.

Para el control de esta etapa se utilizarán: controladores de flujo, de temperatura, de nivel y de peso. A través de estos controladores se mantendrán los valores deseados dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana.

En el plano nº 2 se puede ver la ubicación de los controladores que se instalarían en la etapa de extracción. A continuación se detalla la función que desarrollarían.

### **WC: Báscula pesadora.**

Se encuentra situada después de las picadoras y desfibriladoras, en el inicio de la cinta transportadora.

Esta báscula registra el peso de la caña desmenuzada y dependiendo del valor de ésta se actúa en la velocidad de las picadoras y desfibriladora.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **FC: Controlador de flujo**

El flujo de agua que entra en la extracción es controlado mediante una válvula automática. Se mide el flujo que lleva y se transmite al controlador que actúa sobre la válvula, si el flujo no es el requerido.

El flujo de salida del jugo diluido es también controlado por una válvula automática.

### **TC: Controlador de temperatura**

La temperatura del agua de imbibición es un parámetro importante. Nunca puede exceder los 65°C, de acuerdo con la bibliografía (smar international corporation, pág.web), ya que al aumentar la temperatura, junto al aumento de dilución se produce también una mayor formación de dextrosa. Esta temperatura se mide mediante un termopar, que está conectado mediante un sistema de control a una válvula que regula la entrada de vapor a la corriente de agua de imbibición.

### **LC: Controlador de nivel**

El jugo procedente del prensado del molino va a un tanque colector donde hay un sensor de nivel. Dependiendo de éste se actuará sobre la turbina que mueve el primer molino, haciendo que pase más o menos cantidad de caña. Así pues, si el tanque se encuentra por debajo del nivel mínimo se dará más potencia al molino con el fin de que preense mayor cantidad de caña y si se encuentra en el máximo o por encima de éste se disminuirá la potencia.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

También se necesitará un controlador de nivel en los conductos que se encuentran a la entrada de los molinos. Al igual que en el caso anterior, el controlador actuará sobre la turbina del molino.

### 7. ASPECTOS MEIOAMBIENTALES

#### 7.1. INTRODUCCIÓN

Las consecuencias para el medio ambiente causadas por la fabricación de azúcar son debido a:

- **Aguas residuales** del lavado de la caña, de la sala de calderas (agua de la purga de la caldera) y purificación del extracto en la evaporación y cocción (exceso de agua del condensado y de la purificación), la fabricación del alcohol, levadura, papel o (donde la melaza y el bagazo se procesan más a fondo en la planta), limpieza del sitio y precipitaciones;
- **Emisiones** en el aire de la planta de la caldera (humos de los procesos en los cuales se queman los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos), de sustancias volátiles (ceniza del hollín y del tubo), emisiones de la materia prima que procesa, de la extracción, de la purificación del jugo y de la concentración del jugo y de reacciones bioquímicas de los componentes orgánicos de las aguas residuales en lagunas (sulfuro del amoníaco y del hidrógeno);
- **Residuos sólidos** del tratamiento de la materia prima (tierra, restos de la planta), del generador del vapor (ceniza) y de la purificación del extracto (lodo del filtro).

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **7.2. CORTADO, PRENSADO Y EXTRACCIÓN**

Los productos intermedios de la industria del azúcar son unos medios de nutrientes ideales para un gran número de microorganismos. Todo el rango de actividades, desde la adecuación de la material prima a la cristalización, suministra un prometedor medio de cultivo. El riesgo de la contaminación es particularmente alto en la extracción, donde incluso las medidas higiénicas más severas y la dirección óptima del proceso pueden obviar la necesidad del uso de biocidas. La repetida desinfección con vapor a alta presión en los puntos de mayor riesgo en el tandem de Molino (conexiones entre elementos) es solamente sobre el 60% tan efectiva como un desinfectante.

También puede ser usado durante la operación de molienda un tratamiento químico, mientras que el tratamiento con vapor puede ser aplicado de modo efectivo cuando el molino no está trabajando. Las operaciones para una mayor desinfección pueden conducir a una gran pérdida de azúcar por lo que no sería económicamente viable. La sustancia más frecuentemente usada para la desinfección en las plantas de extracción es formalina (solución acuosa de formaldehído de aproximadamente 35%). Es añadido en cargas a una concentración alrededor del 0,02 – 0,04% con relación a la cantidad de materia prima procesada. La concentración de formaldehído en el jugo disminuye constantemente en todas las etapas posteriores del proceso. En el jugo claro, los niveles son menos de 1mg/kg mientras que sólo se encuentran trazas en el jarabe y concentraciones de alrededor de 0.10mg/kg en el azúcar blanca. El formaldehído es eliminado del azúcar hasta el límite que los inevitables residuos son convertidos en técnicamente inofensivos. Trazas de formaldehído son también encontradas en los condensados que

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

son producidos en la evaporación y que son devueltos al circuito de agua de la fábrica.

El uso de la formalina es polémico, en vista de los efectos cancerígenos que se le atribuyen, pero es todavía el desinfectante preferido para la desinfección en la extracción. Hay sustancias alternativas, por ejemplo: diocarbamatos, compuestos cuaternarios de amonio, derivados de cresol, peróxido de hidrógeno y otros. Su efectividad como desinfectante al utilizarlos en plantas de extracción es comparable a la de la formalina. El diocarbamatos, el cresol y el peróxido de hidrógeno como la formalina también son eliminados por el agua de extracción durante el proceso. Compuestos cuaternarios de amonio, por el contrario, son irreversiblemente adsorbidos o precipitados con otras sustancias orgánicas durante la purificación del extracto.

### **7.3. DEPURACIÓN DEL JUGO**

El lodo de filtro producido en la industria del azúcar tiene un contenido seco entre un 50 y un 60%, de las que hasta las tres cuartas partes son en forma de carbonato de calcio, dependiendo del proceso de purificación de jugo, el resto está formado en su mayor parte por sustancias orgánicas. En la industria del azúcar, el lodo es llevado a los campos o es directamente difundido en los propios campos de la industria. El alto contenido proteico en el lodo de filtro seco (14-18%) hace que pueda ser usado como fertilizantes. El contenido sólido es separado en la mayoría de los casos por filtros continuos a través de filtros rotatorios. La cantidad de agua de lavado producida es tan baja que puede ser eliminada por filtración.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Se utilizan 9 toneladas por hora de cal (CaO) para la purificación del jugo diluido. La cal y el dióxido de carbono se obtienen a partir de la piedra caliza en los hornos de cal, donde la combustión se realiza con coque. No es económico para la industria de la caña de azúcar producir su propia cal viva porque necesitan unas cantidades pequeñas. El gas rico en CO<sub>2</sub> que se produce en la fabricación de la cal contiene alrededor de 35- 40% CO<sub>2</sub>, el resto es N<sub>2</sub>. Si el oxígeno añadido no es suficiente, se puede producir monóxido de carbono (CO). La temperatura de combustión está por debajo de 1.200°C, así que no se formarán óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). El agua de lavado (8-10 kg/kg de piedra caliza) producida durante la purificación del gas no está contaminada orgánicamente. La trituración de la cal viva está asociada a una gran formación de polvo, por lo que es necesario el uso de separadores de polvo.

### **7.4. EVAPORACIÓN, CRISTALIZACIÓN Y SECADO**

Para condensar los vapores procedentes de la última etapa del evaporador y de los cristalizadores de evaporación se requieren, aproximadamente, entre 4 y 6 m<sup>3</sup> de agua de refrigeración/Tm de materia prima, según la forma de la condensación (individual o central). La mezcla de condensados (agua de caída) producida en los condensadores (condensación de vapores) está entre 40 y 50°C debe ser enfriada como máximo a 20°C en torres de refrigeración, torres de graduación o estanques con aspersion integrados en el circuito del agua refrigerante, para así hacer posible su reutilización. El nivel de contaminación del condensado producido es determinado por las condiciones técnicas en la evaporación y la estacion de ebullición y la planta de condensación. Las incrustaciones en las tuberías de los evaporadores y de otras superficies de calefacción son eliminadas limpiando con una solución de

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

aproximadamente un 5% de sosa seguido de una solución de ácido clorhídrico del 2 al 5%. Los ácidos y las lejías usados en la limpieza pueden ser neutralizados y recogidos en el circuito del agua.

El polvo de azúcar procedente de los secadores de azúcar o de plantas de eliminación de polvo defectuosas puede provocar una considerable contaminación en el aire. Esto no es solamente nocivo para la salud, sino que con un tamaño de grano menor de 0,03 mm, también puede ser altamente explosivo si la concentración de mezcla de polvo y aire se sitúa por encima del límite de explosión (aproximadamente de 20 a 300 g/m<sup>3</sup>). Un nivel bajo de polvo es de 2 g/kg de azúcar. El polvo es separado en electrofiltros secos o en eliminadores de polvo mediante líquido (lavadores). Si no son instalados separadores de polvo (p.e: instalaciones más antiguas de azúcar blanco), se tendrán que utilizar máscaras protectoras respiratorias. La concentración debe mantenerse baja a través de una ventilación suficiente, además deben tomarse una medidas dirigidas a evitar la ignición de la atmósfera explosiva (prohibición de fumar, no realizar trabajos de reparación que produzcan calor por fricción o chispas, instalación de sistemas eléctricos protegidos contra explosión) así se minimizará el riesgo de explosión.

### **7.5. ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO**

El vapor y la energía requerida para el procesado de la caña de azúcar (para mover los rodillos del molino con turbinas de vapor) están alrededor de 550kg de vapor/Tm de caña (materia prima de producción) o 615 kg de vapor/Tm de caña (azúcar blanca producida) y entre 35 y 40 kWh de energía eléctrica/ Tm de caña. El poder calorífico medio del bagazo (aproximadamente 50% de humedad) está alrededor de 8400 kJ/kg (el poder calorífico medio del fuel está alrededor de 42000 kJ/kg). El

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

bagazo producido es suficiente para cubrir las necesidades de energía de la industria. La combustión incompleta del bagazo (contenido de agua > 50%) aumenta la emisión de ceniza y de las partículas de carbón.

### **7.6. GESTIÓN DEL AGUA**

No hay etapa en la producción de azúcar donde no sea necesaria el agua en alguna medida. En el proceso de azúcar de caña, son producidas grandes cantidades de agua de lavado de caña (más de  $10\text{m}^3/\text{Tm.}$ ) y condensados, que deben ser llevados en un sistema de circuitos (son necesarias grandes áreas de terreno para las lagunas de evaporación, alta inversión para torres de refrigeración). El agua de lavado de la caña ( $260 - 700 \text{ mg/l DBO}_5$ ) y residuos de los filtros ( $2500 - 10.000 \text{ mg/l DBO}_5$ ) están altamente contaminados. La purificación del agua también incluye el agua residual utilizada para la limpieza de las áreas de producción y la planta durante y después de la campaña, y para la limpieza de los vehículos de transporte de azúcar. A esto se añaden, en caso de anomalías, aguas y jugos derramados (el jugo diluido tiene una  $\text{DBO}_5$  aproximadamente de  $80.000 \text{ mg/l}$ ), por lo que pueden presentarse valores de hasta  $18.000 \text{ mg DBO}_5/\text{l}$ . La negligencia es la causa principal de la excesiva contaminación en las aguas residuales. Si una planta es dirigida cuidadosamente, las aguas residuales no excederán los valores de  $5.000 \text{ mg DBO}_5/\text{l}$ . Con la utilización de separadores en las conducciones de vapor, se pueden conseguir reducidas contaminaciones orgánicas y pérdidas de azúcar en la mezclas de condensado ( $30 - 150 \text{ mg/l}$ ).

El reglamento de la gestión del agua en una fábrica de azúcar debe tener como objetivo que la cantidad de agua contaminada, que tenga que verterse o tratarse, sea la mínima posible. El reciclado del agua encabeza la lista de medidas tomadas a escala interna de la empresa. La gestión del

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

agua debe disponerse de tal modo que, una vez cerrados los circuitos establecidos, el agua no contaminada o ligeramente contaminada que no requiera tratamiento futuro sea descargada en los canales de desagüe.

Los procesos de tratamientos para el agua residual que pueden ser aplicados en las fábricas de azúcar dependen, en gran medida, de las particularidades locales. La depuración de las aguas residuales y las condiciones del circuito dentro de la planta tienen un mayor efecto sobre el tamaño de la planta y el nivel de degradación que se puede alcanzar.

### **8. SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO**

#### **8.1. INTRODUCCIÓN**

En este apartado se verá una serie de técnicas de seguridad, tanto de prevención como de protección, para el trabajo en la planta en la unidad de extracción.

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

Se han descrito una serie de técnicas de seguridad e higiene industrial a fin de generar un medio ambiente laboral seguro y productivo, abatir los índices de riesgo de enfermedades y accidentes y facilitar al empresario y al trabajador el cumplimiento de las disposiciones legales en

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

materia de seguridad e higiene, para contribuir al incremento de la productividad y el bienestar de la salud de los trabajadores.

Los principales riesgos existentes en la planta son: el polvo producido en las zonas de consumo y transferencia de la caña de azúcar y en los secadores de azúcar, el ruido en provocado por el funcionamiento de los molinos, agresiones físicas por el manejo de maquinaria y manipulación de caña de azúcar, agresiones químicas por el uso de productos abrasivos. A continuación se enuncian las distintas técnicas a llevar a cabo para disminuir el riesgo en la planta.

### **8.2. INSTRUCCIÓN Y ENTRENAMIENTO PERSONAL**

La seguridad en una industria depende, en gran parte, de la instrucción que recibe el personal, del entrenamiento correcto en las prácticas de seguridad, del uso de los equipos de seguridad y de una supervisión adecuada.

Con objeto de que los trabajadores estén informados sobre los riesgos a los que se expondrían en caso de realizar maniobras inadecuadas, y para que, además, sepan como actuar cuando se presente una emergencia, se deberán impartir periódicamente cursos, tanto a los trabajadores nuevos como a los que llevan años de servicio, sobre los siguientes aspectos:

1. Localización y uso de los equipos de protección personal, regaderas de seguridad, fuentes para lavado de ojos e hidrantes para casos de emergencia.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

2. Localización y uso del equipo contra incendio, alarmas y equipo de emergencia, tales como válvulas o interruptores.
3. Medios para evitar la inhalación de vapores.
4. Forma de actuar, procedimientos a seguir en casos de emergencia y medidas de primeros auxilios.
5. Precauciones y procedimientos a seguir durante la carga y descarga de productos.

### **8.3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

El equipo de protección personal deberá seleccionarse, teniendo en cuenta el trabajo que se va a desarrollar y los riesgos que pueden ocasionarse. A continuación se indican los equipos utilizados según la parte que protegen.

#### **Protección para los ojos**

##### -Tipos de protección:

- ✓ Antejos de seguridad con bordes de metal o plástico con protecciones laterales sin perforaciones: se pueden usar en los lugares donde es conveniente una protección continua de los ojos, como en los laboratorios. Sin embargo, no deben usarse donde necesite una protección total de los ojos.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

✓ Goggles de seguridad antiácidos, tipo ventosa o molde de hule: deben ser cuidadosamente ajustados y equipados con lentes de plástico o vidrio resistente al impacto y deben usarse cuando haya posibilidad de recibir ácido en los ojos.

✓ Caretas de plástico (de cobertura total, como mínimo de ocho pulgadas) con protección para la frente: se pueden emplear como complemento de los goggles de seguridad antiácidos, en lugares donde existe el peligro de impacto en los ojos desde abajo o alrededor de las partes laterales de la careta.

En la zona de los molinos se utilizarán anteojos de seguridad con el fin de evitar los daños por las posibles proyecciones de sólido o líquido. Además en las zonas de consumo y transferencia de la caña de azúcar al tandem de molino y en los secadores de azúcar, se recomienda llevar anteojos para evitar las molestias producidas por el polvo.

### **Protección respiratoria**

#### -Equipos de protección respiratoria:

✓ Equipo de aire autónomo: permite al portador llevar una cantidad de oxígeno o aire comprimido en un cilindro y el tipo autogenerador produce oxígeno químicamente. No se debe usar oxígeno comprimido donde existe peligro de contacto con líquidos o vapores inflamables o fuentes de ignición, especialmente, en espacios confinados como fosos y tanques.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

✓ Mascarillas con manguera y aire a presión suministrado por sopladores que no requieren lubricación interna: deben estar localizadas en área libre de contaminación. Las condiciones de uso de este equipo deben ser tales que permitan el escape con seguridad en el caso de fallos en el suministro de aire. Se deberá tomar precauciones para que la manguera no se enrede.

✓ Mascarillas para gas equipadas con protección facial que cubra toda la cara y dotadas de un filtro. Deben usarse sólo durante periodos de exposición relativamente cortos. No son apropiadas para usarse en emergencias debido a que en esos momentos la concentración real del vapor es desconocida y puede haber una deficiencia de oxígeno.

✓ Mascarillas de filtro: el filtro varía según el ambiente a proteger:

- Auto filtrante contra partículas
- Auto filtrante contra gases y vapores
- Auto filtrante mixta (partículas gases y vapores)

El personal que trabajen en las inmediaciones de los hornos de cal, especialmente los que trabajen en las operaciones de limpieza, deberá llevar máscaras protectoras respiratorias.

El polvo es generado con particular intensidad en el área de consumo y transferencia de la caña de azúcar al tandem de molino. Si las operaciones no son automáticas deberá usarse un equipo de protección respiratoria.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

El polvo de azúcar procedente de los secadores de azúcar o de plantas de eliminación de polvo defectuosas puede provocar una considerable contaminación en el aire. Esto, no es solamente nocivo para la salud, sino que con un tamaño de grano menor de 0.03 mm, también puede ser altamente explosivo si la concentración de mezcla de polvo y aire se sitúa por encima del límite de explosión (aproximadamente de 20 a 300 g/m<sup>3</sup>). Un nivel bajo de polvo es de 2 g/kg de azúcar. En primer lugar se actuará sobre el foco; la concentración debe mantenerse baja a través de una ventilación suficiente, además deben tomarse una medidas dirigidas a evitar la ignición de la atmósfera explosiva (prohibición de fumar, no realizar trabajos de reparación que produzcan calor por fricción o chispas, instalación de sistemas eléctricos protegidos contra explosión) así se minimizará el riesgo de explosión. El polvo se separará en electrofiltros secos. Además, se utilizarán mascarillas de filtro contra partículas ya que protege adecuadamente contra la agresión y además son cómodas de llevar.

### **Protección para la cabeza.**

Deberán usar cascos, disminuyendo las consecuencias de posibles impactos de objetos que puedan caer.

### **Protección para los oídos.**

#### -Tipos de protección:

- Tapones para los oídos, de uso múltiple o desechables: Los tapones para los oídos se llevan en el canal auditivo externo. Se

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

comercializan tapones premoldeados y modelables. Éstos últimos se fabrican en un material blando que el usuario adapta a su canal auditivo de modo que forme una barrera acústica

- Protectores auriculares: Este dispositivo encierra por completo el pabellón auditivo externo y se aplica herméticamente a la cabeza. Se consigue una atenuación de aproximadamente 40 dB

-Cascos envolventes: son orejeras acopladas a un casco protector.

En la planta diseñada el ruido más molesto es producido en el área de los molinos de extracción. En esta zona es necesaria la protección para los oídos. Se utilizarán tapones desechables.

### **Protección para los pies y piernas.**

#### -Tipos de protección

El calzado de seguridad constituye el elemento de protección de extremidades inferiores de uso más generalizado, existiendo un tipo de calzado adecuado a cada tipo de riesgo.

✓ Calzado de puntera de seguridad, para el caso de trabajos de manejo de materiales pesados con riesgos de golpes.

✓ Antideslizantes.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

- ✓ Resistente a las perforaciones
- ✓ Penetración y absorción de agua
- ✓ Resistencia de la suela al calor por contacto
- ✓ Calzado con resistencia eléctrica
- ✓ Absorción de energía en el tacón
- ✓ Aislamiento contra el frío
- ✓ Botas para fundidores, generalmente cubiertas con polainas para evitar la entrada de materiales incandescentes.

Atendiendo a los riesgos que se dan en una azucarera, se emplearán: Calzado con puntera de seguridad, antideslizante y resistente a las perforaciones.

### **Protección manos y brazos.**

El elemento más empleado es el guante de protección frente a agresivos químicos en estado líquido y frente a agresivos físicos de origen mecánico (cortes, pinchazos, abrasiones), de origen térmico y de origen eléctrico.

Utilización en la planta:

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

✓ Para el trabajo en los molinos y en la adecuación de la materia prima se utilizarán guantes que protejan frente a agresiones físicas.

✓ Para el trabajo en los tanques de cal (por ejemplo: la limpieza de los tanques) se utilizarán guantes adecuados para la manipulación de productos abrasivos.

### **Protección del cuerpo.**

En los lugares en donde hay posibilidad de contacto con el cuerpo, como en los tanques de cal, se debe usar ropa especial contra agresivos químicos en el caso que existan riesgos de salpicaduras, vapores, etc. de líquidos agresivos.

También se suele emplear ropa especial contra agresivos térmicos, en especial, contra el calor. Los equipos de cuero se utilizan en los trabajos con peligros de llamas, mientras que los equipos de tejidos aluminizados se utilizan en los lugares donde existan altas temperaturas, hornos, personal de extinción de incendios, etc., aprovechando el poder de reflexión del aluminio. En los hornos donde se quema el bagazo se utilizará protección contra el calor con tejidos aluminizados.

Mención especial tienen las prendas de señalización tales como brazaletes, chalecos, etc., para ser utilizados en lugares de poca iluminación o trabajos nocturnos, donde existan riesgos de colisión, atropello, etc.

### **Recomendaciones para el uso y la conservación del equipo.**

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Todo equipo de protección personal deberá ser proporcionado por la empresa y el trabajador deberá:

- ✓ Estar entrenado en su manejo.
- ✓ Identificarlo con su área de trabajo.
- ✓ Conocer el tiempo que le dará servicio.
- ✓ Asegurarse de que el equipo se encuentra en buen estado.
- ✓ Conocer en que condiciones higiénicas se encuentra.
- ✓ Mantener los equipos en unas condiciones higiénicas aceptables.
- ✓ Comunicar al departamento de 'Seguridad e Higiene' cualquier defecto que se haya encontrado.

Para su óptimo funcionamiento, se deberán tomar estas medidas de seguridad, conservación y estado higiénico del equipo, a fin de evitar riesgos.

### **8.4. ROTULACIÓN E IDENTIFICACIÓN**

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

En el Real Decreto 485/1997 del 14 de abril, se establecen las disposiciones mínimas de carácter general relativas a la señalización de seguridad y salud a fin de:

- Atraer la atención de los trabajadores sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones u obligaciones.
- Dar a conocer el peligro con suficiente antelación, para que el trabajador pueda tomar las medidas de seguridad convenientes.
- Orientar sobre la conducta a seguir.
- Facilitar a los trabajadores la localización e identificación de determinados medios o instalaciones de protección, evacuación, emergencia o primeros auxilios.

Los tipos de señales son las siguientes:

Forma	Colores			Significado	Aplicación
	Fondo	Contraste	Símbolo		
Redonda	Rojo	Blanco	Negro	Parada, prohibición	Señales de paradas de prohibición. Dispositivos de desconexión de urgencia.
Triangular	Amarillo	Negro	Negro	Atención. Zona de riesgo	Señalización de riesgos. Señalización de

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

					obstáculos
Rectangular	Verde	Blanco	Blanco	Situación de seguridad. Primeros auxilios	Señalización de salidas de emergencia. Puestos de primeros auxilios.
Redonda	Azul	Blanco	Blanco	Señales de obligación. Indicaciones	Obligación de protección personal. Emplazamiento de teléfonos, talleres, etc.
Rectangular o cuadrada	Rojo	Blanco	Negro		Equipos de lucha contra incendios

- Cinta de señalización: en caso de señalar obstáculos, zonas de caída de personas a distinto nivel, choques, golpes, etc., se señalará con los paneles anteriormente citados o bien se delimitará la zona de exposición al riesgo con cintas de tela o materiales plásticos con franjas alternadas oblicuas de color amarillo y negro, inclinadas 45°.

- Cinta de delimitación de zona de trabajo: las zonas de trabajo se delimitarán con cintas de franjas alternas verticales de colores blanco y rojo.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### 9. MANTENIMIENTO

La industria azucarera tiene que estar a pleno rendimiento durante el periodo que dura la recolección de la caña (en el sur de España entre los meses de abril y junio), mientras que el resto del tiempo la producción estará parada. Por tanto, se distinguirán dos periodos bastante diferenciados mediante los cuales se elaboran los programas de mantenimiento.

- Periodo de intercampaña
- Periodo de campaña

La determinación del programa de mantenimiento, generalmente, se elabora de acuerdo al comportamiento observado, durante la puesta en marcha y a lo largo del funcionamiento posterior; atendiendo, de forma rigurosa a las recomendaciones de uso y mantenimiento dadas por los fabricantes de equipos instalados. De este modo es posible establecer el plan de mantenimiento de acuerdo a la siguiente clasificación.

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento predictivo

#### Mantenimiento preventivo

Corresponde a un plan periódico de revisiones de equipos e instalaciones basado en observaciones e inspecciones, cuyo propósito es la detección oportuna de fallos en el funcionamiento eficiente de las instalaciones. Así mismo, elaborar un adecuado programa de adquisición

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

y manejo de stock de repuestos que haga eficaz el sistema “lote óptimo-punto de pedido”.

Este plan de mantenimiento es necesariamente aplicable a aquellas unidades e instalaciones que cuentan con unidad de respaldo o stand-by (bombas, motores). Así la oportuna revisión y reparación garantiza el funcionamiento continuo de la planta.

### Mantenimiento correctivo.

La elaboración de este plan obedece a la acción inmediata frente a fallos ocasionados o previamente detectadas en el plan anterior. Su objetivo esencial es mantener en correcta operación los equipos e instalaciones, mediante el cambio o reparación de accesorios y partes componentes.

De la incidencia de fallos observados en esta acción es recomendable elaborar informes y estadísticas que permitirán cuantificar la frecuencia de episodios correctivos. Esto a su vez permitirá elaborar un adecuado plan preventivo.

### Mantenimiento predictivo.

Se deriva de un plan elaborado a partir de información sistematizada del funcionamiento de las instalaciones. Esto se logra mediante el trabajo en equipo de operadores de la planta y personal de mantenimiento, los cuales podrán abordar el tema en reuniones periódicas para establecer los planes de mejoras y corrección.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Algunos de los aspectos que cubre este plan involucran:

Tuberías, revestimientos, diseño estructural, posición de tuberías, válvulas, sensores, repuestos y accesorios.

### **9.1. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN PERIODO DE INTERCAMPAÑA**

Este periodo comienza cuando la industria deja de producir, y puesto que la producción sólo abarca aproximadamente 83 días, este periodo es bastante grande. Esta corta duración es debida, como ya se comentó antes a que es el período de recolección de la caña; por lo tanto será crucial, el llevar a cabo un mantenimiento adecuado durante este período para evitar al máximo los problemas que puedan surgir durante la producción, pues la caña no puede esperar en el campo. Para ello será necesario elaborar un programa de mantenimiento óptimo para este periodo.

El objetivo principal del programa, es definir procedimiento y objetivos, tomando en consideración las características del trabajo en cuestión. Para desarrollar el programa habrá que tener en cuenta los siguientes aspectos.

- Dimensionar los fallos.
- Mano de obra cualificada.
- Stock de repuestos.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

- Presencia de un administrador de área que defina actividades periódicas de mantenimiento y evalúe los resultados obtenidos.
- Inspecciones generales al equipamiento.
- Reuniones con el supervisor y encargados de mantenimiento para analizar y controlar actividades del programa.
- Tiempos empleados en el mantenimiento.

### Plan de mantenimiento preventivo:

Antes de la puesta en marcha de la planta, será necesario inspeccionar los equipos, para revisar su instalación según las indicaciones del fabricante. Se reitera la conveniencia de elaborar una lista de inspección y prueba a fin de asegurar que todos los equipos sean revisados con antelación. A continuación se van a exponer una serie de instrucciones generales:

-Todos los equipos, canaletas, estanques, bombas, etc., deberán limpiarse íntegramente, extrayendo todo rastro de polvo, suciedad, incrustaciones y residuos. Cualquier elemento extraño que se encuentre presente dañará bombas, tuberías o instrumentos.

-Cuando sea necesario, todas las tuberías deberán probarse y limpiarse completamente.

-Se deben verificar que las válvulas y bombas no tengan fugas.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

-Será obligatorio revisar la lubricación de todos los equipos.

-De ser posible, antes de la puesta en marcha revisar todos los circuitos eléctricos y de instrumentación.

### **9.2. PROGRAMA DE INSPECCIÓN EN PERIODO DE CAMPAÑA**

Durante el funcionamiento en régimen de operación normal, toda la estrategia de mantenimiento se verá simplificada elaborando un adecuado programa de inspección a todos los equipos. Este podrá ser revisado diariamente con ayuda del personal de operaciones, los cuales entregarán a través de una plantilla de datos, los parámetros actuales de operación; información que debe ser comparada frecuentemente con los datos iniciales de puesta en marcha. De este modo será posible derivar algunas conclusiones con respecto a la desviación de estos valores y los iniciales. El uso de esta información y de la frecuencia de mantenimiento correctivo de equipos, permitirá proyectar el plan de mantenimiento anual, mensual o semanal.

A continuación se citan las inspecciones que se deberán realizar a los equipos:

- Lubricación
- Revisión de motores
- Revisión de medidores
- Revisión de válvulas

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

- Limpieza de tuberías

### **10. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA**

La distribución en planta de los equipos se puede ver en el plano N° 1. Para esta distribución se han tenido en cuenta las distancias recomendadas entre unidades de las tablas T.9. y T.10. del anexo V aportadas por la bibliografía (J.M. Storch de Gracia, 1998), para la seguridad de la planta.

Además, se ha considerado las distancias necesarias entre equipos para poder realizar adecuadamente las operaciones de mantenimiento.

**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR  
DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

**DOCUMENTO II: PLIEGO DE CONDICIONES**

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### **DOCUMENTO 2: PLIEGO DE CONDICIONES**

#### **1. PLIEGO GENERAL DE CONDICIONES.**

##### **1.1. DISPOSICIONES GENERALES.**

###### **-Naturaleza y objeto del pliego general.**

Artículo 1.- El presente Pliego General de Condiciones tiene un carácter supletorio del Pliego de Condiciones Particulares del Proyecto. Ambos, como parte del proyecto, tienen por finalidad regular la ejecución de las obras derivadas de la instalación de una fábrica de azúcar en Motril, fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden, según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al Promotor o dueño de la obra, al Contratista o constructor de la misma, sus técnicos o encargados, y al técnico Director de obra, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra.

Las obras accesorias, entendiéndose por este nombre las que no pueden ser previstas en todos sus detalles, se construirán conforme vaya surgiendo la necesidad. Cuando su importancia lo exija, se realizarán proyectos adicionales que las definan. En casos de menor importancia, se seguirán las directrices que disponga el Director de obra.

###### **-Documentación del contrato de obra.**

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Artículo 2.- Integran el contrato los siguientes documentos relacionados por orden de prelación en cuanto al valor de sus especificaciones en caso de omisión o aparente contradicción:

- 1º. Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato de empresa o arrendamiento de obra, si existiere.
- 2º. El Pliego de Condiciones particulares.
- 3º. El presente Pliego General de Condiciones.
- 4º. El resto de la documentación del Proyecto (memoria, planos, mediciones y presupuesto).

Las órdenes e instrucciones de la Dirección facultativa de las obras se incorporan al Proyecto como interpretación, complemento o precisión de sus determinaciones.

En cada documento, las especificaciones literales prevalecen sobre las gráficas y en los planos, la cota prevalece sobre la medida a escala.

### 1.2. CONDICIONES FACULTATIVAS.

-EPÍGRAFE 1º.

-Delimitación general de funciones técnicas.

-El director de obra:

Artículo 3.- La junta rectora de la Propiedad designará al Ingeniero Técnico Director de Obra, representante de la propiedad frente al contratista, en quien recaerán las siguientes funciones:

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

a) Planificar, a la vista del proyecto, del contrato y de la normativa técnica de aplicación, el control de calidad y económico de las obras.

b) Redactar, cuando se requiera expresamente por el constructor, el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización de la obra y aprobar el plan de seguridad e higiene para la aplicación del mismo.

c) Efectuar el replanteo de la obra y preparar el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del Constructor.

d) Comprobar la adecuación de la cimentación proyectada a las características reales del suelo.

e) Ordenar, dirigir y vigilar la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de buena construcción.

f) Asistir a las obras, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan e impartir las instrucciones complementarias que sean precisas para conseguir la correcta solución.

g) Coordinar la intervención en obra de otros técnicos que, en su caso, concurran a la dirección con función propia en aspectos parciales de su especialidad.

h) Realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, instalaciones y demás unidades de obra según las frecuencias de

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

muestreo programadas en el plan de control, así como efectuar las demás comprobaciones que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva, de acuerdo con el proyecto y la normativa técnica aplicable. De los resultados informará puntualmente al constructor, impartándole en su caso, las órdenes oportunas.

i) Realizar las mediciones de obra ejecutada, realizar y aprobar las certificaciones parciales, realizar y aprobar la certificación final de obra, y asesorar al promotor en el acto de la recepción.

j) Suscribir el certificado final de obra.

### -El constructor:

Artículo 4.- El Constructor o Contratista habrá de proporcionar toda clase de facilidades al Director de obra, o a sus subalternos a fin de que estos puedan desempeñar su trabajo con la máxima eficacia. Específicamente corresponde al Constructor:

a) Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.

b) Elaborar, cuando se requiera, el Plan de Seguridad e Higiene de la obra en aplicación del estudio correspondiente y disponer en todo caso la ejecución de medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observación de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

- c) Suscribir con el Director de Obra el acta de replanteo de la obra.
  
- d) Ostentar la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas.
  
- e) Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o prescripción del Director de Obra, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
  
- f) Custodiar el Libro de órdenes y seguimiento de la obra, y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo.
  
- g) Facilitar al Director de Obra con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
  
- h) Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.
  
- i) Suscribir con el Promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
  
- j) Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.

-EPÍGRAFE 2º.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

De las obligaciones y derechos generales del constructor o contratista.

### -Verificación de los documentos del proyecto.

Artículo 5.- Antes de dar comienzo a las obras e inmediatamente después de recibidos, el Constructor deberá confrontar la documentación relacionada con el proyecto que le haya sido aportada y deberá informar con la mayor brevedad posible al Director de las Obras sobre cualquier discrepancia, contradicción u omisión solicitando las aclaraciones pertinentes.

### -Plan de seguridad e higiene.

Artículo 6.- El Constructor, a la vista del Proyecto de Ejecución conteniendo, en su caso, el Estudio de Seguridad e Higiene, presentará el Plan de Seguridad e Higiene de la obra a la aprobación del Director de Obra de la dirección facultativa.

### -Oficina en la obra.

Artículo 7.- El Constructor habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre el Contratista a disposición del Director de Obra de la Dirección Facultativa:

- El proyecto de Ejecución completo, incluidos los complementos que en su caso redacte el Ingeniero proyectista o Director de Obra.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

- La Licencia de Obras.
- El libro de Órdenes y Asistencias.
- El Plan de Seguridad e Higiene.
- El libro de incidencias.
- El Reglamento y Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- La documentación de los seguros mencionada en el artículo 4º j).

Dispondrá además el Constructor una oficina para la Dirección Facultativa, convenientemente acondicionada para que en ella se pueda trabajar con normalidad a cualquier hora de la jornada.

### -Presentación del contratista.

Artículo 8.- El Constructor viene obligado a comunicar a la propiedad la persona designada como delegado suyo en la obra, que tendrá carácter de Jefe de la misma, con dedicación plena, y con facultades para representarle y adoptar en todo momento cuantas decisiones competan a la contrata.

Serán sus funciones las del Constructor según se especifica en el artículo 4º.

Cuando la importancia de las obras lo requiera y así se consigne en el Pliego de "Condiciones Particulares de Índole Facultativa", el Delegado del Contratista será un facultativo de grado superior o grado medio, según los casos.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

El Pliego de Condiciones Particulares determinará el personal facultativo o especialista que el Constructor se obligue a mantener en la obra como mínimo, y el tiempo de dedicación comprometido.

El incumplimiento de esta obligación o, en general, la falta de cualificación suficiente por parte del personal según la naturaleza de los trabajos, facultará al Director de Obra para ordenar la paralización de las obras, sin derecho a reclamación alguna, hasta que se subsane la deficiencia.

### **-Presencia del constructor en la obra.**

Artículo 9.- El Jefe de obra, por sí o por medio de sus técnicos o encargados, deberá estar presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Director de obra en las visitas que haga a las obras, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándoles los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

### **-Trabajos no estipulados expresamente.**

Artículo 10.- Es obligación de la contrata el ejecutar cuando sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aún cuando no se halle expresamente determinado en los documentos del Proyecto, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Director de obra dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos habiliten para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

En defecto de especificación en el Pliego de Condiciones particulares, se entenderá que requiere reformado de proyecto con consentimiento expreso de la propiedad, toda variación que suponga incremento de precios de alguna unidad de obra en más del 20 % o del total del presupuesto en más de un 10 %.

-Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.

Artículo 11.- Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o croquis, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al Constructor, estando éste obligado a su vez a devolver los originales o las copias suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba del Director de obra.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos crea oportuno hacer el Constructor, habrá de dirigirla, dentro del plazo de tres días, a quien la hubiere dictado, el cual dará al Constructor el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

Artículo 12.- El Constructor podrá requerir al Director de Obra las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

-Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Artículo 13.- Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes o instrucciones dimanadas de la Dirección Facultativa, sólo podrá presentarlas, a través del Director de obra, ante la propiedad, si son de orden económico y de acuerdo a las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes. Contra disposiciones de orden técnico del Ingeniero Técnico Director de obra, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida al Director de obra, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

-Recusación por el contratista del personal nombrado por el director de obra.

Artículo 14.- El Constructor no podrá recusar al Director de obra o personal encargado por éstos de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones.

Cuando se crea perjudicado por la labor de éstos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente, pero son que por esta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

-Faltas del personal.

Artículo 15.- El Director de obra, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, podrá requerir al

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Contratista que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

Artículo 16.- El Contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, con sujeción en su caso a lo estipulado en el Pliego de Condiciones particulares, y sin perjuicio de sus obligaciones como Contratista general de la obra.

### **EPÍGRAFE 3º.**

Prescripciones generales relativas a los trabajos, a los materiales y a los medios auxiliares.

#### **-Caminos y accesos.**

Artículo 17.- El Constructor dispondrá por su cuenta los accesos a la obra y el cerramiento o vallado de ésta.

El Director de obra podrá exigir su modificación o mejora.

#### **-Replanteo.**

Artículo 18.- Antes de dar comienzo las obras, el Ingeniero Director, junto al personal subalterno necesario y en presencia del Contratista o su representante, procederá al replanteo general de la obra. El Constructor se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo iniciará las obras con el replanteo de las mismas en el terreno, señalando las referencias principales que mantendrá como base de ulteriores replanteos parciales.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluidos en su oferta.

El Director podrá ejecutar u ordenar cuantos replanteos parciales considere necesarios durante el periodo de construcción para que las obras se realicen conforme al proyecto y a las modificaciones del mismo que sean aprobadas.

### -Comienzo de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos.

Artículo 19.- El Constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el Pliego de Condiciones particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los periodos parciales en aquel ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el Contrato.

Obligatoriamente y por escrito deberá el contratista dar cuenta al Director de Obra del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

### -Orden de los trabajos.

Artículos 20.- En general, la determinación del orden de los trabajos será compatible con los plazos programados y es facultad de la contrata, salvo aquellos casos en que, por circunstancias de orden técnico, estime conveniente su variación la Dirección Facultativa.

### -Facilidades para otros contratistas.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Artículo 21.- De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista

General deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que les sean encomendados a todos los demás contratistas que intervengan en la obra. Ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar entre Contratistas por utilización de medios auxiliares o suministros de energía u otros conceptos.

En caso de litigio, ambos contratistas estarán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

### -Ampliación de proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor.

Artículo 22.- Cuando sea preciso por motivo imprevisto o por cualquier accidente ampliar el Proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándose siguiendo una recta interpretación del proyecto y según las instrucciones dadas por el Director de obra, en tanto se formula o tramita el Proyecto Reformado.

El Constructor está obligado a realizar con su personal y sus materiales cuanto la Dirección de las obras disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalzos o cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

### -Prórroga por causa de fuerza mayor.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Artículo 23.- Si por causa de fuerza mayor o independiente de la voluntad del Constructor, éste no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable del Director de Obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

### -Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra.

Artículo 24.- El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de las obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se lo hubiesen proporcionado.

### -Condiciones generales de ejecución de los trabajos.

Artículo 25.- Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue el Director de Obra al Constructor, dentro de las limitaciones presupuestarias y de conformidad con lo especificado en el artículo 10.

### -Obras ocultas.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Artículo 26.- De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado, entregándose una al Director de obra, otro al Promotor y otro al Contratista, firmados todos ellos por los tres. Dichos planos, que deberán ir suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

### -Trabajos defectuosos.

Artículo 27.- El Constructor debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en las "Condiciones Generales y Particulares de índole técnica" del Pliego de Condiciones y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en éstos puedan existir por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que le exonere de responsabilidad el control que compete al Director de obra, ni tampoco el hecho de que estos trabajos hayan sido valorados en las certificaciones parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director de obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

trabajos, o finalizados éstos, y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata.

### -Vicios ocultos.

Artículo 28.- Si el Director de obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo, y antes de la recepción definitiva, los ensayos, destructivos o no, que crea necesarios para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos que se ocasionen serán de cuenta del Constructor, siempre que los vicios existan realmente. En caso contrario serán a cargo de la Propiedad.

### -De los materiales y de los aparatos. Su procedencia.

Artículo 29.- El Constructor tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezca conveniente, excepto en los casos en que el Pliego Particular de Condiciones Técnicas preceptúe una procedencia determinada.

Todos los materiales serán de la mejor calidad y su colocación será perfecta. Tendrán las dimensiones que marquen los documentos del Proyecto y la Dirección Facultativa.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

El transporte, manipulación y empleo de los materiales se hará de manera que no queden alteradas sus características ni sufran deterioro sus formas o dimensiones.

Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo o acopio, el Constructor deberá presentar al Director de obra una lista completa de los materiales y aparatos que vaya a utilizar en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

### -Presentación de muestras.

Artículo 30.- A petición del Director de obra, el constructor le presentará las muestras de los materiales antes de sin cuya aprobación no podrán utilizarse en la construcción.

### -Materiales no utilizables.

Artículo 31.- El Constructor, a su costa, transportará y colocará, agrupándolos ordenadamente y en el lugar adecuado, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra.

Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero, cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones Particulares vigente en la obra.

Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene el Director de Obra, pero acordando

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

previamente con el Constructor su justa tasación, teniendo en cuenta el valor de dichos materiales y los gastos de su transporte.

### -Materiales y aparatos defectuosos.

Artículo 32.- Cuando los materiales, elementos de instalaciones o aparatos no fuesen de la calidad prescrita en este Pliego, o no tuvieran la preparación en él exigida o, en fin, cuando ante la falta de prescripciones formales de aquel se reconociera o demostrara que no eran adecuados para su objeto, el Director de obra dará orden al Constructor de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o llenen el objeto a que se destinen.

Si a los quince días de recibir el Constructor orden de que retire los materiales que no estén en condiciones, no ha sido cumplida, podrá hacerlo la Propiedad cargando los gastos a la Contrata.

Si los materiales, elementos de instalaciones o aparatos fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del Director de obra, se recibirán pero con la rebaja del precio de aquel que determine, a no ser que el Constructor prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

### -Gastos ocasionados por pruebas y ensayos.

Artículo 33.- Todas las pruebas, análisis y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras serán verificados conforme indique el director de obra y serán de cuenta de la contrata todos los gastos que ello origine. Se incluye el coste de los materiales que

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

se ha de ensayar, la mano de obra, herramientas, transporte, gastos de toma de muestras, minutas de laboratorio, tasas, etc.

Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio o que no ofrezca las garantías suficientes, podrá comenzarse de nuevo a cargo del mismo.

### -Limpieza de las obras.

Artículo 34.- Es obligación del Constructor mantener limpias las obras y sus alrededores, tanto de escombros como de material sobrante, hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos que sean necesarios para que la obra ofrezca buen aspecto.

### -Obras sin prescripciones.

Artículo 35.- En la ejecución de trabajos que entran en la construcción de las obras y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en éste Pliego ni en la restante documentación del Proyecto, el Constructor se atenderá, en primer término, a las instrucciones que dicte la Dirección Facultativa de las obras y, en segundo lugar, a las reglas y prácticas de la buena construcción.

### EPÍGRAFE 4º.

De las recepciones de edificios y obras anejas.

### -De las recepciones provisionales.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Artículo 36.- Treinta días antes de dar fin a las obras, comunicará el Director de obra a la Propiedad la proximidad de su terminación a fin de convenir la fecha para el acto de recepción provisional.

Esta se realizará con la intervención de la Propiedad, del Constructor y del Director de obra. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicado un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como participantes y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas. Seguidamente, los Técnicos de la Dirección Facultativa extenderán el correspondiente Certificado de final de obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se darán al Constructor las oportunas instrucciones para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Si el Constructor no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato, con pérdida de la fianza.

-Documentación final de la obra.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Artículo 37.- El Director de obra facilitará a la Propiedad la documentación final de las obras, con las especificaciones y contenido dispuestos por la legislación vigente.

-Medición definitiva de los trabajos y liquidación provisional de la obra.

Artículo 38.- Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el Director de obra a su medición definitiva, con precisa asistencia del Constructor o de su representante. Se extenderá la oportuna certificación por triplicado que servirá para el abono por la Propiedad del saldo resultante salvo la cantidad retenida en concepto de fianza.

-Plazo de garantía.

Artículo 39.- El plazo de garantía deberá estipularse en el Pliego de Condiciones particulares y en cualquier caso nunca deberá ser inferior a nueve meses.

-Conservación de las obras recibidas provisionalmente.

Artículo 40.- Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisional y definitiva, correrán a cargo del Contratista.

Si el edificio fuese ocupado o utilizado antes de la recepción definitiva, la guardería, limpieza y reparaciones causadas por uso corriente

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

correrán a cargo del propietario y las reparaciones por vicios de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo de la contrata.

### -De la recepción definitiva.

Artículo 41.- La recepción definitiva se verificará después de transcurrido el plazo de garantía en igual forma y con las mismas formalidades que la provisional, a partir de cuya fecha cesará la obligación del Constructor de reparar a su cargo aquellos desperfectos inherentes a la normal conservación de los edificios y quedarán solo subsistentes todas responsabilidades que pudieran alcanzarle por vicios de la construcción.

### -Prórroga del plazo de garantía.

Artículo 42.- Si al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el Director de obra marcará al Constructor los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias y, de no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con la pérdida de la fianza.

### -De las recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida.

Artículo 43.- En el caso de resolución del contrato, el Contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo que se fije en el Pliego de Condiciones particulares, la maquinaria, medios auxiliares, instalaciones, etc., a resolver los subcontratos que tuviese concertados y a dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Las obras y trabajos terminados por completo se recibirán provisionalmente con los trámites establecidos en el artículo 34. Transcurrido el plazo de garantía se recibirán de forma definitiva, según lo dispuesto en los artículos 38 y 39 de este Pliego.

Para las obras y trabajos no terminados pero aceptables a juicio del Director de obra, se efectuará una sola y definitiva recepción.

### **1.3. CONDICIONES ECONÓMICAS.**

#### **EPÍGRAFE 1º.**

##### **-Principio general.**

Artículo 44.- Todos los que intervienen el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

Artículo 45.- La propiedad, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

#### **EPÍGRAFE 2º.**

##### **-Fianzas.**

Artículo 46.- El Contratista prestará fianza con arreglo a alguno de los siguientes procedimientos, según se estipule:

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

a) Depósito previo, en metálico o valores, o aval bancario, por importe entre el 3 % y 10 % del precio total de la contrata.

b) Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

### -Fianza provisional.

Artículo 47.- En el caso de que la obra se adjudique por subasta pública, el depósito provisional para tomar parte en ella se especificará en el anuncio de la misma, y su cuantía será de ordinario, y salvo estipulación distinta en el Pliego de Condiciones particulares vigente en la obra, de un 3 % como mínimo, del total del presupuesto de contrata.

El Contratista a quien se haya adjudicado la ejecución de una obra o servicio para la misma, deberá depositar en el punto y plazo fijados en el anuncio de la subasta o el que se determine en el Pliego de Condiciones particulares del Proyecto, la fianza definitiva que se señale y, en su defecto, su importe será el 10 % de la cantidad por la que se haga la adjudicación de la obra, fianza que puede constituirse en cualquiera de las formas especificados en el apartado anterior.

El plazo señalado en el párrafo anterior, y salvo condición expresa establecida en el Pliego de Condiciones particulares, no excederá de treinta días naturales a partir de la fecha en que se le comunique la adjudicación, y dentro de él deberá presentar el adjudicatario la carta de pago o recibido que acredite la constitución de la fianza a que se refiere el mismo párrafo.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

La falta de cumplimiento de este requisito dará lugar a que se declare nula la adjudicación, y el adjudicatario perderá el depósito provisional que hubiese hecho para tomar parte en la subasta.

### -Ejecución de trabajos con cargo a la fianza.

Artículo 48.- Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de obra, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

### -De su devolución en general.

Artículo 49.- La fianza retenida será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de treinta días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. La Propiedad podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratos... Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales.

Artículo 50.- Si la Propiedad, con la conformidad del Director de obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

EPÍGRAFE 3º.

De los precios.

-Composición de precios unitarios.

Artículo 51.- El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

-Se considerarán costes directos.

a) La mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.

b) Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.

c) Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.

d) Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.

e) Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### -Se considerarán costes indirectos.

a) Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorios, seguros, etc.,

b) Los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos.

Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

### -Se considerarán gastos generales.

Los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración, legalmente establecidos. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos (en los contratos de obras de la Administración pública este porcentaje se establece entre un 13 y un 17 %).

### -Beneficio industrial.

El beneficio industrial del Contratista se establece en el 6 % sobre la suma de las anteriores partidas.

### -Precio de Ejecución material.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Se denomina Precio de Ejecución material el resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos a excepción del Beneficio Industrial.

### -Precio de Contrata.

El precio de Contrata es la suma de los costes directos, indirectos, los Gastos Generales y el Beneficio Industrial.

El IVA gira sobre esta suma pero no integra el precio.

### -Precio de contrata. Importe de contrata.

Artículo 52.- En el caso de que los trabajos a realizar en un edificio u obra aneja cualquiera se contratasen a riesgo y ventura, se entiende por Precio de contrata el que importa el coste total de la unidad de obra, es decir, el precio de Ejecución material, más el tanto por ciento sobre este último precio en concepto de Beneficio Industrial del Contratista. El beneficio se estima normalmente, en 6 %, salvo que en las condiciones particulares se establezca otro distinto.

### -Precios contradictorios.

Artículo 53.- Se producirán precios contradictorios sólo cuando la Propiedad por medio del Director de obra decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El Contratista estará obligado a efectuar los cambios.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que se determine en el Pliego de Condiciones particulares, siempre teniendo en cuenta la descomposición de precios del cuadro correspondiente. Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

### -Reclamaciones de aumento de precios por causas diversas.

Artículo 54.- Si el Contratista, antes de la firma del contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras (con referencia a Facultativas).

### -Formas tradicionales de medir o de aplicar precios.

Artículo 55.- En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas, se estará a lo previsto en primer lugar, al Pliego General de Condiciones Particulares.

### -De la revisión de los precios contratados.

Artículo 56.- Contratándose las obras a riesgo y ventura, no se admitirá la revisión de los precios en tanto que el incremento no alcance,

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

en la suma de las unidades que falten por realizar de acuerdo con el Calendario, un montante superior al 3% del importe del presupuesto de Contrato.

Caso de producirse variaciones en alza superiores a este porcentaje, se efectuará la correspondiente revisión de acuerdo con la fórmula establecida en el Pliego de Condiciones Particulares, percibiendo el Contratista la diferencia en más que resulte por la variación del IPC superior al 3 %.

No habrá revisión de precios de las unidades que puedan quedar fuera de los plazos fijados en el Calendario de la oferta.

### -Acopio de materiales.

Artículo 57.- El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que la Propiedad ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el Propietario, son de la exclusiva propiedad de ésta; de su guarda y conservación será responsable el Contratista.

### EPÍGRAFE 4º.

Obras por administración.

### -Administración.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Artículo 58.- Se denominan "Obras por Administración" aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el propietario, bien por sí o por un representante suyo o bien por mediación de un constructor.

Las obras por administración se clasifican en las dos modalidades siguientes:

- a) Obras por administración directa.
- b) Obras por administración delegada o indirecta.

### -Obras por administración directa.

Artículo 59.- Se denominan "Obras por Administración Directa" aquellas en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo, que puede ser el propio Director de obra, expresamente autorizado a estos efectos, lleve directamente las gestiones precisas para la ejecución de la obra, adquiriendo los materiales, contratando su transporte a la obra y, en suma, interviniendo directamente en todas las operaciones precisas para que el personal y los obreros contratados por él puedan realizarla; en estas obras el constructor, si lo hubiese, o el encargado de su realización, es un mero dependiente del propietario, ya sea como empleado suyo o como autónomo contratado por él, que es quién reúne en sí, por tanto, la doble personalidad de Propietario y Contratista.

### -Obras por administración delegada o indirecta.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Artículo 60.- Se entiende por "Obras de Administración Delegada o Indirecta" la que conviene un Propietario y un Constructor para que éste, por cuenta de aquel y como delegado suyo, realice las gestiones y los trabajos que se precisen y se convengan.

Son por tanto, características peculiares de las "Obras por Administración Delegada o Indirecta" las siguientes:

a) Por parte del Propietario, la obligación de abonar directamente o por mediación del Constructor todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos convenidos reservándose el Propietario la facultad de poder ordenar, bien por sí o por medio del Director de obra en su representación, el orden o la marcha de los trabajos, la elección de los materiales y los aparatos que en los trabajos han de emplearse y, en suma, todos los elementos que crea preciso para regular la realización de los trabajos convenidos.

b) Por parte del Constructor, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos, aportando sus conocimientos constructivos, los medios auxiliares precisos y, en suma, todo lo que, en armonía con su cometido, se requiera para la ejecución de los trabajos, percibiendo por ello del Propietario un tanto por ciento prefijado sobre el importe total de los gastos efectuados y abonados por el Constructor.

### -Liquidación de obras por administración.

Artículo 61.- Para la liquidación de los trabajos que se ejecuten por administración delegada o indirecta, regirán las normas que a tales fines se establezcan en las "Condiciones particulares de índole económica"

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

vigentes en la obra; a falta de ellas, las cuentas de administración las presentará el Constructor al Propietario, en relación valorada a la que deberá acompañarse y agrupados en el orden que se expresan los documentos siguientes todos ellos conformados por el Director de obra:

a) Las facturas originales de los materiales adquiridos para los trabajos y el documento adecuado que justifique el depósito o el empleo de dichos materiales en la obra.

b) Las nóminas de los jornales abonados, ajustadas a lo establecido en la legislación vigente, especificando el número de horas trabajadas en la obra por los operarios de cada oficio y su categoría, acompañando a dichas nóminas una relación numérica de los encargados, capataces, jefes de equipo, oficiales y ayudantes de cada oficio, peones especializados y sueltos, listeros, guardas, etc., que hayan trabajado en la obra durante el plazo de tiempo a que correspondan las nóminas que se presentan.

c) Las facturas originales de los transportes de materiales puestos en la obra o de retirada de escombros.

d) Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra que haya pagado o en cuya gestión haya intervenido el Constructor, ya que su abono es siempre a cuenta del Propietario.

A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión o pago haya intervenido el Constructor se le aplicará, a falta de convenio especial, un quince por ciento (15 %), entendiéndose que en este porcentaje están incluidos los medios auxiliares y los de seguridad

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

preventivos de accidentes, los Gastos Generales que al Constructor originen los trabajos por administración que realiza y el Beneficio Industrial del mismo. Abono al constructor de las cuentas de administración delegada.

Artículo 62.- Salvo pacto distinto, los abonos al Constructor de las cuentas de Administración delegada los realizará el Propietario mensualmente según las partes de trabajos realizados aprobados por el Propietario o por su delegado representante.

Independientemente, el Director de obra redactará, con igual periodicidad, la mediación de la obra realizada, valorándola con arreglo al presupuesto aprobado. Estas valoraciones no tendrán efectos para los abonos al Constructor salvo que se hubiese pactado lo contrario contractualmente.

### -Normas para la adquisición de los materiales y aparatos.

Artículo 63.- No obstante las facultades que en estos trabajos por Administración delegada se reserva el Propietario para la adquisición de los materiales y aparatos, si al Constructor se le autoriza para gestionarlos y adquiridos, deberán presentar al Propietario para la adquisición de los materiales y aparatos, si al Constructor se le autoriza para gestionarlos y adquirirlos, deberá presentar al Propietario, o en su representación al Director de obra, los precios y las muestras de los materiales y aparatos ofrecidos, necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

-Responsabilidad del constructor en el bajo rendimiento de los obreros.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Artículo 64.- Si de los partes mensuales de obra ejecutada que preceptivamente debe presentar el Constructor al Director de obra, éste advirtiese que los rendimientos de la mano de obra, en todas o en algunas de las unidades de obra ejecutada, fuesen notoriamente inferiores a los rendimientos normales generalmente admitidos para unidades de obra iguales o similares, se lo notificará por escrito al Constructor, con el fin de que éste haga las gestiones precisas para aumentar la producción en la cuantía señalada por el Director de obra.

Si hecha notificación al Constructor, en los meses sucesivos, los rendimientos no llegasen a los normales, el Propietario que da facultado para resarcirse de la diferencia, rebajando su importe de 15 % que por los conceptos antes expresados correspondería abonarle al Constructor en las liquidaciones quincenales que preceptivamente deban efectuársele. En caso de no llegar ambas partes a un acuerdo en cuanto a los rendimientos de la mano de obra, se someterá el caso a arbitraje.

### -Responsabilidades del constructor.

Artículo 65.- En los trabajos de "Obras por Administración delegada", el Constructor solo será responsable de los defectos constructivos que pudieran tener los trabajos o unidades por el ejecutadas y también de los accidentes o perjuicios que pudieran sobrevenir a los obreros o a terceras personas por no haber tomado las medidas precisas que en las disposiciones legales vigentes se establecen. En cambio, y salvo lo expresado en el artículo 62 precedente, no será responsable del mal resultado que pudiesen dar los materiales y aparatos elegidos con arreglo a las normas establecidas en dicho artículo.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

En virtud de lo anteriormente consignado, el Constructor está obligado a reparar por su cuenta los trabajos defectuosos y a responder también de los accidentes o perjuicios expresados en el párrafo anterior.

### **EPÍGRAFE 5º.**

De la valoración y abono de los trabajos.

#### **-Formas varias de abono de las obras.**

Artículo 66.- Según la modalidad elegida para la contratación de las obras y salvo que en el Pliego Particular de Condiciones Económicas, se preceptúe otra cosa, el abono de los trabajos se efectuará de la siguiente manera:

1º-Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso en el importe de baja efectuada por el adjudicatario.

2º-Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas.

Previa medición y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas, se abonará al contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

documentos que constituyen el Proyecto, los que servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades.

3º-Tanto variable por unidad de obra, según las condiciones en que se realice y los materiales autorizados en la forma que el presente "Pliego General de Condiciones Económicas" determina.

Se abonará al Contratista en idénticas condiciones al caso anterior.

4º-Por listas de jornales y recibos de materiales, autorizados en la forma que el presente "Pliego General de Condiciones Económicas" determina.

5º-Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el Contrato.

### -Relaciones valoradas y certificaciones.

Artículo 67.- En cada una de las épocas o fechas que se fijen en el contrato o en los "Pliegos de Condiciones Particulares" que rijan en la obra, formará con Contratista una relación valorada de las obras ejecutadas durante los plazos previstos, según la medición que habrá practicado el Director de obra.

Lo ejecutado por el Contratista en las condiciones preestablecidas, se valorará aplicando al resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderal, o numeral correspondiente para cada unidad de obra, los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo presente además lo establecido en el presente "Pliego General

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

de Condiciones Económicas", respecto a mejoras o sustituciones de material y a las obras accesorias y especiales, etc.

Al Contratista, que podrá presenciar las mediciones necesarias para extender dicha relación, se le facilitarán por el Director de obra los datos correspondientes de la relación valorada, acompañándolos de una nota de envío, al objeto de que, dentro del plazo de diez días a partir de la fecha del recibo de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos o devolverlos firmados con su conformidad o hacer, en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas. Dentro de los diez días siguientes a su recibo, el Director de obra aceptará o rechazará las reclamaciones del Contratista si las hubiera, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución del Director de obra en la forma prevenida en los "Pliegos Generales de Condiciones Facultativas y Legales".

Tomando como base la relación valorada indicada en el párrafo anterior, expedirá el Director de obra la certificación de las ejecutadas.

De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya preestablecido.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el noventa por ciento de su importe, a los precios que figuren en los documentos del Proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de la contrata.

Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al periodo a que se refieren y tendrán el carácter de documento y

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. En el caso de que el Director de obra lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

### -Mejoras de obras libremente ejecutadas.

Artículo 68.- Cuando el Contratista, incluso con autorización del Director de obra, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el Proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquiera otra modificación que sea beneficiosa a juicio del Director de obra, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

### -Abono de trabajos presupuestados con partidaalzada.

Artículo 69.- Salvo lo preceptuado en el "Pliego de Condiciones Particulares de Índole Económica" vigente en la obra, el abono de los trabajos presupuestados en partidaalzada, se efectuará de acuerdo con el procedimiento que corresponda entre los que a continuación se expresan:

a) Si existiesen precios contratados para unidades de obra iguales, las presupuestadas mediante partidaalzada, se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

b) Si existiesen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios contradictorios para las unidades con partida alzada, deducidos de los similares contratados.

c) Si no existiesen precios contratados para unidades de obra iguales o similares, la partida alzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el Presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse, en cuyo caso, el Director de obra indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que ha de seguirse para llevar dicha cuenta, que en realidad será de Administración, valorándose los materiales y jornales a los precios que figuren en el Presupuesto aprobado o, en su defecto, a los que con anterioridad a la ejecución convengan las dos partes, incrementándose su importe total con el porcentaje que se fije en el Pliego de Condiciones Particulares de Gastos Generales y Beneficio Industrial del Contratista.

### -Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados.

Artículo 70.- Cuando fuese preciso efectuar agotamientos, inyecciones u otra clase de trabajos de cualquiera índole especial u ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del Contratista, y si no se contratasen con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por el Propietario por separado de la contrata.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Además de reintegrar mensualmente estos gastos al Contratista, se le abonará juntamente con ellos el tanto por ciento del importe total que, en su caso, se especifique en el Pliego de Condiciones Particulares.

### -Pagos.

Artículo 71.- Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra conformadas por el Director de obra, en virtud de las cuales se verificarán aquellos.

### -Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.

Artículo 72.- Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

1º-Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y el Director de obra exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto y abonado de acuerdo con lo establecido en los "Pliegos Particulares" o en su defecto en los Generales, en el caso de que dichos precios fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización; en caso contrario, se aplicarán estos últimos.

2º-Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por no haber sido éste

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

utilizado durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.

3º-Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al Contratista.

### **EPÍGRAFE 6º.**

De las indemnizaciones mutuas.

-Importe de la indemnización por retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras.

Artículo 73.- La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un tanto por mil del importe total de los trabajos contratados, por cada día natural de retraso, contados a partir del día de terminación fijado en el Calendario de obra.

Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

-Demora de los pagos.

Artículo 74.- Si el Propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que corresponde el plazo convenido, el Contratista tendrá además el derecho de percibir el abono de un 4'5 % anual, en concepto de interese de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo de un mes sin realizarse dicho pago, tendrá derecho el Contratista a la resolución del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que éstos reúnan las condiciones preestablecidas y que su cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

No obstante lo anteriormente expuesto, se rechazará toda solicitud de resolución del contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra o en materiales acopiados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el contrato.

### **EPÍGRAFE 7º.**

Varios.

#### **-Mejoras y aumentos de obra. Casos contrarios.**

Artículo 75.- No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Director de obra haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Director de obra ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

En todos estos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o aparatos ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirán el mismo criterio y procedimiento, cuando el Director de obra introduzca innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra contratada.

### -Unidades de obra defectuosas pero aceptables.

Artículo 76.- Cuando por cualquier causa fuera menester valorar obra defectuosa, pero aceptable a juicio del Director de obra, éste determinará el precio de partida de abono después de oír al Contratista, el cual deberá conformarse con dicha resolución, salvo el caso en que, estando dentro del plazo de ejecución, prefiera demoler la obra y rehacerla con arreglo a condiciones, sin exceder de dicho plazo.

### -Seguro de las obras.

Artículo 77.- El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en el caso de siniestro, se ingresará en cuanto a nombre del Propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecho en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada; la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda resolver el contrato, con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no se le hubiesen abonado, pero sólo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Director de obra.

En las obras de reforma o reparación, se fijarán previamente la porción de edificio que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se prevé, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte del edificio afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de Seguros, los pondrá el Contratista, antes de contratarlos, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

### -Conservación de la obra.

Artículo 78.- Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el Propietario antes de la recepción

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

definitiva, el Director de obra, en representación del Propietario, podrá disponer todo lo que sea preciso para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de resolución del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el Director de obra señale.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del edificio corra a cargo del contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuese preciso ejecutar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar y reparar la obra, durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente "Pliego de Condiciones Económicas".

### -Uso por el contratista de edificio o bienes del propietario.

Artículo 79.- Cuando durante la ejecución de las obras ocupe el Contratista, con la necesaria y previa autorización del Propietario, edificios o haga uso de materiales o útiles pertenecientes al mismo, tendrá la obligación de repararlos y conservarlos para hacer entrega de ellos a la terminación del contrato, en derecho a indemnización por esta reposición ni por las mejoras hechas en los edificios, propiedades o materiales que haya utilizado.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

En el caso de que al terminar el contrato y hacer entrega del material, propiedades o edificaciones, no hubiese cumplido el Contratista con lo previsto en el párrafo anterior, lo realizará el Propietario a costa de aquel y con cargo a la fianza.

Artículo 80.- Se tendrán en cuenta las siguientes disposiciones:

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales del Ministerio de Obras Públicas.
- Normas Básicas y Generales de la Edificación.
- Ley de Contratos del Estado (D 923/1965)
- Instrucción EHE para el proyecto de ejecución de obras de hormigón en masa o armado.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y normas MIBT complementarias.

### **2. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES.**

#### **2.1. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA.**

Artículo 1.- OBRAS AFECTADAS.

Este Pliego de Condiciones particulares, juntamente con el Pliego General de Condiciones, la Memoria, Planos y Presupuestos, son documentos que has de servir de base para la ejecución de las obras correspondientes a este proyecto.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Serán objeto de las normas y condiciones facultativas que se reflejan en el Pliego de Condiciones las obras incluidas en el presupuesto, abarcando a todos los oficios y materiales que en ella se emplean.

### **Artículo 2.- NORMAS DE APLICACIÓN.**

Serán de aplicación las normas indicadas en el capítulo correspondiente de la Memoria, y cuantas normas sean de aplicación, de acuerdo con la naturaleza del presente proyecto.

### **Artículo 3.- INTERPRETACIÓN DEL PROYECTO Y REALIZACIÓN DE OBRA.**

Corresponde exclusivamente a la Dirección Técnica la interpretación del Proyecto, así como el dar las órdenes complementarias, gráficos o escritos para el correcto desarrollo del mismo.

Las obras se ajustarán a los planos y estados de mediciones, resolviéndose cualquier discrepancia por el Director de obra.

### **Artículo 4.- DURACIÓN DE LAS OBRAS.**

Las obras correspondientes al presente proyecto comenzarán en la semana siguiente de la adjudicación por parte del Contratista, en el supuesto de que el contrato no se señale alguna otra fecha.

La duración de las obras será como máximo seis meses, si el contrato no lo estipula expresamente.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

### Artículo 5.-PLAZO DE GARANTÍA.

Se establece un plazo de garantía de 1 año como mínimo para las obras, maquinaria e instalaciones del presente proyecto.

### Artículo 6.- RETIRADA DE MATERIALES, CASO DE RESCISIÓN DE CONTRATO.

La retirada de maquinaria, medios auxiliares, instalaciones, etc., caso de rescisión de contrato se realizará en el plazo de una semana como máximo contada a partir del día de rescisión, y será por cuenta del Constructor que rescinde.

### 2.2. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA.

### Artículo 7.- MEDICIÓN DE LAS OBRAS EJECUTADAS.

La medición de las obras se hará por el tipo de unidad establecida en el Presupuesto.

### Artículo 8.- EXCAVACIÓN Y RELLENO.

Se entiende por excavación en tierras las cubicaciones de la explanación efectuada, y por relleno, el mismo volumen descontando el que ocupa la fábrica.

### Artículo 9.-DEFINICIÓN DEL METRO CÚBICO DE FÁBRICA.

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Se entiende por metro cúbico de fábrica el de la obra ejecutada completamente terminada con arreglo a las condiciones. El precio señalado en el cuadro de precios correspondiente se refiere al metro cúbico definido de esta manera, cualquiera que sea la procedencia de los materiales.

### **Artículo 10.-MEDICIÓN DE ALBAÑILERÍA.**

Los muros y tabiques se medirán una vez terminados, y se descontarán los huecos que correspondan.

Los forjados de piso se medirán por superficie.

En los tejados, la medición se realizará descomponiendo cada faldón en caras geométricas bien determinadas. No se abonarán aparte los caballetes ni las limas.

Los solados y revestimientos de azulejos también se abonarán descontando los huecos, si los hubiera. Del mismo modo se procederá en guarnecidos, enlucidos, revocos, enfoscados y pinturas.

### **Artículo 11.- MEDICIÓN DE CERRAJERÍA Y CARPINTERÍA.**

La carpintería de puertas y ventanas se medirá con cerco. La medición se realizará sin desarrollar moldaduras.

### **Artículo 12.- MEDICIÓN DE OBRAS METÁLICAS.**

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Las partes metálicas de las obras se medirán por kg o por m<sup>2</sup>, según Mediciones del Proyecto y estimación del Director de obra.

### **Artículo 13.- PRECIOS CONTRADICTORIOS.**

Se establece un plazo de dos días para resolver cualquier precio contradictorio entre la Contrata y la Dirección Facultativa.

### **2.3. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL.**

#### **Artículo 14.- OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA.**

El Contratista con carácter general viene obligado a ejecutar esmeradamente todas las obras que se le confían, así como a cumplir rigurosamente todas las condiciones estipuladas en este Pliego o en el Contrato, al igual que cuantas ordenes se le den verbalmente o por escrito por el Técnico Director de las obras.

#### **Artículo 15.- RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA.**

De la calidad y buena ejecución de las obras contratadas, el Contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio que pudieran costarle, ni por las erradas maniobras que cometiera durante la construcción, siendo a su cuenta y riesgo independientemente de la inspección que de ellas haya podido haber hecho el Técnico Director de obra.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan, para evitar en lo

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

posible accidentes a los obreros o a los viandantes, en todos los lugares peligrosos de la obra.

Así mismo, será responsable ante los tribunales de los accidentes que por inexperiencia o descuido sobrevinieran en el curso de las obras, debiendo atenerse en todo a las normas de prudencia, así como a las disposiciones y Reglamentos de Policía de la materia.

### **Artículo 16.- LEYES LABORALES DE ACCIDENTES DE TRABAJO.**

El contratista viene obligado a cumplir rigurosamente todas las legislaciones vigentes, o que puedan dictarse en el curso de los trabajos.

Igualmente está obligado a tener a todo el personal a sus órdenes debidamente asegurado contra accidentes de trabajo, debiendo así probarlo si a ello fuera invitado por la Dirección Técnica o la Propiedad.

### **Artículo 17.- MANO DE OBRA.**

El contratista deberá tener siempre en obra un número de operarios proporcional a la extensión y clase de los trabajos a juicio de la Dirección Técnica. Estos serán de aptitud reconocida experimentados en su oficio y en todo momento habrá en obra un técnico o encargado apto que vigile e interprete los planos, y haga cumplir las órdenes de la Dirección y cuanto en este Pliego se especifica.

### **Artículo 18.- DAÑOS EN PROPIEDADES VECINAS.**

## **DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

Si con motivo de las obras el contratista causara algún desperfecto en las propiedades colindantes, tendrá que repararla por su cuenta. Así mismo, adoptará cuantas medidas sean necesarias para evitar la caída de materiales o herramientas que puedan ser motivo de accidentes.

### **Artículo 19.- RESCISIÓN DEL CONTRATO.**

La rescisión, si se produjera, se regirá por el Reglamento General de Contratación para Aplicación de la Ley de Contratos de Estado, por el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales y demás disposiciones vigentes.

Serán causas suficientes de rescisión las siguientes:

- Muerte o incapacitación del Contratista.
- Quiebra del Contratista.
- Alteraciones del contrato por las causas siguientes:

- Modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales a juicio del Director de obra, y siempre que la variación del presupuesto sea de  $\pm 25\%$  como mínimo de su importe.

- Variaciones en las unidades de obra en  $\pm 40\%$ .

- Suspensión de la obra comenzada.

- Incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido o mala fe con perjuicio de los intereses de las obras.

- Abandono de la obra sin causa justificada.

### **Artículo 20.- FORMALIZACIONES DEL CONTRATO.**

**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR  
DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

La formalización del contrato se verificará por documento privado con el compromiso por ambas partes, Propiedad y Contratista de elevarlo a Documento Público a petición de cualquiera de ellos, como complemento del Contrato, los Planos y demás documentos del Proyecto irán firmados por ambos.

**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR  
DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

**DOCUMENTO III: PRESUPUESTO**

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

### DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO

#### 1. EQUIPOS Y ACCESORIOS

En este capítulo se refleja una estimación del coste de adquisición y montaje de cada uno de los equipos de la unidad de extracción. Los datos han sido aportados por las empresas: Platoquímica, Kobold, Tramec.

CONCEPTO	UNIDADES	€/UNIDAD	TOTAL(€)
Prensa de rodillos de acero inoxidable. Módulos de 3 rodillos, los rodillos son de 34 pulgadas de diámetro por 60 pulgadas de largo. Accionados por un motor eléctrico de 100 CV.	3	35.000	105.000
Bomba centrífuga de acero inoxidable marca MEP, tipo monobloc (1 impulsor) - Puede aspirar hasta 6/7 m con válvula de pie. - Cuerpo de bomba y soporte de fundición, eje de acero inoxidable, impulsor de latón estampado, cierre mecánico, motor cerrado autoventilado, protección IP44, aislamiento clase F, protector térmico y condensador incorporados en los motores monofásicos. - Temperatura máxima del agua: 90°C. - Potencia nominal: 0,37 ÷ 4 kW y 0,5 ÷ 5,5 CV. - Caudal: 18 - 300 m <sup>3</sup> /h - Altura manométrica: 12 - 58,5 m. - Peso: 20,8 kg.	2	10.000	20.000

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Tuberías de acero inoxidable A.I.S.I.304, de diámetro nominal 8in y 8,18mm de espesor	90,8m	170€/m	15.436
Tuberías de acero inoxidable A.I.S.I.304, de diámetro nominal 12in y 10,31mm de espesor	53m	220€/m	11.660
Banda transportadora de 16 m de longitud. Accionada por un motor de 100 CV. de potencia.	4	6.800,00	27.200,00

### EQUIPO DE CONTROL:

En este apartado se ha realizado una estimación de los costes de adquisición y montaje de los equipos de control necesarios para la etapa de extracción:

CONCEPTO	UNIDADES	€/UNIDAD	TOTAL(€)
Báscula pesadora continua RV-300 PC Báscula tolva de pesada continua, con acabado en acero inoxidable. - sistemas de pesaje electrónico o híbrido. -capacidad de 500 Tm. - pesaje informatizado.	1	9000	9000
Controlador de temperaturas, marca KOBOLD, con: -Rangos de temperatura estándar: -30 a +50 a 0 a +400°C -p <sub>max</sub> : 25 bar -Controlado por microprocesador -Salidas analógicas -Interfase RS 232 -Memoria de pico -Hasta cuatro relés de valor flotante límite -Indicador LED de alto contraste -Indicador LCD con iluminación posterior para programación -Rangos de temperatura re-escalables en el siti	1	720	720

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

<p>Controlador de caudal, marca KOBOLD, con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Rangos de medida: 1-5 l/min...900-3600 m<sup>3</sup>/h</li> <li>-Precisión de medición: <math>\pm 3\%</math>...<math>\pm 5\%</math> valor a fondo de escala</li> <li>-Conexión: G 3/8...G 2, 3/8 NPT...2 NPT Brida: DN 10 a DN 50 ANSI 3/8" a 2" brida soldada para tubo de corte transversal: DN 40 a DN 50</li> <li>-Material: acero inoxidable</li> <li>-p<sub>max</sub>: PN 16, t<sub>max</sub>: 100°C</li> </ul>	2	1.300	2.600
<p>Controlador de nivel, marca KOBOLD, con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Longitud de medida: máx. 6000 mm</li> <li>-Precisión de medida: 0.5% para L = 3000 mm</li> <li>-Presión: máx. 20 bar</li> <li>-Temperatura: máx. 130°C</li> <li>-Conexión: G 3/8" a G 2" brida: DN 50 a DN 100</li> <li>-Material: acero inoxidable</li> <li>-Indicación de nivel constante independiente de la conductividad, presión y temperatura</li> </ul>	4	980	3.920
<p>Válvula de bola de 2 vías con actuador eléctrico, marca KOBOLD, con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-p<sub>max</sub>. PN 16</li> <li>-t<sub>max</sub>. +160°C</li> <li>-Conexiones: tornillo roscado G 1/4 hasta G 2 ½ terminales soldadas DN 15 hasta DN 50 bridas DN 15 hasta DN 50</li> <li>-24 V<sub>CC</sub>, 230 V<sub>CA</sub></li> <li>-Acero inoxidable</li> </ul>	3	1.200	3.600

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### 2. PRESUPUESTO FINAL

Prensas	105.000€
Bombas	20.000€
Tuberías	27.096€
Cintas transportadoras	27.200€
Báscula pesadora	9000€
Controlador de temperaturas	720€
Controlador de caudal	2.600€
Controladores de nivel	3.920€
Válvulas	3.600€
<b>TOTAL EQUIPO</b>	<b>199.136€</b>
3% GASTOS GENERALES	5.974,08€
5% BENEFICIO INDUSTRIAL	9.956,8€
TOTAL EJECUCIÓN	215.066,88€
16% IVA	34.410,7€
<b>TOTAL</b>	<b>249.477€</b>

El presente proyecto asciende a la cantidad de doscientos cuarenta y nueve mil cuatrocientos setenta y siete.

Puerto Real, junio de 2006

Fdo: Carolina Robledo Rodríguez

**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR  
DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

**ANEXOS**



## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Figura F.14. Diagrama de composición mostrando las líneas de la corriente de agotado

La composición de cada una de las corrientes, en un sistema de extracción en contracorriente, se puede representar gráficamente sobre un diagrama triangular, como el de la figura. En esta figura, el vértice de ángulo recto representa sólidos insolubles puros; la abscisa (en la que  $X_s = 0$ ) mezclas de sólidos insolubles y disolvente. La hipotenusa representa mezclas de solutos y disolvente ( $X_c = 0$ ). Algunos de estos diagramas triangulares se pueden dividir en regiones saturadas e insaturadas o regiones bifásicas. Sin embargo, en la mayor parte de las aplicaciones para extracciones sólido-líquido, se forma una disolución simple, no saturada, y resulta innecesaria una subdivisión del triángulo, como es objeto de estudio. Si se conoce la cantidad de disolución (o disolvente) retenida por unidad de masa de sólidos insolubles es la misma en todas las unidades de extracción del sistema, se dice que se opera en condiciones constantes del flujo de agotado. Si la masa de disolución por unidad de masa de sólidos insolubles es constante en todas las etapas, puede representarse la composición del agotado mediante una línea, como la DE de la figura. La ecuación de esta línea es:

$$X_s = \frac{k}{(k + 1)} - X_a$$

donde  $X_s$  = fracción másica de disolvente en la corriente de agotado,  $X_a$  = fracción másica de soluto en la misma corriente y  $k$  = masa de disolución retenida por unidad de masa de sólidos insolubles.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

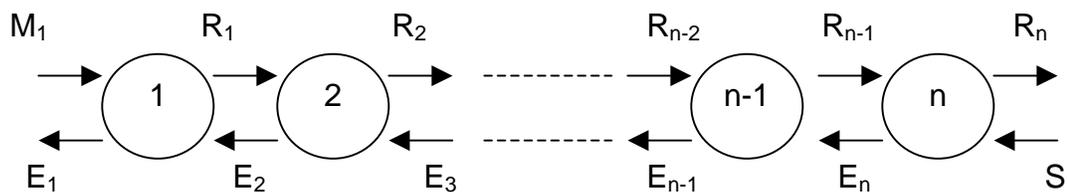
Si la masa de disolvente por unidad de masa de sólidos insolubles en la corriente de agotado es la misma en todas las etapas, se puede representar su composición por una línea, como la DF de la figura. La ecuación de esta línea es la siguiente:

$$X_s = \frac{k}{(k+1)} - \frac{k}{(k+1)} X_a$$

donde  $k$  = masa de disolución retenida por unidad de masa de sólidos insolubles.

Si, ni la masa de la disolución, ni la de disolvente retenido por unidad de masa de residuo insoluble permanecen constantes entre las diversas etapas, pueden representarse en un diagrama triangular los valores obtenidos experimentalmente en cada unidad, para obtener una línea curva como la DG de la figura.

El esquema de flujo para la extracción en contacto múltiple en contracorriente es el siguiente:



Constituye el método de extracción sólido líquido más empleado en la práctica industrial; el flujo superior o refinado se va empobreciendo en

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

solute desde la última hasta la primera etapa, mientras el flujo inferior o extracto se va concentrando desde la primera hasta la última etapa.

El balance global de materia aplicado a la etapa de extracción será:

$$F + S = E_1 + R_N$$

Por otro lado, la diferencia entre los flujos de salida es constante para los extremos del proceso:

$$F - E_1 = R_N - S = P$$

Donde  $P$ , al que se denomina polo, es el punto de intersección de las rectas  $FE_1$  y  $R_N S$ . Este punto nos permitirá calcular el número de etapas.

### -Número de etapas:

En el apartado 2.2.CÁLCULO DEL NÚMERO DE ETAPAS, se cálculo la composición de alimentación y del extracto para la extracción múltiple en contracorriente:

Corriente de la alimentación

$$F = R_1 = 135,28\text{Tm/h}$$

s: 11,5%

ns: 21,9%

a: 66,5%

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Composición del extracto de la primera prensa donde se realiza la extracción, es decir la segunda, ya que en la primera se realiza un prensado en seco. Ésta será la primera etapa de la extracción contracorriente.

$$E_1 = 154,7\text{Tm/h}$$

$$s: 9,0\%$$

$$ns: 2,7\%$$

$$a: 88,2\%$$

Tenemos el valor del refinado de la última etapa  $R_N$

$$R_N = \text{Bagazo} = 54,17\text{Tm/h}$$

$$s: 3\%$$

$$ns: 47\%$$

$$a: 50\%$$

Se ha considerado que la masa de disolución por unidad de masa de sólidos insolubles es constante en todas las etapas. La línea DE se puede trazar localizando los puntos D

$$X_a = 0, X_s = \frac{k}{(k+1)}$$

y E

$$X_s = 0, X_a = \frac{k}{(k+1)}$$

en los ejes de ordenadas y abscisas, respectivamente.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### -Cálculo de la constante k:

El valor de la constante k se calculó experimentalmente para comparar con el dato que tenía de la composición del refinado que sale de la última etapa, el bagazo, aportado por (ingenio Pichichí, pág.web), el procedimiento para el cálculo fue el siguiente:

Se troceó la caña de azúcar, puesto que en las prensas entra desmenuzada. Se calentó con agua repetidas veces para eliminar los sólidos insolubles y dejar el inerte. Y luego se secó. Una vez seco, se tomo parte de los sólidos y se pesó. Esto se metió en agua (a una temperatura aproximada a la de la extracción de los molinos), se escurrió y se volvió a pesar. Este proceso se repitió 4 veces y se obtuvieron los siguientes resultados:

	1º	2º	3º	4º
Masa sólidos insolubles(g)	13,86	21,12	38,50	25,84
Masa agua(g)	29,36	40,74	68,2	48,76
k	2,12	1,93	1,77	1,89

Por otro lado, se dispone del dato de la composición del refinado que sale de la última etapa, el bagazo, obtenida de la bibliografía (ingenio Pichichí, pág.web). Al dibujar este punto en el diagrama, aunque próximo, queda por debajo de la línea que se ha trazado, debido a que las prensas eliminan mayor cantidad de disolución del inerte. Para el cálculo se

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

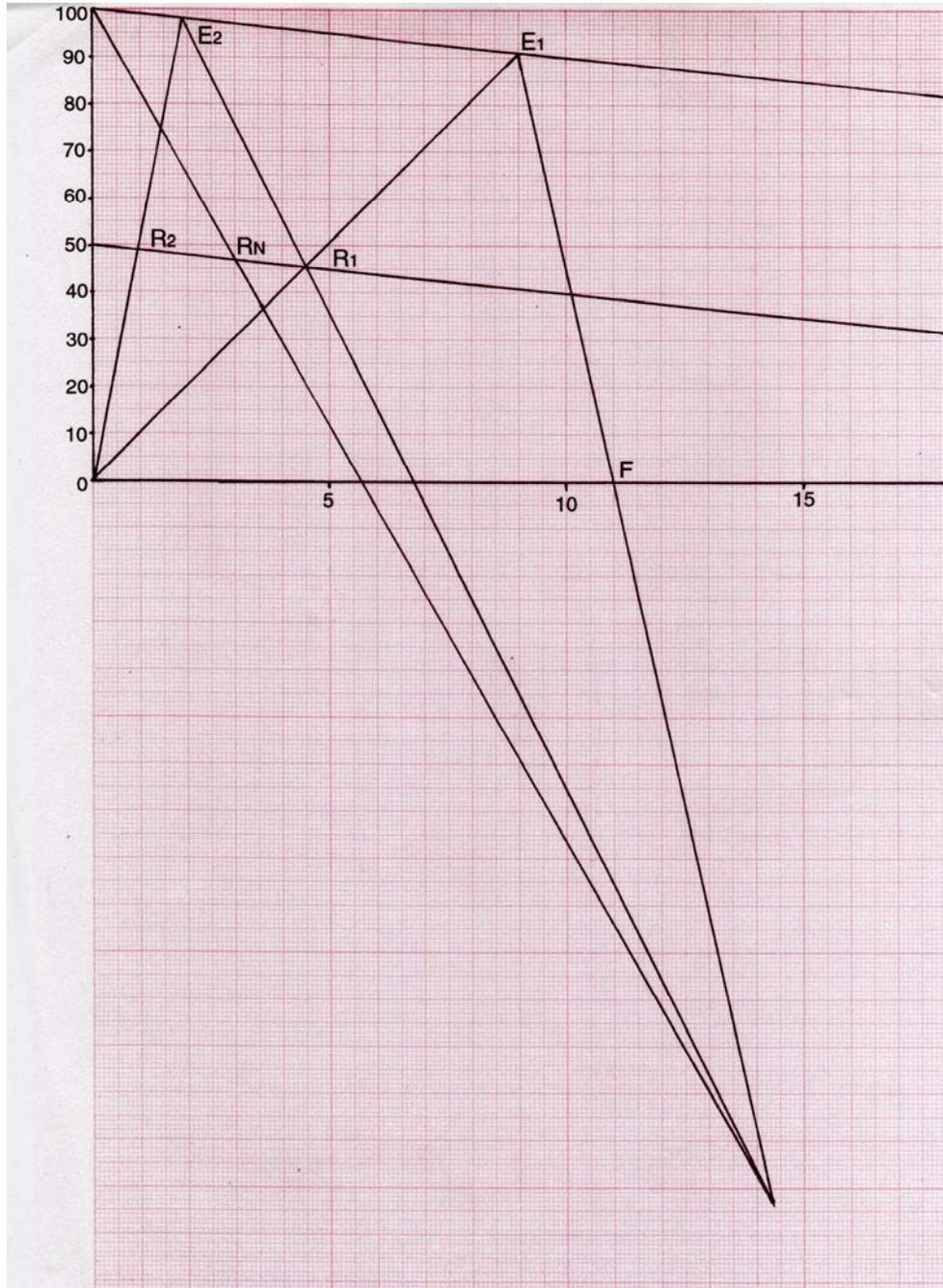
utilizará el dato que se tenía de composición del bagazo y se hará pasar por este punto la línea de retención.

El punto P, polo, vendrá dado por la intersección de las rectas  $FE_1$  y  $R_1S$ .

En el diagrama triangular se representa primero el punto F, que se va a unir con  $E_1$ . Y  $R_N$  con S, que corresponde con el vértice superior del triángulo. Estas dos rectas se cruzan en el punto P. Después, el punto  $E_1$  se une con el vértice inferior izquierdo, el correspondiente a los inertes. Esta recta corta a la línea de retención en el punto  $R_1$ , refinado del molino 2, y unimos este punto con el punto P y obtenemos  $E_2$ . Se repetirá el proceso hasta que  $R < R_N$ .

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

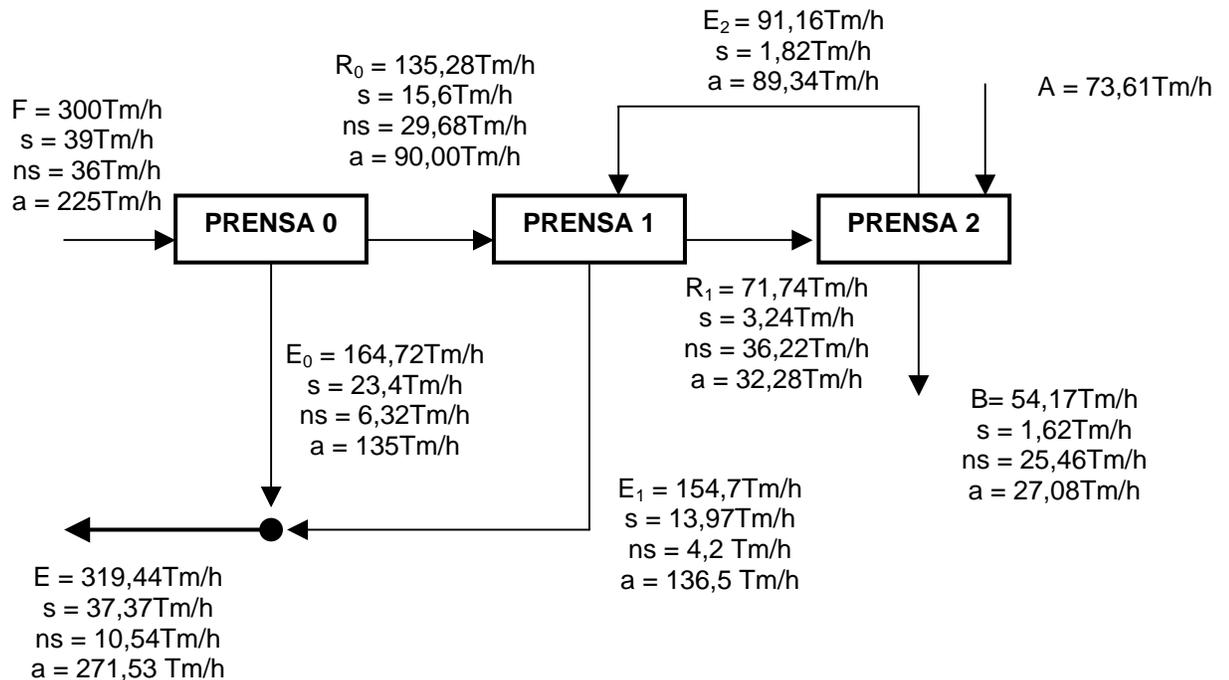
Diagrama realizado del proceso:



## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

En el diagrama se puede ver el cálculo del número de etapas de equilibrio para lograr el grado de extracción determinado en el proyecto. Como se puede observar, para conseguir el grado de extracción requerido se necesitarán 2 prensas con extracción sólido-líquido y otra más en la que se realiza el prensado en seco. En total se utilizarán 3 prensas.

Utilizando los balances de materia y el diagrama triangular se obtienen los valores siguientes para las distintas corrientes:



Donde:

$E_N$  = Extractos de los molinos

$R_N$  = Refinados

B = Bagazo

A = Agua de imbibición

F = Alimentación, caña de azúcar

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### ANEXO II: DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS

Se va a realizar el dimensionado de las tuberías de la etapa de extracción.

#### -Cálculo del diámetro de tuberías

- **Tramo de tubería desde el tercer molino al segundo:**

El cálculo se va a realizar a partir de los datos aportados por la tabla T.8. del anexo V. Los datos utilizados son los del agua, ya que estas corrientes tiene un porcentaje muy elevado en agua, así que las velocidades no variarán significativamente.

Se supone que el diámetro de tubería se encuentra entre 3" y 10" y se toma la velocidad de descarga de bomba correspondiente para ese diámetro.

$$v = 1,5m / s$$

El valor del caudal volumétrico que circula por la tubería es de:

$$Q = \frac{m}{\rho} = \frac{154.700 \frac{kg}{h} * \frac{1h}{3.600s}}{1.066 \frac{kg}{m^3}} = 0,040 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = v * s$$

Donde:

V = velocidad, en m/s

S = sección de la tubería, en m<sup>2</sup>

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

$$s = \frac{Q}{v} = \frac{0,04 \frac{m^3}{s}}{1,5 \frac{m}{s}} = 0,026m^2$$

$$s = \pi * r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{s}{\pi}} = 0,09m$$

Se puede comprobar que el diámetro calculado se encuentra dentro del intervalo supuesto anteriormente.

Mediante el valor calculado del diámetro interno y la tabla T.7. del anexo V, obtenemos las dimensiones normalizadas para las tuberías:

$$D_i = 20,272cm$$

$$D_e = 21,91cm$$

$$\text{Tamaño nominal} = 8in$$

$$e = 0,818cm$$

- **Tramo de tubería desde el primer y segundo molino a la etapa de purificación**

Para un caudal de 319,44Tm/h, se ha tomado una velocidad de descarga de 1,2m/s. Realizando los cálculos de forma análoga al apartado anterior se obtienen los siguientes resultados:

$$D_i = 30,323cm$$

$$D_e = 32,39cm$$

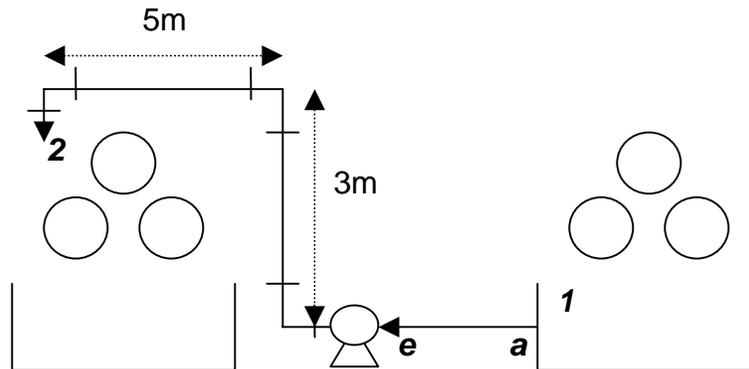
$$\text{Tamaño nominal} = 12in$$

$$e = 1,031cm$$

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

### ANEXO III: CÁLCULO DE LA POTENCIA Y DEL NPSH DE LA BOMBA

En este apartado se van a realizar los cálculos para determinar la potencia necesaria para transportar los jugos en la unidad de extracción. En la gráfica G.1. del anexo VI se puede ver un esquema de las bombas necesarias en esta unidad y en el plano nº 1 su ubicación en la planta.



\*Se considera el punto **1** como un punto en la superficie del jugo extraído en el depósito, y el punto **2** el punto de descarga en el molino anterior.

- **Bomba B-1**

#### -Cálculo de la potencia de la bomba:

Aplicamos el balance de energía al tramo de tubería:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta z + h_f + \frac{\Delta v^2}{2g} = W$$

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

$$\Delta P = 0; P_1 = P_2 = P_{\text{atm}}$$

$$\Delta z = 3\text{m}$$

$$\Delta v^2 = v_2^2 - v_1^2 \sim v_2^2 = (1,24\text{m/s})^2$$

$$h_f = h_{fD} + h_{fT} + \Sigma h_{\text{fac}} = 0 + h_{fT} + \Sigma h_{\text{fac}}$$

El cálculo de pérdidas de carga ( $h_f$ ) se resolverá mediante la ecuación de Darcy-Weisbach o ley de fricción:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

donde:

$h_f$ : pérdida de carga en metros de columna de líquido.

$f$ : coeficiente de fricción, adimensional.

$L$ : longitud total equivalente de la tubería (m)

$D$ : diámetro interior(m)

$V$ : velocidad del fluido (m/s)

$g$ : aceleración de la gravedad( $\text{m/s}^2$ )

El término  $L$  engloba no sólo la longitud de la tubería sino la suma de longitud real y todas las longitudes equivalentes a accesorios. La longitud  $L$  corresponde pues, a la suma de longitud real de tubería recta  $L_t$  más la longitud equivalente a los accesorios  $L_e$ . La pérdida de carga por efecto de los accesorios y por tubería recta (sin accesorios) resulta:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} = f * \frac{L_t + L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Para el cálculo de  $L_e$  se utilizará el ábaco de la gráfica G.4. del anexo VI

-1 Embocadura ordinaria: 5,5m

-3 Codos gran curvatura: 0,8m

$L_t = 39\text{m}$

$L = 39\text{m} + 5,5\text{m} + 0,8\text{m} = 45,3\text{m}$

Para calcular el coeficiente de fricción  $f$  se utiliza la gráfica de Moody, gráfica G.3. del anexo V. Para ello necesitamos el valor del número de Reynolds, y la rugosidad relativa, que se calcula a través de la gráfica G.2., del anexo VI:

- Cálculo del número de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{D * v * \rho}{\mu} = \frac{0,2027\text{m} * 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.066 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,00125 \frac{\text{kg}}{\text{ms}}} = 259.294$$

El valor de la densidad y la viscosidad se ha tomado de la bibliografía (G.D.Hayes, 1987). Se ha elegido un valor de densidad y viscosidad para una temperatura y concentración media de la que circula por las distintas tuberías de los molinos.

donde:

Re: Numero de Reynolds

V: velocidad media de circulación del flujo por la tubería(m/s)

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

D: diámetro interior de la tubería (m)

$\mu$ : viscosidad absoluta o dinámica (kg/ms)

$\rho$ : densidad (kg/m<sup>3</sup>)

- $\epsilon/D = 0,0002$

- $Re = 259.294$

$$f = 0,017$$

Sustituyendo en la ecuación de Darcy-Weisbach obtendremos el valor de las pérdidas de carga:

$$h_f = 0,017 * \frac{45,3m}{0,2027m} * \frac{(1,5 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,44m$$

Ahora es posible sustituir los valores en la ecuación de energía:

$$0 + 3m + 0,44 + \frac{(1,5 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = W$$

$$W = 3,55m$$

Ahora hay que transformar los metros a unidades de potencia:

$$P = m * g * W = 154.700 \frac{kg}{h} * \frac{1h}{3.600s} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 3,55m = 1495,0W = 1,49kW$$

Se multiplica el valor de la potencia de la bomba por un coeficiente de seguridad según la tabla siguiente:

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

P(kW)	$<1$	1-5	5-50	$>50$
$\beta$	2-1,5	1,5-2,5	1,2-1,5	1,1

$$P = 1,49\text{kW} * 1,5 = \mathbf{2,23\text{kW}}$$

- **Bomba B-2**

Realizando de forma análoga los cálculos anteriores se obtienen los siguientes resultados:

$$Q = 319,44\text{Tm/h}$$

$$v = 12\text{m/s}$$

$$D_i = 30,32\text{cm}$$

$$f = 0,016$$

$$h_f = 0,089\text{m}$$

$$P = \mathbf{3,45\text{kW}}$$

-Cálculo de la altura de aspiración:

Hay que diferenciar entre la Altura Neta Positiva requerida (NPSHr) y la Altura Neta positiva de Aspiración disponible (NPSHd).

La NPSHr es una característica de la bomba dependiente del diseño de la misma. Representa la energía necesaria para llenar la parte de aspiración y vencer las pérdidas por rozamiento y aumento de velocidad desde la conexión de la aspiración de la bomba hasta el punto donde se incrementa la energía.

La NPSHd es la energía del líquido en el punto de aspiración de la bomba, por encima de la energía del líquido, debida a su presión de vapor.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Representa la máxima energía por unidad de peso de fluido que el fluido puede perder sin convertirse en vapor. Por tanto:

$$NPSHd = \frac{P_e - P_{sat}}{\rho g} + \frac{v_e^2}{2g}$$

El subíndice e representa el punto de entrada de la bomba. Para que el funcionamiento sea el correcto y se eviten problemas de cavitación, evaporación súbita de parte del líquido dentro de la bomba formándose burbujas de vapor, reduciéndose de forma importante la capacidad de la bomba y causando severa erosión. La energía que posee el líquido a la entrada de la bomba debe ser mayor que la estipulada por el fabricante para el correcto funcionamiento. Por tanto se debe cumplir siempre que  $NPSHd > NPSHr$ .

En la práctica se exige que  $NPSHd$  sea al menos un 20% mayor a  $NPSHr$

Para los casos en los que el líquido se aspire a partir de un tanque, es más fácil referir la presión de entrada de la bomba a la superficie libre del líquido en la aspiración (a). Para ello basta con aplicar la ecuación de Bernoulli entre los puntos de aspiración (a) de la superficie libre del líquido en el depósito y de la entrada de la bomba (e). Considerando que la velocidad en el punto a es despreciable y operando algebraicamente, se llega a la siguiente expresión:

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

$$NPSHd = \frac{P_a - P_{sat}}{\rho g} - \left( \frac{v_e^2}{2g} + h_{fa-e} \right)$$

Donde:

$P_a$ : presión en la superficie del líquido en el depósito (atm)

$P_{sat}$ : presión de saturación del fluido (atm)

$v_a$ : velocidad lineal en la superficie del líquido (m/s)

$v_e$ : velocidad lineal a la entrada de la bomba (m/s)

$h_{fa-e}$ : pérdida de carga entre los puntos a y e de la conducción (m)

Para el cálculo de las pérdidas por rozamiento entre la superficie libre de aspiración y la entrada de la bomba se procede de forma análoga al apartado anterior.

El valor de  $v_e$  se obtiene a partir de la tabla T.8. del anexo V, se han tomado los datos del agua ya que esta corriente tiene un porcentaje muy elevado en agua, así que las velocidades no variarán significativamente.

- **Bomba B-1**

$$NPSHd = \frac{101.325 Pa - 60795 Pa}{1.066 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2}} - \left( \frac{\left(1,2 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} + 0,32m \right) = 3,49m$$

- **Bomba B-2**

**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

$$NPSH_d = \frac{101.325 Pa - 60.795 Pa}{1.066 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2}} - \left( \frac{\left(1,0 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} + 0,16 \right) = 3,64 m$$

El  $NPSH_r$  para las bombas elegidas es menor por lo que se comprueba que funciona adecuadamente sin cavitación.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### ANEXO IV: CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO Y DEL CALOR TRANSFERIDO EN LOS EVAPORADORES

El calor transferido en el evaporador se calculará a través de la expresión del calor cedido por el caudal másico que condensa en la cámara de condensación:

$$Q = m * \lambda$$

Donde:

-Q: calor intercambiado

-m: caudal másico

- $\lambda$ : calor latente, para nuestro caso será el del agua a la presión y temperatura de la cámara de condensación.

Para el primer efecto:

De la bibliografía (Zuckerindustrie, pág.web) han sido tomadas las condiciones de operación de los evaporadores.

$$T_{\text{Cámara condensación}} = 122,65^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{Cámara condensación}} = 2,2 \text{ kg/cm}^2$$

A partir de las condiciones de operación se obtiene el siguiente valor de la tabla T.3. del anexo V.

$$\lambda = 523,9 \text{ kcal/kg}$$

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

El valor de m se obtuvo en el apartado 1.3.7.A. BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA. En este apartado esta corriente se nombró como W

$$m = W = 49.000\text{kg/h}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$Q = 49.000\text{kg/h} * 523,9\text{kcal/kg} = 25.671.100\text{kcal/h}$$

De la misma manera se calcula para los distintos efectos:

Nº efecto	T <sub>Cám. cond.</sub> (°C)	P <sub>Cám. cond.</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	λ(kcal/kg)	m(kg/h)	Q(kcal/h)
1	122,65	2,2	523,9	49.000	25.671.100
2	116,43	1,8	528,16	37.978,37	20.058.657,2
3	109,09	1,4	533,15	40.660,56	21.678.177
4	99,89	1,0	539,38	43.228,48	23316577,3
5	90,01	0,7	545,47	45.163,15	24635146,2

### -Cálculo del área de intercambio

A partir de la ecuación de Fourier, podemos despejar el valor del área de intercambio:

$$Q = U * A * \Delta T$$

Donde:

-Q: calor intercambiado

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

-U: coeficiente global de transmisión de calor

-A: superficie de transferencia de calor.

$-\Delta T$ : fuerza impulsora de la transferencia de calor o diferencia de temperaturas.

Despejamos A:

$$A = Q / U * \Delta T$$

Para el cálculo de U utilizamos la gráfica que nos representa la temperatura de ebullición frente al coeficiente global de transmisión de calor, para distintos tipos de evaporadores, gráfica G.5. del anexo VI.

Esta gráfica la obtuvo Kerr (Louisiana Agr. Exp. Sta. Bull. 149) a partir de datos de plantas sobre diversos tipos de evaporadores de tamaño normal para la caña de azúcar. Son siempre evaporadores de alimentación delantera con una concentración de aproximadamente 50° Brix en el último efecto. Estas curvas muestran coeficientes aparentes; pero las soluciones de azúcar tienen elevaciones del punto de ebullición suficientemente bajas como para no afectar de manera apreciable los resultados (Robert H. Perry, Don W. Green, 2001).

Para el cálculo de U se ha usado la curva A, que es la correspondiente a los evaporadores verticales de tubo corto con bajada central.

Para el primer efecto:

$$T_{\text{ebullición}} = 116,43^{\circ}\text{C} = 241,57^{\circ}\text{F}$$

$$U = 550\text{Btu}/(\text{h})(\text{ft}^2)(^{\circ}\text{F}) = 3053,58\text{kcal}/(\text{h})(\text{m}^2)(\text{K})$$

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

Para el evaporador el  $\Delta T$  será la diferencia entre el vapor de agua que se condensa y el punto de ebullición del líquido,  $T_S - T_L$

$$\Delta T = 122,65 - 116,43 = 6,22^\circ\text{C} = 6,22^\circ\text{K}$$

Sustituyendo en:

$$A = Q / U * \Delta T$$

$$A = (25.671.100\text{kcal/h}) / (3053,58\text{kcal}/(\text{h})(\text{m}^2)(\text{K})) * 6,22^\circ\text{K} = 1351,59\text{m}^2$$

De la misma manera se realizan los cálculos para los restantes efectos:

Nº efecto	Q(kcal/h)	$T_L(^{\circ}\text{C})$	U(kcal/(h)(m <sup>2</sup> )(K))	$\Delta T(^{\circ}\text{K})$	A(m <sup>2</sup> )
1	25.671.100	116,43	3053,58	6,22	1351,59
2	20.058.657,2	109,09	2687,15	7,34	1016,98
3	21.678.177	99,89	2076,44	9,2	1134,79
4	23316577,3	90,01	1710,01	9,79	1392,79
5	24635146,2	77,22	1221,43	12,88	1565,92

**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR  
DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

**ANEXO V: TABLAS**

Tabla T.1. Relación entre grados Brix y calores específicos

Brix	0	15	40	65
Calor específico (kcal/kg°C)	1	0,91	0,77	0,62

*FUENTE: Porta A., 1955*

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Tabla T.2. Propiedades térmicas de algunos alimentos

Tipo de alimento	% en agua	pH	Punto de congelación °C	Calor específico kJ/kg °C		Calor latente kJ/kg	Conductividad térmica W/m °C
				A*	B*		
<b>Frutas</b>							
Manzana	80-84	3.0-3.3	-2	3.60	1.88	280	0.39-0.42
Plátano	75-76	-	-2	3.35	1.76	255	-
Pomelo	89	-	-2	3.81	1.93	293	0.40-0.45
Naranja	87	3.2-3.8	-2	3.77	1.93	288	0.43
Melocotón	87	3.4-3.6	-2	3.78	1.93	289	0.35-0.45
Piña	85	-	-2	3.68	1.88	285	0.35-0.45
Sandía	92	-	-2	4.06	2.01	306	0.56-0.63
<b>Hortalizas</b>							
Espárragos	93	5.6-5.7	-1	3.93	2.01	310	-
Judías verdes	89	-	-1	3.81	1.97	297	0.39-0.92
Repollo	92	5.1-5.3	-1	3.93	1.97	306	-
Zanahoria	88	-	-1	3.60	1.88	293	0.62-0.67
Maíz	76	6.3-6.5	-1	3.35	1.80	251	0.14-0.18
Guisantes	74	6.1-6.3	-1	3.31	1.76	247	0.32-0.48
Patatas	80	5.4-5.8	-2	3.39	1.74	258	0.55
<b>Carnes</b>							
Bacon	20	-	-	2.09	1.26	71	-
Vacuno	75-79	5.5-6.5	-2	3.22	1.67	255	0.43-0.48
Pescado	70	6.0	-2	3.18	1.67	276	0.56
Cordero	70-80	-	-2	3.18	1.67	276	0.42-0.45
Cerdo	60-76	-	-2	3.18	1.67	276	0.44-1.3
Aves	69-75	6.4-6.6	-2	-	-	-	0.41-0.52
Ternera	63	-	-2	2.97	1.67	209	0.44-0.49
<b>Misceláneos</b>							
Cerveza	92	4.1-4.3	-2	4.19	2.01	301	0.52-0.64
Pan	32-37	-	-2	2.93	1.42	109-121	-
Mantequilla	15-16	-	-	1.4-2.7	1.2	53.5	0.197
Cereales	12-14	-	-	1.5-1.9	1.2	-	0.13-0.18
Queso	30-38	4.0-6.5	-2	1.94	1.24	-	-
Chocolate	55	-	-1	1.26	2.30	93	-
Nata, 40 % de grasa	73	-	-2	3.52	1.65	-	0.33
Huevos	49	-	-3	3.2	1.67	276	0.34-0.62
Helados	58-66	-	-3, -18	3.3	1.88	222	-
Leche	87.5	6.5-6.7	-1	3.9	2.05	289	0.53
Zumo de naranja	89	3.9	-	-	-	-	0.48-0.68
Uvas pasas	24.5	3.6-4.2	-	1.94	-	-	0.55
Salchichas	65	-	-3	3.68	2.32	216	0.38-0.43
Salmón	64	6.2-6.4	-3	2.97	1.84	-	0.50-1.3
Yogurt	-	4.0-4.5	-	-	-	-	0.53-0.67

\* A = por encima del punto de congelación; B = por debajo del punto de congelación.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Alimento	% H <sub>2</sub> O	P. C. °C	Calor específico (kJ/kg °C)		Conductividad térmica (W/m °K)	Calor latente
			Por encima del punto de congelación	Por debajo del punto de congelación		
Manzanas	84	-2	3.60	1.8-1.9	0.4153 <sub>60</sub>	280-284
Albaricoques	85.4	-2	3.68	1.93	-	284
Alcachofas						
Globe	83.7	-2	-	1.88	-	279
Jerusalén	79.5	-2.5	3.48	1.84	-	265
Espárragos	93.0	-1.2	3.94	2.01	-	310-311
Aguacates	94.0	-2.7	3.81	2.05	-	316
Plátanos	74.8	-2.2	3.35	1.76	-	251-254
Judías secas	12.5	-	1.35	1.01	-	42
Judías verdes	90.0	-18	3.94	2.39	-	297
Judías, lima, verd.	66.5	-1.1	3.06	1.68	-	219
Judías, string, verd.	66.9	-1.3	3.81	1.97	-	298
Remolacha	87.6	-2.8	3.77	1.68	-	293
Frambuesa						
americ.	82-85	-30	3.6-3.7	1.68-1.9	-	284
Vacinios	82.3	-1	3.6	1.88	-	275
Pan, blanco	44-45	-2	2.72-2.93	1.42	-	109-121
Brocoli	89.9	-1.6	3.85	1.97	-	302
Coles de						
Bruselas	84.9	-0.6	3.68	1.67	-	284
Repollo	92.4	-0.5	3.94	1.97	-	306-307
Cantalupo	92.7	-1.7	3.94	2.01	-	307
Zanahoria	88.2	-1.3	3.6-3.8	1.8-1.9	-	293
Coliflor	91.7	-	3.89	1.97	-	307
Apionabo	88.3	-	3.81	1.93	-	293
Apio	93.7	-1.3	3.98	2.01	-	314
Queso	37-38	-2.2	2.09	1.30	-	126
Limburger	55	-7.2	2.93	1.68	-	200
Roquefort	55	-16.1	2.72	1.34	-	184
Suizo	55	-9.4	2.68	1.51	-	184
Magro	50	-	2.68	1.47	-	-
Cerezas	83	-3.3	3.65	1.89	-	279
Recubrimiento de chocolate	55	-	1.26	2.30	-	93
Maíz, seco	10.5	-	1.17	0.96	-	35
Maíz, verde	73.9	-1.7	3.31	1.76	-	247
Arándano	87.4	-2.6	3.77	1.93	-	288
Nata						
Helado de	58-66	-3-18	3.3	1.88	-	222
Edulcorada	75	-	3.56	2.09	-	-
40 % de grasa	73	-2.2	3.56	1.68	-	209

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Alimento	% H <sub>2</sub> O	P. C. °C	Calor específico (kJ/kg °C)		Conductividad térmica (W/m °K)	Calor latente
			Por encima del punto de congelación	Por debajo del punto de congelación		
Acida	57-73	-	2.93	1.26	-	-
Cuajada, queso «cottage»	60-70	-	3.27	-	-	-
Dátiles secos	20	-20	1.51	1.09	-	67.5
Huevos, en cartón	-	-3	3.18	1.68	-	233
Huevo	-	-3	3.2	1.67	0.33-0.97	276
Berenjena	92.7	-0.9	3.94	2.01	-	307
Endivia	93.3	-0.6	3.94	2.01	-	307
Higos secos	24	-	1.63	1.13	-	79
Higos frescos	78	-2.7	3.43	1.80	-	261
Harina	12-13.5	-	1.8-1.9	1.17	-	-
Trigo	8.8	-	-	0.450	-	-
Ajo seco	74.2	-3.7	3.31	1.76	-	247
Uvaespina	88.3	-1.7	3.77	1.93	0.28-0.33 <sub>-16</sub>	293
Pomelo	88.8	-2	3.81	1.93	-	293
Uva, USA	81.9	-2.5	3.60	1.84	-	270
Rabanitos	73.4	-3.1	3.27	1.76	-	247
Puerros verdes	88.2	-1.6	3.77	1.93	-	293
Limones	89.3	-2.2	3.85	1.93	-	295
Lechugas	94.8	-0.4	4.02	2.01	-	316
Limas	86	-1.7	3.73	1.93	-	284
Macarrones	12-14	-	1.84	1.88	0.490	-
Mangos	93	0	3.77	1.93	-	312
Azúcar de arce	5	-	1.01	0.88	-	16.3
Jarabe de arce	36	-	2.05	1.30	-	121
Margarina	9-15	-	1.8-2.1	-	0.234	-
Melón	92.6	-6.7	3.94	2.01	-	307
Melón	92.7	-1.7	3.94	2.01	-	307
Sandía	92.1	-1.6	4.06	2.01	-	307
Leche	87.5	-0.6	3.89	2.05	-	288
Setas	91.1	-1	3.89	1.97	-	302
Nectarinas	82.9	-1.7	3.77	2.05	0.585 <sub>9</sub>	277
Nueces secas	3-10	-	0.8-1.2	0.8-1.0	-	10-32
Olivas	75.2	-1.9	3.35	1.76	-	251
Cebollas	87.5	-1.1	3.77	1.93	-	288
Naranjas	87.2	-2.2	3.77	1.93	0.415 <sub>15.6</sub>	288
Zumo de naranja	89	-1.2	3.89	-	0.544 <sub>15.6</sub>	-
Chirivía	78.6	-1.7	3.52	1.93	-	261
Melocotones	86.9	-1.4	3.77	1.93	-	288
Peras	83.5	-1.9	3.60	1.88	-	275
Guisantes secos	9-14	-	1.1-1.8	0.9-1.9	-	33
Guisantes verdes	74.3	-1.1	3.31	1.76	0.502 <sub>15.6</sub>	247

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

## DATOS TERMICOS

123

Alimento	% H <sub>2</sub> O	P. C. °C	Calor específico (kJ/kg °C)		Conductividad térmica (W/m °K)	Calor latente
			Por encima del punto de congelación	Por debajo del punto de congelación		
Pimientos	92.4	-1.1	3.94	1.97	-	307
Nisperos	78.2	-2.1	3.52	1.80	-	261
Piñas	85.3	-1.4	3.68	1.88	0.5486	284
Ciruelas	85.7	-2.2	3.68	1.88	0.24-0.55	286
Granada	77	-2.2	3.68	2.01	-	261
Patata	77.8	-1.7	3.43	1.80	0.42-1.1	258
Calabacines	90.5	-	3.85	1.97	-	302
Membrillo	85.3	-2.2	3.68	1.88	-	284
Rábano	93.6	-	3.98	2.01	-	312
Frambuesa	82	-1.1	3.56	1.88	-	284
Ruibarbo	94.9	-2	4.02	2.01	-	312
Arroz	10-14	-	-	1.7-1.9	-	-
Salsifi	79.1	-2	3.48	1.84	-	263
Espinaca	85-93	-1	3.94	2.01	-	307
Almidón de maíz	-	-	1.2-1.3	-	0.12-	-
Fresa	90	-1.2	3.89	1.1-2.0	0.2 <sub>25</sub> 0.67-	290
Zumo de fresa	92	-1	3.98	-	1.2 <sub>13,-18</sub> 0.571 <sub>15,6</sub>	-
Boniato	68.5	-2	3.14	1.68	-	226
Tangerinas	87.3	-2.2	3.89	2.09	-	293
Tomates	94	-1	3.98	2.01	0.46-0.53	312
Nabos	90.9	-1	3.89	1.97	0.56	-

FUENTE: G.D.Hayes, 1987

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Tabla T.3. Propiedades termodinámicas del vapor de agua saturado

Temperatura de saturación °C <i>t</i>	Presión de saturación Kg/cm <sup>2</sup> <i>p</i>	Volumen específico		Entropía Kcal/Kg °K		Entalpía Kcal/Kg	
		Del liq. dm <sup>3</sup> /Kg <i>v'</i>	Del vapor m <sup>3</sup> /Kg <i>v''</i>	Del liq. <i>s'</i>	Del vapor <i>s''</i>	Del líquido <i>h'</i>	Del vapor <i>h''</i>
0	0,006228	1,0002	206,3	0	2,1863	0	597,2
5	0,008890	1,0000	147,2	0,0182	2,1551	5,03	599,4
10	0,012513	1,0004	106,4	0,0361	2,1253	10,04	601,6
15	0,017376	1,0010	77,99	0,0536	2,0970	15,04	603,8
20	0,02383	1,0018	57,84	0,0708	2,0697	20,03	606,0
25	0,03229	1,0030	43,41	0,0876	2,0436	25,02	608,2
30	0,04325	1,0044	32,93	0,1042	2,0187	30,00	610,4
35	0,05733	1,0061	25,25	0,1205	1,9947	34,99	612,5
40	0,07520	1,0079	19,55	0,1366	1,9718	39,98	614,7
45	0,09771	1,0099	15,28	0,1524	1,9498	44,96	616,8
50	0,12578	1,0121	12,05	0,1679	1,9287	49,95	619,0
55	0,16051	1,0145	9,584	0,1833	1,9085	54,94	621,0
60	0,2031	1,0171	7,682	0,1984	1,8891	59,94	623,2
65	0,2555	1,0199	6,206	0,2133	1,8702	64,93	625,2
70	0,3177	1,0228	5,049	0,2280	1,8522	69,93	627,3
75	0,3931	1,0258	4,136	0,2425	1,8349	74,94	629,3
80	0,4829	1,0290	3,410	0,2567	1,8178	79,95	631,3
85	0,5894	1,0323	2,830	0,2708	1,8015	84,96	633,2
90	0,7149	1,0359	2,361	0,2848	1,7858	89,98	635,1
95	0,8619	1,0396	1,981	0,2985	1,7708	95,01	637,0
100	1,03323	1,0435	1,673	0,3121	1,7561	100,04	638,9
105	1,2318	1,0474	1,419	0,3255	1,7419	105,08	640,7
110	1,4609	1,0515	1,210	0,3387	1,7282	110,12	642,5
115	1,7239	1,0558	1,036	0,3519	1,7150	115,18	644,3
120	2,0245	1,0603	0,8914	0,3647	1,7018	120,3	646,0
125	2,3666	1,0650	1,7701	0,3775	1,6895	125,3	647,7
130	2,7544	1,0697	0,6680	0,3901	1,6772	130,4	649,3
135	3,192	1,0746	0,5817	0,4026	1,6652	135,5	650,8
140	3,685	1,0798	0,5084	0,4150	1,6539	140,6	652,5
145	4,237	1,0850	0,4459	0,4272	1,6428	145,8	654,0
150	4,854	1,0906	0,3924	0,4395	1,6320	150,9	655,5
155	5,540	1,0963	1,3464	0,4516	1,6214	156,1	656,9
160	6,302	1,1021	0,3068	0,4637	1,6112	161,3	658,3
165	7,146	1,1082	8,2724	0,4756	1,6012	166,5	659,6
170	8,076	1,1144	0,2426	0,4874	1,5914	171,7	660,7
175	9,101	1,1210	0,2166	0,4991	1,5818	176,9	662,1
180	10,225	1,1275	0,1939	0,5107	1,5721	182,2	663,2
185	11,456	1,1345	0,1739	0,5222	1,5629	187,5	664,3
190	12,800	1,1415	0,1564	0,5336	1,5538	192,8	665,3
195	14,265	1,1490	0,1410	0,5449	1,5448	198,1	666,2

Tabla T.4. Elevación del punto de ebullición del agua pura a presión atmosférica para distintos valores de Brix

Brix*	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Elevación	0	0,1	0,3	0,65	1,15	2	3,3	5,4	10

**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

Tabla T.5. Materiales para bombas de varios líquidos

Líquido	Estado	Fórmula química	Densidad	Materiales empleados comúnmente
Amonio (Continuación):				
Amonio, sulfato de	Sol. acuosa	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$		TH, AA, 5, 6, 7, 8, 11
Amonio, sulfato de	Con $\text{H}_2\text{SO}_4$		1.022	TB, AN, 7, 8, 12
Anilina	Sol. acuosa	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$		TH, 1
Anilina, cloruro de	Caliente	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2\text{HCl}$	0.98-1.4	TB, AA, 9
Asfalto	En agua	S		AB, TH, TB, 9
Azúcar	Fundido	S		TH, AA
Azúfre	Sol. acuosa	$\text{BaCl}_2$		TH, AA
Bario, cloruro de	Sol. acuosa	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$		TH, AN, TB, 4, 10
Bario, nitrato de	Sol. acuosa			
Barniz				
Benceno (véase Benzol)				
Bencina (véase Petróleo, éter de)				
Benzol				
Bicloruro de mercurio (véase Cloruro mercuríco)				
Butano		$\text{C}_4\text{H}_{10}$	0.88	TH, AN
Cal, agua de			0.60 a 0° C.	TH, AN, 14
Calcio, bisulfato de	Fábricas de papel	$\text{Ca}(\text{OH})_2$		TH, 5, 6, 7, 11
Calcio, clorato	Sol. acuosa	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{SO}_4)_2$	1.06	6, 7, 8, 12
Calcio, hipoclorito de		$\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		TH, 6, 7, 8
Calderas, agua de alimentación de (véase Agua para alimentar calderas)				
Caldo de cervicería.				
Caldo de destilería.				
Caña, jugo de				
Caolín, barbotina de	En suspensión en ácido			
Caolín, barbotina de	En suspensión en agua			
Caparrosa verde (véase Sulfato ferroso)				
Carbonato de soda o de sodio (véase Carbonato sódico anhídrido)				
Carbonato sódico anhídrido	Caliente	$\text{Na}_2\text{CO}_3$		AA, 9, 10
Carbonato sódico anhídrido	Frío	$\text{CS}_2$		TH, 4
Carbono, bisulfuro de	Anhídrido	$\text{CCl}_4$	1.58	TH, SF, TB, 4
Carbono, tetracloruro de	Más agua			5, 6, 7
Carbónico, acetato de				
Celulosa, acetato de				
Ceniza de soda (véase Carbonato sódico anhídrido)				
Cerveza				
Cerveza, mosto de				
Cianógeno	En agua	$\text{CaN}_2$ (gas)		TB, 4
Cianuro (véase Sodio, cianuro de, y Potasio, cianuro de)				
Cinc, cloruro de	Sol. acuosa	$\text{ZnCl}_2$		5, 6, 7, 8
Cinc, sulfato de	Sol. acuosa	$\text{ZnSO}_4$		TB, 5, 6, 7
Clorato de cal (véase Calcio, clorato de)	Según la conc.			
Cloro, agua de				
Clorobenceno		$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	1.1	5, 6, 7, 8, 11, 12
Cloroformo		$\text{CHCl}_3$	1.5	AN, TB, 4
Cloruro cálcico magnésico (véase Salmueras)				TB, AA, 10
Cloruro de azúfre	Frío	$\text{S}_2\text{Cl}_2$		TH, 11

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

- |                            |    |
|----------------------------|----|
| 1. Accesorios normalizados | AN |
| 2. Totalmente de hierro    | TH |
| 3. Totalmente de bronce    | TB |
| 4. Tipos 4, 5, 6 y 7       | AA |

*FUENTE: John H. Perry, 1966*

Tabla T.6. Aceros resistentes a la corrosión

Número del tipo	Designación comercial	Carbono	Cromo	Níquel	Molibdeno	Observaciones
1	A.I.S.I. 410 A.C.I. CA14	Máx. 0.15 Máx. 0.14	11.5-13.5 11-14	Máx. 1.0	.....	El tipo de fácil labrado a máquina es el 416
2	A.I.S.I. 442 A.C.I. CB30	Máx. 0.35 Máx. 0.30	18-28 18-22	Máx. 2.0	.....	
3	A.I.S.I. 446 A.C.I. GC35	Máx. 0.35 Máx. 0.35	23-27 27-30	Máx. 3.0	.....	
4	A.I.S.I. 304 A.C.I. CF7	Máx. 0.08 Máx. 0.07	18-20 18-20	8-10 8-10	.....	El tipo de fácil labrado a máquina es el 303 El tipo de fácil labrado a máquina es el CF7Se
5	A.I.S.I. 316 A.C.I. CF7M	Máx. 0.10 Máx. 0.07	16-18 18-20	10-14 8-10	1.75-2.5 1.5-3.5	
6		Máx. 0.07	15-28	22-36	1.5-4.0	Elementos opcionales, Cu, W, Si, Mn, Ti, Cb
7	Una serie de aleaciones no ferrosas, con menos de 20% de hierro, que contienen níquel y cromo o molibdeno, o ambos, en cantidades importantes, y cobre, tungsteno, silicio y manganeso en menores porcentajes					
8	Hierro con alto contenido de silicio: 14.25 por ciento de silicio como mínimo					
9	Fundición austenítica con contenido total de níquel, cromo y cobre del 22 por ciento como mínimo					
10	Metal monel					
11	Plomo					
12	No metálico					
13	Níquel					
14	Acero					

A.I.S.I. = American Iron and Steel Institute.  
A.C.I. = Alloy Casting Institute.

*FUENTE: John H. Perry, 1966*

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Tabla T.7. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías de acero normalizadas

Tamaño nominal de tubería in	Diámetro exterior cm	Número de calílogo	Espesor de pared cm	Diámetro interior cm	Área de la sección transversal de metal cm <sup>2</sup>	Área de la sección interior dm <sup>2</sup>	Circunferencia m, o superficie m <sup>2</sup> /m de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 m/seg litros/min	Peso de tubería kg/m
							Exterior	Interior		
1/4	1,029	40	0,173	0,683	0,465	0,00372	0,0323	0,0215	2,198	0,36
		80	0,241	0,546	0,600	0,00232	0,0323	0,0172	1,405	0,46
1/4	1,372	40	0,224	0,925	0,806	0,00669	0,0430	0,0290	4,032	0,63
		80	0,302	0,767	1,013	0,00465	0,0430	0,0241	2,772	0,80
3/8	1,715	40	0,231	1,252	1,077	0,01236	0,0540	0,0393	7,387	0,85
		80	0,320	1,074	1,400	0,00910	0,0540	0,0338	5,436	1,10
1/2	2,134	40	0,277	1,580	1,613	0,01960	0,0671	0,0497	11,76	1,27
		80	0,373	1,387	2,065	0,01514	0,0671	0,0436	9,066	1,62
3/4	2,667	40	0,287	2,093	2,148	0,03447	0,0838	0,0658	20,64	1,68
		80	0,391	1,885	2,794	0,02787	0,0838	0,0591	16,74	2,19
1	3,340	40	0,338	2,664	3,187	0,05574	0,1049	0,0838	33,44	2,50
		80	0,455	2,431	4,123	0,04636	0,1049	0,0762	27,85	3,23
1 1/4	4,216	40	0,356	3,505	4,310	0,09662	0,1326	0,1100	57,89	3,38
		80	0,485	3,246	5,684	0,08277	0,1326	0,1021	49,65	4,47
1 1/2	4,826	40	0,368	4,089	5,161	0,13136	0,1515	0,1283	78,79	4,05
		80	0,508	3,810	6,897	0,11380	0,1515	0,1198	68,41	5,40
2	6,033	40	0,391	5,250	6,935	0,21646	0,1896	0,1649	129,9	5,43
		80	0,554	4,925	9,529	0,19045	0,1896	0,1548	114,3	7,47
2 1/2	7,303	40	0,516	6,271	10,99	0,30861	0,2295	0,2054	185,3	8,62
		80	0,701	5,900	14,54	0,27331	0,2295	0,1853	164,0	11,40
3	8,890	40	0,549	7,793	14,37	0,47658	0,2792	0,2448	286,2	11,28
		80	0,762	7,366	19,46	0,42613	0,2792	0,2313	255,7	15,25
3 1/2	10,16	40	0,574	9,012	17,29	0,63822	0,3191	0,2832	382,7	13,56
		80	0,808	8,545	23,73	0,57319	0,3191	0,2685	344,1	18,62
4	11,43	40	0,602	10,226	20,45	0,82124	0,3591	0,3213	492,8	16,06
		80	0,856	9,718	28,45	0,74190	0,3591	0,3054	445,0	22,29
5	14,13	40	0,655	12,819	27,74	1,29131	0,4438	0,4026	774,4	21,76
		80	0,953	12,225	39,42	1,1733	0,4438	0,3841	704,3	30,92
6	16,83	40	0,711	15,405	36,00	1,8636	0,5285	0,4840	1118	28,23
		80	1,097	14,633	54,19	1,6815	0,5285	0,4596	1009	42,52
8	21,91	40	0,818	20,272	54,17	3,2274	0,6882	0,6367	1937	42,49
		80	1,270	19,368	82,32	2,9459	0,6882	0,6084	1768	64,57
10	27,31	40	0,927	25,451	76,84	5,0863	0,8577	0,7986	3053	60,24
		80	1,509	24,287	122,3	4,5688	0,8577	0,7629	2780	95,84
12	32,39	40	1,031	30,323	101,6	7,2211	1,0174	0,9540	4333	79,71
		80	1,748	28,890	168,2	6,5550	1,0174	0,9083	3933	131,8

† Basado en USAS B 16.10.

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Tabla T.8. Velocidades típicas de líquidos en tuberías de acero (m/s)

*Velocidades típicas de líquidos en tuberías de acero (m/s)*

	$D \leq 2''$	$3'' < D < 10''$	$10'' < D < 20''$
<i>Agua</i>			
Succión bomba.....	0,3-0,6	0,6-1,2	1 -2
Descarga bomba.....	0,5-1	1 -1,5	1,2-2
Alimentación caldera ...	1,2-3	1,5-3,5	2,5-4,2
Desagües.....	1 -1,2	1 -1,5	—
<i>Hidrocarburos líquidos (viscosidad normal)</i>			
Succión bomba.....	0,5-0,75	0,6-1,2	1 -2
Desagües.....	1 -1,2	1 -1,5	—
<i>Aceites viscosos</i>			
Succión bomba:			
— Viscosidad media ....	—	0,5-1	0,75-1,5
— Alquitrán y fuel-oil. ...	—	0,1-0,2	0,15-0,30
Descarga.....	—	1 -1,5	1,2-1,8
Desagües.....	0,3	0,5-1	—

*Velocidades típicas de gases y vapores por tuberías (m/s)*

Diámetro nominal (pulgadas)	Vapor saturado (baja presión)	Vapor sobrecalentado, o gas	
		(media presión)	(alta presión)
≤2	13-30	12-24	9-18
3-4	15-33	13-27	10-20
6	18-36	15-36	13-27
8-10	20-38	24-48	20-38
12-14	21-39	30-57	24-43
16-18	23-40	33-63	27-48
20	24-42	26-66	30-50

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

Tabla T.9. Distancias recomendadas dentro de las unidades de procesos (en metros)

	1	2	3		4	5
			3.1	3.2		
1. Reactor (1)	7,6					
2. Casetas pequeñas de bombas o compresores	12,2					
3. Tanques intermedios de proceso:	de 30,5	de 30,5	17 diámetros			
• Normales						
• De alto riesgo	a 61,0	a 61,0				
4. Equipo de destilación	15,2	9,1				
5. Salas de control (2)	de 15,2 a 30,5	de 15,2 a 30,5	30,5		de 15,2 a 30,5	3,1

(1) Se recomiendan paredes protectoras contra explosiones para reactores peligrosos.

(2) Las salas de control que correspondan a unidades muy grandes o peligrosas, así como las que controlan a varias unidades o contienen ordenadores, pueden requerir distancias mayores y construcción a prueba de explosiones.

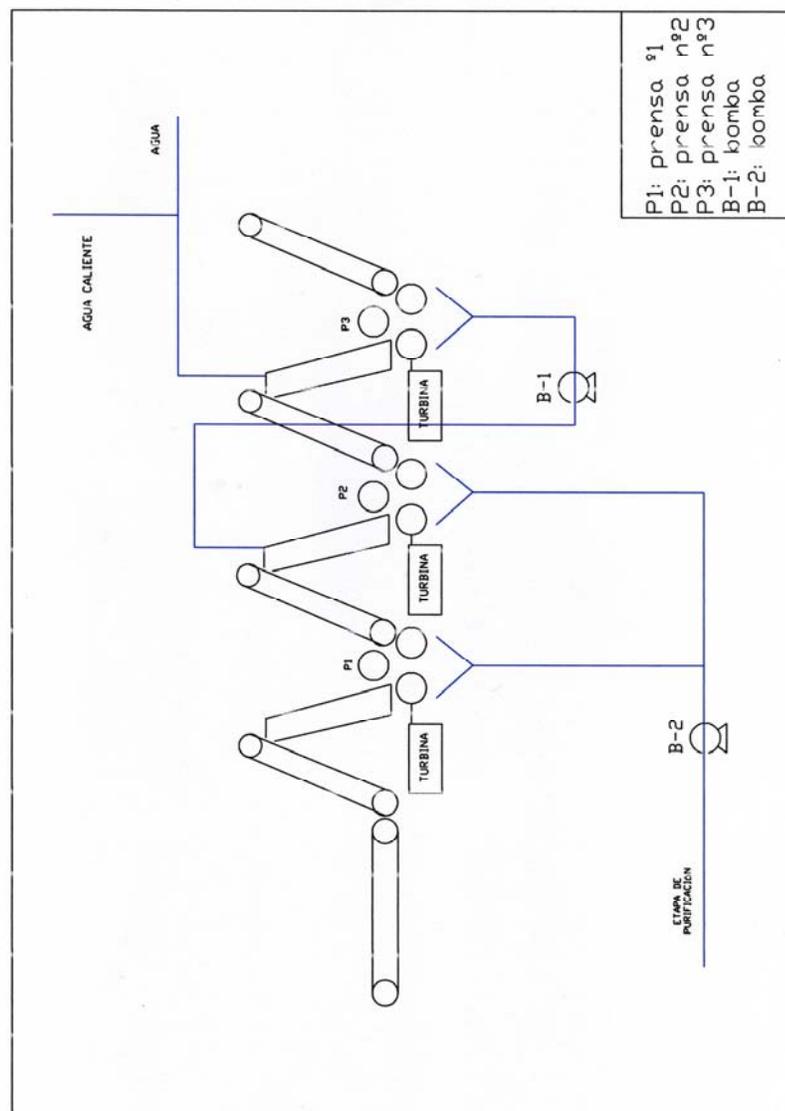
Distancia a mantener entre zonas donde haya riesgo de emisión de vapores y fuego abierto: 30.5 m.



## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

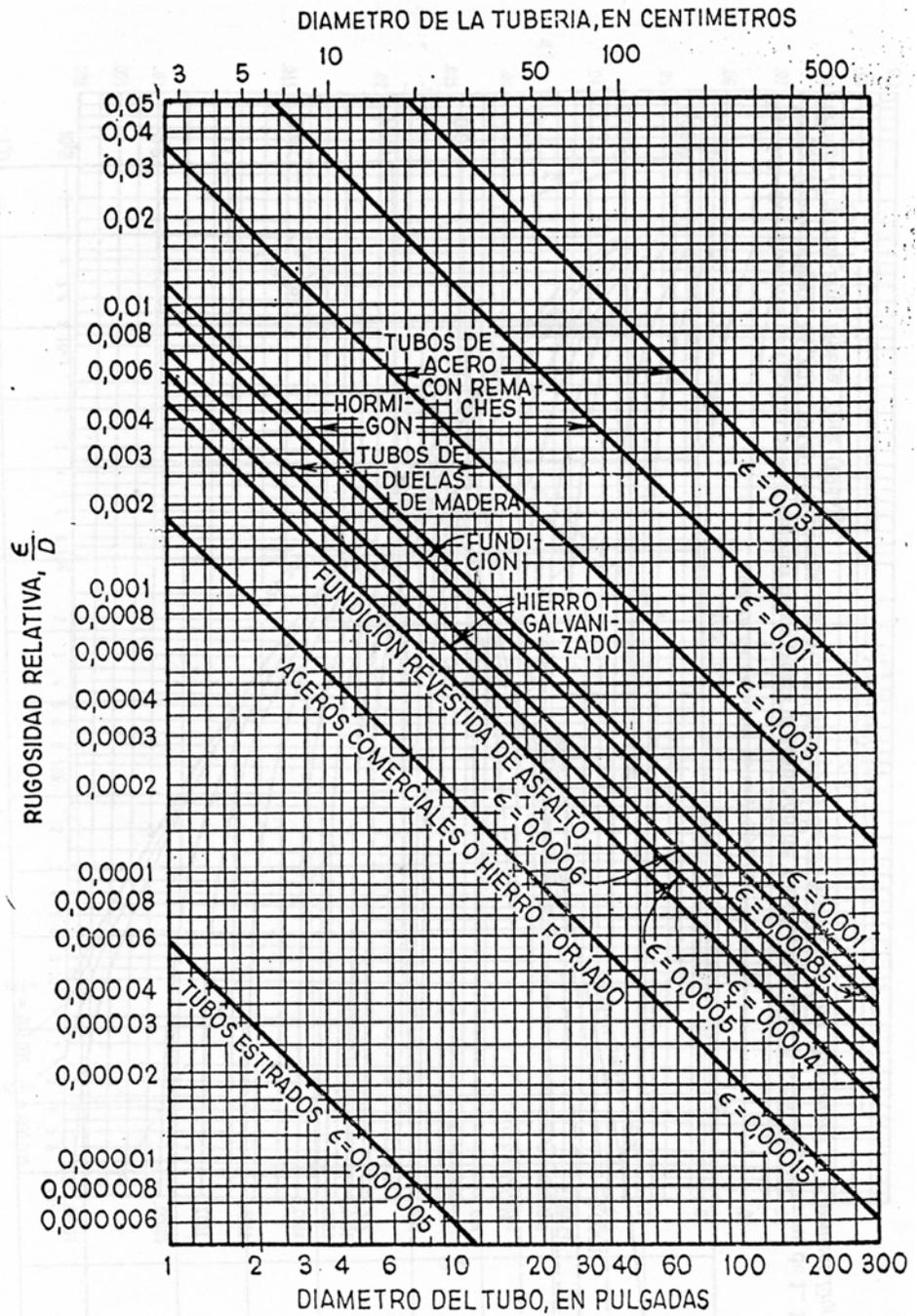
### ANEXO VI: ANEXO GRÁFICO

GRÁFICA G.1.: Dibujo de la distribución de las bombas para la unidad de extracción



**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

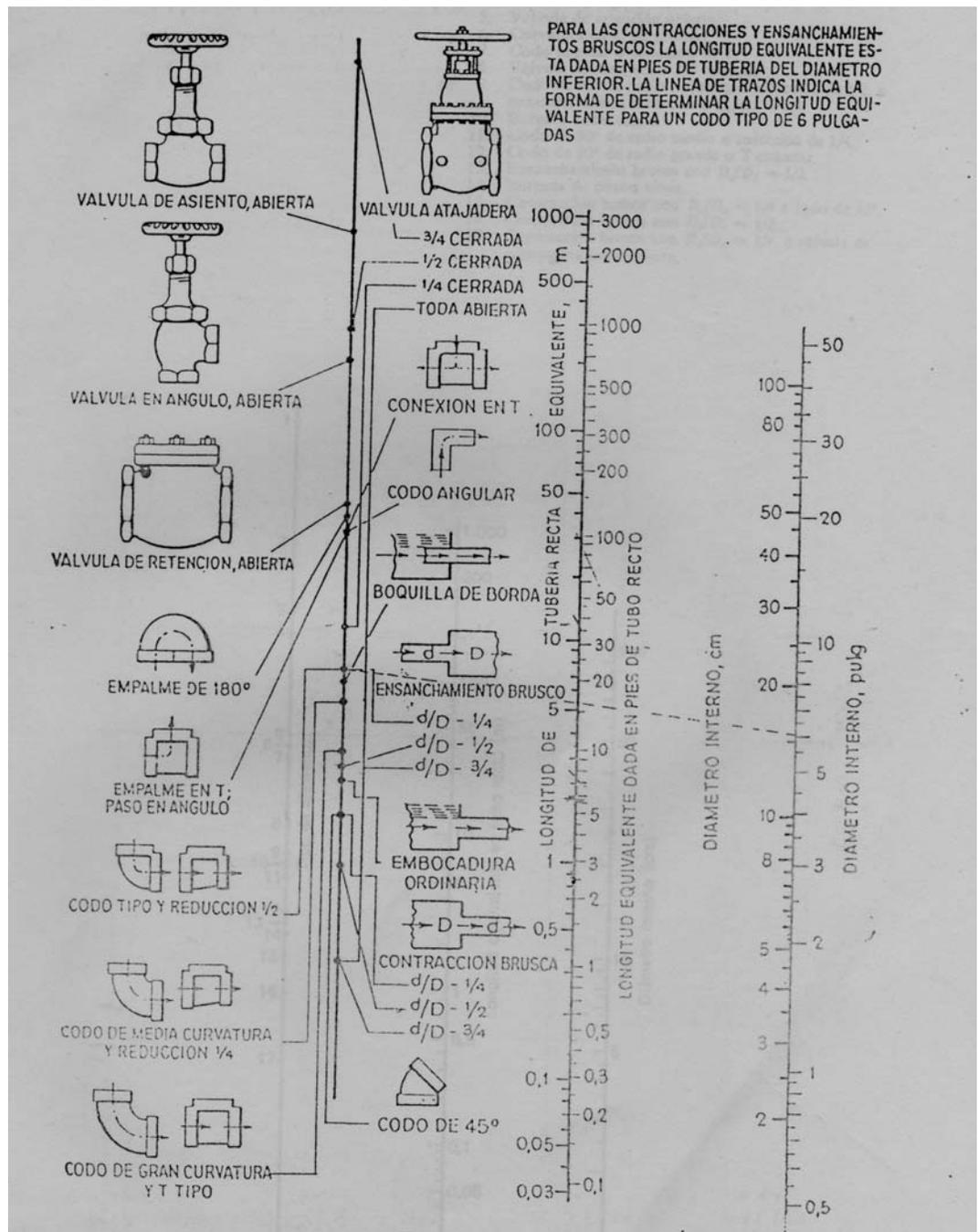
GRÁFICA G.2.: Rugosidad relativa vs diámetro del tubo





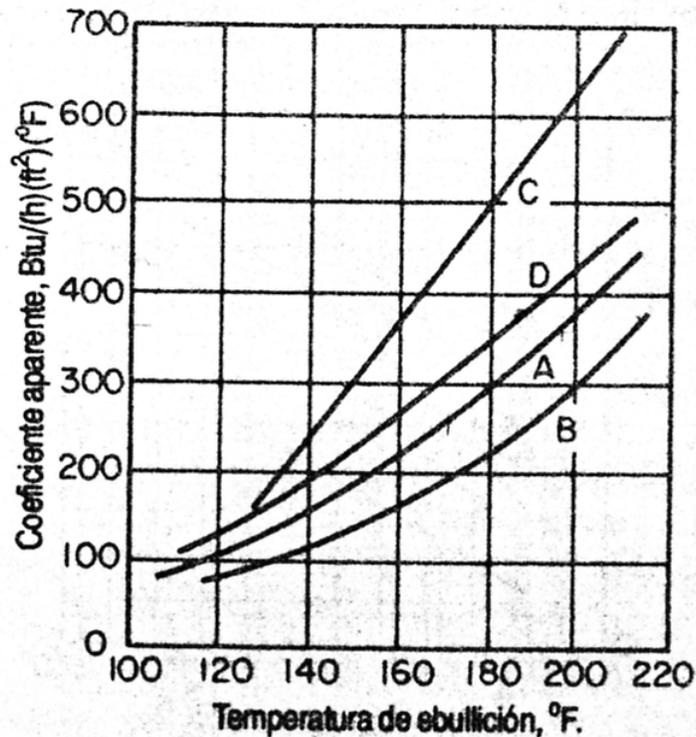
**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR**

GRÁFICA G.4.: Ábaco de estimación de longitudes equivalentes



## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

GRÁFICA G.5.: Efecto de la temperatura de ebullición en el coeficiente de transferencia de calor para distintos tipos de evaporadores para la caña de azúcar ( datos de plantas obtenidos por Kerr)



- A: evaporadores verticales de tubo corto con bajada central
- B: evaporadores estándar de tubo horizontal
- C: evaporadores Lillie (que eran máquinas de tubo horizontal, sin nivel de líquido; pero que hacía recircular este último, arrojándolo sobre los tubos)
- D: evaporadores verticales de tubo largo

\*Estas curvas muestran coeficientes aparentes; pero las soluciones de azúcar tienen elevaciones del punto de ebullición suficientemente bajas como para no afectar de manera apreciable los resultados.

FUENTE: Robert H. Perry, Don W. Green, 2001

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

### **BIBLIOGRAFÍA.**

- Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriot, 1998  
Operaciones unitarias en ingeniería química, editorial Mc Graw Hill
- Christie J. Greankoplis, 1998  
Procesos de transportes y operaciones unitarias, editorial CECSA
- M. E. Rodríguez, 1990  
Industrias de la alimentación, editorial Bellisco
- John H. Perry, PH. D., 1966  
Manual del ingeniero químico
- J. M. Storch de Gracia, 1998  
Manual de seguridad industrial en plantas químicas y petroleras. Fundamentos, evaluación de riesgos y diseño, editorial Mc Graw Hill
- Porta A., 1955  
Fabricación del azúcar, editorial Salvat S.A.
- J. G. Brennan, J. R. Butters, N. D. Cowell, A. E. V. Lilley, 1998  
Las operaciones de la ingeniería de los alimentos, editorial Acribia.
- Robert H. Perry, Don W. Green, 2001  
Manual del ingeniero químico, editorial Mc Graw Hill

## DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

---

- Clavijo J.A.,  
Introducción al diseño de tuberías para plantas de proceso
- G. D. Hayes, 1987  
Manual de datos para ingeniería de los alimentos
- Belitz, Grosch, 1985  
Química de los alimentos, editorial Acribia
- [www.ingeniopichichi.com](http://www.ingeniopichichi.com)
- [www.smar.com](http://www.smar.com)  
smar international corporation
- [www.perafan.com](http://www.perafan.com)
- [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

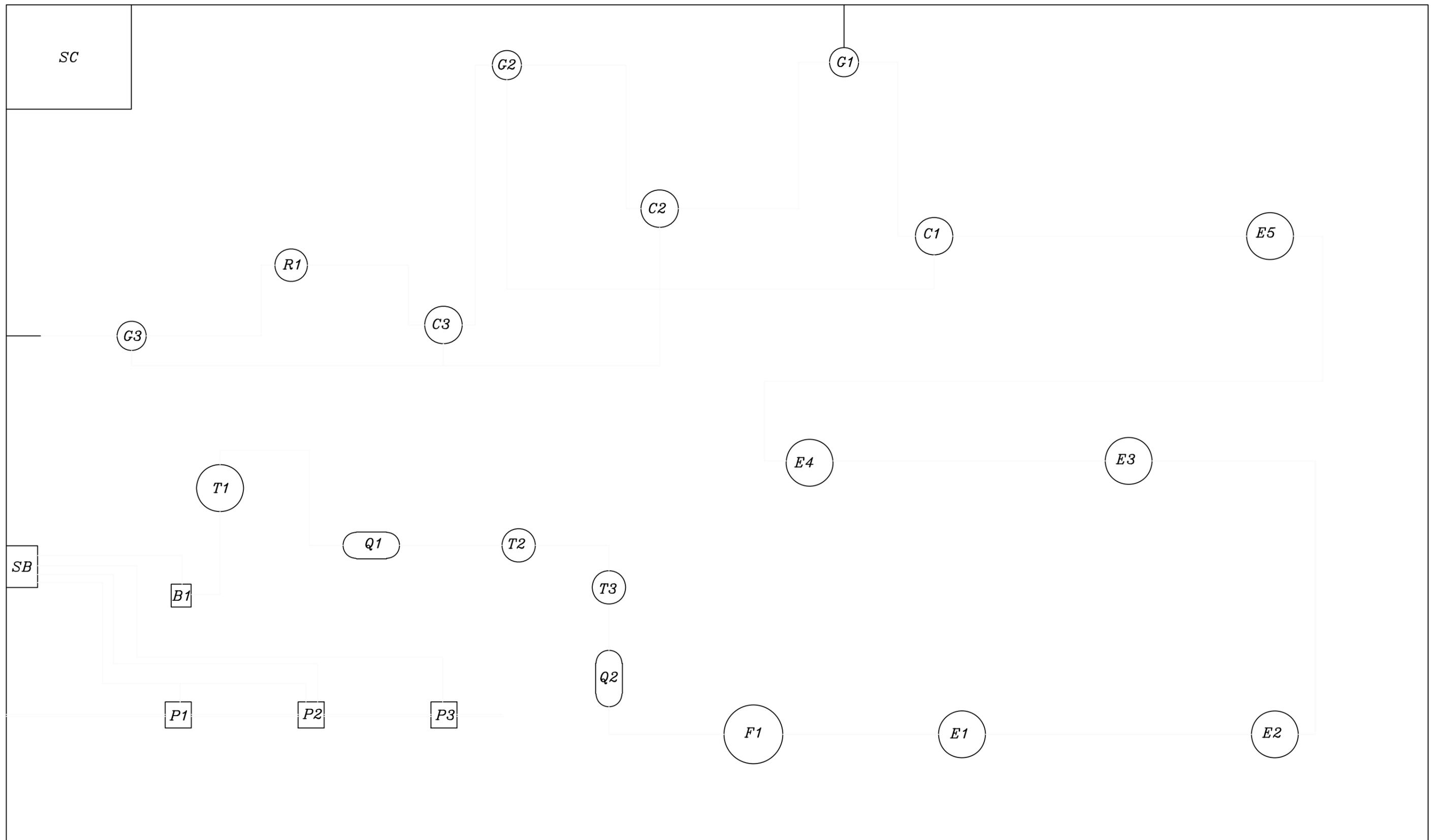
Artículos de esta página web:

- Shri Bhausahab Bajauras, 2000. Sistema para la molienda de la caña de azúcar.
- Zuckerindustrie. Advanced Monitoring System for process control
- Impacto ambiental y medidas protectoras en la industria de la caña de azúcar

**DISEÑO DE UNA UNIDAD DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR  
DE CAÑA DE AZÚCAR**

---

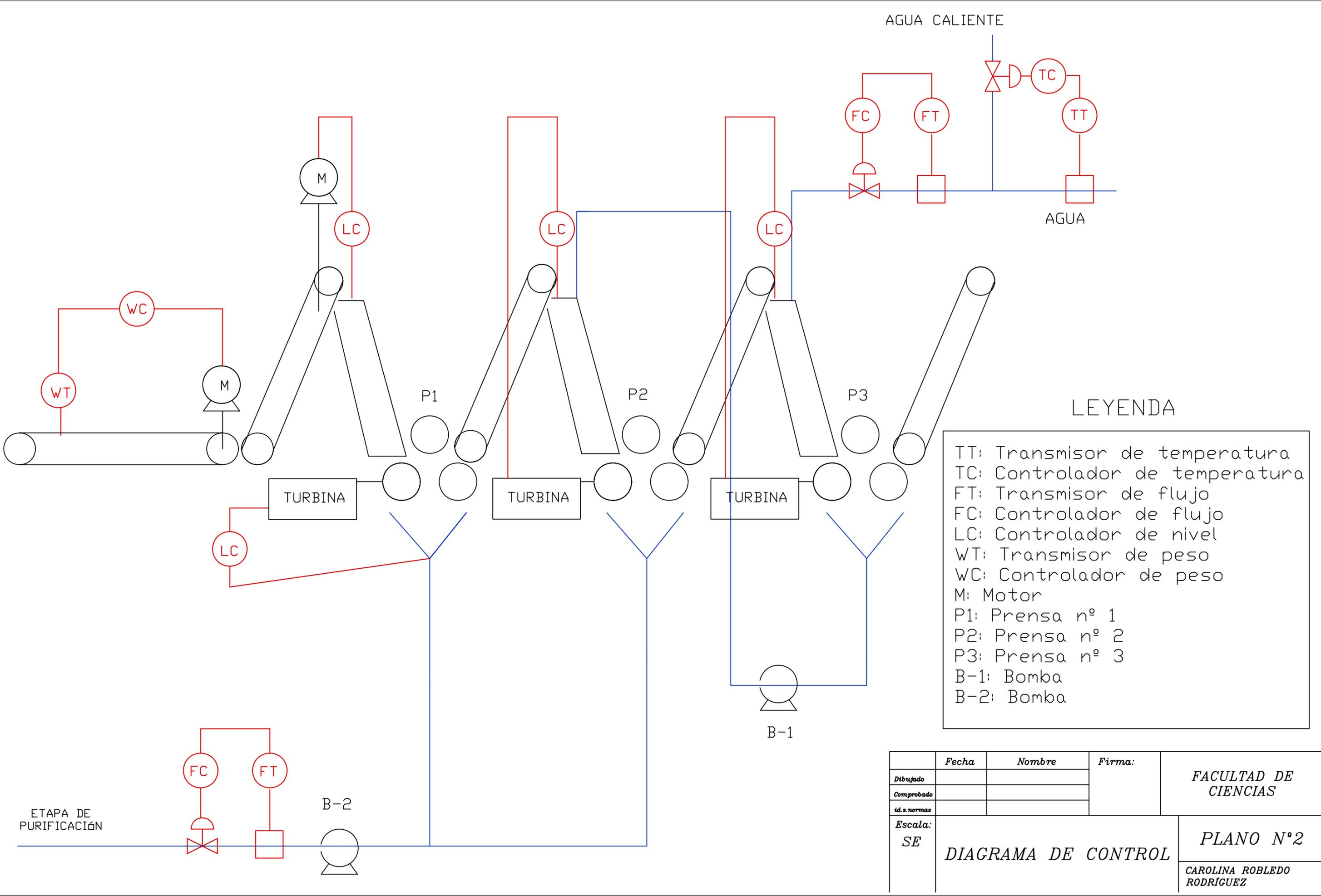
**DOCUMENTO IV: PLANOS**



**LEYENDA**

*P1: prensa n°1 Q1: calentador de jugo E1: evaporador 1er efecto C1: cristalizador G3: centrífuga de C*  
*P2: prensa n°2 T2: tanque de encalado E2: evaporador 2° efecto C2: cristalizador B R3: equipo de cristalización en frio*  
*P3: prensa n°3 T3: tanque de encalado E3: evaporador 3er efecto C3: cristalizador C SC: sala de control*  
*B1: filtro separador de bagacillo Q2: calentador de jugo E4: evaporador 4° efecto G1: centrífuga de A SB: sala de bombas*  
*T1: tanque de jugo F1: clarificador E5: evaporador 5° efecto G2: centrífuga de B*

	Fecha	Nombre	Firma:	FACULTAD DE CIENCIAS
Dibujado				
Comprobado				
Escala:	UBICACIÓN EN PLANTA			PLANO N° 1
E1:200				CAROLINA ROBLEDO RODRÍGUEZ



LEYENDA

TT:	Transmisor de temperatura
TC:	Controlador de temperatura
FT:	Transmisor de flujo
FC:	Controlador de flujo
LC:	Controlador de nivel
WT:	Transmisor de peso
WC:	Controlador de peso
M:	Motor
P1:	Prensa n° 1
P2:	Prensa n° 2
P3:	Prensa n° 3
B-1:	Bomba
B-2:	Bomba

	Fecha	Nombre	Firma:	FACULTAD DE CIENCIAS
Dibujado				
Comprobado				
id. s. normas				
Escala:	SE			PLANO N°2
DIAGRAMA DE CONTROL				CAROLINA ROBLEDO RODRIGUEZ

