

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Automática y Sistemas Computacionales**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Propuesta de instrumentación para el evaporador  
TASTE FOMESA del Combinado Agroindustrial  
“Victoria de Girón”**

**Autor: Vicente Castillo Pérez**

**Tutor: Ing. Elizabeth Guerrero Hernández**

**MSc. Delvis García García**

**Santa Clara**

**2017**

**"Año 59 de la Revolución"**

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Automática y Sistemas Computacionales**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Propuesta de instrumentación para el evaporador**

**TASTE FOMESA del Combinado Agroindustrial**

**“Victoria de Girón”**

**Autor: Vicente Castillo Pérez**

[vcastillo@uclv.cu](mailto:vcastillo@uclv.cu)

**Tutores: Ing. Elizabeth Guerrero Hernández. Especialistas**

**Superior en TICAES, CEDAI Villa Clara.**

[elizabethgh@cedai.com.cu](mailto:elizabethgh@cedai.com.cu)

**MSc. Delvis García García. Dpto. de Automática y  
Sistemas Computacionales, Facultad de Ing. Eléctrica,  
UCLV. [dggarcia@uclv.edu.cu](mailto:dggarcia@uclv.edu.cu)**

**Santa Clara**

**2017**

**"Año 59 de la Revolución"**

## PENSAMIENTO

*“Quien indaga el futuro con el método científico, encontrará el resultado cierto, fuere bueno o malo el resultado, quien así no lo haga, quedará estancado en su tiempo.”*

*Albert Einstein.*

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres**

*por ser los motores impulsores de mis más grandes logros, gracias a la confianza, el amor y la formación que me han brindado. Son mi orgullo y mi razón de ser.*

### **A mi hermana**

*para que le sirva de ejemplo para su futuro. Eres la mejor hermana del mundo.*

### **A toda mi familia**

*por estar siempre presente y apoyarme en todo momento.*

### **A todos los profesores**

*por saber guiarme y de una forma u otra contribuir a mi formación como profesional.*

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres quienes me han apoyado y alentado en todo momento, y que además me han inculcado la necesidad de superarme.

A mi hermana por acompañarme en los buenos y malos momentos.

A mi familia por el apoyo y la confianza depositada.

A mis tutores Elizabeth y Delvis por su disposición y dedicación en la realización de este Trabajo de Diploma.

A Julio Rubén por su ayuda, preocupación y apoyo en función de esta tesis de grado.

A mis amigos que estuvieron presente en los momentos más difíciles, en especial a mis compañeros de cuarto.

A mi novia por su amor y apoyo en todas mis decisiones.

A los muchachos del CEDAI por sus estupendas recomendaciones y ayuda ofrecida durante los años que compartimos juntos.

Me gustaría reconocer también a los técnicos e ingenieros del Combinado Agroindustrial Victoria de Girón por sus valiosos comentarios y opiniones para la realización del trabajo.

En fin, a todos los que de una forma u otra me han ayudado y han hecho posible llegar hasta aquí.

## **RESUMEN**

En el Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón” de Jagüey Grande se ubica el evaporador TASTE FOMESA, utilizado para la elaboración de concentrados cítricos. Con el paso del tiempo dicha entidad procede a discontinuar el uso del mismo, debido al mal estado de la instrumentación existente y a la ausencia de supervisión y control de las distintas variables del proceso; lo cual atenta contra la eficiencia de la fábrica.

Para realizar la propuesta de instrumentación es necesario obtener información sobre el funcionamiento de los procesos tecnológicos que existen actualmente. Como resultados se presenta la selección de los diferentes medios técnicos de automatización para garantizar el funcionamiento eficiente del evaporador, con un diseño que se adapta a las necesidades del cliente, permite un aumento de la producción y mejora en las condiciones de operación. Además se muestran los esquemas de automatización y distribución eléctrica que se propone para la planta.

## TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN .....	iv
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO 1. ESTUDIO DEL PROCESO .....</b>	<b>6</b>
1.1 Proceso de evaporación.....	6
1.2 Diferentes tipos de evaporadores para la elaboración de jugo concentrado .....	8
1.3 Reseña histórica de los evaporadores TASTE .....	9
1.4 Características fundamentales de los evaporadores TASTE.....	10
1.4.1 Características del TASTE 60K 7-9 .....	12
1.5 Sistemas automatizados .....	14
1.5.1 Sistemas automatizados utilizados en evaporadores de jugo.....	16
1.6 Conclusiones del capítulo .....	19
<b>CAPÍTULO 2. SISTEMA DE CONCENTRADO EN EL TASTE.....</b>	<b>20</b>
2.1 Descripción del flujo de producción. ....	20
2.1.1 Alimentación de jugo.....	22
2.1.2 Flujo en el TASTE.....	22
2.1.3 Alimentación de vapor.....	27
2.1.4 Condensador barométrico y agua de enfriamiento. ....	28
2.1.5 Agua de sellaje.....	29
2.1.6 Condensado vegetal .....	31

2.1.7	Limpieza .....	31
2.2	Requisitos de Entrada-Salida del proceso .....	32
2.3	Pruebas de funcionamiento y estado actual de la instrumentación .....	33
2.4	Propuestas de solución .....	33
2.4.1	Controlador Lógico Programable .....	35
2.4.2	Panel operador .....	35
2.5	Conclusiones del capítulo .....	36
<b>CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN .....</b>		<b>37</b>
3.1	Esquema funcional de automatización .....	37
3.1.1	Esquema funcional de automatización de alimentación de jugo .....	37
3.1.2	Esquema funcional de automatización del flujo en el TASTE .....	38
3.1.3	Esquema funcional de automatización de alimentación de vapor .....	40
3.1.4	Esquema funcional de automatización del condensador barométrico .....	41
3.1.5	Esquema funcional de automatización del agua de sellaje .....	42
3.1.6	Esquema funcional del automatización del condensado vegetal .....	43
3.1.7	Esquema funcional de automatización de limpieza .....	44
3.2	Selección de los medios técnicos de automatización a utilizar .....	45
3.3	Comunicación Industrial .....	54
3.4	Distribución eléctrica .....	55
3.5	Análisis económico y medioambiental .....	56
3.6	Conclusiones del capítulo .....	58
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>59</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>61</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>65</b>

Anexo II	Listado de señales. ....	66
Anexo III	Rango de las variables.....	72
Anexo IV	Diagrama general del TASTE.....	73
Anexo V	Características de los motores.....	74
Anexo VI	Características de los paneles.....	75
Anexo VII	Listado de precios .....	78
Anexo VII	Especificaciones y requerimientos del evaporador .....	80
Anexo VIII	Aval del Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón” .....	81

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad los alimentos más importantes para el hombre han sido: las frutas, las carnes y los cereales. Dadas las características climatológicas y los tipos de suelos existentes en diferentes regiones del planeta, se localiza en gran número de lugares considerables producciones de frutas de muy buena calidad y de una alta demanda en el mercado mundial.

Los cítricos son cultivos permanentes que se adaptan fácilmente a diversas condiciones climáticas. Sin embargo, las regiones productoras por excelencia de estos productos se localizan principalmente en el continente americano y en el occidente del continente europeo (Aguiar y col., 2012; Braddock, 1995); aunque en los últimos años resulta destacada la producción de cítricos en países emergentes como China e India. Los países del hemisferio norte son los mayores productores de cítricos, con el 58% de la producción mundial (Guzmán, 2015).

El sector cítrico tiene dos formas principales de comercialización de sus productos. Por un lado, existe un mercado que está basado en la comercialización de los productos frescos, y por otro lado existe un mercado para aquellos bienes que son producto de la transformación industrial de la fruta. Del total de la producción de cítricos, cerca de un 60% se consume en el mercado de productos frescos, y aproximadamente un 40% es procesado en la industria (Aguiar y col., 2012).

El procesamiento de jugos cítricos es uno de los negocios agroindustriales más importantes en todo el mundo y la producción de jugos se incrementa sustancialmente cada año, tanto por el aumento de la demanda de estos productos como por el nivel tecnológico alcanzado por las industrias.

A partir del año 1967 se implementa en Cuba el Programa Nacional de Cítricos, que contempla como aspectos más relevantes: la concepción agroindustrial del proceso, la siembra de grandes áreas de cítricos, la incorporación de nuevos territorios a la producción y el desarrollo de la base científico-técnica. En aquel entonces se destinan las producciones de cítricos principalmente hacia los países socialistas y a la satisfacción del mercado interno. Las frutas y cítricos de calidad no exportable se procesan en la industria para la obtención de concentrados (Anaya, 2015a).

En la actualidad la industria cubana dispone de cinco grandes plantas industriales con tecnología moderna, localizadas en las principales áreas productoras y distribuidas en las tres regiones del país: Pinar del Río, Ceballos, Contramaestre, Jagüey Grande e Isla de la Juventud, así como una planta más pequeña para la fabricación de aceites esenciales ubicada en Banes (Guzmán, 2015). Su distribución se muestra en la figura 0.1.

- (1) Citrus Internacional S.A (Citrus), en Pinar del Río.
- (2) Empresa de Conservas Cítricas “Jesús Montané” (ECJM), en la Isla de la Juventud.
- (3) Empresa de Cítricos “Héroes de Girón” (ECHG), en Matanzas.
- (4) Empresa Industrial de Cítricos Ceballos (EIC Ceb), en Ciego de Ávila.
- (5) Empresa de Cítricos Contramaestre (EIC Cont), en Santiago de Cuba.

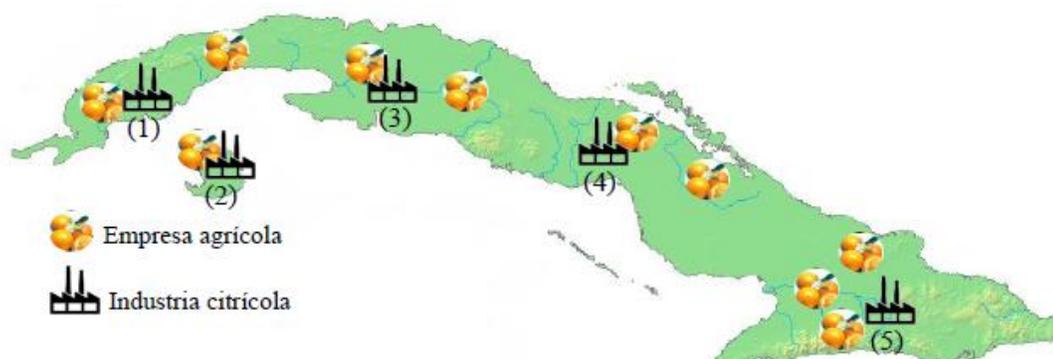


Figura 0.1. Principales plantas de la agroindustria cítrica en Cuba

La agroindustria cubana destina un 4% de las frutas frescas a exportación, un 12% al consumo nacional y un 84% al procesado en industrias. Prácticamente el 80% de la producción industrial se exporta al mercado europeo (Prévez y Sánchez, 2007). Los productos principales obtenidos son el jugo concentrado de naranja y toronja; y como subproductos: el aceite esencial y el hollejo húmedo para la alimentación animal (Valmaseda, 2010). Desde el punto de vista económico, el desarrollo de la industria ha estado directamente vinculado a los precios de los productos en el mercado internacional (ITC, 2014).

El presente trabajo surge como parte de un proyecto de gran magnitud que acomete la Empresa de Automatización Integral (CEDAI) de Villa Clara en el Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón”. Este último es fundado en 1967 como parte del Programa Nacional de Cítricos y constituye una de las experiencias más significativas en la citricultura cubana.

El proyecto es de gran importancia para la industria citrícola nacional, debido a que las producciones de la empresa representan el 75% del total del país (Anaya, 2015b) y satisfacen simultáneamente diferentes espacios de demanda (consumo interno, exportaciones y sustitución de importaciones); mientras que se procesa más del 60 % de los cítricos de todo el país para obtener jugos concentrados y naturales, celdillas cítricas y otros subproductos de naranjas y toronjas (García y col., 2008). Además, resulta la única empresa citrícola que se mantiene conectada directamente al comercio internacional a través de la exportación (Anaya, 2015b).

Actualmente la principal línea de obtención de jugo concentrado de cítricos en el Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón” en Jagüey Grande se encuentra fuera de servicio desde hace aproximadamente 4 años, ya que presenta problemas con su automatización e instrumentación después de casi 7 años de explotación. Esto representa un gran riesgo para la industria en cuanto a la productividad y las exportaciones, dado que la entidad solo cuenta con otro evaporador que se encuentra en muy mal estado y en ocasiones ha presentado fallas, deteniendo la producción de la industria con notables pérdidas para la misma. La empresa CEDAI Villa Clara por su parte, a petición de la necesidad planteada por la Dirección Técnica del Combinado Agroindustrial de recuperar y modernizar gran parte de la automática de este proceso, se ha dado a la tarea de lograr la puesta en funcionamiento de toda la

instrumentación, supervisión y el control del proceso de obtención de jugo concentrado de cítricos.

*Por lo tanto, en el presente trabajo se plantea el siguiente problema científico:* Afectación de la producción de jugo concentrado de cítricos en el Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón” debido a la no disponibilidad del evaporador TASTE FOMESA, propiciado por el mal estado de la instrumentación existente y a la ausencia de supervisión y control de las distintas variables del proceso. Con vistas a darle solución al problema planteado anteriormente se propone el siguiente objetivo general para esta tesis.

**Objetivo general:**

Proponer la instrumentación necesaria para el proceso de obtención de jugo concentrado en el evaporador TASTE FOMESA del Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón”.

Para el cumplimiento del objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

**Objetivos específicos:**

- Estudiar el proceso de obtención de jugo concentrado y el estado del mismo en el evaporador TASTE 60K 7-9.
- Llevar a cabo el levantamiento físico de la instrumentación y los sistemas de adquisición de la información presentes en la planta.
- Describir los requisitos de operación del proceso y las variables involucradas.
- Seleccionar la instrumentación necesaria para realizar la supervisión y control de las distintas variables.
- Proponer los esquemas generales para la conexión de la instrumentación.

**Resultados esperados:**

Al concluir esta investigación se pretende contar con una propuesta de automatización para el evaporador TASTE FOMESA que conforma una parte en la línea de obtención de jugo concentrado de cítricos en la empresa mencionada. Teniendo en cuenta las limitaciones tecnológicas se pretende proponer soluciones de instrumentación y supervisión factibles para la empresa de acuerdo a las posibilidades de la industria cubana actual.

## **Organización del informe**

El informe de la investigación se encuentra estructurado en tres capítulos, además de la introducción, las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos correspondientes. Los temas que se abordan en cada capítulo se describen a continuación:

**Capítulo I:** A partir de un estudio de la bibliografía se aborda la importancia y necesidad del tema a investigar y se efectúa un análisis de los principales evaporadores utilizados en la industria para la concentración de jugo. Seguidamente se presenta una descripción general del evaporador TASTE, así como algunos ejemplos de automatización y propuestas de instrumentación reportadas en la literatura para otros evaporadores de jugo.

**Capítulo II:** En este capítulo se realiza una descripción general del proceso, necesaria para la supervisión y el control de las distintas variables, una descripción detallada de todos los instrumentos instalados actualmente en el evaporador, así como el estado de los mismos. Además de la codificación y listado de señales teniendo como base los requisitos de operación del proceso y las variables involucradas.

**Capítulo III:** Se presenta concretamente la propuesta de instrumentación realizada para el proceso, así como una descripción de los mismos. Se hace especial énfasis en las principales características de los sensores seleccionados, otros componentes de hardware y la arquitectura de la red utilizada. Por último, se muestra un análisis económico y medioambiental del proyecto.

## **CAPÍTULO 1. ESTUDIO DEL PROCESO**

Debido a la alta demanda de bebidas con sabores frescos y libres de aditivos químicos, las industrias de los concentrados de cítricos hacen esfuerzos por desarrollar nuevos y mejores productos que garanticen la calidad que se les exige. En consecuencia, se emplean parámetros como la turbidez, el aroma, la homogeneidad y el contenido nutricional para el control y procesamiento de los mismos (Vaillant y col., 2001). El uso de tratamientos inapropiados para la concentración puede provocar pérdidas considerables de vitaminas, el deterioro del color, del aroma y del sabor (Ávila y Bullón, 2013). Por lo que el evaporador es probablemente la parte más importante de la tecnología de la industria de concentrados de jugos cítricos.

### **1.1 Proceso de evaporación**

Los concentrados de cítricos habitualmente son aprovechados para la preparación de jugos a distintas densidades, siendo utilizados en la dieta alimenticia del hombre. La popularidad de estos se debe a su sabor placentero y refrescante, además de que los consumidores tienen conocimiento del beneficio nutritivo que aportan en vitamina C, ácido fólico y otras fibras dietéticas (Aguiar y col., 2012). Los concentrados se obtienen mediante la evaporación del agua, con la aplicación de calor mediante equipos llamados evaporadores o concentradores de jugo.

Según (Ramaswamy, 2006) la evaporación es una operación unitaria empleada para remover agua en forma de vapor de sustancias líquidas diluidas, con el fin de obtener un producto concentrado. La misma se realiza por medio de la adición de calor al producto líquido a concentrar, para llevarlo a su temperatura de ebullición y vaporizar una parte del solvente (Cabe, 2003).

La concentración se logra al aprovechar la diferencia de volatilidad entre el agua y los solutos (Fellow, 1994). Esta operación requiere de un evaporador o varios evaporadores dispuestos en un arreglo específico, el cual está limitado por las características fisicoquímicas de la materia prima y del producto que se desea obtener (Toledo, 2006).

Un evaporador consiste básicamente en un intercambiador de calor capaz de hervir la solución a concentrar (Schlünder, 1983). Las partes esenciales del mismo son la cámara de calefacción y la cámara de evaporación. Las dos cámaras están separadas por la superficie sólida de los tubos, a través de la cual tiene lugar el intercambio de calor con la finalidad de que el componente más volátil pueda ser retirado en forma de vapor, dejando como resultado una solución más concentrada (Márquez, 2015). La forma y la disposición de estas cámaras se diseñan para que la eficiencia sea máxima, dando lugar a distintos tipos de evaporadores.

Los sistemas de evaporadores industriales normalmente constan de un intercambiador de calor para la evaporación de la sustancia a concentrar (en la industria de los alimentos normalmente se utiliza como medio de calentamiento el vapor saturado); un separador en el que el vapor se aparta de la fase líquida concentrada (en los sistemas que operan a presión atmosférica el separador puede omitirse); y un condensador, para condensar el vapor y eliminar el agua condensada del sistema (Rodríguez y Requierdesjardins, 2004; Bischoff y Gravois, 2003).

En los evaporadores la condensación ocurre sobre la superficie exterior de tubos dispuestos verticalmente u horizontalmente. El vapor al ser alimentado fluye por fuera de los conjuntos de tubos o calandrias, para poco a poco entrar en contacto con la superficie y comenzar la transferencia de calor, mientras que en el exterior de los mismos se condensa el vapor calefactor. Dentro de los tubos se produce la evaporación parcial y el producto que se está concentrado permanece en contacto con el vapor que se genera. Las calandrias o conjunto de tubos que atraviesan la cámara de vapor frecuentemente poseen un tubo de retorno. Los dos fluidos, tanto el producto como su vapor tienen diferentes sentidos de flujo, por lo que la salida del concentrado ocurre por la parte inferior de los tubos y el vapor generado sale por la parte superior del evaporador, aunque la disposición de estos puede variar según la configuración y utilización de los mismos, como se muestra en la figura 1.1.

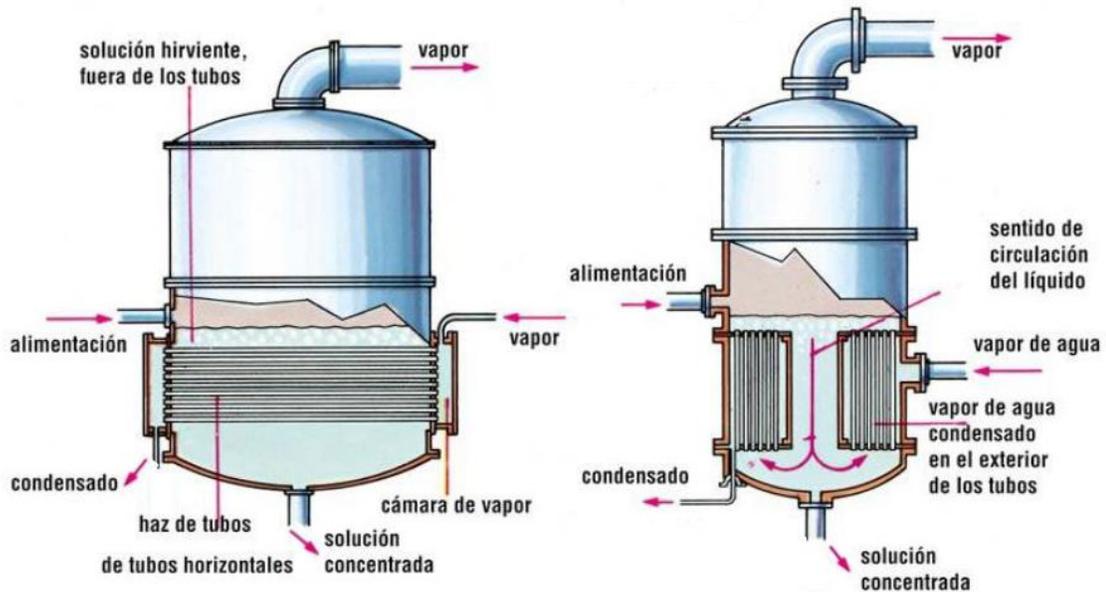


Figura 1.1. Diferentes formas de evaporadores.

Entre los beneficios aportados por los evaporadores se tienen: la reducción de espacio para el almacenamiento del jugo, pues se disminuye su peso y volumen, la eliminación de partículas indeseables que afectan la calidad del concentrado, la pasteurización del producto, la protección contra el deterioro microbiano y la prolongación de la vida útil de conservación. La desventaja de estos es que el tratamiento térmico aumenta la susceptibilidad a la oxidación del producto y destruye componentes aromáticos delicados (Ávalo y col., 2009).

## 1.2 Diferentes tipos de evaporadores para la elaboración de jugo concentrado

Los cítricos están disponibles generalmente solo durante estaciones específicas y no permiten almacenamiento prolongado sin pérdida de calidad. Es por estas razones que los productos cítricos previstos para la producción de zumo y para el propósito de procesado a escala industrial, se someten a su procesamiento poco después de la cosecha, para luego ser almacenados.

La concentración del jugo se lleva a cabo en varios tipos de evaporadores, sin embargo, se prefieren aquellos en los que la economía del vapor es elevada. Algunos equipos que se utilizan comúnmente en la industria cítrica según (Valdivieso, 2010; Pimentel, 1999; Márquez, 2015) son:

- Evaporador de tubos horizontales con circulación natural.

- Evaporador TASTE.
- Concentrador ultra-rápido Luwa.
- Evaporador de película agitada.
- Evaporador de circulación natural con calandria exterior.
- Evaporador de placas.
- Evaporador de película descendente.
- Evaporador de película ascendente.

En un entorno de crecientes exigencias económicas y medioambientales orientadas al uso racional de la energía, los evaporadores de jugos se diseñan para obtener una concentración elevada, llevando a cabo la operación en el menor tiempo posible. Tales condiciones deben cumplir un consumo de vapor moderado; siendo según (Alcázar, 2006; Snyder y Biot, 2004; Kimball, 2002) el evaporador TASTE desarrollado por Ralph Cook, el más avanzado para cualquier tipo de cítricos o jugos de frutas transparentes.

### **1.3 Reseña histórica de los evaporadores TASTE**

Desde sus inicios los cítricos se distribuyen exclusivamente de forma fresca pues es imposible garantizar su almacenamiento, pero con la aparición de los procesos modernos de extracción de jugo cambia totalmente la historia y el destino de los cítricos. A partir de ese momento los zumos de frutas y los aceites esenciales emprenden un desarrollo creciente (CMC, 2004).

Antes de 1930 los propietarios de las plantaciones cítricas de Florida comienzan a expandir sus cultivos para aumentar la demanda de ventas en los mercados norteros. En sus inicios solo las frutas frescas y atractivas logran competir en el mercado, por lo que se necesitaba clasificarlas y descartar la fruta que no podían ser comercializada. Siempre buscando una forma mejor de aumentar los beneficios, los agricultores investigan y se introducen en el negocio del procesamiento de jugo, instalando pequeñas plantas de producción de jugo para procesar todos los desechos de fruta.

Durante los años 1930 se desarrollan varios equipos para producir concentrado de jugo de naranja. Uno de ellos eran los evaporadores de baja temperatura (30 a 55°C) que utilizaban vacío y vapor de agua para hervir el agua del jugo. En sus inicios los evaporadores se diseñaban de simple, después doble y triple efecto, normalmente con recirculación pesada a

través de las calandrias y con separadores para eliminar los vapores de agua (Snyder y Biot, 2004).

Luego de la extracción del jugo, se obtiene un alto sabor de aceite de piel de naranja y mucho amargor en el concentrado. Así pues, se desarrolla un compromiso que se utiliza hasta los años cincuenta para restituir el sabor al concentrado de manera que el resultado fuera prácticamente jugo natural.

A partir del año 1951 los evaporadores multiefecto de alta temperatura y corta residencia surgen y se empiezan a utilizar en el procesamiento de cítricos. La experiencia de los pasteurizadores HTHS de tubos de pequeño diámetro y temperaturas de hasta 99 °C durante menos de un minuto demuestran que el cambio de sabor en los jugos está correlacionado con el tiempo, así como, con la temperatura (Snyder y Biot, 2004).

Años más tarde Ralph Cook desarrolla y patenta el evaporador HTHS (en inglés, *High Temperature and High Speed*), más tarde renombrado como “Evaporador Rápido Acelerado Térmicamente” (TASTE, *Thermal Accelerated Short Time Evaporator*) por sus siglas en inglés. Los evaporadores TASTE producen un concentrado estable con pocos daños por calor, siendo a mediados de 1960 los evaporadores estándar en la Florida (CMC, 2004).

Actualmente Ralph Cook y su hijo John Cook trabajan en Cook Machinery Co en Dunedin Florida, construyendo evaporadores TASTE. Sin embargo, hoy en día hay más compañías que poseen licencia para fabricar este equipamiento, basado en los diseños originales de Cook. Algunos de ellos son: el propio Cook en Florida (EE.UU.), FMC en Parma (Italia), GULMAC (Brasil) y FOMESA en Valencia (España).

#### **1.4 Características fundamentales de los evaporadores TASTE**

El evaporador TASTE es ampliamente utilizado para concentrar tanto los jugos turbios como los claros, entre los que se pueden mencionar naranja, toronja, mandarina, limón, lima, piña, uva, manzana, fruta bomba y aloe; obteniéndose un producto con daños térmicos considerablemente menores que en cualquier otro proceso de evaporación (EETA, 2016).

Estas máquinas aplican el principio de regulación de la temperatura por vacío, para lograr que la temperatura de ebullición sea más baja de la que sería a la presión atmosférica normal. Los productos obtenidos presentan una alta concentración, conservando su color y calidad

requerida en el mercado. Estos jugos en su origen tienen un contenido de agua de aproximadamente el 90% y 10% de sólidos solubles totales o °Brix.

Los jugos procesados en estos evaporadores se evalúan en términos de °Brix, el cual determina la medida del porcentaje del peso de sólidos solubles (los azúcares y los ácidos) en una muestra de jugo, comparada con el peso de la muestra entera (gravedad específica). Una solución de 65 °Brix contiene 65 g de sólido disuelto por 100 g de líquido (Mejía, 2008).

Los modelos más difundidos de evaporadores TASTE poseen varias fases de concentración y calentamiento. En este sistema de evaporación el jugo es precalentado antes de entrar a la primera columna de evaporación, para elevar su temperatura en la entrada del primer efecto y aprovechar al máximo el vapor de caldera. Además, el vapor se usa más de una vez antes de perderse en la condensación (Pimentel, 1999).

Los evaporadores TASTE están conformados por: varios haces de tubos o calandrias en el interior de cada etapa, separadores de vapor, precalentadores, un condensador barométrico y varios enfriadores rápidos del concentrado obtenido (Torres, 1989).

Entre las ventajas de estos evaporadores podemos destacar:

- Baja inversión capital.
- Máquinas sin contratiempos mecánicos.
- Pasteurización del jugo durante la evaporación.
- Recogida de esencias.
- Producción de concentrado de alta calidad.
- Los requerimientos de potencia eléctrica son menores que con otros tipos evaporadores.
- Flexibilidad del evaporador (reducción del caudal de alimentación hasta en un 80%).
- Bajo mantenimiento
- Bajo costo de instalación (la máquina es ensamblada horizontalmente y se levanta en posición vertical en la planta).

En la actualidad existe una gran cantidad de evaporadores TASTE instalados en plantas de jugo en todo el mundo. Entre los países que cuentan con más de 10 plantas de procesamiento con evaporadores de esta arquitectura se encuentran: Estados Unidos, Brasil, China, México, Japón, Italia, Australia e Israel. La mayoría del resto de países productores de cítrico como

Cuba, Sudáfrica, España y Tailandia también poseen plantas de concentrado de este tipo (FAOSTAT, 2017).

#### 1.4.1 Características del TASTE 60K 7-9

El evaporador de concentrado cítrico TASTE 60k 7-9, figura 1.2, de la compañía FOMESA situado en el Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón” de Jagüey Grande, está diseñado para producir concentrado y subproductos de sabor derivados del jugo de naranja o toronja. Sin embargo, puede ser utilizado además para piña y limón, aunque estos productos se procesan en menor cuantía debido a que las producciones en el país no son abundantes.



Figura 1.2. Evaporador TASTE FOMESA 60k 7-9

El mismo se define como un evaporador de película descendente, de continuo y único paso vertical de fluido por los tubos, de intercambio rápido, (permanencia corta del fluido en su interior) de múltiples etapas, (9 Etapas) de múltiples efectos (7 Efectos), de alta temperatura, sin recompresión de vapor y de alto vacío (Snyder y Biot, 2004).

Las etapas se designan al proceso de evaporación de jugo dentro de cada evaporador y los efectos a la acción de transmisión de calor al jugo en cada evaporador. Como son varios,

tanto uno como otro, dentro del conjunto del TASTE se le asocia a cada uno un número de orden en el evaporador (Kimball, 1999). De las nueve Etapas en el recorrido del flujo de este evaporador siete son calandrias y solamente presenta una entrada de vapor directa de calderas que se localiza en la IV Etapa/I Efecto.

Este evaporador está diseñado para alcanzar una concentración de 65 °Brix para jugo de naranja y 58 °Brix para jugo de toronja. La temperatura de salida del producto es de 13 °C a 15 °C, la cual se logra con dos cámaras de enfriamiento con las que viene equipado el mismo. Adicionalmente su estructura se levanta en posición vertical a una altura de 37 metros sobre un bastidor de acero. El material utilizado es de acero inoxidable 304 para toda la estructura y acero inoxidable 316 para todas aquellas partes que tienen contacto directo con el jugo.

La capacidad de evaporación del TASTE varía en función de la producción de la planta, oscilando en el rango de 3.000 lb/h hasta 60.000 lb/h de condensado vegetal producido. El evaporador opera a pleno rendimiento entre 20 y 24 horas al día, con dos o tres limpiezas de una hora. La capacidad media de procesamiento de jugo del evaporador es de aproximadamente 40-50 toneladas métricas por hora (Snyder y Biot, 2004).

La designación del modelo indica que se trata de un evaporador que teóricamente un kilogramo de vapor evapora seis kilogramos de agua, pero en realidad es aproximadamente 5.67 kilogramos, debido a las pérdidas que ocurren en los eyectores de vapor, los precalentadores, y el condensador barométrico, así como las pérdidas de calor a la atmósfera desde todas las calandrias y tuberías. Esta es la mayor tasa de evaporación existentes en los evaporadores de jugo cítricos (Anaya, 2015a).

La evaporación llevada a cabo en el TASTE es un proceso completamente rápido (30 a 45 minutos) de tal modo que el producto permanece poco tiempo dentro del evaporador. Esta corta exposición del producto a altas temperaturas hace que conserve sus propiedades. Para que el concentrado no tenga problemas de conservación, ni reacciones no deseadas producidas por levaduras, bacterias o mohos dentro del evaporador, el jugo es sometido a un leve período de pasteurización.

La evaporación al vacío producida en el condensador barométrico consiste en reducir la presión en el interior del evaporador por debajo de la presión atmosférica. Esto permite

reducir la temperatura de ebullición del líquido a evaporar, lo que minimiza la cantidad de vapor utilizado en el proceso de ebullición (Márquez, 2015).

El vacío solamente se mantiene mediante la continua extracción de la mezcla de aire con el vapor residual. La existencia de este aire se debe principalmente a las inevitables infiltraciones que existen en los evaporadores, tuberías, válvulas y demás elementos. Si la evacuación del aire cesa, este se acumula y el vacío se desvanece a pesar de la condensación del vapor. La mezcla de aire y gases (ambos incondensables) es extraída mediante la inyección de chorros de vapor, a través de eyectores que están ubicados en el condensador barométrico y en el enfriador (Snyder y Biot, 2004).

Además, cuenta con un sistema de limpieza con el fin de proporcionar un alto saneamiento. La limpieza de este evaporador básicamente consiste en un proceso CIP (en inglés, Clean In Place), por sus siglas en inglés, que tiene lugar durante una hora a través de tres etapas (ciclo de aclarado inicial, lavado con recirculación cáustica y aclarado final) que funcionan sin cambiar las condiciones normales de funcionamiento del evaporador.

El Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón” de Jagüey Grande por su parte, dada la necesidad de mejorar sus niveles productivos ha decidido modernizar sus instalaciones, dotándolas de tecnologías que le permitan ser más eficaz. Estos requerimientos hacen importante en el siguiente epígrafe tratar los sistemas automatizados.

### **1.5 Sistemas automatizados**

Desde los inicios de la era industrial hasta la actualidad, los sistemas automatizados han pasado de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta indispensable para competir en el mercado. Ningún empresario puede omitir la automatización de sus procesos para aumentar la calidad de sus productos, reducir los tiempos de producción, realizar tareas complejas, minimizar los desperdicios y especialmente aumentar la rentabilidad.

El concepto de sistemas automatizados es tratado por una gran variedad de científicos, ingenieros y técnicos de las diferentes ramas de las industrias, llegando a ser incluso de cierto dominio por parte de aquellas personas no relacionadas directamente con el sector tecnológico, lo cual indica que tiene una amplia difusión, no solo por su aplicación en los procesos de fabricación, sino por estar prácticamente presente en el quehacer cotidiano.

Según plantea (Izaguirre, 2012) un sistema de automatización es el conjunto de elementos (equipamiento, sistema de información y procedimientos) interrelacionados funcionalmente entre sí que conforman una estructura jerárquicamente expandida, cuya función es garantizar el desempeño independiente del proceso a través de operaciones de control y supervisión total del sistema, bajo las técnicas más modernas y cumpliendo los requisitos establecidos de acuerdo al tipo de planta.

Para (Izaguirre, 2012) los sistemas automatizados modernos presentan ciertas características que los hacen ventajosos para su aplicación en la industria:

- Esquemas de comunicación que garantizan el intercambio confiable de datos, tanto vertical como horizontal entre todos los componentes del sistema.
- Alta capacidad de adaptación en las características del proceso para futuras aplicaciones, automatización flexible.
- Trabajo en tiempo real.
- Operación bajo el principio de control descentralizado bajo mando e información centralizada.
- Manejo y explotación de bases de datos.
- Gran variedad de funciones implementadas que abarcan la explotación del sistema en las esferas de automatización, control de procesos, monitoreo, ingeniería (simulación y parametrización) diagnóstico, ayuda y administración.

Un sistema automatizado está compuesto principalmente por sensores, actuadores y controladores. Las características de estos elementos varían con el transcurso de los años y con el desarrollo de la tecnología, adaptándose a las necesidades de la producción actual y a las especificidades propias de cada planta (Allaica y Lema, 2011).

En un proceso industrial generalmente se producen muchos ruidos, que pueden interferir en la transmisión de las señales y en los elementos de control. Por eso, dichos elementos y protocolos de comunicación tienen que ser robustos para soportar las duras condiciones del entorno (Redondo, 2008).

Los tres elementos básicos capaces de cumplir estas características son el Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés), el ordenador industrial y los reguladores industriales tanto analógicos como digitales (Asensio y Arbós, 2004). Cada uno de estos

elementos encuentran su aplicación en la industria actual y en especial en la automatización de los evaporadores de jugo.

### **1.5.1 Sistemas automatizados utilizados en evaporadores de jugo**

La industria de los cítricos está rápidamente adoptando las tecnologías de control de los procesos, con el propósito de automatizar todos los aspectos de las actividades en las plantas de producción. La intención es mejorar la eficiencia de la planta, reducir los costos y proveer los medios para un mejor manejo de las actividades de producción.

Con la automatización del área de evaporadores se garantiza un mayor aprovechamiento de los recursos energéticos y humanos utilizados en el proceso, se mejora la eficiencia y se mantienen algunos de los parámetros para un adecuado funcionamiento; lo cual ofrece grandes ventajas a la siguiente etapa ya que recibe el concentrado a una densidad adecuada. Además, se monitorea en tiempo real las variables del proceso, permitiéndole a los operadores evaluar las condiciones de operación y minimizar la posibilidad de paradas.

Un importante número de países explota en la actualidad tecnologías de punta encaminadas a la automatización de evaporadores de jugo concentrado. Estados Unidos, Brasil, España, India, China e Israel reportan grandes avances en este campo. En esta tarea se involucran especialistas de diferentes materias: instrumentistas, automáticos, informáticos, ingenieros industriales y civiles, entre otros. A continuación se presentan algunos proyectos realizados en el mundo relacionados con la automatización de los mismo, aunque desafortunadamente las investigaciones que existen al respecto son poco difundidas.

#### **Automatización llevada por (Márquez, 2015) en el evaporador de concentrado de naranja del Grupo Jumex.**

En el Instituto Politécnico Nacional de México se confecciona una propuesta para este evaporador, donde se ejecuta la selección de electroválvulas, PLC (Micrologic 1100), sensores de nivel, transmisores de presión y temperatura. Al mismo tiempo se desarrolla la instalación e integración de los equipos y se realiza una interfaz gráfica en el software LabVIEW, con el cual se controlan y monitorean las variables relevantes del proceso. La información de cada una de las etapas es transmitida a la interfaz de usuario (HMI, Human Machine Interface) por medio de comunicación OPC, como se muestra en la figura 1.3.

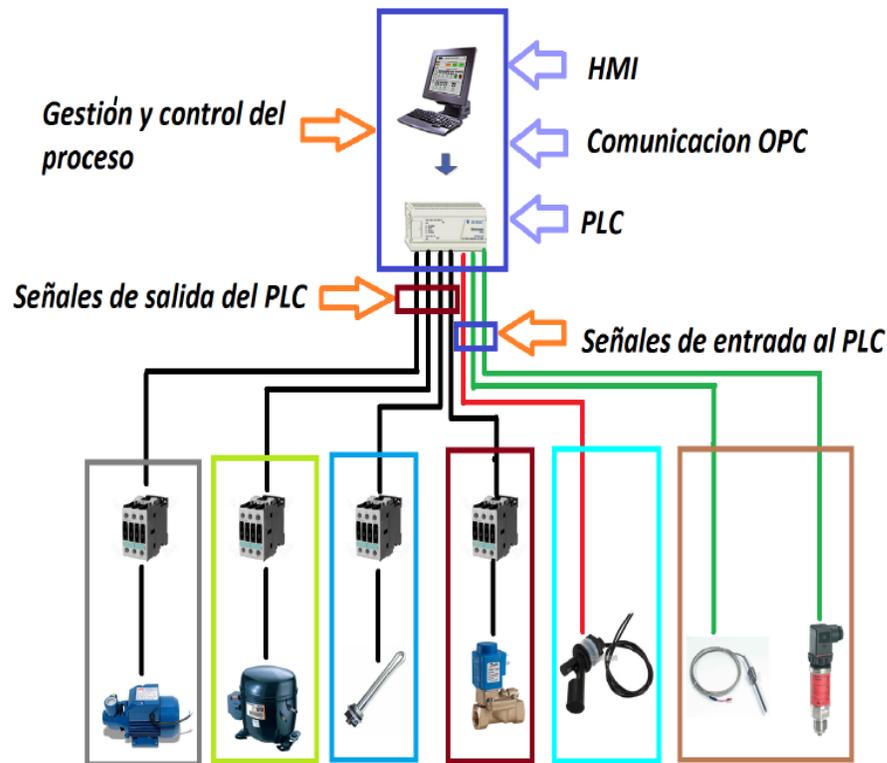


Figura 1.3. Propuesta de instrumentación para el evaporador del Grupo Jumex

### Propuestas de solución realizadas por (Guzmán, 2006) para el evaporador de la Empresa CoopeAgri.

Sistema automatizado realizado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica para mejorar la eficiencia del área de evaporadores. Para lograr el control de forma automática del proceso de evaporación se proponen dos alternativas de solución:

*Sistema de control electrónico de evaporadores mediante el uso de microcontroladores.*

A partir de los datos suministrados por los sensores, la unidad de control regula la posición de las electroválvulas y de esta forma controla el nivel de jugo en los evaporadores. Los bloques de medición corresponden a sensores instalados directamente en el proceso, encargados de transmitir en forma analógica por medio de una señal de corriente de 4 a 20 mA, que llegan a los microcontroladores de forma digital mediante convertidores. Los microcontroladores se encargan de procesar los datos obtenidos por los sensores y los introducidos por el usuario a través de la etapa de control. A partir del análisis de estos datos se transmite en forma digital las acciones a tomar a la siguiente etapa, la cual convierte los códigos digitales en señales analógicas equivalentes.

*Sistema de control empleando un PLC y la filosofía de regulación del flujo de jugo.*

Se colocan sensores con la capacidad de comunicar los datos por medio de señales eléctricas que permiten obtener un mejor monitoreo de las variables a controlar. Como unidad de control se utiliza un PLC de la serie LC700, el cual se comunica en forma serial con una computadora utilizando el protocolo RS-232. Los bloques correspondientes al despliegue de datos y al control de densidad se desarrollan en una computadora con la ayuda de un software de programación; de tal manera que el usuario visualiza parámetros importantes, tales como: flujo de jugo de entrada, nivel del primer vaso de evaporación, densidad, presión, entre otros. Además controla una gran cantidad de parámetros por medio de la introducción de datos a través de una computadora. De esta forma se logra un Sistema de Comunicación y Adquisición de Datos (SCADA), donde la información obtenida por los sensores es procesada y enviada para ser visualizada en una PC. Para lograr una mayor comprensión se muestra en la figura 1.4 la solución propuesta.

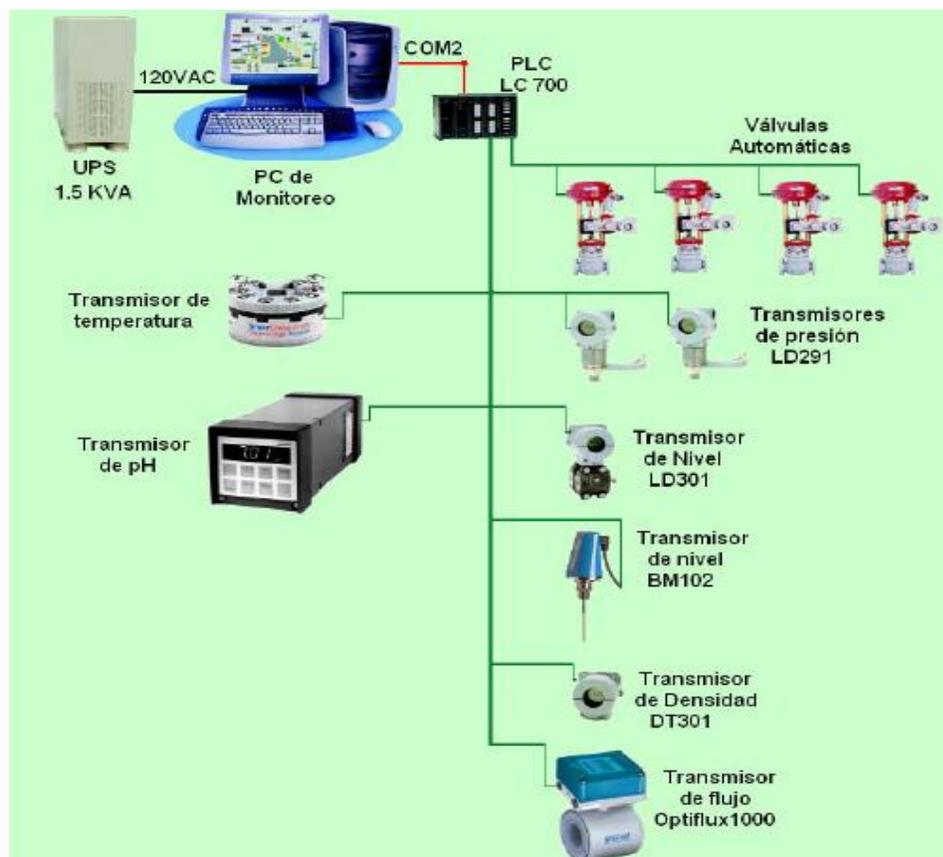


Figura 1.4. Automatización para el evaporador de la Empresa CoopeAgri

### **Automatización del Evaporador GEMINA.**

Evaporador de fabricación española que funciona a través de un Sistema de Comunicación y Adquisición de Datos, que permite visualizar y controlar las variables de campo y mantener un historial de los datos del proceso. La administración de la línea se realiza con una PC y una pantalla táctil a colores conectadas en red con el PLC. La dirección de la empresa tiene la capacidad de evaluar toda información sobre el funcionamiento e identificar rápidamente las áreas con problemas en caso de fallas. El sistema funciona en base a la demanda de jugo en el proceso y se hacen ajustes al flujo cuando este se encuentra sobre la línea de producción, para entregar el zumo en la forma requerida. La automatización del evaporador asegura que el zumo esté dentro del grado de concentración prefijado por el usuario (GEMINA, 2015).

### **1.6 Conclusiones del capítulo**

- Los procesos de obtención de jugo concentrado son procesos multivariados cuya supervisión y control es indispensable para obtener un producto de calidad y de acuerdo a los estándares de la industria.
- La mayoría de los evaporadores de cítricos en el mundo emplean sistemas automatizados que usan Controladores Lógicos Programables como unidades de control, mientras que la supervisión es llevada a cabo a través de un SCADA, basado en paneles operadores y PC.
- En Cuba nunca se ha realizado un proyecto de tal envergadura por ninguna empresa nacional ni extranjera, debido a la poca presencia de estos evaporadores en la isla, siendo un proyecto novedoso que puede ser implementado en otros evaporadores del país de similares características a este, con una elevada factibilidad y viabilidad para las entidades.

## **CAPÍTULO 2. SISTEMA DE CONCENTRADO EN EL TASTE**

En el presente capítulo se abordan los diferentes sistemas tecnológicos existentes en el evaporador TASTE FOMESA, se explica el funcionamiento y se describe las condiciones de los instrumentos que actualmente se localizan en el mismo. Además se analiza la cantidad de variables dentro de cada área. Posteriormente se plantean las diferentes soluciones que se proponen, de acuerdo a las exigencias técnicas expresadas por el cliente. Por último se presentan algunos requerimientos del PLC y del panel de operador a utilizar.

### **2.1 Descripción del flujo de producción**

La codificación de los dispositivos de campo es esencial en todo proyecto de instrumentación y control. Independientemente del tamaño y complejidad del proyecto es necesario emplear un lenguaje técnico común que sea entendido por todas las partes. Este bagaje lo suministran los diferentes estándares internacionales, mantenidos por grupos de expertos que adecuan dichas normas. Dentro de las más conocidas se encuentran las normas ISA (Sociedad Americana de Instrumentación), ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares), ISO (Organización Internacional para la Estandarización), IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), entre otras. En ocasiones estas normas son compatibles entre ellas.

Para designar y representar los diferentes elementos del evaporador TASTE FOMESA se utiliza la norma de la Sociedad Americana de Instrumentación, concretamente la norma ISA-S5.1-1984, la cual es prácticamente un estándar en la representación de esquemas industriales. La asignación de los códigos y simbologías para los elementos de medición y control se definen mediante una etiqueta identificadora denominada TAG, la misma consta de dos partes: una de letras y la otra de números (ANSI, 1992). La representación de la planta se desarrolla mediante la codificación mostrada en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Nomenclatura utilizada.

<i><b>Ira Letra</b></i>	<i><b>Letras Sucesivas</b></i>
<b>Variables</b>	<b>Función</b>
A= Lumínicos	C=Control
B= Botones	T=Trasmisor
C= Conductividad	V=Válvula
F= Caudal	S= Interruptor
L= Nivel	I=Indicación
M= Motores	
P= Presión	
S= Variadores	
T= Temperatura	
X= Refractancia	
Z= Posición	

A través de los diferentes encuentros que se sostuvieron con los técnicos e ingenieros del Combinado Agroindustrial, se acuerda para la descripción de la línea dividir la planta en áreas de interés, para facilitar así la explicación de los elementos que conforman cada proceso. Se definieron 7 áreas que se abordan en los subepígrafes siguientes y se le asigna un número a cada una; los cuales son:

100- Alimentación de jugo.

200- Flujo en el TASTE.

300- Alimentación de vapor.

400- Condensador barométrico y agua de enfriamiento.

500- Agua de sellaje.

600- Condensado vegetal.

700- Limpieza.

Además se muestra en el Anexo I el esquema general de la planta procesadora de concentrado de cítricos de Jagüey Grande, desde la llegada de la materia prima hasta el almacenamiento del concentrado en los tanques de estandarización.

### 2.1.1 Alimentación de jugo

El jugo es bombeado desde el área de extracción a los tanques de alimentación, figura 2.1, con capacidad de 10000 litros cada uno. Estos depósitos cuentan con un motor eléctrico cada uno (M101 y M102), que permiten la homogenización de la mezcla mediante un agitador. Cada tanque está equipado con un sensor de nivel (LT101 y LT102) que brinda una medición continua del nivel de jugo en cada depósito.

La salida del jugo hacia el TASTE es comandada por dos válvulas neumáticas, figura 2.2, una de tres vías (ZV102) que permite seleccionar el tanque del cual se va a extraer el jugo y una válvula de dos vías (ZV101) que comunica los dos tanques.



Figura 2.1. Tanques de alimentación.



Figura 2.2. Válvulas de salida

### 2.1.2 Flujo en el TASTE

A la salida de los tanques de alimentación se encuentra la bomba (M201), figura 2.3a, que bombea el jugo hacia la I Etapa del TASTE. La bomba utiliza un variador de velocidad (S201) capaz de aumentar y disminuir el flujo de alimentación al equipo, de acuerdo con la capacidad que se desee trabajar en el mismo (50%, 75% o 100%). En la línea existe un sensor de presión (PT201), figura 2.3a, que es el encargado de proteger al equipo en caso de que falle la alimentación de jugo, deteniendo la bomba y cerrando la válvula de entrada de vapor a la IV Etapa. A continuación se ubica un separador de sólidos, que se encarga de extraer las partículas que se encuentran alojadas en el jugo.

Posteriormente se localiza un sensor de temperatura (TT201), figura 2.3b, el cual se usa para

medir la temperatura de la solución de sosa y condicionar el inicio del tiempo en el ciclo de limpieza. Seguidamente se encuentra un conductímetro (CT201) que ofrece la conductividad de la sosa en el proceso de limpieza. El valor medido establece la duración del tiempo de la limpieza.

En la línea de entrada del jugo existe un flujómetro, figura 2.3c, que brinda el flujo de entrada del concentrado. De esta línea principal se bifurca una tubería para la limpieza de los enfriadores, controlada por la válvula solenoide de dos vías (ZV701). Esta válvula solo abre cuando el equipo se encuentra en modo de limpieza.

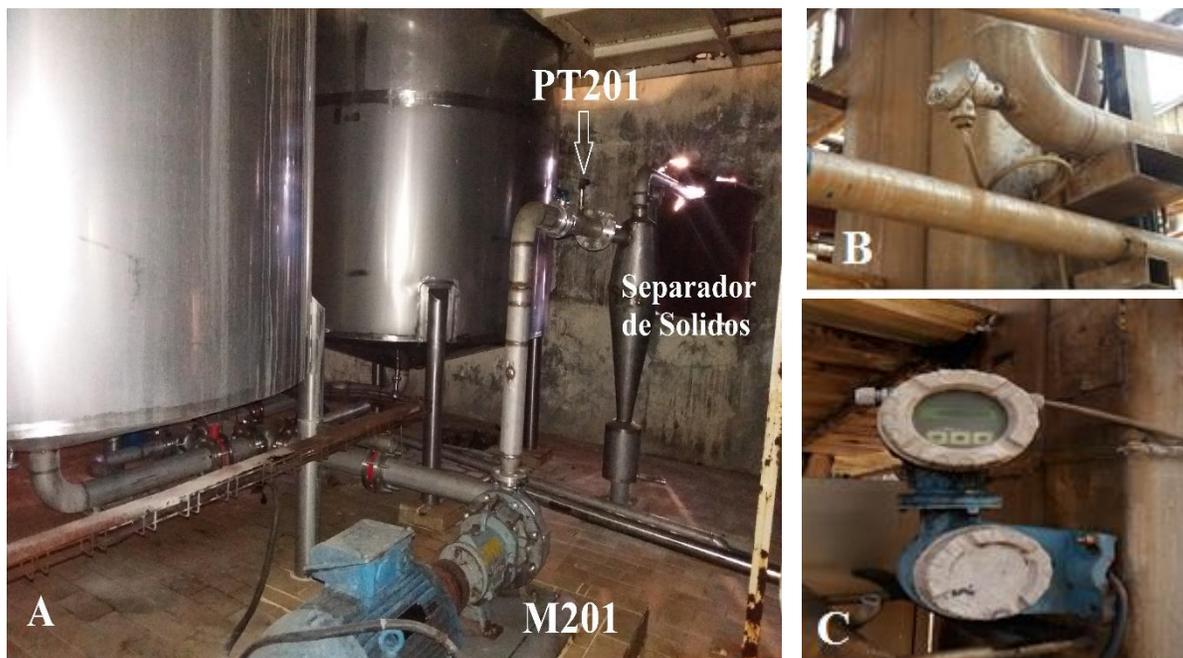


Figura 2.3. a) Línea de entrada al TASTE, b) Sensor de temperatura, c) Transductor de flujo.

El jugo dentro de las tuberías es precalentado en su camino hacia la I Etapa, al tiempo que absorbe la energía en forma de calor, que de no ser utilizada se pierde al mezclarse con el agua de enfriamiento. Al mismo tiempo el jugo dentro de los tubos sirve como refrigerante a los condensadores que se encuentran en el camino del jugo hacia las Etapas, recuperando energía, que de lo contrario se pierde si se utiliza el agua de enfriamiento en lugar del jugo como refrigerante.

En la figura 2.4 se observa como el vapor de jugo y el jugo líquido (con menos agua) desembocan la parte inferior de la calandria, donde el concentrado sigue su caída hasta la entrada de la otra etapa o a la bomba, mientras que los vapores de jugo y algunas gotas de



A la salida de la I Etapa el jugo parcialmente concentrado circula por gravedad a la II y III Etapa sucesivamente. La bomba (M202), figura 2.5, lo eleva posteriormente hasta la IV Etapa, en la entrada de la cual existe un sensor de temperatura (TT202) que mide la temperatura de pasteurización. El jugo continúa el recorrido por gravedad hacia la V y VI Etapa, donde luego la bomba (M203), lo impulsa a la VII Etapa. Actualmente el motor de la bomba no se encuentra presente, como se aprecia en la figura 2.6. Por último el jugo concentrado cae por gravedad en los enfriadores.



Figura 2.5. Bomba M202

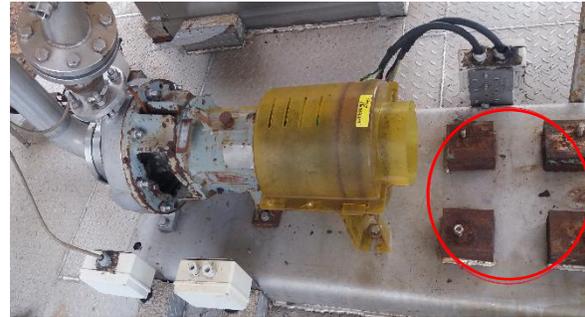


Figura 2.6. Bomba M203

En la salida del segundo enfriador, figura 2.7a, se encuentra un control de nivel con cuatro sensores de posición (LS201, LS202, LS203 y LS204), donde el nivel máximo arranca la bomba (M204), figura 2.7b, uno de los niveles intermedios disminuye la velocidad de la bomba, el otro nivel intermedio aumenta la velocidad de la misma y el mínimo la detiene; sirviendo de esta manera de protección al estator de la misma. La bomba es comandada por un variador de velocidad (S202). En la misma tubería donde se localizan los sensores de nivel se encuentra un sensor de temperatura (TT203), que se encarga de medir la temperatura del concentrado final.

Ante la llegada del jugo a los tanques de estandarización se cuenta con un sensor de presión (PT202), si el valor medido sobrepasa la presión prefijada por el operador, la bomba (M204) se detiene y se emite una alarma de alta presión. El flujómetro, figura 2.7c, existente a continuación es el encargado de medir el flujo del concentrado a la salida del evaporador.

Según el producto concentrado y la calidad del mismo, el usuario actúa sobre las válvulas de dos vías (ZV201, ZV202, ZV203, ZV204, ZV205 y ZV206), figura 2.8, para enviar el producto hacia los tanques de estandarización, a la atarjea o a los tanques de alimentación de jugo (A o B).



Figura 2.7. a) Salida del enfriador, b) Bomba M204, c) Flujómetro.

Cuando los °Brix del concentrado se encuentran dentro del rango deseado, el producto se dirige hacia los tanques de estandarización, para ello ZV201 se mantiene abierta y ZV202 cerrada. En caso contrario, este es enviado a los tanques de alimentación para recircularlo hasta alcanzar los °Brix deseados. El operador previamente selecciona a que tanque se va a enviar el producto que se recircula. Para ello ZV201 se mantiene cerrada, ZV202 y ZV204 abierta y las válvulas ZV205 y ZV206 se abren en dependencia del tanque escogido. Solo en el caso de seleccionar la salida a la atarjea, se abren ZV202 y ZV203, manteniéndose cerradas ZV201 y ZV204.



Figura 2.8. Válvulas de salida del concentrado.

### 2.1.3 Alimentación de vapor

La alimentación del vapor proveniente de calderas llega al TASTE con una presión entre 10 y 13 bar a una temperatura aproximada de 195 °C. En la entrada de la misma se encuentra una válvula manual de globo, posteriormente una válvula reguladora de presión de vapor de agua (ZV304), figura 2.9, de 4.5 a 10 bar. Luego se localiza un sensor de presión (PT301), figura 2.10, cuyo objetivo es detectar la presencia de vapor en el equipo. El valor de presión medido es una de las condiciones iniciales para el funcionamiento del equipo. Si se detecta una presión fuera del rango ajustado el equipo no funciona. A continuación se encuentra el sensor de temperatura (TT301), figura 2.10, utilizado para medir la temperatura del vapor de agua con que se alimenta el TASTE.



Figura 2.9. Válvula reductora de vapor



Figura 2.10. Línea de alimentación de vapor

Para regular la entrada de vapor a la IV Etapa se utiliza la válvula con posicionador electroneumática (ZV301) que se observa en la figura 2.11. El sensor de presión (PT302) es el encargado de medir la presión a la salida de la válvula y actuar consecuentemente sobre la apertura de la misma. La válvula para su funcionamiento en modo limpieza es activada manualmente por el usuario en el panel de operador. El vapor suministrado a esta etapa es esencial en la pasteurización y concentración del producto.

Otra de las funciones del vapor que proviene de las calderas, consiste en retirar los gases incondensables en el condensador barométrico mediante un eyector de vapor que logra un aumento del vacío (Snyder y Biot, 2004). Para ello se cuenta con una válvula neumática de dos vías (ZV303), figura 2.12, que se abre cuando el proceso está en modo de producción o limpieza. Además, a través de la válvula neumática (ZV302), figura 2.12, se alimenta otro

eyector que ayuda al aumento del vacío en los enfriadores. En modo limpieza esta válvula se mantiene cerrada para evitar incrustaciones de sosa en las paredes de los enfriadores.



Figura 2.11. Válvula ZV301.



Figura 2.12. Válvulas de los eyectores de vapor.

#### 2.1.4 Condensador barométrico y agua de enfriamiento

El condensador barométrico es de una alta confiabilidad para condensar el vapor proveniente de las diferentes Etapas y producir vacío en el evaporador. El vapor del jugo se introduce en el condensador barométrico cerca de la parte inferior, se eleva a través de la corriente de agua que cae y se condensa conforme se aproxima a la salida inferior. Los gases no condensables se acumulan en la parte superior. La rápida reducción del volumen del vapor que se transforma en agua produce vacío.

Para el correcto funcionamiento del condensador barométrico el vapor condensado es extraído de forma continua, para permitir un flujo constante de vapor de evacuación dentro de la cámara de condensación. Además la alimentación de agua de las torres de enfriamiento y el vapor proveniente de calderas nunca deben cesar (Kimball, 2002).

El agua que llega de las torres de enfriamiento pasa a través de la válvula (ZV401), que se abre automáticamente cuando se confirma el proceso de limpieza o producción en el evaporador. Seguidamente el sensor de presión (PT401) se encarga de garantizar que el equipo siempre cuente con el servicio de agua de enfriamiento. El valor deseado de presión es prefijado por el usuario en el panel de operador. A continuación se encuentra el sensor de temperatura (TT401), que mide la temperatura de alimentación del agua que llega al condensador barométrico. Los sensores mencionados anteriormente se pueden observar en la figura 2.13a.

Para garantizar el correcto funcionamiento del condensador barométrico se ubica el sensor de presión de vacío (PT402), figura 2.13b, que indica su medición en el panel de operador y da una alarma si el valor es superior al previamente seleccionado. A la salida del condensador barométrico se localiza el sensor de temperatura (TT402), figura 2.13c, el cual se encarga de medir la temperatura del condensado que sale de este.

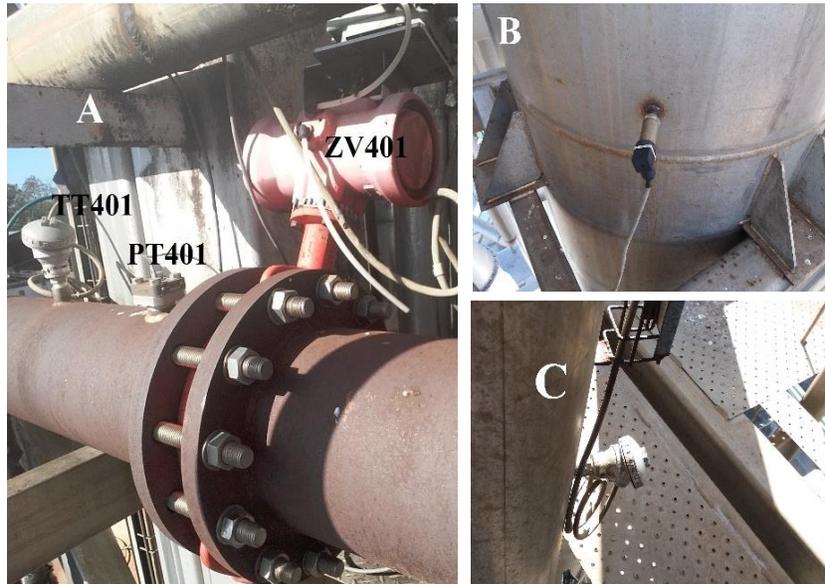


Figura 2.13. a)Tubería de entrada del agua de enfiamiento, b)Sensor de presión de vacío, c)Sensor de temperatura de salida del condensado

### 2.1.5 Agua de sellaje

El agua de sellaje se emplea para proporcionar sello en los cierres de las bombas presentes en el evaporador. El agua utilizada en este proceso proviene del bloque de abasto de agua, específicamente de la planta de agua tratada.

El agua en su camino hacia el tanque de sellaje, figura 2.14a, del evaporador circula a través de una válvula manual, un manómetro analógico, un regulador de presión para agua y una válvula neumática (ZV501), figura 2.14b, que es la encargada de mantener el nivel en el depósito. El control del tanque se realiza por medio del sensor de nivel (LT501) que se observa en la figura 2.14c. Este depósito también se alimenta con agua de condensado vegetal a través de la electroválvula (ZV504), que es accionada desde el panel de operador por decisión del usuario. De este depósito superior se alimentan de agua a los cierres de todas las bombas, mediante la electroválvula (ZV502).

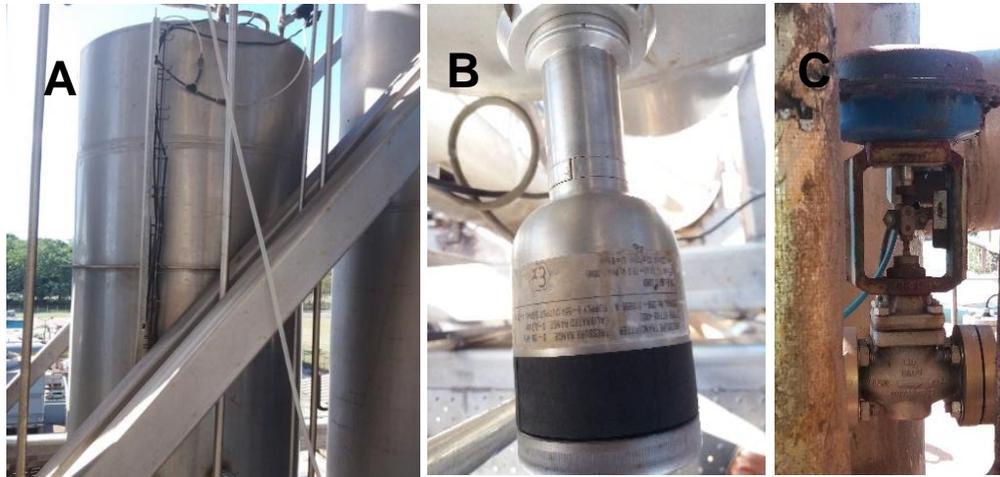


Figura 2.14. a) Depósito de agua de sellaje, b) Sensor de presión, c) Válvula ZV501

En la figura 2.15 se puede apreciar como el retorno del agua de sellaje se recircula hacia un tanque pequeño, el cual cuenta con la bomba (M501), que eleva nuevamente el líquido hasta el depósito superior. El control del tanque de recuperación se realiza mediante dos sensores de nivel (LS502 y LS503), los cuales arrancan o detienen la bomba. A la salida del tanque y antes de la bomba se localiza la válvula de tres vías (ZV503), que define si se manda el agua al tanque de sellaje o a la atarjea (depósito de aguas residuales). Si se decide enviar el agua a la atarjea se deshabilita el accionamiento de la bomba.



Figura 2.15. Línea de recuperación del agua de sellaje.

### 2.1.6 Condensado vegetal

Todas las tuberías del condensado vegetal tributan a la succión de la bomba (M601), la cual cuenta con el variador de velocidad (S601), que garantiza poder evacuar todo el condensado producido sin la posibilidad de acumularse. A la salida de la bomba se ubica el flujómetro (FT601). La medición realizada por el sensor permite conocer la capacidad de evaporación a la que trabaja el TASTE.

La bomba envía el condensado por varios caminos, figura 2.16, que se mencionan a continuación:

1. Al tanque de agua de sellaje a través de la válvula (ZV504), para rellenar el mismo cuando se necesite.
2. Hacia los tanques de condensado vegetal en el área exterior de la planta o seguir camino, definido por la válvula de tres vías (ZV601).
3. A la atarjea o a los tanques de alimentación, establecido por la válvula de tres vías (ZV602).
4. Hacia los tanques de alimentación donde se define el tanque a utilizar A o B con la válvula de tres vías (ZV603).



Figura 2.16. Válvulas de salida del condensado vegetal

### 2.1.7 Limpieza

Mediante las válvulas neumáticas de dos vías (ZV702 y ZV703), figura 2.17, se controla la entrada de agua y de NaOH (sosa cáustica) en los tanques de alimentación. El operador define

previamente en el ciclo de limpieza en que tanque de alimentación (A o B) se deposita cada sustancia, a través de la válvula de tres vías (ZV704) que se observa en la figura 2.18.

La válvula neumática de dos vías (ZV701) que envía el agua y el NaOH a los enfriadores solo abre en el ciclo de limpieza durante los últimos 5 minutos de la limpieza con sosa, al igual que durante el enjuague.

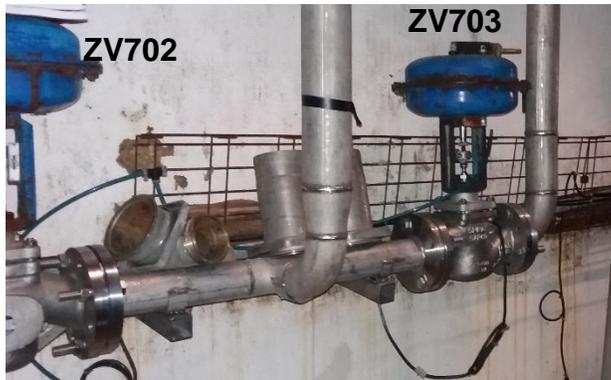


Figura 2.17. Válvula de entrada de agua y NaOH.



Figura 2.18 Válvula de tres vías.

## 2.2 Requisitos de Entrada-Salida del proceso

Después de realizar la ingeniería básica a cada una de las áreas se elabora un listado de las variables a supervisar y/o controlar. Estas se presentan a continuación desglosadas por subsistemas en la tabla 2.2 y sus características se muestran en el Anexo II.

Tabla 2.2. Detalles de las variables.

<i>Área tecnológica</i>	<i>Número de Variables</i>	<i>Variables Analógicas</i>	<i>Variables Digitales</i>
Alimentación	8	2	6
Flujo del TASTE	29	7	22
Flujo de vapor	7	4	3
Condensador barométrico	5	4	1
Agua de sellaje	9	1	8
Línea de condensado	7	2	5
Limpieza	8	2	6
<b>Total</b>	<b>73</b>	<b>22</b>	<b>51</b>

El rango de las principales variables de cada subprocesso se observa en el Anexo III, para de esta forma lograr una mejor selección de los medios técnicos de automatización a utilizar en el evaporador.

### **2.3 Pruebas de funcionamiento y estado actual de la instrumentación**

Con el objetivo de conocer el estado actual de la planta se realiza el levantamiento instrumental, donde se comprueban las condiciones técnicas de la instrumentación y la existencia o no de los medios técnicos de automatización. Al mismo tiempo que se determinan aquellos elementos que no se incluirán en el proceso de automatización.

En el local donde se encuentran ubicados los tanques de alimentación se realizan pruebas de funcionamiento a todas las válvulas neumáticas y se determina que solo la válvula de concentrado final hacia atarjea (ZV203) presenta problemas.

En el área del TASTE se comprueban todas las válvulas, de ellas solo presentan problemas las siguientes:

1. Válvula de entrada de vapor al enfriador (ZV302).
2. Válvula de limpieza de los enfriadores (ZV701).
3. Válvula reguladora de vapor con posicionador electroneumático (ZV301).
4. Válvula de entrada al tanque de agua de sellaje (ZV501).

La instrumentación de campo que se establece dentro del proyecto se encuentra en muy mal estado debido a los años de explotación, al tiempo que lleva el evaporador sin trabajar y a la falta de mantenimiento de los mismos. Además un gran número de sensores no están presentes, pues son utilizados en el otro evaporador cuando este muestra roturas. El PLC, el HMI y los variadores de velocidad con que trabaja el TASTE tampoco se encuentran presentes.

En vistas a resolver los problemas encontrados en la línea y de acuerdo a los requerimientos planteados por la empresa, se realizan diferentes propuestas que se dan a conocer en el epígrafe siguiente.

### **2.4 Propuestas de solución**

Identificados los problemas y en coordinación con la empresa se formulan las propuestas de automatización, para obtener una solución viable a aquellos elementos más importantes;

teniendo en cuenta las principales características del sistema y las necesidades del personal implicado, por lo que se propone:

1. Sustituir toda la instrumentación de campo existente en la planta; dígase sensores de presión, temperatura, flujo, conductividad y nivel.
2. Cambiar el flujómetro de entrada del jugo y el de salida del concentrado por refractómetros, para medir la concentración del jugo en °Brix.
3. Sustituir las válvulas neumáticas que se encuentran en estado defectuoso, además de adquirir válvulas y kit de repuestos para los modelos más usados.
4. Arranque y control de los motores de corriente alterna M201, M204 y M601 mediante variadores de velocidad.
5. Arranque delta-estrella para los motores M202, M203 y M05 mediante contactores magnéticos.
6. Instalar un sistema de respaldo (baterías) para todo el sistema de control del evaporador, para mantener el estado del proceso sin pérdidas de datos en caso de fallas de alimentación de energía eléctrica.
7. Instalar pizarras eléctricas de fuerza y control, con ventilación forzada e iluminación.
8. Utilizar un PLC que se encargue de adquirir todas las señales de la planta y tomar acciones de control, según el modo programado.
9. Utilizar un panel táctil que permita visualizar las principales variables medidas, ajustar los valores de las variables manipuladas, mostrar las alarmas del proceso y seleccionar el modo de funcionamiento en el cual se desea trabajar.
10. Sustituir las canalizaciones, cables, conectores y mangueras neumáticas.
11. Realizar una periferia descentralizada para controlar todo el accionamiento neumático de las válvulas y recibir las señales de los sensores que se encuentran en el área de alimentación.

Conjuntamente se establece el convenio de que la empresa garantiza y se responsabiliza por el estado de las válvulas manuales y de los motores, así como del estado mecánico de los equipos que no se incluyen en la propuesta. Además se acuerda definir algunos de los requerimientos para la selección del PLC y el HMI a utilizar.

### 2.4.1 Controlador Lógico Programable

El PLC es una microcomputadora de propósitos específicos, especialmente diseñada para el control industrial y la adquisición de datos, donde se mezclan elementos de cómputo (lenguaje de programación, interfaces hombre-máquina y unidades de memoria) y elementos de control (regulación PID, procesamiento analógico, señalización, mando, temporización y conteo) integrados en un mismo equipo, para cumplir las funciones de automatización de procesos en tiempo real con una elevada fiabilidad y seguridad (Balcells, 2010).

El PLC seleccionado para el control del evaporador TATSE debe poseer:

1. CPU que soporte al menos seis esclavos.
2. Señales de entrada-salida con la siguiente característica:
  - Al menos 48 entradas digitales de 24 V DC.
  - Al menos 48 salidas digitales a relé.
  - Al menos 32 entradas analógicas de 4...20 mA.
  - Al menos 8 salidas analógicas 4...20 mA.
3. En cuanto a comunicaciones, puertos integrados (Ethernet, puertos serie o puerto USB para programación). Comunicación como mínimo con 3 protocolos de comunicación para lograr una arquitectura con bus de campo de varios dispositivos.
4. Alimentación de 24 V DC.
5. Montaje en carril simétrico o en panel.
6. Conexión a borneras de las entradas y salidas del controlador.
7. Bloque de visualización LED que muestre:
  - El estado del controlador y sus componentes (batería y tarjeta de memoria SD)
  - El estado de los puertos de comunicación incorporados.
  - El estado de las Entradas-Salidas
8. Posibilidad de extensión de entradas/salidas digitales y analógicas.

### 2.4.2 Panel operador

El panel operador es el espacio donde se producen las interacciones entre seres humanos y máquinas, con el propósito de permitir un funcionamiento y control más efectivo de los procesos. El principal objetivo de estos consiste en comunicar información a través de ellos,

de la forma más fácil y cómoda posible, acorde a las características del usuario que utiliza el servicio.

El evaporador es equipado con un HMI, localizado en la cabina de control que debe ser capaz de:

1. Visualizar el estado del proceso.
2. Realizar ajustes a parámetros del proceso.
3. Comunicación permanentemente con el controlador para verificar el funcionamiento del proceso, cambiar el estado de las salidas y chequear las variables del proceso.
4. Permitir un control de nivel de acceso de los usuarios mediante contraseña.
5. Guardar en una base de datos los valores del proceso que se determinen.
6. Entregar reportes en formato PDF con información necesaria del proceso.
7. Contener sistema operativo que soporte Wincc Audit.
8. Presentar puerto USB para descargar datos.

## **2.5 Conclusiones del capítulo**

El estado de la instrumentación de campo establecida dentro del proyecto presenta niveles de deterioro altos, aunque serán aprovechados algunos elementos presentes para disminuir las importaciones.

Las soluciones de automatización se formulan teniendo en cuenta las principales características del sistema y las necesidades del personal implicado. De acuerdo con el alcance definido se incluye el diseño y la implementación de un nuevo sistema eléctrico de alimentación y control para la planta.

En la propuesta de automatización la instrumentación tiene que responder a las necesidades del proceso y a las facilidades de compra y puesta en marcha, motivada por la existencia de algunos instrumentos del mismo tipo que se encuentran en el evaporador.

## **CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN**

En este capítulo se presentan los esquemas funcionales de instrumentación y automatización, con el objetivo de proponer los medios técnicos a utilizar; para dar cumplimiento a los aspectos tratados en el capítulo anterior y destacar la utilidad de los mismos en la realización del proyecto. Además se expone la distribución de los paneles eléctricos. Para finalizar se presenta un análisis económico y medioambiental de la propuesta planteada.

### **3.1 Esquema funcional de automatización**

El esquema funcional de automatización es el documento principal para la elaboración y realización del proyecto. Este define la estructura a utilizar en cada lazo de regulación del proyecto, así como los parámetros a controlar, los mandos requeridos y también puede definir la localización de los instrumentos.

Los esquemas funcionales toman múltiples formas de confección de acuerdo con los factores siguientes:

- Área tecnológica que se proyecte.
- Forma de operación tecnológica.
- Importancia de los lazos de control.

La representación del flujo en el evaporador TASTE FOMESA se determina mediante el esquema funcional mostrado en el Anexo IV, y en los subepígrafes de este capítulo se detallan cada una de las áreas tecnológicas en particular y se representan los diferentes elementos que aparecen en cada una.

Los esquemas de automatización se realizan con la ayuda del software Visio, herramienta de gran ayuda que presenta el paquete del software Microsoft Office. Las visualizaciones de las principales variables se llevan a cabo a través de la pantalla en la que se implementa el SCADA. Además del uso de señales lumínicas en los paneles para los principales objetos.

#### **3.1.1 Esquema funcional de automatización de alimentación de jugo**

La automatización de este objeto de obra, figura 3.1, se plantea de acuerdo a los siguientes requerimientos técnicos:

1. Realizar la alimentación de jugo al TASTE mediante la apertura y cierre de la válvula electroneumática ZV102, la misma será comandada por el operador.

2. Visualizar:

- Estado de los mezcladores (encendidos o apagados).
- Nivel de los tanques de jugo.
- El estado de las válvulas electroneumáticas.

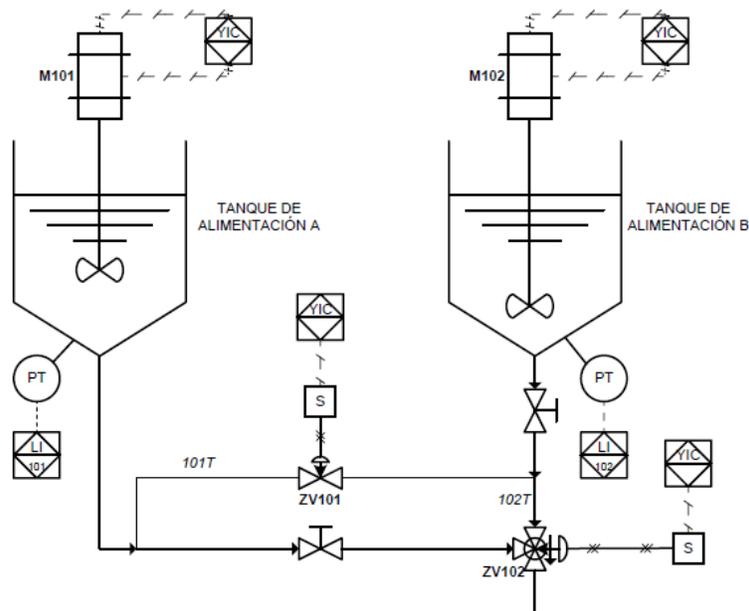


Figura 3.1. Esquema funcional de la línea de alimentación.

### 3.1.2 Esquema funcional de automatización del flujo en el TASTE

La automatización de este subproceso se divide en dos áreas, una de flujo por las Etapas figura 3.2, y otra de destino final del concentrado, figura 3.3, planteándose los siguientes requerimientos técnicos:

1. Control de la bomba M201 mediante el variador de velocidad S201. La velocidad es fijada a la bomba de acuerdo a la capacidad de trabajo establecida por el operador.

2. Visualizar:

- Estado de las bombas M201, M202 y M203 (encendidas o apagadas).
- Parámetros de la bomba M201 (voltaje, corriente y potencia).
- Temperatura de entrada del jugo.

- Brix de entrada del jugo.
- Temperatura de pasteurización en la IV Etapa.

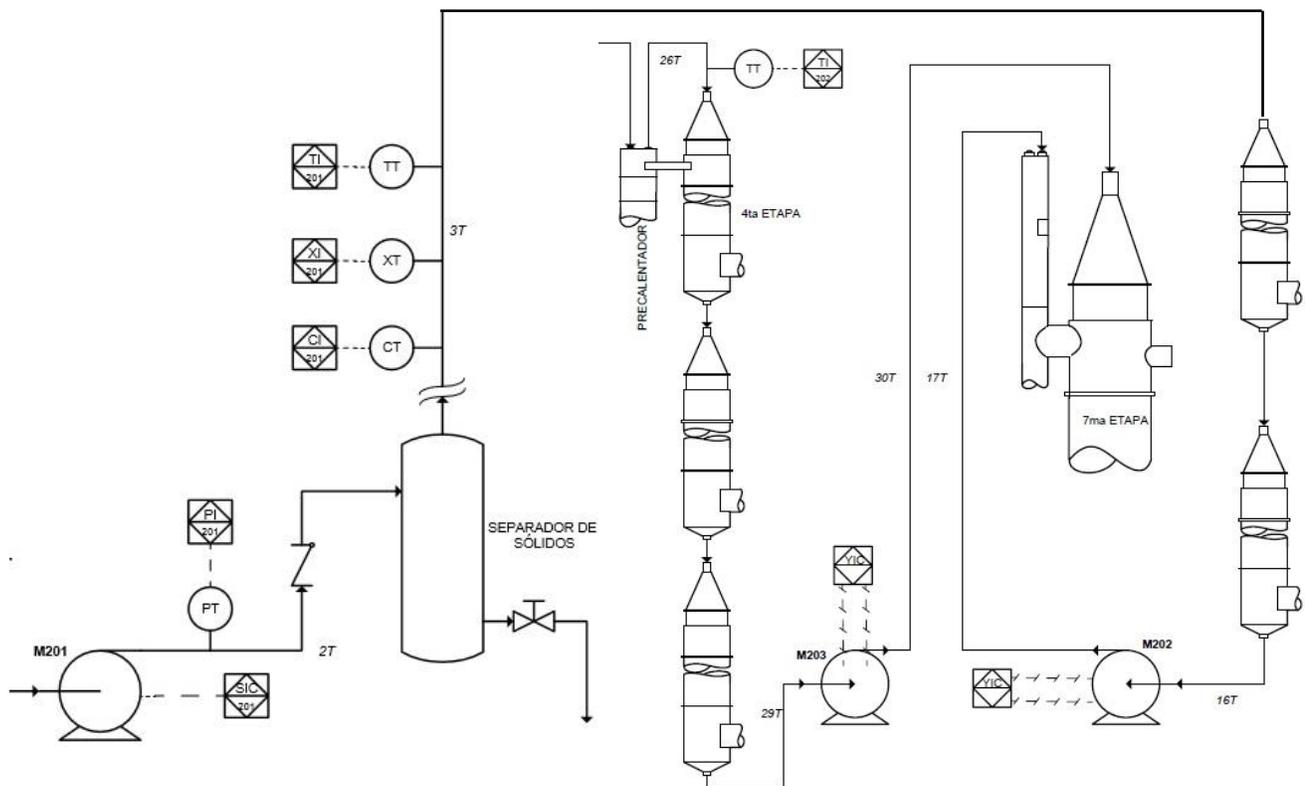


Figura 3.2. Esquema funcional de flujo en las Etapas.

La automatización del área de concentrado final se propone de acuerdo a los siguientes requerimientos técnicos:

1. Control de la bomba M204 mediante el variador de velocidad S202. Los cuatro sensores de nivel a la salida del enfriador determinan la frecuencia de alimentación de la bomba.
2. Establecer el destino final del concentrado mediante la apertura y cierre de las válvulas electroneumáticas. Esta operación es dirigida por el usuario.
3. Visualizar:
  - Nivel en el segundo enfriador.
  - Parámetros de la bomba M204 (voltaje, corriente y potencia).
  - Presión de vacío del segundo enfriador.
  - Temperatura de salida del concentrado.
  - Brix de salida del concentrado.

- El estado de las válvulas electroneumáticas.

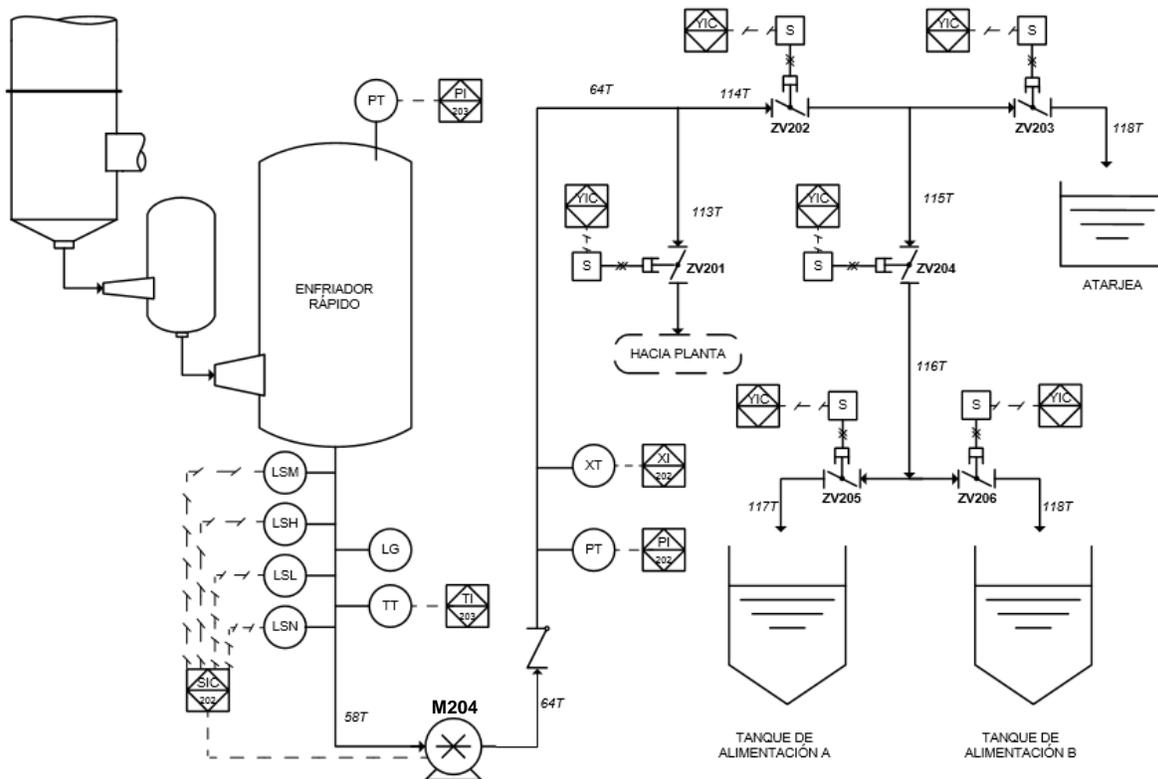


Figura 3.3. Esquema funcional de la línea de concentrado final.

### 3.1.3 Esquema funcional de automatización de alimentación de vapor

Los requerimientos técnicos para la automatización de esta área, figura 3.4, se establecen a continuación:

1. Control de la entrada de vapor a la IV Etapa mediante el posicionador electroneumático de la válvula ZV301.
2. Apertura automática de las válvulas electroneumáticas ZV302 y ZV303 al declararse el proceso de producción.
3. Visualizar:
  - El estado de las válvulas electroneumáticas.
  - Presión de la entrada de vapor al TASTE.
  - Temperatura del vapor a la entrada.

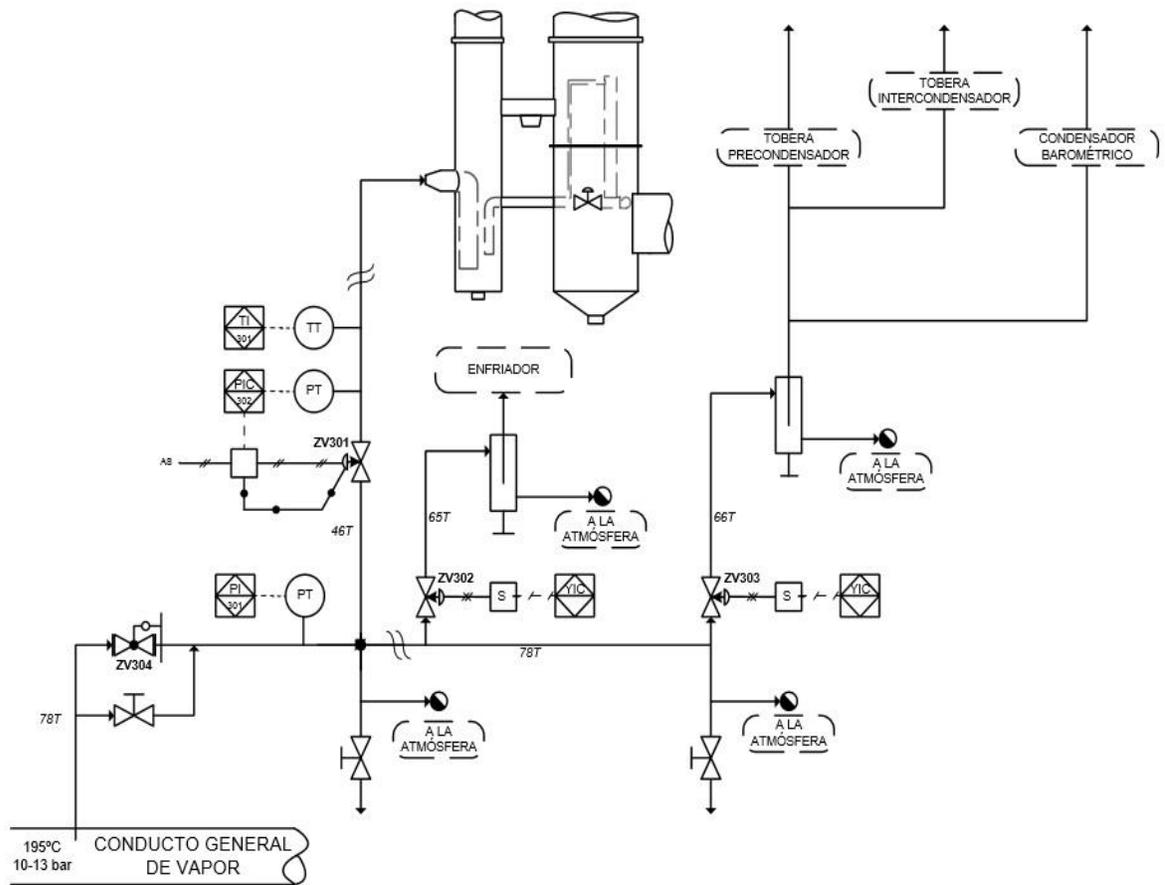


Figura 3.4. Esquema funcional de la línea de vapor.

### 3.1.4 Esquema funcional de automatización del condensador barométrico

Para la automatización de este subproceso, figura 3.5, se plantean los siguientes requerimientos técnicos:

1. Realizar la alimentación de agua de enfriamiento al condensador barométrico mediante la apertura de la válvula ZV401, cuando se defina por el usuario una las operaciones de trabajo del TASTE (Producción o Limpieza).
2. Visualizar:
  - El estado de la válvula electroneumática.
  - Presión de vacío del condensador barométrico.
  - Temperatura de entrada del agua de enfriamiento.
  - Presión de entrada del agua de enfriamiento.

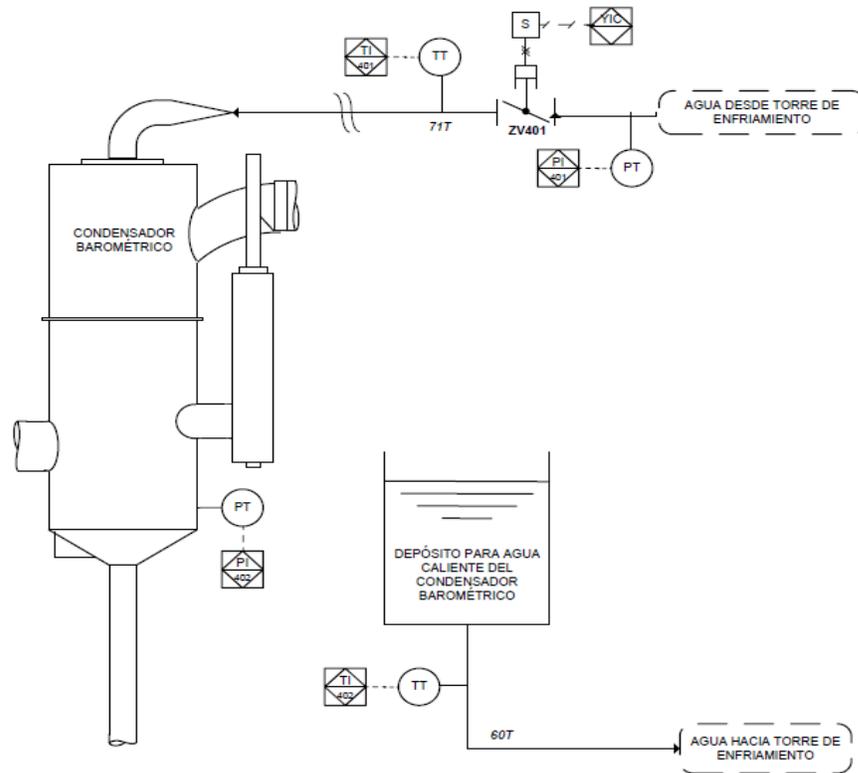


Figura 3.5. Esquema funcional del condensador barométrico.

### 3.1.5 Esquema funcional de automatización del agua de sellaje

Los requerimientos técnicos para la automatización de esta área, figura 3.6, se establecen a continuación:

1. Realizar el abastecimiento del agua de sellaje a las bombas mediante la apertura y cierre de la válvula electroneumática ZV502, cuando al menos sea accionada una de las bombas (M201, M202, M203 y M204).
2. Control de la válvula electroneumática ZV501 para el llenado del tanque de agua de sellaje, la cual se abre o cierra en dependencia de la medición del sensor de nivel LT501.
3. Arranque y parada de la bomba M501, por nivel alto o bajo en el tanque de recuperación de agua de sellaje. Si el depósito de agua de sellaje se encuentra lleno, la válvula electroneumática ZV503 envía el agua a la atarjea.
4. Visualizar:
  - El estado de las válvulas electroneumáticas.
  - Nivel del depósito de agua de sellaje.

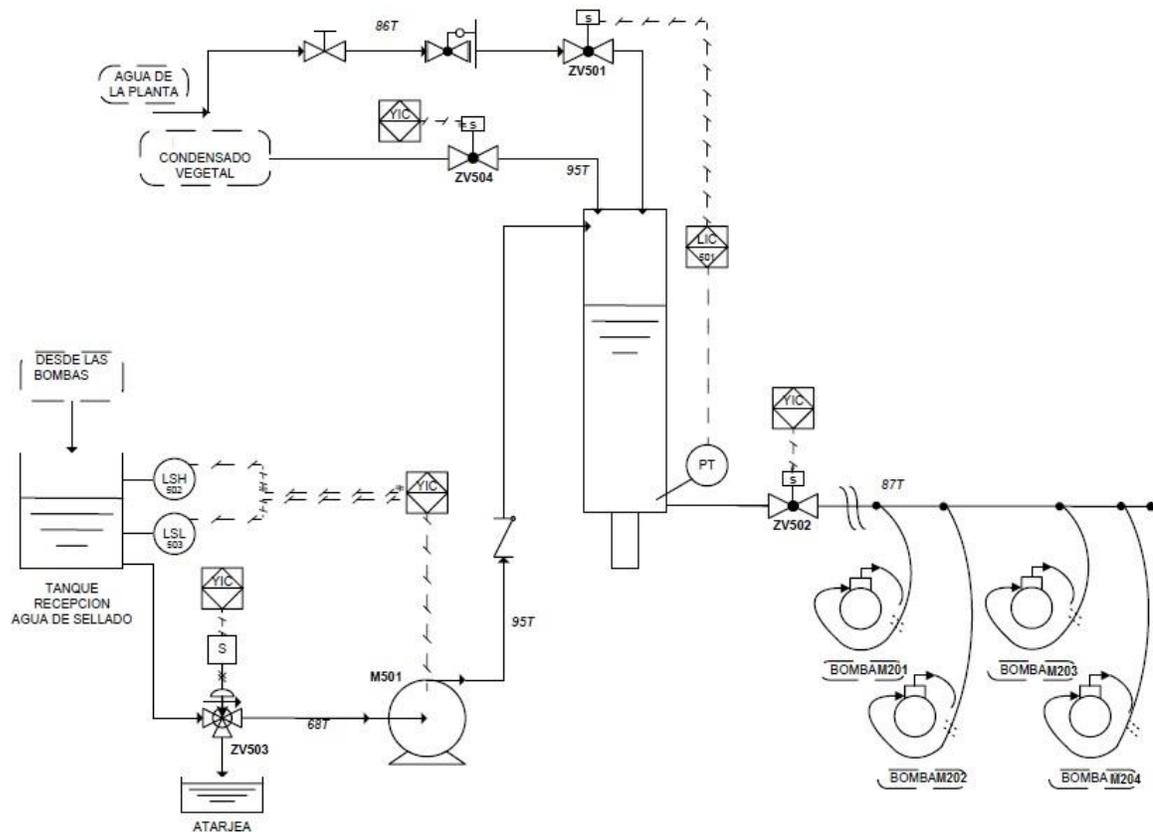


Figura 3.6. Esquema funcional de la línea de agua de sellaje.

### 3.1.6 Esquema funcional del automatización del condensado vegetal

La automatización de este subproceso, figura 3.7, es llevada a cabo a través de los siguientes requerimientos técnicos:

1. Efectuar la descarga del condensado vegetal mediante la apertura y cierre de las válvulas de tres vías. Esta operación es definida por el operador.
2. Control de la bomba M601 mediante el variador de velocidad S601. La velocidad es fijada a la bomba de acuerdo a la capacidad de trabajo establecida por el operador.
3. Visualizar:
  - El estado de las válvulas electroneumáticas.
  - Flujo del condensado vegetal.
  - Parámetros de la bomba M601 (voltaje, corriente y potencia).



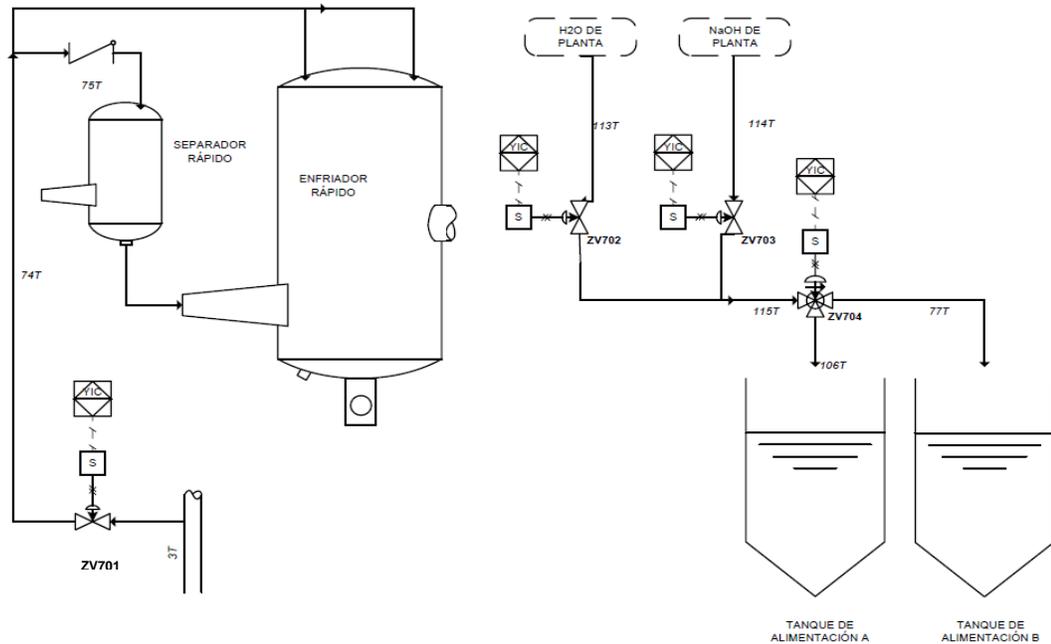


Figura 3.8. Esquema funcional de la línea de limpieza.

### 3.2 Selección de los medios técnicos de automatización a utilizar

El equipamiento necesario para la implantación de un sistema automatizado se selecciona respondiendo a criterios técnicos y económicos. El conjunto de técnicas más adecuadas para una operación íntegra y duradera, es aquella que sea capaz de cumplir con las expectativas y cuente con el soporte de mantenimiento y repuesto para la continuación de la explotación. La economía cubana presenta condiciones desfavorables en este sentido, ya que los suministros están condicionados a restricciones de presupuesto y de mercado. Bajo estas circunstancias se debe tener gran cuidado cuando llega el momento de seleccionar los proveedores.

Para la selección de la instrumentación se tienen en cuenta las características del equipamiento que se encuentra actualmente montado en el evaporador TASTE (fabricantes, grado de protección, diámetros de tuberías, montajes, rangos de medición y señales de salida.). Además de un gran número de requerimientos planteados por los técnicos e ingenieros, en aras de lograr una mayor explotación de los instrumentos y una propuesta acorde a la industria cubana.

#### Sensores de nivel

Los sensores a utilizar para determinar el nivel en los tanques de alimentación de jugo y en

el depósito de agua de sellaje son los transmisores de presión diferencial ETP08-4820, de la firma ABB, los cuales son muy utilizados en la industria por su diseño simple y fácil instalación.

El ETP08 usa un sensor piezo-resistivo que detecta la presión mediante un tubo capilar y un diafragma. La presión aplicada al diafragma es transferida por aceite de silicio al captador de presión. La electrónica del transmisor convierte esta medida en una señal proporcional a la presión, que es lineal con el nivel del medio. Algunas de las características principales se aprecian en la tabla 3.1 (ABB, 2016).

Tabla 3.1. Características del ETP08-4820

<b>Principales características</b>	
<i>Alimentación</i>	9–55 V DC
<i>Tiempo conmutación</i>	1 s
<i>Rango de presión</i>	0 a 0.35 bar
<i>Grado de protección</i>	IP68
<i>Señal de salida</i>	4–20 mA proporcional a la presión

Para controlar la salida del concentrado en el segundo enfriador y el nivel en el tanque de recuperación de agua de sellaje se proponen sensores de Endress+Hauser FTL31-AA4U2AAWBJ. El Liquiphant FTL31 es un interruptor de nivel para líquidos instalado en depósitos, tanques o tuberías. En la tabla 3.2 se muestran algunas de las especificaciones técnicas de este instrumento.

El FTL31 funciona mediante un actuador piezo-eléctrico que excita la horquilla del sensor, haciéndola vibrar a su frecuencia de resonancia. El sistema electrónico incorporado monitorea la frecuencia de resonancia de la horquilla vibrante y detecta si está vibrando en aire o dentro de un líquido, conmuta su estado mediante un relé (Endress+Hauser, 2015a).

Tabla 3.2 Características del Liquiphant FTL31

<b>Principales características</b>	
<i>Alimentación</i>	10 a 30 V DC
<i>Viscosidad del líquido</i>	1...10000 cS
<i>Presión de proceso</i>	–1 a +40 bar
<i>Grado de protección</i>	IP68
<i>Señal de salida</i>	Switch

### Sensores de temperatura

Por las características del sistema se hace conveniente la utilización de sensores de temperatura TM411-TI01038T/09 de la firma Endress+Hauser, para determinar la temperatura en las diferentes áreas. Estos sensores están diseñados para satisfacer los requisitos de las industrias de cítricos y cumplir las normas de calidad más exigentes.

En los sensores termoresistivos TM411 la resistencia eléctrica varía con la temperatura. El sensor de resistencia que utiliza es la sonda de platino Pt100, que presenta una resistencia de 100  $\Omega$  a 0°C. Son apropiados para la medición de temperatura entre -50°C y aproximadamente 600°C. En la tabla 3.3 se aprecian algunas de las especificaciones técnicas de este instrumento (Endress+Hauser, 2016a).

Tabla 3.3. Características del TM41

<b>Principales características</b>	
<i>Salida</i>	Pt100 a 3/4 hilos
<i>Cabezal</i>	TA30R
<i>Presión máxima del proceso</i>	50 bar
<i>Grado de protección</i>	IP69K
<i>Material</i>	Acero inoxidable 316L

Para transformar la señal procedente del sensor en una señal estable normalizada se utilizan los transmisores TMT84. En el transmisor se almacenan las funciones de linealización características del sensor. La señal de salida normalizada para la medición del proceso es de 4...20 mA, aunque también utiliza buses de campo conformes a normas internacionales, como HART, PROFIBUS y FOUNDATION Fieldbus (Endress+Hauser, 2016a).

### Sensores de flujo

Para medir el flujo del condensado vegetal que se genera en el evaporador se propone el sensor-transductor CoriolisMaster MC2-ME23 de la firma ABB. El mismo determina el flujo cuando fluyen los líquidos por dentro de un tubo vibrante y producen fuerzas de Coriolis que deforman el tubo. Estas deformaciones muy poco intensas se registran y se evalúan por sensores óptimamente dispuestos. Como el desplazamiento de fase de las señales del sensor es proporcional al caudal, el MC2-ME23 mide directamente el caudal másico transportado a

través de la tubería de medida. Algunas de las principales características del sensor-transductor se observan en la tabla 3.4 (ABB, 2014).

Tabla 3.4 Características del sensor CoriolisMaster MC2-ME23

<b>Principales características</b>	
<i>Longitud del cable</i>	Máximo 50m
<i>Precisión</i>	0.1%
<i>Temperatura del producto</i>	-50 a 200 °C
<i>Grado de protección</i>	IP67
<i>Rango</i>	40 a 1200 l/min
<b>Características del transmisor ME22</b>	
<i>Alimentación</i>	100 a 230 V AC o 24V DC
<i>Salida</i>	4...20mA
<i>Protocolo de comunicación</i>	HART, PROFIBUS PA y FOUNDATION Fieldbus

### **Sensores de conductividad**

Por las características del sistema se hace conveniente la utilización del sensor Condumax CLS21D para la medición de la conductividad de la sosa en el proceso de limpieza, debido a su uso en la industria alimentaria para los ciclos de limpieza CIP.

La conductividad de los líquidos en este sensor se determina mediante un dispositivo constituido por dos electrodos dispuestos el uno frente al otro, como si formasen un condensador. A partir de la resistencia eléctrica se calcula la conductividad específica con la constante de celda, que describe la geometría del sistema de electrodos. En la tabla 3.5 se aprecian algunas características principales del sensor (Endress+Hauser, 2016b).

Tabla 3.5. Características del sensor CLS21D

<b>Principales características</b>	
<i>Presión del proceso</i>	20 bar
<i>Constante de la celda</i>	$k = 1.0 \text{ cm}^{-1}$
<i>Error máximo</i>	1%
<i>Rango</i>	10 $\mu\text{S/cm}$ a 20 $\text{mS/cm}$
<i>Temperatura del proceso</i>	-5 a 120 °C
<i>Grado de protección</i>	IP68

Para convertir la señal procedente del sensor en una señal estable normalizada se plantea el uso de un transmisor Liquiline CM442. Algunas de las características principales del transmisor se presentan en la tabla 3.6 (Endress+Hauser, 2016b).

Tabla 3.6 Características del transmisor Liquiline CM442

<b>Principales características</b>		
<i>Alimentación</i>	24 V AC/DC	50/60 Hz
<i>Señal de salida</i>	4...20mA	
<i>Protocolo de comunicación</i>	HART, PROFIBUS, Modbus y EtherNet/IP	

### **Sensores de presión**

Para determinar la presión en las diferentes áreas por donde circula el jugo y el agua se proponen los transmisores de presión Cerabar T PMC131. También se plantea la utilización de los mismos para determinar el vacío en el condensador barométrico y en el segundo enfriador. Se destaca además la necesidad de adquirir transductores Cerabar M PMP48-RE1 para medir la presión de vapor a la entrada del equipo. Con estos transductores de la firma Endress+Hauser se logra tener mediciones muy precisas. En la tabla 3.7 se muestran algunas de sus características más importantes.

Estos transmisores están destinado al control continuo de presión de los fluidos, los cuales emplean un sensor cerámico que detecta la presión mediante un tubo capilar y un diafragma. La presión medida deforma ligeramente el diafragma del sensor y emite una señal de salida de 4...20 mA, proporcional a la presión medida (Endress+Hauser, 2015a).

Tabla 3.7 Características de los transductores de presión de Endress + Hauser

<b>Trasmisores</b>	<b>M PMP 48</b>	<b>T PMC131-A3G</b>	<b>T PMC131-A1X</b>
<b>Presión</b>	<b>Vapor</b>	<b>Vacío</b>	<b>Agua y jugo</b>
<i>Rango</i>	0 a 40 bar	-1 a 3 bar	0 a 60 bar
<i>Alimentación</i>	11.5...45 V DC		11...30 V DC
<i>Error</i>	0.2 %		0.1%
<i>Temperatura del proceso</i>	-70 a 400 °C		-20 a 100°C
<i>Grado de protección</i>	IP68		IP68
<i>Protocolo de comunicación</i>	HART y PROFIBUS		-

### Sensores de densidad

Los sensores que se proponen para sustituir los flujómetros existente y medir los °Brix del jugo a la entrada y a la salida del evaporador son los Proline Promass 83F, de la firma Endress+ Hauser. Estos dispositivos de medición permiten registrar simultáneamente diferentes variables (masa, densidad y temperatura) para diversos procesos. En la tabla 3.8 se muestran algunas de las especificaciones de este instrumento (Endress+Hauser, 2015b).

Tabla 3.8 Características de los transductores Proline Promass 83F

<b>Principales características</b>	
<i>Alimentación</i>	16...62 V DC
<i>Rango</i>	0 a 95 °Brix
<i>Temperatura del proceso</i>	-40 a 200 °C
<i>Grado de protección</i>	IP67
<i>Salida</i>	4...20 mA
<i>Protocolo de comunicación</i>	HART, PROFIBUS y MODBUS

### Válvulas

La válvula de concentrado final hacia atarjea se decide reemplazar por la válvula de bola con actuador neumático de aluminio PRABV1531-42 de la firma PRISMA. Además se propone adquirir otra válvula de este modelo, debido a la presencia de varias válvulas de este tipo. En la tabla 3.9 se observan algunas de sus especificaciones técnicas (PRISMA, 2014).

Tabla 3.9. Características de la válvula PRABV1531-42

<b>Principales características</b>	
<i>Tipo de conexión</i>	DN65
<i>Presión de alimentación de aire</i>	8 bar máximo
<i>Temperatura del proceso</i>	-20 a 320 °C
<i>Grado de protección</i>	IP67
<i>Material del cuerpo de la válvula</i>	AISI-316

Otra de las válvulas que se proponen sustituir completamente son las válvulas neumáticas de dos vías ZV301 y ZV302 y la de tres vías ZV701, todas de la firma SPIRAX-SARCO, aunque con diferentes características, como se aprecia en la tabla 3.10. La válvula ZV301 es equipada con un posicionador electroneumático EP5, con señal de entrada de 4...20mA.

Tabla 3.10. Características de las válvulas SPIRAX-SARCO

<b>Características</b>	<b>QL63D</b>	<b>KF73</b>	<b>KE73</b>
<b>Válvulas</b>	<b>ZV701</b>	<b>ZV302</b>	<b>ZV301</b>
<i>Tipo de conexión</i>	DN65	DN32	DN65
<i>Kv (caudal de agua)</i>	62 m <sup>3</sup> /h	18 m <sup>3</sup> /h	63 m <sup>3</sup> /h
<i>Actuador neumático</i>	PN3530	PN3220	PN3430
<i>Presión de alimentación de aire</i>	2.2 bar	1 bar	1.4 bar

Con el fin de garantizar piezas de repuestos a las válvulas más utilizadas, se plantea adquirir dos actuadores neumáticos para las válvulas QLM (ZV102 y ZV601) de la firma SPIRAX-SARCO, de tipo PN3630 y PN3325 respectivamente. También se decide importar dos kits de repuesto de asiento y junta de asiento DN50 y DN65 para estas válvulas.

Mientras que para reducir la extensión de las mangueras neumáticas se pretende ubicar dos bloques de electroválvulas VUVG-S10; uno en el área del evaporador y el otro en los tanques de alimentación. En estos bloques se recibe el aire que proviene de la sala de compresores y desde allí se distribuyen para todas las tomas de aires de las válvulas neumáticas. En la tabla 3.11 se muestran algunas de sus principales especificaciones técnicas (FESTO, 2017).

Tabla 3.11. Características del bloque de electroválvulas.

<b>Principales características</b>	
<i>Diámetro de toma principal</i>	20 mm
<i>Caudal de alimentación</i>	170 a 340 l/min
<i>Voltaje de alimentación</i>	5, 12 y 24 V DC
<i>Presión de funcionamiento</i>	3.5 a 7 bar
<i>Grado de protección</i>	IP40
<i>Perfil distribuidor</i>	VABML110SG1816

### **Variadores de velocidad**

El variador que se propone para el control de los motores es el SINAMICS G120C de SIEMENS, el cual ofrece una equilibrada combinación de características y permiten un uso muy amplio para regular la frecuencia de alimentación; así como la parada y arranque de los motores. Las características de los motores que son comandados por los variadores de velocidad SINAMICS G120C se muestran en el Anexo V.

Los variadores SINAMICS G120C definen nuevos estándares en su clase gracias a su pequeño tamaño, rápida puesta en marcha, facilidad de manejo y gran funcionalidad e integración. El manejo y la puesta en marcha se llevan a cabo de forma rápida y sencilla con una PC a través del puerto USB (Software STARTER) o en el panel operador básico. Algunas de las características principales se observan en la tabla 3.12 (SIEMENS, 2013).

Tabla 3.12. Características de los variadores SINAMICS G120C

<b>Principales características</b>	
<i>Tensión de alimentación</i>	380-480 3/V AC
<i>Frecuencia de salida</i>	0-650 Hz.
<i>Entradas/Salidas digitales</i>	6/2
<i>Entradas/Salidas analógicas</i>	1/1.
<i>Grado de protección</i>	IP20
<i>Comunicación</i>	PROFINET, PROFIBUS, Modbus RTU, CANopen y USS

### **Controlador Lógico Programable**

Para la presente propuesta de automatización la adopción de un PLC por módulos es la mejor opción, dada la diferencia de señales que se tienen. Además que esto permite futuros trabajos de ampliación en la automatización en el TASTE.

La designación es un PLC de la marca SIEMENS, debido a los requerimientos del proceso y algunos planteamientos elaborados por los técnicos e ingenieros. Específicamente se propone el PLC S7-300 con CPU 315-2 PN/DP. La empresa ya cuenta con otro PLC de este tipo en una de las líneas de extracción de jugo, una ventaja puesto que ya hay operarios familiarizados con el equipo y los especialistas tiene conocimiento sobre el mismo.

La CPU 315-2 PN/DP se utiliza para instalaciones con requisitos medios y/o elevados en cuanto al volumen de programas y configuración descentralizada a través de PROFIBUS DP y PROFINET IO. El SIMATIC S7-300 315-2 PN/DP contiene interfaz PROFINET con dos puertos integrados e interfaz combinada MPI/maestro-esclavo PROFIBUS DP. Algunas de las principales características se muestran a continuación:

- El procesador alcanza un tiempo de procesamiento aproximado de 50 ns por instrucción binaria y de 450 ns por operación con coma flotante.
- 384 KBytes de RAM.

- Micro Memory Cards de 8 MBytes que permite guardar proyectos y se puede utilizar para archivar datos y gestionar recetas.
- Expansibilidad flexible (máximo 32 módulos).
- Tensión de alimentación 24 V DC.

El S7-300 trabaja con un conjunto de módulos de señales, módulos de alimentación y módulos de interfaz. La estructura permite escalar y ampliar los sistemas de forma rápida y simple. Los módulos adicionales totalmente integrados reducen costos, ofreciendo al mismo tiempo un abanico amplio de posibilidades de aplicación y distintas opciones de combinación de funciones (SIEMENS, 2016). Para trabajar con las señales analógicas y digitales del proceso se propone utilizar los módulos siguientes:

**1-SM 321** de 32 entradas digitales, con tensión nominal de entrada de 24V DC.

**1-SM 321** de 16 entradas digitales, con tensión nominal de entrada de 24V DC.

**2-SM 322** de 16 salidas digitales a relé, con tensión nominal de carga 24 a 120 V DC.

**3-SM 331** de 8 entradas analógicas, ajustable por cada grupo de canales (tensión e intensidad).

**1-SM 332** de 8 salidas analógicas, con salidas en cada canal de tensión e intensidad.

La periferia descentralizada en el área de alimentación se propone mediante un SIMATIC ET 200M 153-4 PN, que ofrece Entradas-Salidas (E/S) remotas muy diversas para soluciones en armario eléctrico. De esta forma se necesitan menos componentes a la hora de la instalación y se obtienen tiempos de reacción más cortos. Las principales características de la ET 200 son:

- Presenta dos puertos integrados PROFINET.
- Capacidad E/S utilizable: 192 bytes respectivamente.
- Velocidad máxima de 100 Mbits/s (Full Duplex).
- Grado de protección IP20

La ET200 es un sistema de periferia modular especialmente adecuado para tareas de automatización complejas y personalizadas. A dicho módulo es posible conectar hasta 12 módulos periféricos de la gama del autómatas S7-300. Por ello se pretende incorporar un módulo SM 331 de 8 entradas analógicas y un SM 322 de 16 salidas digitales a relé para las señales del área de alimentación (SIEMENS, 2017).

### Panel de operador

El HMI que se propone para monitorear y controlar el evaporador es el TP1500 Comfort táctil de 15.4 pulgadas, fabricado por SIEMENS. Dicho panel incorpora todos los componentes necesarios para manejar y observar el estado del proceso. El TP1500 está provisto de funciones de histórico, scripts y distintos visualizadores para documentación de planta (Word, Excel y PDF) o páginas web. Las principales características del TP 1500 Comfort se aprecian en la tabla 3.13 (SIEMENS, 2017).

Tabla 3.13. Características del TP1500

<b>Principales características</b>	
<i>Pantalla</i>	LCD-TFT con ángulo visual ampliado
<i>Variables manipuladas</i>	4096
<i>Resolución</i>	1280 x 800 píxeles
<i>Voltaje nominal de alimentación</i>	24 V DC
<i>Puertos</i>	1-RS485 (PROFIBUS),3-RJ45, 2-USB 2.0 y 2-SD/MMC combinados

### 3.3 Comunicación Industrial

Las comunicaciones en la industria son fundamentales para la concepción y desarrollo de un sistema automatizado, desde el nivel de campo hasta el nivel de planta o fábrica. En la figura 3.9 se aprecia que la adquisición de señales provenientes de los sensores se establece mediante señales de corriente de 4...20 mA; mientras que las electroválvulas son comandadas a través de señales de voltaje de 0 a 24 V DC. El medio de transmisión utilizado para estas variantes es el cable trenzado y apantallado; el cual es una variante económica, fiable y de fácil implementación.

Para la comunicación entre el PLC y el HMI se decide utilizar el bus de campo PROFINET, comercializado por la firma alemana SIEMENS, garantizando así la compatibilidad con el autómatas. Además para la transmisión de las señales de la ET200 y los variadores de velocidad con el PLC se plantea usar igualmente PROFINET; todos estos conectados a un *switch* SCALANCE XB008G de 8 puertos RJ45. El medio de transmisión a utilizar para la comunicación de PROFINET es el cable estándar IE FC TP con terminal RJ45.

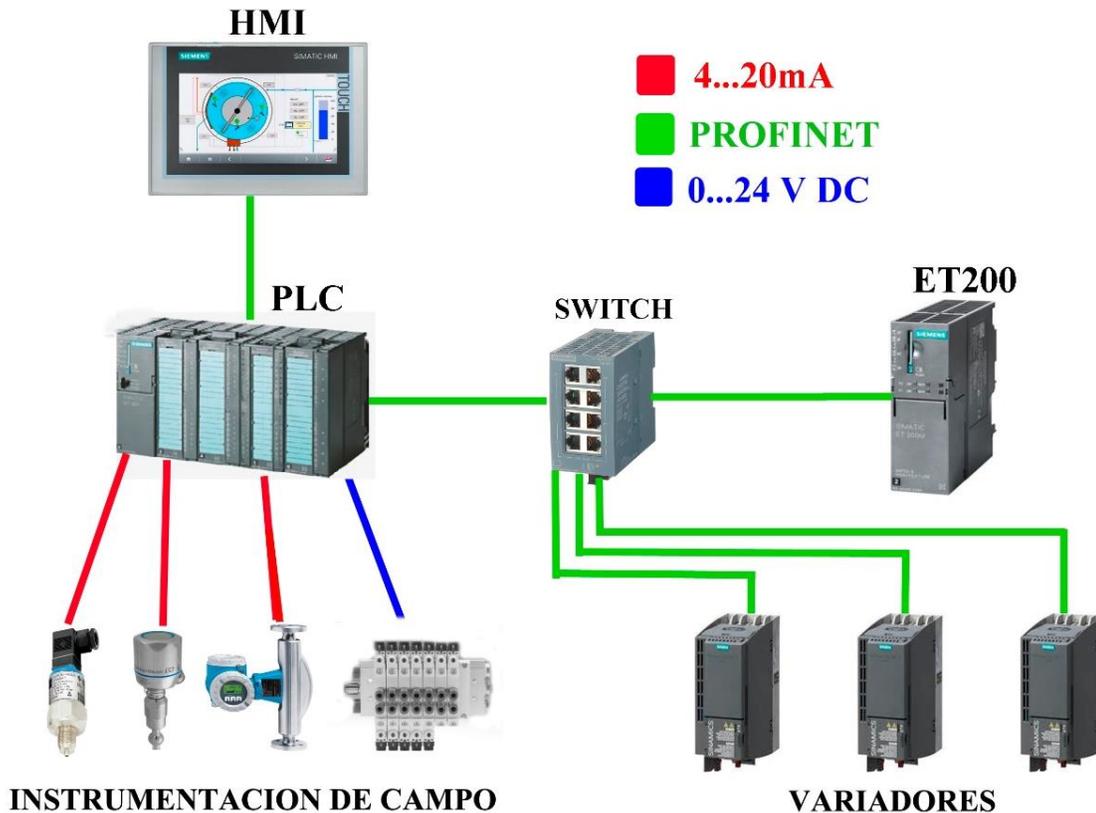


Figura 3.9. Esquema de comunicación del evaporador.

### 3.4 Distribución eléctrica

La distribución eléctrica de los elementos que conforman las pizarras de control constituye un archivo técnico necesario para la aplicación del proyecto. Aquí se detalla el equipamiento de cada panel, a partir de la cantidad de señales a supervisar y controlar. La propuesta para el sistema se elabora con la idea de establecer un puesto de control central a tres metros del evaporador, donde se realiza la supervisión y accionamiento (arranque y parada) de los diferentes sistemas tecnológicos y equipos.

Todos los paneles que se proponen montar son de construcción metálica de la firma Schneider Electric. El acceso a los mismo debe ser definido por la entidad y por tanto es conveniente incorporarles cerraduras. En la tabla 3.14 se especifica la forma en que se distribuye el suministro de energía eléctrica a los diferentes paneles y su ubicación. Además en el Anexo VI se amplían las características y funciones de cada uno.

Tabla 3.14. Listado de paneles

Nro.	Descripción	Ubicación	Alimentación
<b>P01</b>	Monobloc Spacial SM	Cabina de control	440 V AC
<b>P02</b>	Mural de acero Spacial CRN	Cabina de control	440 y 220V AC y 24V DC
<b>P03</b>	Compact NSX 100/250	Cabina de control	220 V AC
<b>P04</b>	Spacial SMX	Área del TASTE	24 V DC
<b>P05</b>	Spacial SMX	Área de alimentación.	440 y 220V AC y 24V DC

### 3.5 Análisis económico y medioambiental

Para la realización de un proyecto es muy importante tener en cuenta la valoración económica del mismo. En el análisis mostrado en la tabla 3.15 se aprecian los gastos de la inversión inicial del proyecto, en el que se incluye el valor de todo el equipamiento propuesto para el desarrollo de la instrumentación y el costo del servicio de ingeniería que realiza el CEDAI, todo como parte del costo inicial de esta inversión. El desglose de los diferentes precios de los instrumentos se amplía en el Anexo VII.

Tabla 3.15. Importe de la oferta

Importes	Costo (CUC)	Costo (CUP)
Importe total del servicio de Ingeniería Básica.	4158	23896
Importe total del servicio de Ingeniería de Detalle.	5660	24655
Importe total del equipamiento.	54605	-
Importe total	64423	48551
<b>Costo total de la obra</b>		<b>112974</b>

Para el cálculo del costo acumulado se tiene en cuenta el costo real de mantenimiento del evaporador por parte del CEDAI. El estimado de los beneficios tangibles que se obtienen con la implementación de este proyecto se realiza teniendo en cuenta los precios que actualmente tienen los concentrados en el mercado mundial, así como las producciones anuales promedios que tiene el evaporador, los cuales se observan en la tabla 3.16. Todo esto sin tener en cuenta una serie de ventajas que trae consigo que la automatización sea acometida por una empresa cubana, tales como: los mantenimientos preventivos, encontrar mejoras de eficiencia al darle seguimiento a la planta, reducción de los costos, entre otras ventajas que no se tienen en cuenta en este análisis económico pero que son tan importantes como los valores numéricos obtenidos.

Tabla 3.16. Costos y beneficios de la automatización.

Año	Costo	Costo Acumulado	Producción (Tn)	Beneficios	Beneficio acumulado
2018	112974	112974	4056	2905246	2905246
2019	6500	119474	4289	3066538	5971784
2020	4500	123974	4701	3363375	9335158
2021	3000	126974	4770	3372278	12707436

A partir de todos los valores obtenidos se realiza la gráfica mostrada en la figura 3.10, donde se muestra la relación de los costos acumulados del proyecto contra los beneficios acumulados. Manteniendo el precio de venta actual de jugo concentrado de los diferentes cítricos se obtienen ingresos en el orden de los 2 y 3 millones de dólares anualmente, como se puede observar en el Anexo VII.

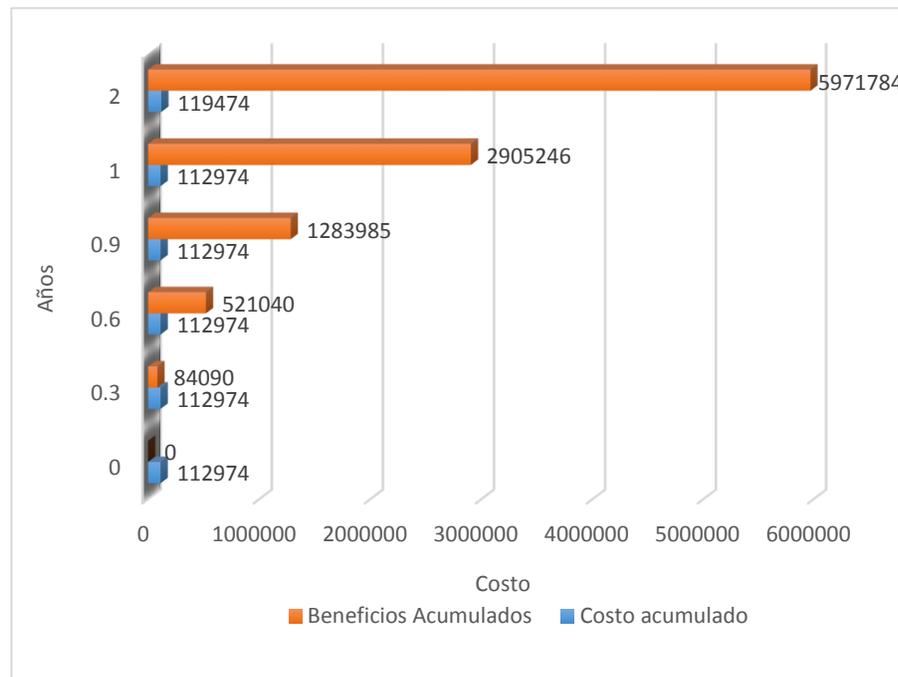


Figura 3.10. Relación de costos acumulados contra beneficios acumulados.

Por lo tanto, con el análisis realizado se demuestra que la recuperación de la inversión está dentro del primer año de explotación del equipo y se comienza rápidamente a obtener ganancias; aun restando los costos de producción de los productos las ganancias son positivas y se justifica la adquisición del proyecto.

Este proyecto no produce ningún impacto negativo al medio ambiente, por la razón de que en ningún momento se realizan operaciones que inciden considerablemente sobre este. Al

contrario, la implementación del mismo ayuda a la protección del ecosistema ya que propone operaciones automáticas que anulan las operaciones manuales inadecuadas que pueden atentar contra el medio ambiente, además contribuye a mejorar la producción y por ende a disminuir el consumo de energía.

Además, la adecuada selección de la instrumentación propuesta en este trabajo evita problemas de contaminación al producto final, el cual tiene como usuario a seres humanos, por lo que se previenen posibles daños a la salud de las personas.

### **3.6 Conclusiones del capítulo**

- Se debe tener presente que la propuesta de automatización no es la más completa posible y pueden ser automatizados otros elementos dentro del TASTE FOMESA, pero la selección de los problemas a resolver se ajusta a los pedidos reales por parte de los especialistas de la fábrica.
- La selección del equipamiento garantiza un desempeño continuo para el proceso, ya que se orienta en buscar productos a proveedores de probada calidad en proyectos, además de contar con repuestos para los mismos en caso de averías.

## CONCLUSIONES

Luego del desarrollo del trabajo se arriban a las siguientes conclusiones:

1. Mediante la realización del levantamiento instrumental existente en el proceso es posible determinar las variables implicadas en el mismo, los requisitos de operación del evaporador y el estado de la instrumentación; con el fin de aprovechar al máximo los recursos disponibles.
2. La propuesta de instrumentación realizada reutiliza algunos de los componentes y plantea la sustitución o modernización de la mayoría, entre los que se encuentran: sensores, válvulas, interfaz hombre-máquina, variadores de velocidad para los motores y el PLC.
3. Consecuentemente con la selección de los elementos de hardware se realiza la propuesta de conexión de los distintos componentes, así como los diagramas eléctricos y los esquemas de automatización de las diferentes áreas.
4. Con la propuesta final se puede recuperar y poner en marcha nuevamente una planta que ha estado fuera de servicio por varios años. Como resultado se logra un ahorro considerable, pues el costo total de la propuesta solo representa el 10% del precio de un evaporador TASTE en el mercado, lo que se ve reflejado en el análisis económico realizado en el trabajo y compensa con creces la inversión de los equipos seleccionados.

## **RECOMENDACIONES**

1. Dar continuidad al presente trabajo, ya que el mismo forma parte de un gran proyecto multidisciplinario que abarca la mayor parte del Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón”.
2. Influir directamente sobre los directivos de la empresa productora para realizar nuevas propuestas de automatización con la finalidad de extender este trabajo a otras partes de la industria.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB, (2014). *Instruction Manual: "Criolis Mass Flometer"*. Goettingen, Alemania.
- ABB, (2016). *ETP08 Electronic Transmitter for Pressure and Level*. Sollentuna, Suecia
- Aguiar, P.; Escobar, M.J. y Pássaro, C.P. (2012). *Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización*. Serie Lasallista Investigación y Ciencia, Colombia.
- Alcázar, A. (2006). *Industria para la elaboración de 1.750 m<sup>3</sup> de zumos concentrados de cítricos en Polígono Industrial Oeste*. Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, España.
- Allaica, J. y Lema, M. (2011). *Implementación de un sistema de aprendizaje práctico para la producción automatizada*. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica., Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- American National Standard Institute, (1992). *Instrumentation Symbols and Identification*. Carolina del Norte, Estados Unidos.
- Anaya, B. (2015). *Articulación de cadenas de valor hortofrutícolas para la satisfacción de demandas. El caso de la cadena del mango en Santiago de Cuba*. Tesis Doctoral, Centro de Estudios de la Economía Cubana, Universidad de La Habana, Cuba.
- Anaya, B. (2015). Las cadenas productivas con impacto económico y social: el caso de los cítricos en Cuba, *Economía y Desarrollo*, 154 (1): 105-117.
- Asensio, P. y Arbós, R. (2005) *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. 1ra Edición, Editorial UPC, Barcelona.
- Ávalo, B.; Pérez, S. y Tovar, M. (2009). Caracterización preliminar del proceso de concentración de jugo natural de naranja en un evaporador de tres efectos. *Interciencia*, 34(11): 784-790.

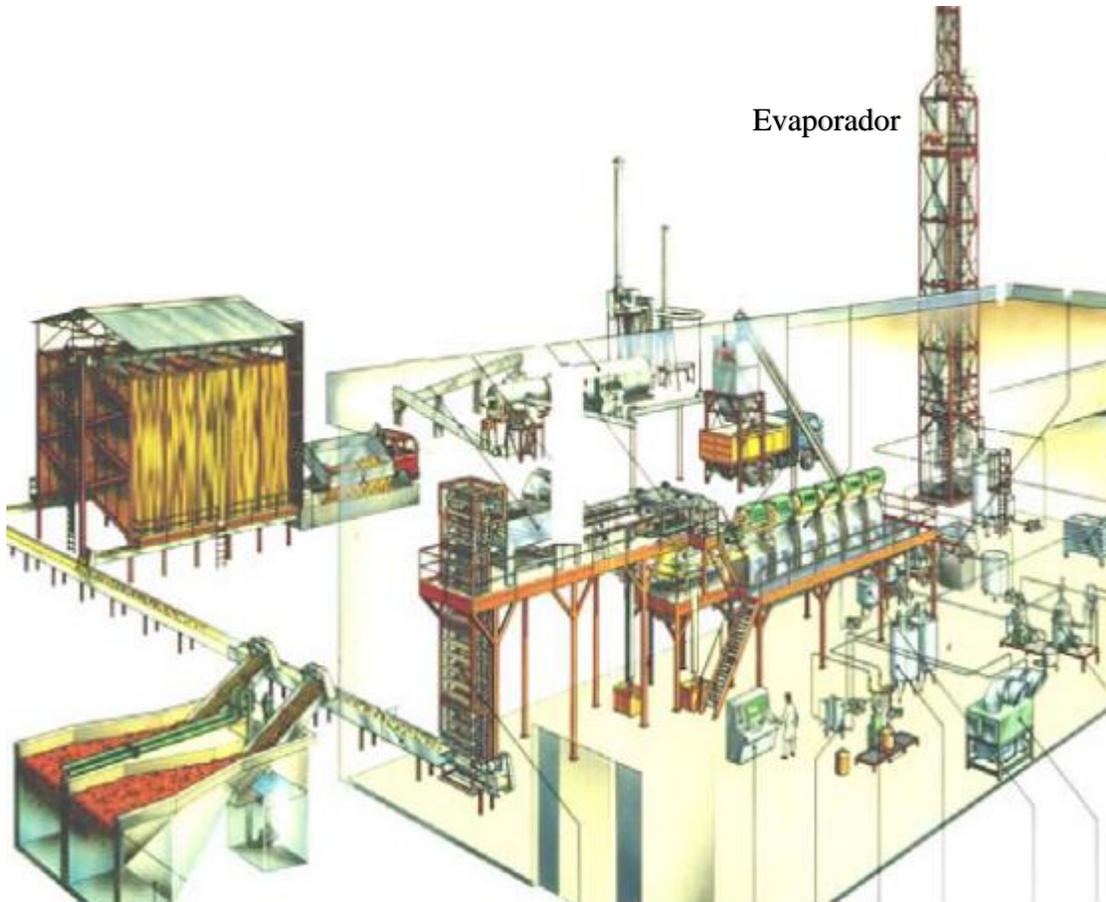
- Ávila, R. y Bullón, J. (2013). La concentración de jugos de fruta: Aspectos básicos de los procesos sin y con membrana. *Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela*, 28(3):65-76.
- Balcells, J. (2010). *Autómatas Programables. Fundamentos, manejo, instalación y prácticas*. 1ra Edición, Editorial Félix Valera, Habana, Cuba.
- Bischoff, K.P. y Gravois, K.A. (2003). The development of new sugarcane varieties at the LSU AgCenter. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, Estados Unidos: 142-164.
- Braddock, R.J. (1995). By products of citrus fruits. *Food Technology*, 49 (9): 74-77.
- Cabe, W.; Smith, J. y Harriot, P. (2003) *Evaporación. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 6ta Edición, Editorial McGraw-Hill, México.
- Cook Machinery Company, (2004). *Juice Evaporators, Principles of Operation and Troubleshooting*. Florida, Estados Unidos.
- Endress+Hauser, (2015a). *Catálogo E-direct 2014/2015*. Sant Just Desvern, Barcelona.
- Endress+Hauser, (2015b). *Medición de caudal para líquidos, gases y vapor*. Barcelona.
- Endress+Hauser, (2016a). *Medición de temperatura: termómetros y transmisores para la industria de proceso*. Panamá.
- Endress+Hauser, (2016b). *Technical Information: Condumax W CLS21 and CLC21D*. Reinach, Suiza.
- Equipamiento E Tecnología de Alimentos, (2016). *Sistemas Evaporativos para Industria de Alimentos*, Brasil.
- FAOSTAT, (2017). Datos normalizados, <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>, accedido el 12/1/17.
- Fellow, M. (1994). *Tecnología de procesado de los alimentos: principios y práctica*. 1ra Edición, Editorial Acribia S.A., España.
- FESTO, (2017). Electroválvulas VUVG, <http://www.festo.com/catalogue>, accedido el 22/3/17.
- García, M.; Sánchez, D. y Correa, A. (2008). Consideraciones para una nueva citricultura en el continente americano. *Revista CITRIFRUT*, 25(1):5-23.
- GEMINA, (2015). *Evaporadores de Recirculación Forzada*, Murcia, España.

- Guzmán, J. (2015). *Prevención, reducción y control de la contaminación generada por la industria cítrica al medio ambiente: depuración de efluentes mediante procesos de oxidación avanzada*. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente, Universidad de Zaragoza, España.
- Guzmán, O. (2006). *Implementación de un sistema electrónico para mejorar la eficiencia del área de evaporadores*. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería en Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- International Trade Centre, (2014) *Fruit Juice Market*. Creating Coalitions of Services Industries, Ginebra.
- Izaguirre, E. (2012). *Sistemas de automatización*. Editorial Feijóo, Santa Clara.
- Kimball, D. A. (1999) *Citrus Processing: A Complete Guide*. 2da Edición, An Aspen, Estados Unidos.
- Kimball, D. A. (2002). *Procesado de Cítricos*. 1ra Edición, Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Márquez, D. (2015). *Automatización de un prototipo tipo evaporador para la obtención de concentrado de naranja*. Tesis de grado, Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Mejía, J. P. (2008) *Estudio del Efecto de los Parámetros de Proceso en los Rendimientos y Calidad Sensorial del Jugo de Babaco Concentrado en un Evaporador de Película Ascendente*. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Pimentel, A. (1999). *Caracterización y puesta en marcha de un equipo piloto de evaporación en triple efecto*. Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Prévez, L. y Sánchez, M. (2007). *Manual de Producción más Limpia para el sector industrial cítrico*. Organización de Naciones Unidas para el desarrollo Industrial. Viena, Austria.
- PRISMA, (2014). *Válvulas con actuadores neumáticos PRISMA*. Barcelona.
- Ramaswamy, H. (2006). *Food Processing: Principles and Applications*. 1ra Edición, Editorial CRC Press, New York.

- Redondo, M. (2008). *Diseño e implantación de un sistema SCADA para una planta de producción y envasado de líquidos*. Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería en Informática, Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Rodriguez, G. y Requierdesjardins, D. (2004), Environmental impact of panela food-processing industry: sustainable agriculture and local agri-food production systems. *International Journal of Sustainable Development*: 237-256.
- Schlünder, E. (1983). *Heat Exchanger Design Handbook*. 1ra Edición, Editorial Board, Washington.
- SIEMENS, (2013). *Convertidor de frecuencia con las Control Unit: SINAMICS G120*, Erlangen, Alemania.
- SIEMENS, (2016). *Datos técnicos de la CPU 315-2 PN/DP*. Lima, Perú.
- SIEMENS, (2017). Catalog Products for Automation and Drive Technologies, [https://www.automation.siemens.com/ik/index\\_76.htm](https://www.automation.siemens.com/ik/index_76.htm), accedido el 28/4/17.
- Snyder, P. y Biot, J. (2004) *Manual TASTE 60K 7-9*. Revisión No 0, FOMESA Agroindustrial, Valencia, España.
- Toledo, R. (2006). *Fundamentals of Food Process Engineering*. 3ra Edición, Editorial Springer Science, Reino Unido.
- Torres, E. e Ybarra C. (1989). *El procesamiento industrial del limón mexicano en Cítricos de Colima*. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.
- Vaillant, F.; Millán, A.; Dornier, M.; Decloux, M.y Reynes, M. (2001). Strategy for economical optimisation of the clarification of pulpy fruit juices using crossflow microfiltration, *J. of Food Eng.*, 48(1): 83-90.
- Valdivieso, C. (2010). *Instalación y puesta en marcha del evaporador de película descendente UOP20-X-PHW y su aplicación en la obtención de concentrado de sulfato de cobre, jugo de naranja y glucosa*. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Química, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Valmaseda, J.C. (2010). Desarrollo de la industria frutícola en Cuba. Actas del III Simposio Internacional de Fruticultura Tropical y Subtropical, Fruticultura 2010, La Habana, Cuba.

## ANEXOS

## Anexo I. Flujo del proceso de concentrado de cítricos



## Flujo del proceso



## Anexo II Listado de señales.

	CÓDIGO DE EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	SEÑAL	DESCRIPCIÓN	TIPO DE E/S PLC	MAGNITUD
1	ZV101	Válvula que independiza los tanques A y B	ZV101.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
2	ZV102	Válvula de salida tanques	ZV102.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula en el sentido del Tanque A	DO	24VDC
3	ZV201	Válvula de Salida de Concentrado a la Planta (NC)	ZV201.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
4			ZV201.VD2	Señal de comando de cerrar la electroválvula.	DO	24VDC
5	ZV202	Válvula de Recirculación de concentrado (NO)	ZV202.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
6			ZV202.VD2	Señal de comando de cerrar la electroválvula.	DO	24VDC
7	ZV203	Válvula de Concentrado hacia Atarjea (NO)	ZV203.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
8			ZV203.VD2	Señal de comando de cerrar la electroválvula.	DO	24VDC
9	ZV204	Válvula de Concentrado hacia Tanques (NC)	ZV501.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
10			ZV501.VD2	Señal de comando de cerrar la electroválvula.	DO	24VDC
11	ZV205	Válvula de Concentrado hacia Tanque A (NO)	ZV205.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
12			ZV205.VD2	Señal de comando de cerrar la electroválvula.	DO	24VDC
13	ZV206	Válvula de Concentrado hacia Tanques B (NC)	ZV206.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
14			ZV206.VD2	Señal de comando de cerrar la electroválvula.	DO	24VDC
15	ZV301	Válvula Reguladora de Vapor	ZV301.VC	Señal de regulación de válvula de Vapor	AO	4-20 mA 0-10V
16	ZV302	Válvula de entrada de vapor al enfriador	ZV302.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
17	ZV303	Válvula de entrada de vapor al condensador Barométrico	ZV303.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC

18	ZV401	Válvula de Agua de enfriamiento hacia CB	ZV401.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
19			ZV401.VD2	Señal de comando de cerrar la electroválvula.	DO	24VDC
20	ZV501	Electroválvula hacia tanque de agua de sellaje	ZV501.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
21	ZV502	Electroválvula de salida de tanque de agua de sellaje hacia las bombas	ZV502.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
22	ZV503	Válvula de Recirculación de AS	ZV503.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
23	ZV504	Válvula para garantizar el llenado de tanque de sellaje con condensado vegetal	ZV504.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
24	ZV601	Válvula de Deposito de Condensado al exterior de la planta	ZV601.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
25	ZV602	Válvula de Condensado hacia Atarjea	ZV602.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
26	ZV603	Válvula de Condensado hacia Tanques de Alimentación	ZV603.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
27	ZV701	Válvula de Limpieza a los enfriadores	ZV701.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
28	ZV702	Válvula de Limpieza H2O	ZV702.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
29	ZV703	Válvula de Limpieza NaOH	ZV703.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC
30	ZV704	Válvula Limpieza Selección de tanque A o B	ZV704.VD1	Señal de comando de abrir la electroválvula.	DO	24VDC

**MOTORES**

	M101	Motor M1 Agitador Tanque A	M101.MT	Falla térmica	DI	24VDC
			M101.MG	Arranque/Paro Local	DI	24VDC
			M101.MR	Motor trabajando	DI	24VDC
			M101.MD	Comando de Arranque/Paro	DO	24VDC
			M101.MK	Habilita motor en Automático	DI	24VDC

M102	Motor M2 Agitador Tanque B	M102.MT	Falla térmica	DI	24VDC
		M102.MG	Arranque/Paro Local	DI	24VDC
		M102.MR	Motor trabajando	DI	24VDC
		M102.MD	Comando de Arranque/Paro	DO	24VDC
		M102.MK	Habilita motor en Automático	DI	24VDC
M201	Bomba de Alimentación de Jugo	M201.MR	Motor trabajando	DI	24VDC
		M201.MT	Falla térmica	DI	24VDC
		M201.MG	Arranque Local / Paro Local	DI	24VDC
		M201.MK	Habilita motor en Automático	DI	24VDC
M202	Bomba de transferencia de Jugo entre 3/VI y 4/I	M202.MT	Falla térmica	DI	24VDC
		M202.MG	Arranque/Paro Local	DI	24VDC
		M202.MR	Motor trabajando	DI	24VDC
		M202.MD	Comando de Arranque/Paro	DO	24VDC
		M202.MK	Habilita motor en Automático	DI	24VDC
M203	Bomba de transferencia de Jugo entre 6/III y 7/VII	M203.MT	Falla térmica	DI	24VDC
		M203.MG	Arranque/Paro Local	DI	24VDC
		M203.MR	Motor trabajando	DI	24VDC
		M203.MD	Comando de Arranque/Paro	DO	24VDC
		M203.MK	Habilita motor en Automático	DI	24VDC
M204	Bomba de Concentrado	M204.MR	Motor trabajando	DI	24VDC
		M204.MT	Falla térmica	DI	24VDC

			M204.MG	Arranque Local / Paro Local	DI	24VDC
			M204.MK	Habilita motor en Automático	DI	24VDC
M501	Bomba de Agua de Sellado		M501.MT	Falla térmica	DI	24VDC
			M501.MG	Arranque/Paro Local	DI	24VDC
			M501.MR	Motor trabajando	DI	24VDC
			M501.MD	Comando de Arranque/Paro	DO	24VDC
			M501.MK	Habilita motor en Automático	DI	24VDC
M601	Bomba de Condensado Vegetal		M206.MR	Motor trabajando	DI	24VDC
			M206.MT	Falla térmica	DI	24VDC
			M206.MG	Arranque Local / Paro Local	DI	24VDC
			M206.MK	Habilita motor en Automático	DI	24VDC
<b>VARIABLES DE VELOCIDAD</b>						
S201	Variador de velocidad correspondiente a M201		S201.SC	Comando de Arranque/Paro al motor M201		
			S201.SD	Comando de Arranque/Paro del variador	DO	
			S201.SC	Setpoint de velocidad al variador asociado al motor M201	AO	4-20 mA 0-10V
S202	Variador de velocidad correspondiente a la M204		S202.SC	Comando de Arranque/Paro al motor M204		
S601	Variador de velocidad correspondiente a la M601		S601.SC	Comando de Arranque/Paro al motor M601		
			S601.SD	Comando de Arranque/Paro del variador	DO	

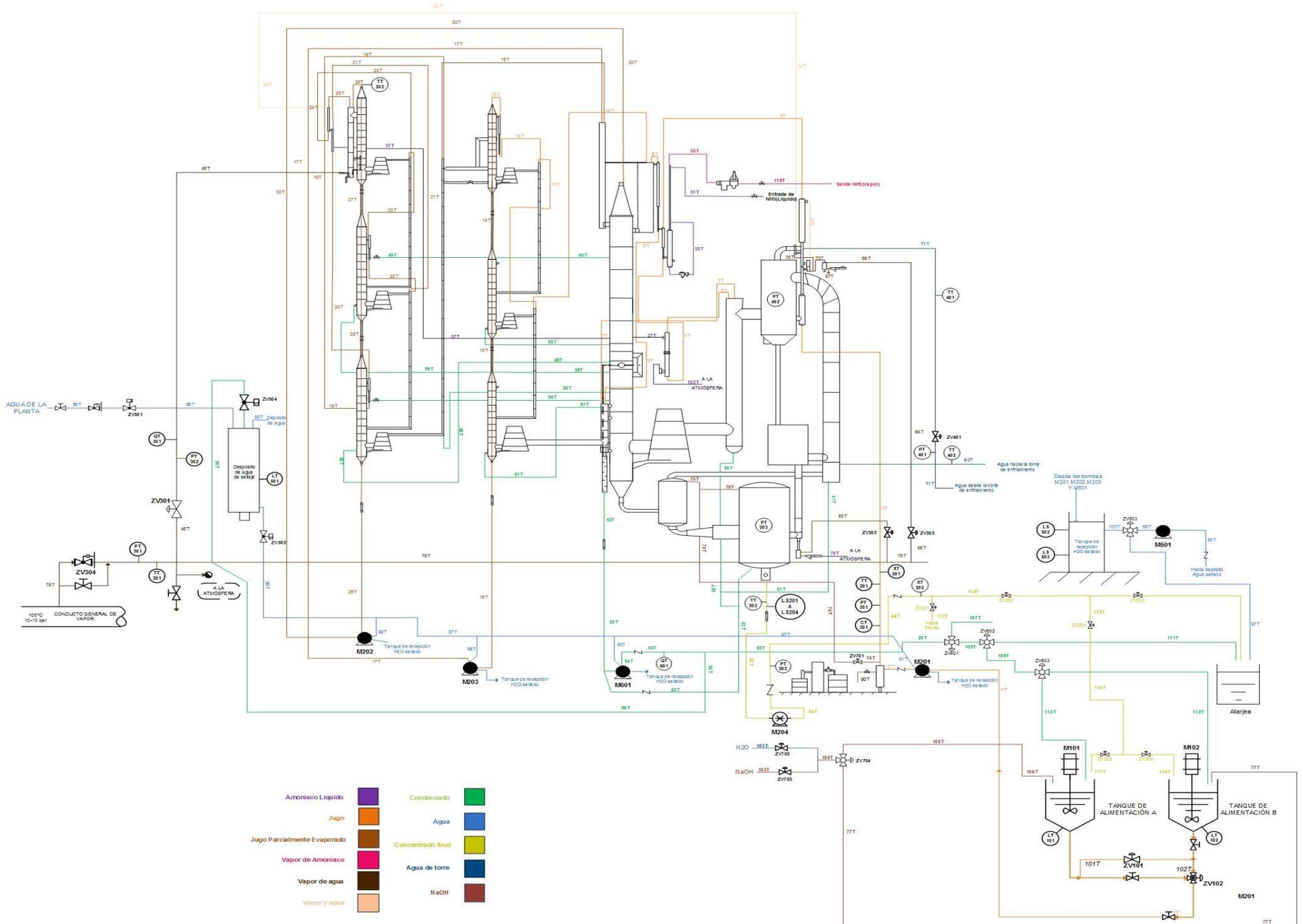
			S601.SC	Setpoint de velocidad al variador asociado al motor M601	AO	4-20 mA 0-10V
<b>Sensores de Nivel</b>						
	LT101	Sensor de Nivel Tanques A	LT101.TZ	Señal de Nivel	AI	4-20 mA 0-10V
	LT102	Sensor de Nivel Tanques B	LT102.TZ	Señal de Nivel	AI	4-20 mA 0-10V
	LS201	Sensor de Nivel Enfriador 2	LS201.LM	Señal de arranque al variador S204		24VDC
	LS202		LS202.LH	Señal de velocidad máxima del variador S205		24VDC
	LS203		LS203.LL	Señal de velocidad mínima al variador S205		24VDC
	LS204		LS204.LN	Señal de parada al variador S204		24VDC
	LT501	Sensor de Nivel de Tanque de Sellado	LT501.TZ	Señal de Nivel	AI	4-20 mA 0-10V
	LS502	Sensor de nivel en Tanque de Recuperación de Agua de Sellado	LS502.LH	Señal de Nivel	DI	24VDC
	LS503	Sensor de nivel en Tanque de Recuperación de Agua de Sellado	LS503.LL	Señal de Nivel	DI	24VDC
	LT601	Sensor de Nivel de Tanque de Condensado para Calderas	LT601.TZ	Señal de Nivel	AI	4-20 mA 0-10V
<b>Sensores de Temperatura</b>						
1	TT201	Sensor de Temperatura de Alimentación	TT201.TZ	Señal de Temperatura	AI	4-20 mA 0-10V
2	TT202	Sensor de Temperatura a la entrada de la 4ta Etapa (Pasterización)	TT202.TZ	Señal de Temperatura	AI	4-20 mA 0-10V
3	TT203	Sensor de Temperatura a la salida del Enfriador 2	TT203.TZ	Señal de Temperatura	AI	4-20 mA 0-10V
4	TT301	Sensor de Temperatura de entrada de vapor	TT301.TZ	Señal de Temperatura	AI	4-20 mA 0-10V
5	TT401	Sensor de Temperatura de agua de Enfriamiento	TT401.TZ	Señal de Temperatura	AI	4-20 mA 0-10V

6	TT402	Sensor de Temperatura de Retorno hacia torres de Enfriamiento	TT402.TZ	Señal de Temperatura	AI	4-20 mA 0-10V
<b>Sensores de Presión</b>						
	PT201	Sensor de Presión a la entrada de la alimentación	PT201.PZ	Señal de Presión	AI	4-20 mA 0-10V
	PT202	Sensor de Presión a la salida del jugo concentrado	PT202.PZ	Señal de Presión	AI	4-20 mA 0-10V
	PT203	Sensor de Presión de vacío en el enfriador	PT203.PZ	Señal de Presión	AI	4-20 mA 0-10V
	PT301	Sensor de Presión de entrada de vapor al equipo	PT301.PZ	Señal de Presión	AI	4-20 mA 0-10V
	PT302	Sensor de Presión que garantiza el flujo de vapor deseado controlando la válvula reguladora	PT302.PZ	Señal de Presión	AI	4-20 mA 0-10V
	PT401	Presión de Agua de Enfriamiento	PT401.PZ	Señal de Presión	AI	4-20 mA 0-10V
	PT402	Presión de vacío en el CB	PT402.PZ	Señal de Presión	AI	4-20 mA 0-10V
<b>Conductímetro</b>						
	CT201	Conductímetro a la entrada de la alimentación	CT201.CZ	Señal de Conductividad	AI	4-20 mA 0-10V
<b>Refractómetro</b>						
	XT201	Refractómetro de entrada	XT201.XZ	Señal de Grados Brix	AI	4-20 mA 0-10V
	XT202	Refractómetro de salida	XT202.XZ	Señal de Grados Brix	AI	4-20 mA 0-10V
<b>Flujómetro</b>						
	QT601	Caudalímetro de Condensado Vegetal	QT601.QZ	Señal de Caudal	AI	4-20 mA 0-10V

**Anexo III Rango de las variables.**

Variable	Rango	
<b><i>Alimentación</i></b>		
Nivel	Mínimo 0.5m	Máximo 2.9m
Abertura de las válvulas	0%	100%
Estado del motor	Apagados	Encendido
<b><i>Flujo en el TASTE</i></b>		
Abertura de las válvulas	0%	100%
Nivel a la salida del II enfriador.	25%	100%
Temperatura de entrada a IV Etapa	45°C	60°C
Temperatura de salida del concentrado	5°C	20°C
Presión	0 bar	35bar
Refractancia	10°Brix	69°Brix
Frecuencia de las bombas (M201 y M204)	0 Hz	70 Hz
<b><i>Flujo de vapor</i></b>		
Abertura de las válvulas	0%	100%
Temperatura de entrada de vapor	180°C	210°C
Estado de las bombas	Apagados	Encendidos
Presión	9 bar	14 bar
<b><i>Condensador barométrico y Agua de enfriamiento</i></b>		
Abertura de las válvulas	0%	100%
Temperatura	20°C	50°C
Presión de entrada de AE	0 bar	25 bar
Presión de vacío del CB	0 bar	0.69 bar
<b><i>Agua de sellaje</i></b>		
Nivel de tanque de sellado	0.2 m	1.8 m
Nivel de tanque de recuperación	10%	100%
Abertura de las válvulas	0%	100%
Estado de los motores	Apagados	Encendidos
<b><i>Condensado vegetal</i></b>		
Flujo	3 lb/s	18 lb/s
Abertura de las válvulas	100%	0%
Velocidad de la bomba (M601)	0 Hz	70 Hz
Estado de los motores	Apagados	Encendidos
<b><i>Limpieza</i></b>		
Abertura de las válvulas	0%	100%
Conductividad	0.4 µS/cm	100 µS/cm
Temperatura	20°C	95°C

# Anexo IV Diagrama general del TASTE



## Anexo V Características de los motores

	<b>Bomba Durco</b>	<b>Bomba Nemo</b>	<b>Durco Mark III</b>
<b>Bombas</b>	<b>M201</b>	<b>M204</b>	<b>M601</b>
<i>Potencia</i>	30kW	22 kW	8.6 kW
<i>Voltaje del motor</i>	460 V/3 Δ 60Hz	460V Δ 60Hz	460V Y 60 Hz
<i>Corriente</i>	46.5 A	37.5 A	14.7 A
<i>Velocidad del motor</i>	3560 rpm	1765 rpm	1755 rpm
<i>Capacidad</i>	570 l/min	390 l/min	170 l/min
<i>Marca del Motor</i>	Siemens	Siemens	Siemens

## **Anexo VI Características de los paneles**

### **Características del panel C01**

Tensión Nominal a manejar: 440 V AC.

Entradas y salidas: Las entradas y salidas de cables deben ir a barras de distribución de cobre de acorde a los calibres de los cables seleccionados.

Iluminación dentro del panel: No es necesaria. Pero el local donde está ubicado el panel sí debe tener iluminación

Función general: Protección magneto-térmica general del panel.

### **Características del panel C02**

Tensión Nominal a manejar: 440 V AC, 220V AC y 24V DC

Entradas y salidas: Las entradas y salidas de cables deben ir a borneras.

Ventilación del panel: El panel debe tener ventilación.

Iluminación dentro del panel: El panel debe tener iluminación.

Las funciones generales del panel son:

1. Protección magneto-térmica general del panel.
2. Protección magneto térmica para el circuito de salida hacia el panel C03
3. Protección contra ausencia de fase y voltajes fuera de rango para 440 V AC.
4. Visualización de principales parámetros energéticos (voltajes de línea, corrientes de línea, potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia).
5. Protección magneto-térmica para 24 V DC.
6. Protección y respaldo para el circuito de control.
7. Protección magneto-térmica para 220 V AC.
8. Protección magneto térmica para el arranque de los motores.
9. Protección contra sobretensión provocada por descargas atmosféricas.
10. Protección magneto térmica para el circuito de alimentación del PLC.
11. Protección magneto térmica y control sobre el circuito de salida hacia las electroválvulas.
12. Visualización de las principales variables del proceso (presión, temperatura, nivel, concentración, caudal, conductividad) estado de los motores y de las válvulas controladas desde el panel.

### **Características del panel C03**

Tensión Nominal a manejar: 110 y 220 V AC.

Entradas y salidas: Las entradas y salidas de cables deben ir a borneras de entrada acorde a los calibres de los cables seleccionados

Ventilación del panel: El panel no debe tener ventilación.

Iluminación dentro del panel: El panel no debe tener iluminación.

Funciones y componentes generales del panel:

1. Protección magneto térmica para el circuito de salida hacia alumbrado exterior de la planta y hacia alumbrado interior de la cabina.
2. Protección magneto térmica para el circuito de salida hacia aire acondicionado interior de la cabina.
3. Protección magneto térmica para el circuito de salida hacia toma corrientes interiores de la cabina.

### **Características del panel C04**

Tensión Nominal a manejar: 24 V DC.

Índice de protección: IP 65.

Ventilación del panel: El panel no debe tener ventilación.

Entradas y salidas: Las entradas y salidas de cables deben ir a borneras de entrada acorde a los calibres de los cables seleccionados

Iluminación dentro del panel: El panel debe tener iluminación.

Las funciones generales del panel son:

1. Controlar todo el accionamiento neumático de las válvulas
2. Distribución de las señales de entrada o salida hacia el TASTE.

### **Características del panel C05**

Tensión Nominal a manejar: 440 V AC, 220 V AC y 24 V DC.

Índice de protección: IP 50.

Entradas y salidas: Las entradas y salidas de cables deben ir a borneras, acorde a los calibres de los cables seleccionados. Las borneras de salida deben ser agrupadas por niveles de voltaje y debidamente señalizadas.

Ventilación del panel: El panel debe tener ventilación.

Las funciones generales del panel son:

1. Protección magneto-térmica general del panel.
2. Protección contra ausencia de fase y voltajes fuera de rango para 440 V AC.
3. Protección magneto-térmica para 24 V DC.
4. Protección magneto térmica para el arranque de los motores
5. Protección contra sobretensión provocada por descargas atmosféricas.
6. Protección magneto térmica y control sobre el circuito de salida hacia las electroválvulas.

## Anexo VII Listado de precios

<b>Instrumentación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precios (CUC)</b>	<b>Total (CUC)</b>
<i>ETP08-4820</i>	3	220	660
<i>Liquiphant FTL31</i>	6	116	696
<i>TM411-TI01038T/09</i>	6	87	522
<i>TMT182</i>	6	36	216
<i>CoriolisMaster MC2-ME23</i>	1	1320	1320
<i>Condumax CLS21D</i>	1	240	240
<i>Liquiline CM442</i>	1	636	636
<i>ST18</i>	3	110	330
<i>CERABAR M PMP48</i>	2	146	292
<i>CERABAR T PMC131</i>	2	129	258
<i>Proline Promass 83F</i>	2	525	1050
<i>Válvula PRABV1531-42</i>	2	920	1840
<i>Válvula QL63D- PN3530</i>	1	1229	1229
<i>Válvula KF73- PN3220</i>	1	1094	1094
<i>Válvula KE73- PN3430</i>	1	3480	3480
<i>Actuador neumático PN3630</i>	2	340	680
<i>Actuador neumático PN3325</i>	2	280	560
<i>Asiento y junta asiento DN50</i>	2	45	90
<i>Asiento y junta asiento DN65</i>	2	60	120
<i>Electroválvulas VUVG-S10</i>	23	62	1460
<i>Perfil Distribuidor de VUVG-S10</i>	2	74	148
<i>Variador G120C de 11KW</i>	1	1774	1774
<i>Variador G120C de 22KW</i>	1	4840	4840
<i>Variador G120C de 30KW</i>	1	5680	5680
<i>PLC S7-300 CPU 315-2 PN/DP</i>	1	5010	5010
<i>Módulo SM 321 de 16DI a 24V</i>	1	443	443
<i>Módulo SM 321 de 32DI a 24V</i>	1	890	890
<i>Módulo SM 322 de 16DO a relé</i>	3	890	2670
<i>Módulo SM 331 de 8AI</i>	4	1373	5492
<i>Módulo SM 332 de AO</i>	1	2215	2215
<i>ET 200M 153-4 PN</i>	1	847	847
<i>TP1500 Comfort</i>	1	6300	6300
<i>SCALANCE XB008G</i>	1	300	300

<i>Monobloc Spacial SM-NSYA</i>	1	525	525
<i>Mural de acero Spacial CRN</i>	1	548	548
<i>Compact NSX 100/250</i>	1	288	288
<i>Spacial SMX-CGPH2500BUCIB</i>	2	525	1050
<i>Total</i>		-	54605

### Producción de cítricos en el Combinado y precios actuales.

<b>Cítrico recibido (Toneladas)</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
Toronja	49390.00	51000.00	55000.00	55000.00	60000.00
Naranja	9100.00	10000.00	10500.00	10600.00	10700.00
Piña	2300.00	2400.00	2500.00	2500.00	3000.00
<b>Rendimientos (Tn de fruta/Tn de Concentrado)</b>					
Toronja	15.5	15.3	15.0	15.0	14.8
Naranja	13.0	13.0	12.5	12.4	12.4
Piña	13.5	12.8	12.8	12.8	12.5
<b>Concentrado (Tn)</b>					
Toronja	3186.45	3333.33	3666.67	3666.67	4054.05
Naranja	700.00	769.23	840.00	854.84	862.90
Piña	170.37	187.50	195.31	195.31	240.00
<b>Pecios de venta (USD/Tn)</b>					
Toronja	750.00	750.00	750.00	750.00	750.00
Naranja	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00
Piña	560.00	560.00	560.00	560.00	560.00
<b>Ingresos (USD)</b>					
Toronja	\$2,389,838.71	\$2,500,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$3,040,540.54
Naranja	\$420,000.00	\$461,538.46	\$504,000.00	\$512,903.23	\$517,741.94
Piña	\$95,407.41	\$105,000.00	\$109,375.00	\$109,375.00	\$134,400.00
<b>Ingresos Totales (USD)</b>	<b>\$2,905,246.12</b>	<b>\$3,066,538.46</b>	<b>\$3,363,375.00</b>	<b>\$3,372,278.23</b>	<b>\$3,692,682.48</b>

## Anexo VII Especificaciones y requerimientos del evaporador

**Vapor de agua:** Aproximadamente 5.000 kg/h entre 10 y 13 bar de presión desde la sala de calderas de vapor de la planta:

**Aire Comprimido:** La instalación requiere un caudal másico de aire comprimido de aproximadamente 300 l/min entre 6 y 7 bar de presión desde la sala de compresores de la planta, para abrir y cerrar las 23 válvulas electroneumáticas que son controladas por el sistema de automatización.

**Solución Cáustica:** La planta suministra una solución acuosa de hidróxido sódico (NaOH) entre el 1.5-2% de concentración, para ser utilizada como solución cáustica en los ciclos de limpieza y procesos CIP del evaporador.

**Agua de enfriamiento:** el consumo de agua de la TE es de 6 m<sup>3</sup>/h.

**La potencia del panel de fuerza (440V/3-60Hz) se muestra a continuación en la tabla:**

<b>TASTE 60K 7-9 de FOMESA</b>	<b>Potencia</b>
Agitadores de jugo	4.4 kW
Bomba alimentación de jugo	30 kW
Bomba de transferencia de jugo a la IV Etapa	19 kW
Bomba de transferencia de jugo a la VII Etapa	19 kW
Bomba de condensado vegetal	8.6kW
Bomba de concentrado final	22 kW
Bomba de recepción del agua de sellado	1 kW
Controles y miscelánea del panel de control	4 kW
<b>Potencia eléctrica aproximada requerida</b>	<b>107kW</b>

**Anexo VIII Aval del Combinado Agroindustrial “Victoria de Girón”**

8 de junio de 2017

De: Dirección de la UEB  
Combinado Industrial  
Héroes de Girón

A: Facultad de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Central de Las Villas

Por este medio se hace constar que el proyecto presentado por el estudiante Vicente Castillo Pérez, asesorado en la industria por Yusmeily Díaz Puebla y la Empresa CEDAI Villa Clara, el cual tiene como título: *Propuesta de Instrumentación para el evaporador TASTE FOMESA en la UEB Héroes de Girón de Jagüey Grande*, tiene gran importancia para la industria, específicamente para el desarrollo del proceso productivo. Una vez que se ponga en práctica la propuesta se esperan resultados positivos como: puesta en marcha del equipo que en la actualidad se encuentra fuera de servicio, aumento de la producción de jugos concentrados de diferentes variedades de fruta, aumento de la calidad requerida en el producto final e incremento de la eficiencia en el proceso productivo.

Para que así conste:

Ing. Yusmeily Díaz Puebla  
Especialista en Automática

Ing. Osmany García Cancio  
Especialista en Tecnología

