

# Acondicionamiento y control de un evaporador de doble efecto a escala piloto.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el tipo de instrumentación necesaria para controlar automáticamente un equipo concentrador de dos efectos a escala piloto, perteneciente a Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan. Las tareas realizadas en el presente trabajo se llevaron a cabo para cumplimentar parte de los objetivos de un proyecto de investigación que se está desarrollando en la Facultad de Ingeniería. Dentro de las tareas, se realizó el despiece del equipo, con lo que se determinó especificaciones técnicas necesarias, con las que luego, se calcularon los valores de cada corriente de proceso a través balances de masa y energía. A partir de esta información finalmente se decidió el tipo de sensor y su rango de trabajo. Finalmente se volcó toda esta información en un diagrama de flujo para dicho equipo.

Palabras Claves: Industria, Control, Concentrador, Instrumentación, Balance.

## ABSTRACT

This study aims to determine the type of instrumentation to automatically control a hub team of two pilot scale effects, belonging to Faculty of Engineering of the National University of San Juan. The tasks performed in this work were carried out to complete one of the objectives of a research project that is being developed at the Faculty of Engineering. Among the tasks, cutting equipment thus necessary technical specifications determined was conducted, with which then the values of each process stream is calculated by mass balances and energy, with this information finally decided the sensor type and range. Finally all this information turned in a flowchart of such equipment.

**Keywords:** Industry, Control, Concentrator, Instrumentation, Balance.

Ing. Carla Lorenzo <sup>1</sup>

Ing. Graciela Suárez<sup>2</sup>

Ing. Guillermo Sepúlveda<sup>3</sup>

Ing. Florencia Caamaño <sup>4</sup>

Ing. Adriana Jofre <sup>5</sup>

Facultad de Ingeniería,  
Universidad Nacional de San Juan.

<sup>1</sup> Ingeniera Química  
E-mail: inglorenzo@outlook.com.ar  
E-mail: clorenzo@unsj.edu.ar

<sup>2</sup> Ingeniera Química  
E-mail: ginsuarez@gmail.com

<sup>3</sup> Ingeniero Químico  
E-mail: gjlundblad@hotmail.com

<sup>4</sup> Ingeniera Química  
E-mail: florcaa@hotmail.com

<sup>5</sup> Ingeniera Química  
E-mail: adrianavjofre@hotmail.com

## I- INTRODUCCIÓN

La Argentina vende jugo concentrado de uva que produce a más de 30 países; se posiciona como uno de los mayores productores, dado que provee a un tercio del mosto concentrado que se consume en el mundo [1]. El mosto concentrado se exporta a los destinos y en los porcentajes que se detallan en la tabla I:

**Tabla 1: Principales clientes y porcentajes de exportación de mosto [2].**

Cientes	Federación de Rusia	Canadá	Japón	EEUU	Chile	Otros
% En Toneladas exportado por Argentina	9	7	11	55	7	11

Estos clientes presentan altas exigencias de calidad, que en algunos casos, por falta o sistemas de control automático ineficientes, no pueden ser cumplidas por los productores argentinos. Por esto se advierte gran interés, por parte de los productores y fraccionadores de mostos, en mejorar

la competitividad de sus productos, sobre todo en aspectos que hacen a la calidad como son: la estabilidad, el color, el tenor de azúcar, etc.

Las provincias que hacen el mayor aporte en la producción del mosto que se exporta de Argentina son las provincias de San Juan y Mendoza.

**Tabla 2: Cantidad de mosto producido en San Juan y Mendoza [2].**

PROVINCIA DE ORIGEN	TIPO	GRANEL					TOTAL Hectolitros	TOTAL miles de dolares
		Bins	Flexi-Tank	Tambor	Tank-Tainer	Tanque		
MENDOZA	MOSTO CONCENTRADO	8.350,86	29.198,16	20.110,62	540,00	1.247,22	58.446,86	13.547,86
	MOSTO SULFITADO	-	3.390,00	-	-	-	3.390,00	126,13
	Total MENDOZA	8.350,86	32.588,16	20.110,62	540,00	1.247,22	62.836,86	13.673,99
SAN JUAN	MOSTO CONCENTRADO	9.404,48	19.919,89	13.351,81	-	-	42.676,18	9.651,51
	MOSTO CONC.ALCOHOLIZADO	-	1.422,00	2.140,22	-	-	3.562,22	905,30
	Total SAN JUAN	9.404,48	21.341,89	15.492,03	-	-	46.238,40	10.556,81
TOTAL MOSTOS		17.755,34	53.930,05	35.602,65	540,00	1.247,22	109.075,26	24.230,80

60



El jugo concentrado de uva es muy significativo para el desarrollo económico de la Provincia de San Juan-Argentina, dado que es uno de los productos de exportación más vendidos por Argentina como se observó en la tabla 2. Según estadísticas del I.N.V (Instituto Nacional de Vitivinicultura), la provincia de San Juan exportó durante el año 2014 un volumen total de 880862 Lt [3].

En la ley 14878 art. 17 se define al mosto concentrado de uva como: mosto de la uva en sus diversos grados de concentración mediante procesos térmicos, al vacío o al aire libre, sin haber sufrido caramelización sensible. El mosto se concentra por deshidratación parcial, para lograr un grado de concentración que impida su fermentación espontánea. Los mostos antes de ser concentrados tienen aproximadamente 20° brix (20gr de sacarosa en 100gr de mosto), y luego de concentrados pasan a tener entre 65-70° brix; esta concentración es la deseada para su comercialización.

El jugo de uva concentrado, se obtiene a partir del jugo de uva y la operación unitaria más importante para su obtención, es la concentración, dado que de ella depende en gran parte la calidad del

producto. Esta etapa debe ser rigurosamente controlada, para eliminar las perturbaciones que afectan la operación estable del equipo y así preservar la calidad del producto. Este producto se utiliza para la elaboración de jugos mezclas, golosinas, dulces, mermeladas, jaleas, galletitas, pan, como edulcorante de bebidas gaseosas y en la industria farmacéutica. Asimismo, actualmente, se incrementó la demanda por la tendencia de los consumidores de incorporar una alimentación sana y natural a sus dietas, lo que favorece la venta de mosto por ser el edulcorante natural por excelencia.

El objetivo del proyecto donde está inmerso este trabajo de investigación, es la obtención de datos reales a escala piloto de los parámetros de evaporación. Esto se logrará utilizando un evaporador a escala piloto del Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Provincia de San Juan, del cual antes de este trabajo no se poseían los datos técnicos mínimos necesarios para poner en marcha el concentrador, por lo que se tuvo que iniciar por desarmar el equipo y hacer un despiece del mismo para evaluar datos constructivos como son: dimensiones, mate-

riales, sentido flujo y caudales de las corrientes de alimentación, vapor, producto, etc). Esto con el objetivo final de instrumentar, automatizar y controlar dicho equipo. Dado que la dificultad que se presenta con respecto a al jugo de uva de concentrado es la falta de información experimental, para validar sistemas de control obtenidos en investigaciones anteriores, por lo cual solo han sido probados en simuladores informáticos, faltando aun su validación a escala piloto, para luego escalarlos a nivel industrial. Por esto el equipo será utilizado entre otros fines, para ensayar distintos algoritmos de control (obtenidos en investigaciones anteriores) para determinar, cual es el adecuado para controlar los equipos concentradores de la industria del jugo de uva concentrado. Profundizando sobre todo en lo relacionado al control de temperatura y concentración.

La importancia de este trabajo radica en la necesidad de la industria concentradora de cumplir con los estándares internacionales, para exportación, que si bien en la actualidad exportan, si mejoraran la calidad del producto podrían ingresar a nuevos mercados.

Si bien se toma a la industria concentradora de jugo de uva (Mosto), como punto de partida, debido a que en el lugar donde se desarrolla el proyecto (provincia de San Juan-Argentina) y en la actualidad es uno de los productos de mayor auge (por ser un producto de exportación lo cual trae aparejado una alta rentabilidad para la provincia). Los resultados de la investigación se pueden adaptar a cualquier proceso de concentración con solo modificar un poco los parámetros utilizados.

La decisión de tomar un equipo a escala piloto proviene de las virtudes que traen aparejadas los mismos, una de las principales es ser de 6 o 8 veces más chico que el utilizado por la industria, más allá de ser conveniente ya que la inversión es mucho menor, un equipo de esta escala nos brinda la practicidad de poder ensayar sin tener el problema de pérdidas de grandes volúmenes de materia prima, como pasaría si tuviéramos que ensayar en un equipo de la industria actual, los cuales manejan caudales muy importantes. Además de la materia prima otro punto a tener en cuenta es el peligro que correrían estos equipos tan costosos como son los que se utilizan en la industria concentradora, dado que si alguna de las pruebas fallaran, como por ejemplo el control de temperatura, aumentaría la misma, haciendo que se caramelize el

jugo de uva dentro los tubos, lo cual arruinaría los tubos y por tanto el concentrador, provocando además que se detenga el proceso.

Para la puesta en marcha y control de este equipo, primero hay que instrumentarlo de manera correcta, es decir seleccionar el tipo y rango de la instrumentación a colocar, basándonos en el conocimiento de los valores que toman las propiedades de las corrientes del proceso. Para esto es necesario tener los datos técnicos del equipo, conocer su diagrama de funcionamiento y determinar los valores para las distintas variables de sus corrientes de entrada y salidas.

La obtención de estos valores se realizará a través de un balance de masa y energía el equipo, además de otros cálculos auxiliares necesarios. Este objetivo forma parte de un proyecto de investigación, cuyo objetivo general es realizar un estudio exhaustivo del comportamiento del mosto a lo largo de su cadena productiva, con el fin de detectar cuales son las falencias, e intentar solucionar las mismas con la ayuda del control automático.

Esta presentación abarcará solo la primera parte de la investigación por lo tanto el objetivo es determinar especificaciones técnicas, balance de masa y energía, en conjunto con un diagrama de flujo de dicho equipo (que además incluye el cálculo de cada corriente de proceso). Para finalmente con esta información decidir el rango de trabajo y tipo de sensor a utilizar para instrumentación, automatización para la puesta en valor del equipo.

## 2 - PARTE EXPERIMENTAL:

Para obtener los datos del equipo se realizó el despiece del mismo, con lo cual se logró determinar las características técnicas que a continuación se detallan:

Datos técnicos del equipo:

- Evaporador Modelo EV 2-030, de película ascendente, de 2 efectos. Cada efecto tiene una carcasa de acero inoxidable de 1 m de altura (sin los cabezales) y 40 cm de diámetro en su interior posee 5 tubos de acero inoxidable de 1" de diámetro y 1m de largo. Cada tubo tiene un área de intercambio de 0.08 m<sup>2</sup> por lo que en total el área de intercambio total de cada efecto es de 0.4m<sup>2</sup>. En la figura 1 y 2 se observa una fotografía del equipo.

- Bomba de alimentación: 0.5hp - 3000 rpm.

- Bomba de extracción de concentrado: 0.5hp - 3000 rpm
- Sistema de condensado: Bomba de vacío de anillo líquido con motor de 3HP-3000rpm

- Condensador de superficie de 2 pasos (8 tubos acero inoxidable por paso, de 1/2" de diámetro, material AISI 304.
- Cañerías: de acero inox. AISI 304 D: 3/4".

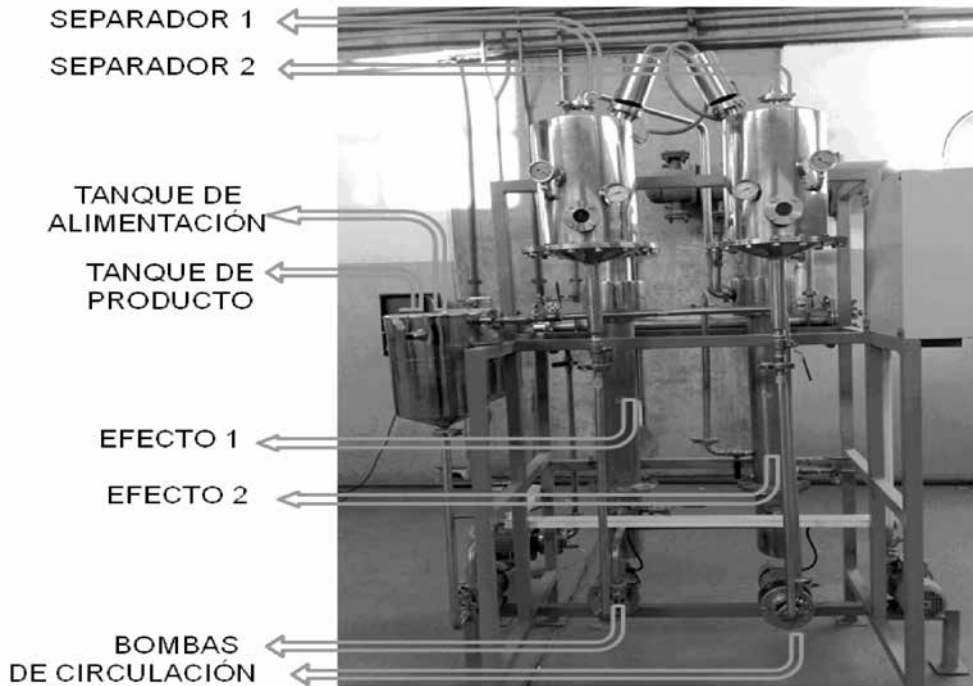


Figura 1: Vista frontal del Concentrador



Figura 2: Vista Lateral del Concentrador

**Tabla 3: Parámetros de producción y temperatura del concentrador**

	Alimentación	Producto	Agua evaporada	Vapor vivo	Agua de condensado
Caudal kg/h=	45	15	30	25	1100
Brix	22°	68°	-	-	
T °C	20°	45°	105°	127	Entrada: 20° Salida:38°
Presión				1.5kg/cm <sup>2</sup>	

Utilizando toda la información disponible se confeccionó el balance de masa y energía del evaporador, basándose en los procedimientos tomados de la bibliografía [5];[6], especificaciones técnicas del equipo y con ayuda de algunos cálculos

auxiliares, se calcularon valores numéricos para las corrientes, los cuales se colocaron luego en el diagrama de flujo. A partir de éste se seleccionó la instrumentación para el equipo.

### 3- RESULTADOS

#### 3.1- Balance de masa y energía del evaporador

**Balance de masa global:**

$$W_f = W_{C3} + W_2 \quad (1)$$

Balance de masa para el 1° efecto:  $W_f = W_{s1} + W_1 \quad (2)$

Balance de masa para el 2° efecto:  $W_1 = W_{s2} + W_2 \quad (3)$

Además se conoce que:  $W_{C3} = W_{s1} + W_{s2} \quad (4)$

**Balance global de soluto (sacarosa):**

$$W_f * x_f = W_{C3} * x_{c3} + W_2 * x_2 \quad (5)$$

Balance de soluto para el 1° efecto:  $W_f * x_f = W_1 * x_1 \quad (6)$

Balance de soluto para el 2° efecto:  $W_1 * x_1 = W_2 * x_2 \quad (7)$

**Balance global de solvente (agua):**

$$W_f * (1 - x_f) + W_{s0} = W_{C1} + W_{C3} \quad (8)$$

Balance de solvente para el 1° efecto:  $W_f * (1 - x_f) = W_{s1} + W_1 * (1 - x_1) \quad (9)$

Balance de solvente para el 2° efecto:  $W_1 * (1 - x_1) = W_{s2} + W_2 * (1 - x_2) \quad (10)$

**Balance de energía:**

Para el 1° efecto:  $W_f * H_f + W_{s0} * \lambda_{s0} = W_{s1} * H_{s1} + W_1 * H_1 \quad (11)$

Para el 2° efecto:  $W_1 * H_1 + W_{s1} * \lambda_{s1} = W_{s2} * H_{s2} + W_2 * H_2 \quad (12)$

## Referencias:

1° letra		2° o 3° letra	
W	Caudal másico (Kg/h)	c	Condesado
T	Temperatura (°C)	s	Vapor
H	Entalpía del vapor (Kcal/kg)	f	Alimentación
h	Entalpía del liquido(Kcal/kg)	0	Vapor vivo
x	Fracción másica del soluto	l	Corresponde al 1° efecto
$\lambda$	Calor latente(Kcal/kg)	2	Corresponde al 2° efecto

Con las especificaciones técnicas que se tenían del equipo, la información obtenida del despiece y la determinación de los valores de entalpía de las corrientes (que se calcularon utilizando tablas de bibliografía [7] y corroborando con páginas de cálculo que se encuentran en la web [8]) se obtuvieron los valores de cada una de las corrientes

de entrada y salida. Para una mejor visualización se colocó toda la información recaudada en el diagrama de flujo (Ver Figura 3). Teniendo toda la información necesaria se consultó la bibliografía sobre instrumentación [9]; [10] y se decidió la instrumentación a colocar en el equipo para realizar un posterior control automático, la cual se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4: Instrumentación seleccionada



Variable a medir	Instrumento seleccionado	Rango De medida
Caudal	Caudalímetro electromagnético	0 lt/hs - 65 lt/hs
Concentración	Refractómetro en línea	10°brix - 80°brix
Temperatura	Termocupla	20°C - 200°C

Para una mejor visualización se colocó toda la información obtenida en un diagrama de flujo, el cual se observa en la figura 3. En el mismo se muestra tanto los datos calculados de cada corriente como así también la ubicación de los sensores de temperatura, concentración y caudal.

Además del instrumental que se detalló en la tabla 4, se decidió instalar una tarjeta de adquisición de datos y un puerto de conexión a través de los cuales se conectará el instrumental a una PC, para obtener un registro continuo de los parámetros de operación del equipo.

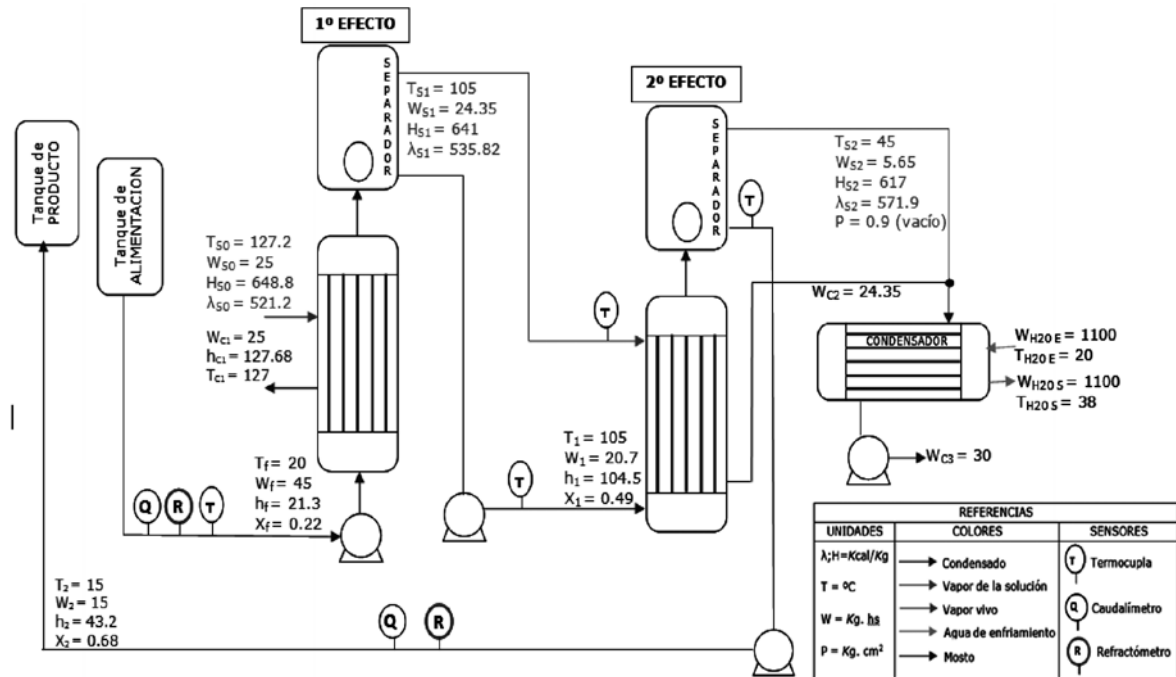


Figura 3: Ubicación de la Instrumentación en el diagrama de Flujo

#### 4 - CONCLUSIONES

En base a la información preexistente más la obtenida en este trabajo, y de la consulta de la bibliografía [9]; [10], se definió la instrumentación requerida por el equipo para su funcionamiento. Asimismo se ha decidido instalar una tarjeta de adquisición de datos para obtener un registro continuo de los parámetros de operación del equipo. La tarea realizada permitirá mejorar y desarrollar nuevos vínculos entre la industria y la universidad, ya que se podrán ensayar posibles soluciones a las distintas problemáticas planteadas por algunos representantes de la Industria mostera ante la universidad. Además permitirá afianzar el vínculo de los alumnos con la investigación, dado que se brindará un equipo concentrador que estará a disposición tanto de los alumnos de los años superiores de ingeniería, como del resto de los grupos de investigación, para realizar ensayos que pongan en práctica los resultados de las distintas investigaciones que se están llevando a cabo sobre el tema, comprobando la utilidad de los mismos.

#### 6 - BIBLIOGRAFÍA

- [1] [http://www.inv.gov.ar/inv\\_contenidos/pdf/estadisticas/vinos/mostos/ComercioMundialMostos-2013.pdf](http://www.inv.gov.ar/inv_contenidos/pdf/estadisticas/vinos/mostos/ComercioMundialMostos-2013.pdf)
- [2] INV (2012), Estadísticas de exportaciones, recuperado 5/11/2012 de: <http://www.inv.gov.ar/PDF/Estadisticas/Exportaciones/2012/ProvinciaOrigenAgosto2012.pdf>
- [3] Fuente: Centro de estadísticas del Instituto Nacional de Vitivinicultura - Sist. Informático María. (<http://www.inv.gov.ar/>).
- [4] [www.Cofecyt.mincyt.gov.ar/pcias\\_pdfs/san\\_juan/UIA\\_vitivinicola\\_08.pdf](http://www.Cofecyt.mincyt.gov.ar/pcias_pdfs/san_juan/UIA_vitivinicola_08.pdf)
- [5] Kern Donald. "Procesos de Transferencia de Calor". México. Editorial CECSA. 1999.
- [6] Cao, Eduardo. "Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos". 2ª edición. Argentina. Librería Editorial Nueva. 2004.
- [7] Perry, Green, Maloney. "Manual del Ingeniero Químico". 7ª edición. México McGraw-Hill. 1992
- [8] [www.tlv.com](http://www.tlv.com). TLV- Compañía especialista en vapor, recuperada 15/10/2012 de <http://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-table-temperature.html>
- [9] Creus Sole, Antonio. "Instrumentación Industrial". 7ª edición. México. Editorial Alfaomega. 2006.
- [10] Acedo Sánchez, José. "Instrumentación y Control Avanzado de Procesos". Madrid, España. Editorial Díaz de Santos. 2006