

Diseño de la Instrumentación para planta de cerveza

Sebastián Rangel Molano, Juan Fernando Herrera Rincón
 Universidad Santo Tomás
 Bucaramanga, Santander, Colombia
 sebastian.rangel@ustabuca.edu.co, juan.herrera@ustabuca.edu.co

Abstract — This project describes the process to make a instruments selection , or better called the instrumentation, for a micro brewery plant, from the main process called cooking to the methods used to control the variables of the process, in which case this paper will make some recommendations to improve the process, this way the students of industrial instrumentation area or a major related will have a better perspective of how to approach to a case where they need their knowledge to solve real instrumentation problem.

Keywords:

Instrumentation, automation, beer, temperature, pressure, flow, PLC, processes, grafcet, sensors, actuators, automated beer plant, mechatronic design.

Resumen — Este proyecto describe el proceso para hacer una selección de instrumentos, o la instrumentación, para una planta de micro cervecería, desde el proceso principal llamado cocción hasta los métodos utilizados para controlar las variables del proceso, en cuyo caso este documento hará algunas recomendaciones para mejorar el proceso, de esta manera, los estudiantes del área de instrumentación industrial o un área relacionada tendrán una mejor perspectiva de cómo abordar un caso en el que necesitan sus conocimientos para resolver un problema real de instrumentación.

Palabras clave: Instrumentación, automatización, cerveza, temperatura, presión, flujo, PLC, procesos, grafcet, sensores, actuadores, planta de cerveza automatizada, diseño mecatrónico.

I. INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías proponen avance, creación y experimentación de las diferentes ramas como la Automatización. En ella se sustituyen sistemas manuales por sistemas autónomos, los cuales incorporan diferentes sensores y actuadores que proporcionan un rendimiento óptimo del sistema. Uno de los usos de la automatización es la construcción de diferentes plantas que cumplen con ciertos procesos industriales, en este caso una planta de cerveza industrial.

En la actualidad el consumo de cerveza en el mercado, es una

de las mas conocidas no solo a nivel nacional, sino también a nivel internacional. Y con esto los índices de consumo, aceptabilidad y consultas se ha obtenido que es un buen momento de negocio aun siendo en el ámbito de cerveza artesanal. Este trabajo tiene como fin el ser una contribución para la construcción de una planta de cerveza, en el análisis de su instrumentación y actuadores utilizados en esta. Las plantas de cerveza tienen un área ilimitada dependiendo de su uso sea industrial, o casera. En este caso nos enfocaremos en nuevas implementaciones de planta, para poder analizar, observar y caracterizar los diferentes instrumentos usados en una planta industrial.

La implementación de nuevos diseños, nuevas rutinas y software, permiten a la planta mejorar su desempeño, siguiendo el mismo proceso, pero aplicando el uso de diferentes tecnologías que ayudan a que su proceso sea más fácil y eficaz. Por esta razón, en este proyecto se tendrá en cuenta el tipo de tubería que puede tener una planta dependiendo la presión de cada entrada y salida de los tanques, identificar los instrumentos adecuados en diferentes puntos críticos de control, teniendo en cuenta las diferentes variables que se pueden tener, como las señales, niveles, temperatura, flujo, presión, conductividad entre otros. Y de esta manera ya conociendo las necesidades del proceso hacer selección del PLC para aplicar la automatización, y tener la solución del proceso.

Para llevarlo a cabo, se aplicarán los conocimientos adquiridos en las diversas disciplinas del área de la instrumentación, control y sistema de control con el fin integrarlos a la automatización.

II. ESTUDIO DEL PROCESO PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA

A. Descripción del Proceso de Elaboración de la Cerveza

Un proceso de elaboración en general se divide en 4 etapas:

- Cocción
- Fermentación
- Embotellado
- Maduración

La fase de cocción es la mas importante, pues incluye varios subprocesos como: Maceración, aspersión y ebullición, donde se adicionan los diferentes ingredientes a diferentes

temperaturas que aportan las características distintivas del tipo de cerveza que se esta preparando.

Cada etapa tiene sub-etapas que dependen del tipo de cerveza que se va a elaborar. En este caso se aplicará para una cerveza artesanal oscura tipo Porter Ale.

A continuación, se describe el proceso para elaborar 50 L de este producto.

- *Características de la Cerveza Tipo Porter Ale:*

- Gravedad Original 1053/1055
- APV Estimado 5'6%
- Color 78 EBC
- Volumen final de la receta 44 L
- Gravedad Final 1010/1012
- Amargor 29 IBU
- Agua Total 69,6 Litros

- *Ingredientes:*

- 10 Kg Malta Pale Ale 7 EBC
- 1.4 Kg Malta Cristal 120 EBC
- 300g Malta Chocolate 900 EBC
- 300g Malta Negra 1400 EBC
- 600g Malta de trigo 5 EBC
- 600g Copos de Avena
- 72g Lúpulo EK Goldings 60 minutos de hervor 24 IBUS
- 20g Lúpulo EK Goldings 30 minutos de hervor 5 IBUS
- 40g Styrian Goldings fuego apagado 0 IBUS
- 2 cucharadita de postre de Irish Moss faltando 15 minutos de hervor
- 23g (2 sobres) Levadura Fermentis S-04

- *Primer Paso: Maceración o Mashing (Hot Liquor Tun):*

Macerar 3L por Kg de malta a 67°C +/-3 °C (40 Litros de agua) durante 90 minutos.

En este tiempo los almidones se convierten en azúcar. El resultado final es un mosto dulce y nutritivo.

- *Segundo Paso: Aspersión o Sparging (Mash Lauter Tun):*

Calentar 30 litros de agua a 78°C grados que hacen falta para detener la maceración y matar todas las bacterias, recirculamos el mosto hasta que salga limpio y lavamos manteniendo una temperatura de 76-78°C.

El lavado o sparging es parte importante del Lautering que consiste en separar la masa del mosto líquido claro y el grano residual. Este consiste generalmente en 3 pasos: mashout (filtrado), recirculación y recarga. Se vierte el agua caliente despacio y en pequeños chorros a la vez que se recoge por el

grifo inferior del recipiente, ya filtrado. Hay que recoger y recircular hasta que el líquido salga limpio.

- *Tercer Paso Ebullición (Boiling Kettle)*

Se llena el tanque de ebullición, se coloca a hervir el mosto, y se empieza las adiciones de lúpulo, que tienen tres funciones específicas de dar el amargo, la segunda sabor y el tercero el aroma.

Tenemos unos 52 litros de mosto que llevaremos a ebullición durante 60 minutos agregando los lúpulos:

- 1) 72g Lúpulo EK Goldings al principio del hervor 60'
- 2) 20g Lúpulo EK Goldings quedando 30' para finalizar el hervor
- 3) 2 cucharadita de postre de Irish Moss faltando 15 minutos de hervor
- 4) 40g Styrian Goldings fuego apagado

- *Cuarto Paso: Fermentación*

Cuando apaguemos el fuego tendremos un líquido caliente y dulce fácilmente colonizable por bacterias y hongos indeseables. Para limitar al máximo este periodo de tiempo se debe bajar la temperatura rápidamente a 20 grados Celsius para poder añadir las levaduras así:

23g de levadura Fermentis S-04 hidratada y mantener durante 8 días a 20°C o hasta que termine la fermentación.

Opcional trasvasar a secundario y dejarlo 7 días a 12°C.

- *Quinto Paso: Embotellado*

Los envases tienen que estar bien esterilizados con productos específicos. Conviene no mezclar la cerveza con aire, Se debe carbonatar la cerveza con 2.5 volúmenes de CO₂, o opcionalmente, se puede añadir a las botellas 7g/L de azúcar de caña (priming) para este efecto.

Trasvasar el líquido del depósito de fermentación a un nuevo depósito de envasado (Bright Beer Tank), para conseguir que quede una mezcla homogénea y que gasifiquen todas las botellas por igual.

- *Sexto Paso: Maduración:*

La cerveza de esta receta tiene que reposar un mes y medio antes de consumirla. Es un producto "vivo" y en evolución. La temperatura tiene que ser la adecuada para que las levaduras puedan hacer una correcta carbonatación.

Mantener durante 7 días a 20°C y después acondicionar 5 semanas a unos 10°C

B. Descripción de las etapas de la automatización (Grafcet)

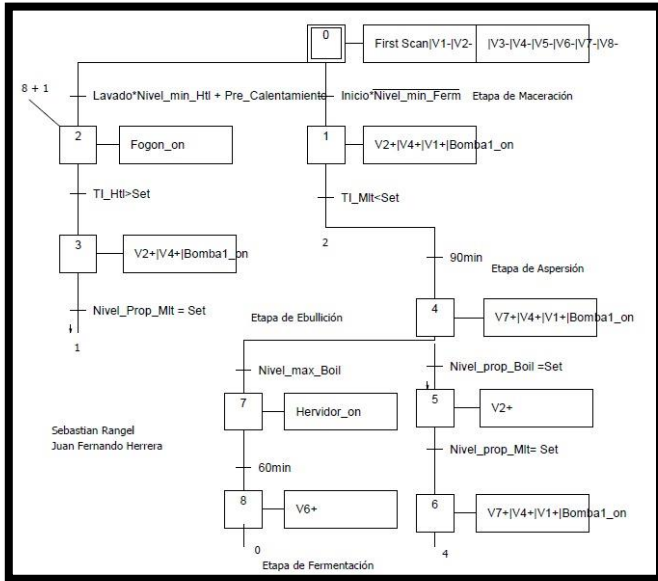


Imagen 1. Grafcet

C. Lista de Entradas y Salidas de la Automatización del Proceso.

Del diagrama de procesos Grafcet se obtuvieron las entradas y salidas que son los instrumentos que se usan para sensar y actuar en las diferentes etapas.

Entradas y Salidas

- Válvulas Selenoides (8)
- Transmisor Indicador de Temperatura (4)
- Medidor Indicador de Flujo (3)
- Bombas Centrifugas (2)
- Sensor de Nivel Digital Capacitivo (3)
- Sensor de Nivel Analogo Optico (2)
- Counterflow Chiller
- Ignición para estufa de gas (2)

5) RESULTADOS

Para un buen proceso para producción de la cerveza se debe tener unas consideraciones de automatización para obtener un resultado del proceso efectivo, donde vamos a usar para el desarrollo del control del proceso un PLC industrial vinculado a pantalla HMI, lo cual con el uso de este nos da a requerir una buena selección del equipo para poder controlar, este método nos ofrece mayor robustez, y también nos da la característica necesaria para el mercado de carácter industria.

A. Criterios de Selección de las Entradas y Salidas.

El proceso de automatización se lleva acabo por medio de subprocesos que son las etapas de maceración, aspersión y evaporación.

Para poder seleccionar correctamente el PLC, debemos elegir las funcionalidades que dispondrá el usuario, así como también, elegir correctamente las entradas y salidas. Para esto se hizo el análisis del proceso, y considerando todas las variables a medir.

Nombre	Etapas	Tipo de entrada	Conectada	Descripción
Sensor de temperatura	Precalentamiento	Análogica	PLC	Medición de temperatura para el precalentamiento del tanque.
Sensor de temperatura	Ebullición	Digital	PLC	Medición de temperatura del proceso de ebullición.
Sensor de nivel	Precalentamiento, ebullición, maceración.	Digital	PLC	Medición de nivel máximo de los tanques.
Sensor de nivel	Precalentamiento, ebullición, maceración.	Digital	PLC	Medición de nivel mínimo de los tanques.

Tabla 1. Entradas para el proceso

Nombre	Etapas	Tipo de salida	Conectada	Descripción
Electroválvula 1	Todas	24vdc/220vac	PLC	Para llenado de tanques
Electroválvula 2	Todas	24vdc/220vac	PLC	Para trasvase entre tanques.
Electroválvula 3	Todas	24vdc/220vac	PLC	Para recirculación de tanques
Electroválvula	Todas	24vdc/220vac	PLC	Para el ingreso de agua al intercambiador de calor
Bombas	Todas	220 VAC	PLC	Bombas asociadas a electroválvulas.
Calentadores	Todas	Gas, resistencia	PLC	Quemador de gas que va comandado por electroválvulas resistencias para mantener temperatura en procesos de calentamiento.

Tabla 2. Salidas del proceso

En relación a la pantalla HMI, nos enfocamos en usar una pantalla táctil, a color, para lograr una mejor interfaz hombre-maquina, mostrando con mejor calidad el proceso y la etapa en la que se encuentra. Dentro de las diferentes alternativas analizadas, se consideraron PLC'S y pantallas HMI de las firmas Siemens, schneider Elecrtic, todo estos equipos analizados y sumados a sus módulos de expansión y puerto de comunicación para la conexión con la pantalla HMI. Los equipos encontrados fueron:

Marca	Lenguaje de prog	Software de prog	Alimentación Eléctrica	Aplicación
Siemens S7-200	KOP(escalera) FUP(booleano) AWL	Step 7 micro/WIN	VDC+24 v VAC265 v	Gama media alta
Schneider m340	Ladder AWL Lenguaje de bloques	USB 2.0	VDC: 24V, 48 V, 125 V. Vac: 110v,230v	Gama alta
Festo CPX-CEC-M1-V3	KOP(Escalera) Lista de instrucciones (con FSST)	Profinet GSDML	VDC: 24 v	Gama media alta

Tabla. 3 Cuadro comparativo para uso del PLC

B. Selección de la Instrumentación.

Sensor de temperatura

Para la medición por medio de una entrada analógica del PLC (pt100/ termocupla) o bien un equipo configurable la cual se le indique una temperatura consgna y una vez

obtenido ese valor, mediante una salida digital propia, active una de las entradas del PLC para indicar que la temperatura del liquido dentro del tanque. Debido a esto se decide analizar el sensor de temperatura PT100, considerando que el PLC cuenta con dos entradas que son usadas para este tipo de sensores y no sería necesario ningún tipo de escalamiento, o algún circuito anexo.



Imagen 2. Sensor de temperatura PT-100

Este sensor tiene una resistencia eléctrica de 100 Ohm A 0°C, la cual se incrementa al aumentar la temperatura. El sensor no produce un aumento lineal, pero el PLC es capaz de linealizarlo automáticamente con solo informarle el coeficiente de temperatura. Este trabaja desde -20 °C hasta 500 °C y este se encuentra en el rango perfecto para nuestros procesos.

Sensor de nivel

Para la selección de este sensor se debe conocer la cantidad de litros que puede almacenar cada tanque. Se analizan diferentes sensores analógicos para obtener el valor de la altura de liquido contenido dentro de cada tanque, y realizando un cálculo indirecto para poder conocer la cantidad de litros. Los sensores que se analizan tienen que ser de tipo industrial para una buena eficiencia y durabilidad, pueden ser ultrasónicos o de presión. Estos se encontrarán ubicados en la parte superior del tanque, y en la parte inferior de este, y la ubicación de la parte inferior tiene un pequeño inconveniente debido a que se encuentra cerca al algún quemador, teniendo que aguantar altas temperaturas. Por esto se opta por analizar un sensor ultrasónico, pero es mas complejo ya que son muy limitados y costos, por lo que se decide probar con el sensor de presión de aire del tipo diferencial de la familia PMX de Freescale. (MPX5999D).

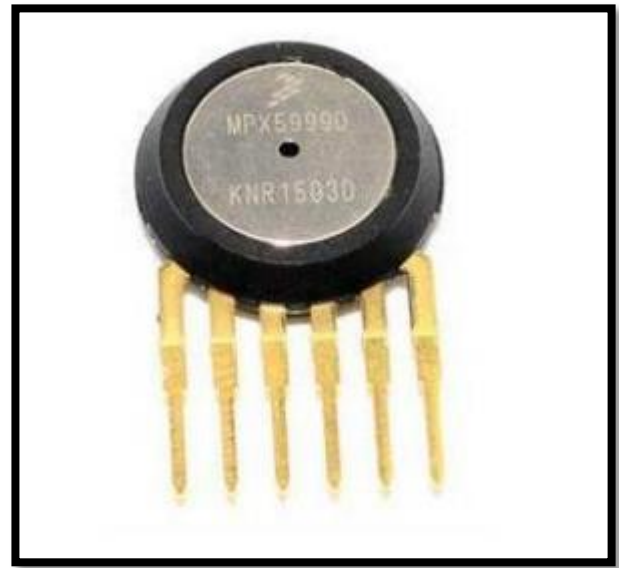
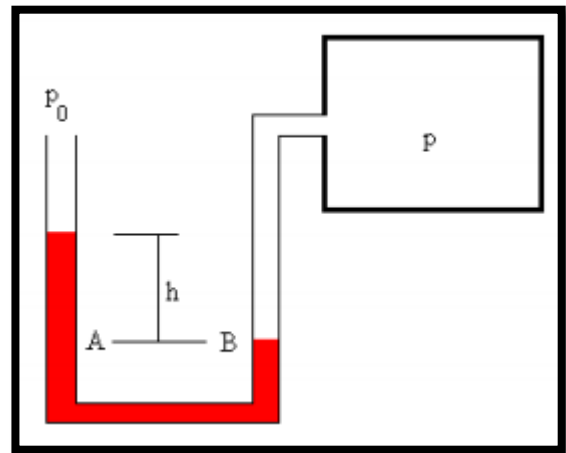


Imagen 3. Sensor de presión MPX5999D

Ese sensor se podrá usar con el principio del manómetro en “U”, para calcular la altura del líquido dentro de cada tanque.



$$P = P_0 + \rho * g * h$$

Siendo para nuestro caso:

- P: Presión dentro del tubo conectado al sensor
- P0: Presión atmosférica
- g: Fuerza de gravedad
- h: Altura del líquido dentro del tanque
- ρ: Densidad del líquido dentro del tanque

Despejando la altura obtenemos la siguiente ecuación:

$$h = (P - P_0) / (\rho) * (g)$$

Aun así, para tanques de gran volumen no sería suficiente, ya que al realizar el análisis más profundo acerca de este método de medición, y no será eficiente.

Por lo que se decide optar por otra opción más eficaz y con más tecnología, se desea analizar un caudalímetro electrónico, logrando la medición indirecta pero instantánea del nivel del tanque, a través del caudal del líquido que ingresa y egresa a la misma, y del mismo modo se hace el análisis del caudal, la precisión de este dispositivo es de 2 mililitros, ofreciéndonos 500 pulsos por cada litro de líquido que fluye a través de él.

La capacidad varía desde un mínimo de 1 litro hasta 30 litros como máxima, para conocer en todo momento el nivel del agua dentro del tanque, se debería agregar en la salida y entrada un dispositivo de estos.



Imagen 5. Caudalímetro electrónico

Electroválvulas para líquidos

Para poder escoger un buen dispositivo, se analiza las diferentes necesidades de nuestra planta: Tener accionamiento de 220 V o 24 V de alterna, sin caudal mínimo requerido para su apertura, temperatura mínima soportada, caudal mínimo de trabajo 20 L/min.

Como este estará en contacto con productos de consumo humano, se opta por usar electroválvulas con cuerpo de acero inoxidable, y además este es de fácil limpieza. El asiento es más común para altas temperaturas es de vitón. El diámetro es de 1/2" para garantizar que las bombas funcionen en velocidades que no consuman mucho.

Analizando lo anterior, se opta por la electroválvula de industria brasilera "Thermoval", cuya referencia es de "220086"



Imagen 6. Electroválvula para líquidos.

Bomba

La bomba que se espera utilizar, teniendo en cuenta el caudal mínimo requerido se define en base a la decisión de realizar los diferentes trasvases que se van a realizar de un tanque a otro en un tiempo definido, esto considerando que se va a trabajar con altos volúmenes, lo cual hará que se maneje en promedio un caudal de 20 L/min, en la recirculación de todo el proceso.

Al igual que en las electroválvulas, se debe usar una bomba con condiciones aptas para trabajar con alimentos y capaces de soportar temperaturas de 80°C. Para mayor efectividad se trabajará con una bomba de accionamiento magnética, y garantizando que ningún rodamiento lubricado entre en contacto con el líquido que bombea, evitando cualquier tipo de contaminación. La bomba que cumple con estas características es la "MKII" del fabricante australiano "Keg-king".

Sus características principales son:

- Alimentación: 220 volt
- Carcasa: acero inoxidable
- Impulsor interior: polisulfona de grado alimenticio resistente hasta 140 °C
- Flujo máximo: 19 litros/minuto

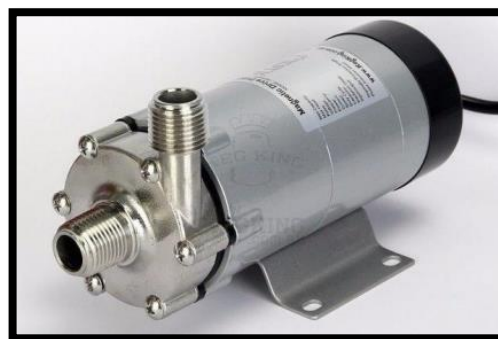


Imagen 7. Bomba

Calentadores con válvula

Para este proceso se debe tener en cuenta que el proceso maneja gran volumen de líquido para calentar a una temperatura cercana a los 80 °C, se define que en un determinado tiempo debe ser logrado este objetivo, dependiendo del volumen, pero esta en un promedio de 30 min. Teniendo en cuenta la temperatura como referencia, se toma una inicial de 13°C, y para esto será necesario un calentador de 50000 Kcal para alcanzar la meta.

El modelo encontrado es el "QPL300C", cumple con las características para la etapa, es un calentador de 50000 Kcal, con electroválvula de encendido automático, piloto, válvula de seguridad y filtro de gas incluido de la marca "cofaco", aunque para reducir costos y con un mismo funcionamiento se usarían dos calentadores de 24000 kcal y se colocarían en paralelo, y para el accionamiento de este, se usa una electroválvula combinada, con sistema de seguridad por termocupla y piloto "Honeywell". El modelo escogido es

“VR8300A4805”, tiene que ser encendido de forma manual, y luego se usa el PLC para encender los calentadores.



Imagen 8. Calentador



Imagen 9. Electroválvula de gas “Honeywell”

C. Descripción del Proceso Automatizado

Una vez teniendo los Instrumentos y el diagrama de proceso podemos realizar el P&ID de la planta tal y como será construida en un proyecto posterior.

Aquí es fácilmente observable donde se encuentran los instrumentos que sensan y actúan en el diagrama de proceso por etapas Grafcet.

Ejemplo: Para hacer la recirculación de agua en la Aspersión como lo muestra la etapa 4 es necesario la activación de las válvulas V7, V4 y V1, y la bomba hace circular el agua que lava desde el tanque de pre calentamiento o HLT por sus siglas Heat Lauter Tun, hacia el MLT o Mash Lauter Tun y derivar en el tanque Boil o de hervido.

A continuación, se muestra un ejemplo de los tanques reales construidos para este fin.

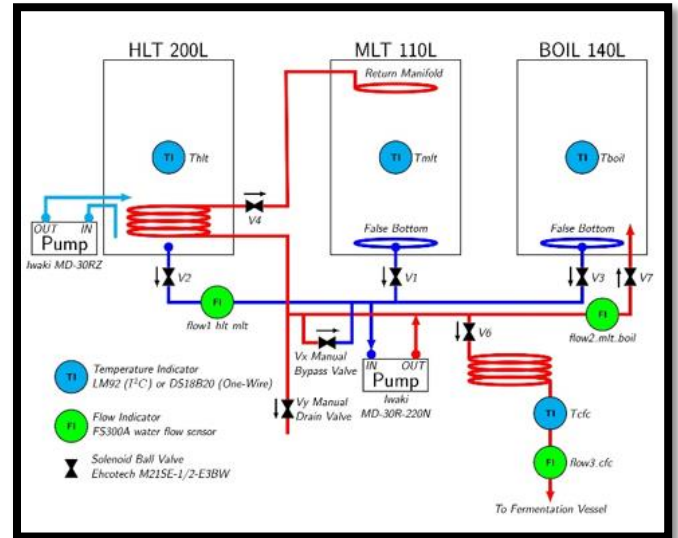


Imagen 10. Ejemplo de tanques reales



C. CONCLUSIONES

El proceso de fabricación de la cerveza, es un proceso como de preparación culinaria, que bien se puede realizar en una cocina casera. Sin embargo, debido a la exactitud meticulosa de las variables la bebida puede resultar en un producto cualquiera y no sería posible obtener el mismo resultado cada vez. Por tanto, la automatización es la respuesta básica a esta problemática.

Además, que se logra un ahorro energético significativo gracias a la respuesta controlada de los actuadores que tienen un alto consumo, como enfriadores y calentadores.

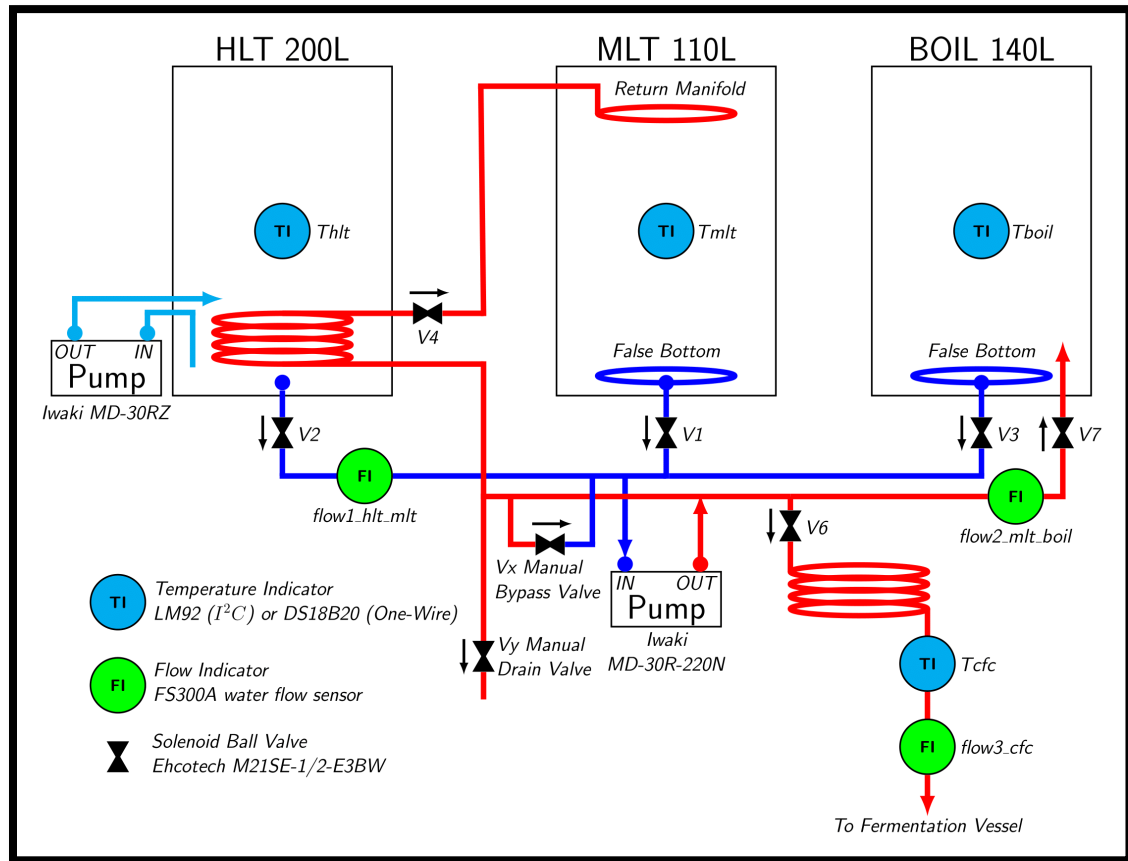
D. BIBLIOGRAFÍA

- ANSI. American National Standard. ANSI/ISA-5.1-2009 Instrumentation Symbols and Identification. North Carolina. 2009
- JOSEF WEIGMANN / GERHARD KILIAN, Decentralization with PROFIBUS DP/DPV1, Structure, configuration and use of PROFIBUS DP with SIMATIC S7, Siemens.
- BRODERICK, Harol, et al. El Cerveceros en la Práctica. Un Manual para la Industria Cervecera. Segunda Edición, Asociación Latinoamericana de Fabricantes de Cerveza, Lima, 1977.
- OCAMPO, William. Fundamentos de Procesos Industriales. Club Ensayos [en línea], noviembre 2012. [Fecha de consulta: 06 febrero 2014]. Disponible en: <
<http://clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADA/FUNDAMENTOS-DE-PROCESOSINDUSTRIALES/450166.html>>
- Wolfgang, K, (2006), Tecnología para cerveceros y malteros, Berlín, Alemania: VLB Berlín.
- Martin F. Colignon, Gonzalo E. Roldan, (2018) Automatización de proceso para elaboración de cerveza artesanal, proyecto Universidad Tecnológica Nacional
- ANTONIO CREUS. Instrumentación Industrial. 6ta edición. Alfa Omega.- Marcombo.
- Steve Huxley. La cerveza... poesía líquida: un manual para cervesífilos. Gijón: Ediciones Trea, 2006. ISBN: 84-9704-232-8.

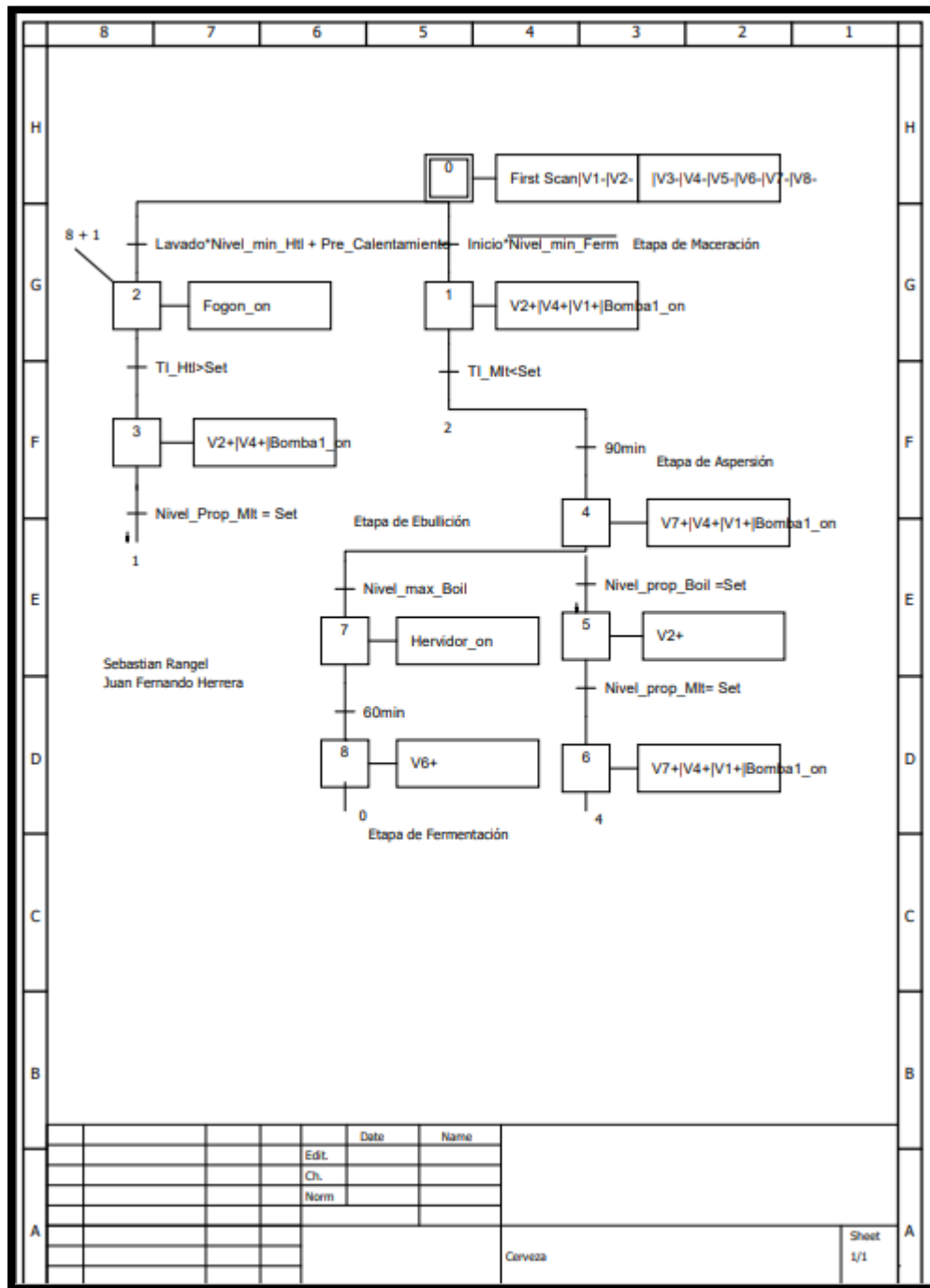
REFERENCIAS INTERNET

- Automatización : www.automation.siemens.com
- Tecnología Sshneider: www.schneider-electric.com
- Sistemas autómatas: www.automatas.org/
- La maltería del cervecero: <http://www.lamalteriadelcervecero.es/receta-cerveza-estilo-porter/>

ANEXOS



Anexo 1. Ejemplo de tanques



Anexo 2. Grafcet del proceso