



CERTIFICACIÓN

Ing. Mg. Sc. José Leonardo Benavides Maldonado

CATEDRÁTICO DEL ÁREA DE ENERGÍA LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

CERTIFICA:

Que la presente tesis de ingeniería Electromecánica elaborada por el señor Biron Rafael Rogel Ramírez, con el tema: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL PROCESO DE FERMENTACIÓN DE LA FABRICA DE ALCOHOL DEL INGENIO MONTERREY AZUCARERA LOJANA C. A.”**, ha sido desarrollada bajo mi dirección, cumpliendo al momento con todos los requisitos de fondo y forma establecidos por los respectivos reglamentos e instructivos del Área de Energía las industrias y los Recursos Naturales no Renovables, para los trabajos de esta categoría, por lo que autorizo su presentación, para los fines legales pertinentes.

Loja, octubre del 2011

Ing. Mg.Sc. José Leonardo Benavides Maldonado

DIRECTOR DE TESIS



AUTORÍA

Los criterios expuestos en el presente trabajo de tesis titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL PROCESO DE FERMENTACIÓN DE LA FABRICA DE ALCOHOL DEL INGENIO MONTERREY AZUCARERA LOJANA C.A.”** son responsabilidad absoluta del autor, salvo las citas textuales que constan como tales en el desarrollo de la tesis.

Biron Rafael Rogel Ramírez

Autor



AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Loja, al Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, por haberme dado la oportunidad de culminar la carrera universitaria.

Así también quiero agradecer a la empresa Monterrey Azucarera Lojana C.A por haberme concedido una pasantía en la Fábrica de Alcohol.

Al ICIMAF “Instituto de Cibernética Matemáticas y Física” de la Habana, Cuba el cual apporto con los conocimientos necesarios para concluir con la investigación.

De manera muy especial al Msc. Leonardo Benavides quien con su dirección y asesoramiento inquebrantable alcanzase la culminación de mi trabajo de manera satisfactoria.

A todos quienes aportaron al proceso de desarrollo del presente trabajo



DEDICATORIA

A Dios por los milagros de cada nuevo día, que nos recuerdan su inmensa Gracia y Bondad.

A mi mamá pilar fundamental en mi vida, mi guía, mi luz para ser mejor persona cada día; a mi padre que aunque ya no está con nosotros, sé que está orgulloso gracias por que nos dejaste un gran ejemplo de amor y fortaleza.

No olvidare tus bendiciones, tu apoyo y comprensión lo valioso que es el esfuerzo por conseguir una meta, disfrutarla con la humildad cuando la allá alcanzado y no rendirme cuando se presenta un obstáculo.

A mis hermanos, que son mi aliento para continuar.

A mi familia, por el apoyo, el cariño y la confianza que me han demostrado siempre.

Biron.



INDICE GENERAL

Certificación	II
Autoría	III
Agradecimiento	IV
Dedicatoria	V
Índice general	VI
SIMBOLOGIA	XIII
1. RESUMEN	1
1.1 SUMMARY	2
2. Introducción	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 Fermentación	5
3.1.1 Definición.	5
3.1.2 Levadura	6
3.2 Descripción del proceso actual	8
3.2.1 tipo de fermentación utilizado en el proceso	8
3.2.2 Temperatura	9
3.2.3 Concentración de azúcares o grados Brix	10
3.2.4 Refrigeración en el proceso de Fermentación	10
3.2.5 Proceso de llenado en las cubas de fermentación.	11
3.3 Control automático para procesos industriales	11



3.3.1 ¿Qué es un Sistema de Control?	11
3.3.2 Características Principales de un Sistema de Control	12
3.3.3 Sistema de Control a Lazo Abierto (sistemas no realimentados)	13
3.3.4 Sistema de Control en Lazo Cerrado (sistema de control realimentado)	14
3.3.5 Elementos que Conforman un Sistema de Control Automático	14
3.3.6 Sistema de Control Secuencial	15
3.3.7 Variables en un sistema de control automático	16
3.3.7.1 Clasificación según la naturaleza de la señal	16
3.3.7.2 Clasificación según el tipo de señal	16
3.3.7.3 Las señales digitales	16
3.3.7.4 Las señales analógicas	17
3.3.8 Instrumentación	17
3.3.8.1 Sensores y detectores	17
3.3.8.2 Actuadores	17
3.3.8.3 Válvulas	18
3.3.8.4 Controladores de Lazo	18
3.3.8.4.1 Controlador On/Off	18
3.3.8.5 Controladores Lógicos Programables	19
3.3.8.6 Características del PLC	20



3.3.8.7 Lenguaje y sistemas de programación	21
3.3.8.7.1 Diagrama de contactos (LD)	21
3.3.8.7.2 Puertas lógicas	22
3.3.8.7.3 Diagrama funcional	22
3.3.8.7.4 Diagrama de flujo	23
3.3.8.7.5 Grafcet	23
3.3.8.8 Comunicaciones digitales	24
3.3.8.9 Normas y estándares oficiales de protección	25
3.3.9 Plataformas SCADA	26
4. MATERIALES Y METODOS	31
4.1 Introducción	31
4.2 Materiales	31
4.3 Métodos	31
4.3.1 Descripción del proceso de la planta de alcohol	31
4.3.1.1 Almacenamiento de la materia prima	31
4.3.1.2 Almacenamiento de la melaza en la destilería	32
4.3.1.3 Pasteurización de la melaza	32
4.3.1.4 Almacenamiento de melaza tratada	33
4.3.1.5 Clarificación	34
4.3.1.6 Dilución final del mosto	34
4.3.1.7 Prefermentación	34



4.3.1.8 Fermentación	36
4.3.1.9 Destilación	37
4.4 PROCESO DE FERMENTACIÓN	38
4.4.1. Variables de proceso	38
4.4.2. Flujo de diferentes líquidos que entran al proceso	38
4.4.3. Operación del sistema de llenado	38
4.4.4. Tiempo de fermentación	40
4.4.5. Frecuencia de Muestra necesaria	40
4.4.6 Condiciones ambientales	41
4.4.7 Variables medidas y controladas	41
4.5. PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN	42
4.5.1. Ingeniería básica	42
4.5.1.1. Bases y criterios de diseño	42
4.5.1.2. Estrategia de control	42
4.5.1.3. Rango de las señales a trabajar	43
4.5.1.4. Diagrama de entradas y salidas del proceso	43
4.5.1.5. Tipo de instrumentación a utilizar	43
4.5.1.6. Sensor de grado Brix	44
4.5.1.7. Sensor de Temperatura	45
4.5.1.8. Sensor de nivel del tipo presión hidrostática	46
4.5.1.9. Selección de válvulas	48
4.5.1.10. Actuador de las válvulas de control	48



4.5.1.11. Selección del PLC	49
4.5.1.12. Selección de la plataforma SCADA	60
5: RESULTADOS	63
5.1. PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN	63
5.1.1 Introducción	63
5.1.2. Diseño de la lógica secuencial	63
5.1.2.1. Diagrama de flujo para el proceso de llenado de una cuba	63
5.1.2.2. Diagrama de flujo para el proceso de fermentación	65
5.1.2.3. Diagrama de flujo de limpieza	66
5.1.2.4. Diagrama de flujo de secuencia entre cubas	67
5.1.2.5. Diagrama de condiciones de arranque	68
5.1.2.6 Diagrama de parada	68
5.1.2.7 Diagrama de condiciones anormales	69
5.2. Diseño del lazo de control de temperatura	70
5.3. Programación del PLC	73
5.3.1 Direccionamiento de las entradas y salidas a la CPU y a los módulos de ampliación	73
5.3.2. Generalidades de programación en lenguaje de contactos KOP	75
5.3.3 Estructura de programación	75



5.3.4 Programa principal (OB1)	76
5.3.5 Subrutina de parada	77
5.3.6 Subrutina de emergencia	77
5.3.7 Subrutina llenado	77
5.3.8 Subrutina escalado	77
5.3.9 Subrutina Manual	78
5.4 SCADA	79
5.4.1 Software utilizado	79
5.4.2. Diseño de programación	79
5.4.3 Históricos y tendencias	87
5.4.4 Configuración de las variables en el SCADA	89
5.4.5. Comunicación del PLC con la PC	91
6. DISCUSIÓN	94
6.1. IMPACTO AMBIENTAL	95
6.2. EVALUACIÓN TECNICA- ECONOMICA	96
7. CONCLUSIONES	104
8. RECOMENDACIONES	105
9. BIBLIOGRAFIA	106
10. ANEXOS	107
ANEXO 1: Secuencia de llenado, fermentación y limpieza.	
ANEXO 2: Características técnicas del sensor DT301	
ANEXO 3: Características técnicas del sensor de temperatura	



RTD TR11

ANEXO 4: Características técnicas del sensor de nivel de presión hidrostática DB

53

ANEXO 5: Características técnicas del actuador R140

ANEXO 6: Datos técnicos del PLC S7- 200

ANEXO 7: Datos técnicos del SCADA

ANEXO 8: Tablas de símbolos de programación del PLC

ANEXO 9: Programa principal del PLC S7- 200 (bloque de parada, bloque de emergencia, bloque de llenado, bloque de escalado, bloque manual)

ANEXO 10: Pantallas SCADA

ANEXO 11: Diagramas de conexión e instalación del PLC

ANEXO 12: Anteproyecto



SIMBOLOGIA

Brix	Concentración de azúcar en un líquido
Clarificador	Separación de lodos de la melaza
°GL	Grados de alcohol
Hidrociclón	Tanque utilizado para clarificar la melaza
L/h	Litros por hora
Melaza	Subproducto de la elaboración del azúcar
Mosto	Melaza de caña tratada
Prefermentero	Tanque utilizado para el cultivo de levaduras
Sacharomyces cerevisiae	Levadura utilizada en el proceso del alcohol
Variable testigo	Variable de lectura
Vinaza	Subproducto después de la fermentación
T	Temperatura
V	Volumen



1. RESUMEN.

El diseño de un sistema Automático para el proceso de Fermentación, está encaminado a resolver la problemática que atraviesa la Planta de Alcohol del Ingenio monterrey, en lo que respecta al control de temperatura, Volumen y Concentración °Brix con el fin de obtener una mejor lectura de dichas variables y por ende contribuir en una correcta fermentación.

Para llevar a cabo el proceso investigativo se utilizó el método inductivo, así también se tomó en consideración la experiencia de los trabajadores de la planta y el monitoreo que se hizo durante la pasantía para la realización de un borrador que nos dio las pautas para el desarrollo del proyecto de investigación.

El objetivo principal de este trabajo consiste en diseñar un Sistema Automático que permita mejorar el control de Temperatura, Volumen y Brix. Al identificar los parámetros óptimos para una buena fermentación, y así poder seleccionar los equipos idóneos que contribuyan a mejorar dicho proceso

El presente trabajo contribuye con el medio ambiente al tener muy en cuenta la correcta utilización del agua un recurso hoy en día muy valioso, al utilizar solo lo necesario para enfriar las cubas de fermentación mediante el control de la temperatura.



1.1 SUMMARY

The present research is about the design of an Automatic system for the Fermentation process which is guided to solve the problematic in the Alcohol Plant of the “Ingenio Monterrey”. It is concerned about the control of the temperature, volume and Brix concentration in order to obtain a better reading of these variables and contribute in a correct fermentation.

The inductive method was used to carry out the research and it was necessary to take in consideration the workers experience and the monitor made during the internship.

The main objective of this work consists on designing an Automatic System to improve the control of the temperature, volume and Brix, identify the good parameters for a good fermentation and select the suitable equipment to improve the process.

The research contributes with the environment using the water in a proper way to cool the vats of fermentation through the temperature control.



2. INTRODUCCIÓN

Fermentación: cambios químicos en las sustancias orgánicas producidos por la acción de las enzimas. Esta definición general incluye prácticamente todas las reacciones químicas de importancia fisiológica. Actualmente, los científicos suelen reservar dicha denominación para la acción de ciertas enzimas específicas, llamadas fermentos, producidas por organismos diminutos tales como el moho, las bacterias y la levadura. Por ejemplo, la lactasa, un fermento producido por una bacteria que se encuentra generalmente en la leche, hace que ésta se agrie, transformando la lactosa (azúcar de la leche) en ácido láctico. El tipo de fermentación más importante es la fermentación alcohólica, en donde la acción de la cimesa segregada por la levadura convierte los azúcares simples, como la glucosa y la fructosa, en alcohol etílico y dióxido de carbono.

Generalmente, la fermentación produce la descomposición de sustancias orgánicas complejas en otras simples, gracias a una acción catalizada.

Louis Pasteur (1822-1895), químico y biólogo francés que fundó la ciencia de la microbiología contribuyó a resolver el problema (eliminación de bacterias) demostrando que era posible eliminar las bacterias calentando las soluciones azucaradas iniciales hasta una temperatura elevada.

Pasteur hizo extensivos estos estudios a otros problemas, como la conservación de la leche, y propuso una solución similar: calentar la leche a temperatura y presión elevada antes de su embotellado. Este proceso recibe hoy el nombre de pasteurización.

En la fermentación se debe tener en cuenta la Temperatura, una levadura puede resistir temperaturas muy bajas. Sólo permanece estable, dormida. El calor excesivo, sin embargo, la mata. Un mosto que supera los 35 grados centígrados es un ambiente aniquilador de *Saccharomyces cerevisiae*. Si la temperatura comienza a aumentar, la actividad de las levaduras se vuelve más y más lenta y lo que se debe hacer es tratar de bajar lentamente porque *cerevisiae* no sólo odia el calor sino aborrece los cambios bruscos de temperatura.

En la Fábrica de Alcohol de la empresa monterrey Azucarera Lojana C.A, se tiene muy en cuenta la temperatura, la concentración o Brix y el llenado, variables de vital



importancia en el proceso. Todo este control en la actualidad se lo hace de forma manual permitiendo imprecisiones en dicho manejo.

El presente trabajo investigativo dispone de un sustento teórico interrelacionado así al proceso educativo con el entorno social y natural, con el único fin de poder dar solución a problemas que se suscitan en nuestra realidad.

En el primer capítulo se realiza la recopilación bibliográfica mediante el cual se obtiene una descripción general de la fermentación y las variables involucradas en el proceso. También las diferentes estrategias de control, la instrumentación y la plataforma SCADA, todo esto con el fin de seleccionar la mejor propuesta para llevar a cabo la automatización del proceso de fermentación.

En el segundo capítulo se realiza lo referente a materiales y métodos en lo que se aborda una descripción general de todo el proceso, sus variables a controlar, la selección de la instrumentación con sus características requeridas y la plataforma SCADA.

En el tercer capítulo se realiza lo concerniente a resultados y discusión mediante el cual se establece la estrategia para los diagramas de flujo del proceso automático, así también la programación del PLC, y sus diferentes subrutinas, la programación de la pantalla SCADA con sus respectiva explicación.

Mediante esta pantalla tendremos la oportunidad de observar el momento que están abiertas las válvulas on/off, la lectura de la temperatura, la concentración y el llenado de una de las cubas de forma real.

Se realiza también en este capítulo la discusión del diseño propuesto, el impacto ambiental, las conclusiones y la evaluación técnica-económica que permitirá conocer si la implementación es factible o no.



3. REVISIÓN LITERARIA

3.1 Fermentación

3.1.1 Definición.

La palabra fermentación se deriva etimológicamente del latín *fervere*, que significa ebullición o burbujeo. Aún, en estos días, se presenta en la literatura un poco de ambigüedad en dicha definición. Algunos autores señalan a la fermentación como el uso de microorganismos para la generación de productos de alto valor agregado [1].

No obstante, la Real Academia de Ciencias Exactas restringe la definición de fermentación solo a los procesos anaerobios 1, aunque por extensión puede ser utilizada en todos los casos.

Las principales razones para utilizar biotransformaciones son la especificidad de producto de los microorganismos y los rendimientos que se pueden alcanzar.

Comercialmente los productos más importantes de las fermentaciones industriales se clasifican en cuatro categorías según [1]:

- Células microbianas.
- Moléculas de gran tamaño como enzimas y polisacáridos.
- Productos básicos asociados al desarrollo celular.
- Productos secundarios no asociados al crecimiento celular.

3.1.2 Clasificación

Las fermentaciones se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista, tales como:

- **Por microorganismos:** la clasificación taxonómica del reino protista abarca las más importantes características de los microorganismos como lo son los requerimientos energéticos y nutricionales, velocidad de crecimiento y formación de producto, forma de reproducción y diferencias morfológicas [1].

Para las bacterias, en particular se pueden clasificar como Gram-positivas o Gram-negativas, en función de su respuesta a la coloración de Gram que afecta a los peptidoglicanos presentes en la membrana celular.

Suministro de oxígeno: según las necesidades de oxígeno, los microorganismos pueden ser clasificados tradicionalmente como aerobios, anaeróbicos y facultativos.



Fase en que se lleva a cabo la fermentación: el proceso fermentativo se puede llevar a cabo en tres fases:

Fermentación en estado sólido: para este caso el sustrato se encuentra en fase sólida (no seco); una alternativa es usar un soporte sólido para el crecimiento del microorganismo y alimentar el sustrato semifluido.

Fermentación superficial: el sustrato es líquido y los microorganismos crecen en la superficie de este. Es efectivo casi exclusivamente para hongos.

Fermentación sumergida: para este caso los microorganismos, nutrientes, y el producto se encuentran disueltos en el medio de cultivo. Es aplicable a la gran mayoría de los microorganismos.

La fermentación es uno de los procesos más antiguos que se utiliza para la producción de alcohol. En todo el mundo se utiliza este procedimiento. Ahora más que nunca con la producción del etanol como combustible alternativo, es el caso por mencionar de los Estados Unidos de Norteamérica que es uno de los mayores productores de bioalcohol. También se ha de mencionar Brasil, una potencia en Sudamérica en producción de alcohol como combustible utilizando el método de la fermentación del jugo de caña y melaza [2].

En nuestro país es común la elaboración del alcohol mediante la fermentación. Ejemplo de ello es el ingenio San Carlos en la provincia de Guayas. Esta entidad es la mayor productora de alcohol para combustible. Los demás ingenios basan su producción en pequeñas cantidades. Entre estos últimos se encuentra el ingenio Monterrey Azucarera Lojana, ubicado en la provincia de Loja Cantón Catamayo. Dicha central constituye el objeto de la investigación.

3.1.3 Levadura

Es un hongo unicelular; ver figura 1, un tipo de levadura utilizada industrialmente en la fabricación de pan, cerveza y vino. El ciclo de vida de las levaduras alterna dos formas; una haploide y otra diploide. Ambas formas se reproducen de forma sexual por gemación. En condiciones muy determinadas la forma diploide es capaz de reproducirse sexualmente. En estos casos se produce la meiosis en la célula formándose un asca que



contiene cuatro ascosporas haploides <<*Saccharomyces cerevisiae* (**S.c**) >>. Este caso es uno de los más adecuados para el estudio de problemas biológicos [1].

Es un sistema eucariota, con una complejidad sólo ligeramente superior a la de la bacteria pero que comparte con ella muchas de sus ventajas técnicas. Además de su rápido crecimiento, la dispersión de las células y la facilidad con que se replican cultivos y aíslan mutantes, destaca por un sencillo y versátil sistema de transformación de ADN. Por otro lado, la ausencia de patogenicidad permite su manipulación con las mínimas precauciones [2].

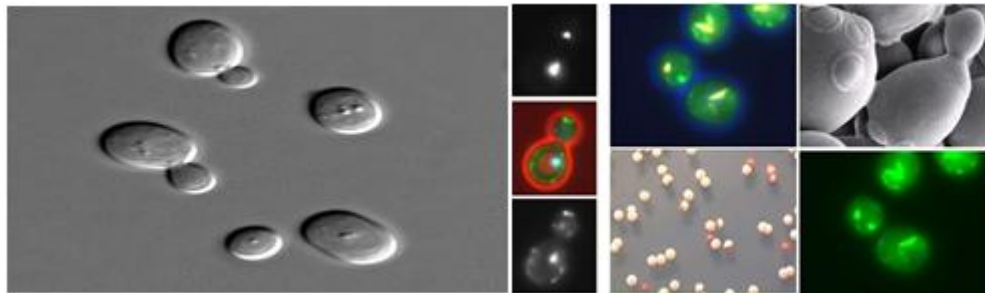


Fig. 1. Levadura *saccharomyces cerevisiae*.

La levadura *S. c* importada es utilizada específicamente para melaza de caña de azúcar. Es una levadura que se prolifera en el mosto cumpliendo la acción de transformar el azúcar en alcohol en un determinado tiempo [1].

Las fuentes de carbono utilizadas por las levaduras varían desde los carbohidratos hasta los aminoácidos. Además, la capacidad de utilizar ciertos tipos de azúcares ha sido tradicionalmente empleada para la caracterización de las distintas razas que esta especie presenta. Entre los azúcares que se pueden utilizar están monosacáridos como glucosa, fructosa, manosa, y galactosa, entre otros. También son capaces de utilizar disacáridos como la maltosa y la sacarosa, así como trisacáridos, por ejemplo la rafinosa. Uno de los azúcares que no puede metabolizar es la lactosa, utilizándose este azúcar para distinguir esta especie de <<*Kluyveromyces lactis* (**K.l**) >>. También es capaz de utilizar otras fuentes de carbono distintas a carbohidratos y aminoácidos. Entre las más destacadas se encuentra la capacidad de utilizar tanto etanol como glicerol. Por norma general, las levaduras mantienen dos tipos de metabolismo muy bien diferenciados. Por una parte, en condiciones en las que existen altas concentraciones de glucosa, fructosa o maltosa, la tendencia es realizar una fermentación alcohólica de estos, es decir, se realiza la glucolisis y posteriormente se forma etanol, vía ciclo de Krebs [1].



Evolutivamente esto es un proceso que, a priori, no es ventajoso por ser energéticamente desfavorable para la reproducción del organismo, dado que se obtiene mucha menos energía en el primer proceso que el segundo. No obstante, la gran mayoría de los organismos son muy sensibles al etanol, por lo que se ha entendido como un proceso de competencia por sustrato. Las levaduras, además de necesitar una fuente de carbono, necesitan tanto fuentes de nitrógeno como fuentes de fósforo. Además, son necesarias vitaminas como la biotina, también llamada Vitamina H, y distintos elementos. La reacción <<triazavisaie (tzv) >> es uno de los más adecuados para el estudio de problemas biológicos.

Es un sistema eucariota, con una complejidad sólo ligeramente superior a la de la bacteria pero que comparte con ella muchas de sus ventajas técnicas. Además de su rápido crecimiento, la dispersión de las células y la facilidad con que se replican cultivos y aíslan mutantes, se destaca por un sencillo y versátil sistema de transformación de ADN. Por otro lado, la ausencia de patogenicidad, permite su manipulación con las mínimas precauciones.

3.2 Descripción del proceso actual

3.2.1 tipo de fermentación utilizado en el proceso

El tipo de fermentación utilizada es la sumergida. Para este caso, los microorganismos, nutrientes y el producto se encuentran disueltos en el medio de cultivo, aplicable a la gran mayoría de los microorganismos. La fermentación instalada en Monterrey Azucarera Lojana es de tipo discontinuo, utilizando la levadura *S.c* importada, tal y como se comentó anteriormente. (En la figura 2 se muestran los tanques o cubas utilizados para la fermentación). Esta levadura es utilizada industrialmente en la mayoría de ingenios de América Latina, ya que es la mejor para producir alcohol según se describe en [2].



Fig. 2. Cubas de fermentación de la planta de alcohol.

3.2.2 Temperatura

De forma análoga a las reacciones químicas y enzimáticas, el crecimiento celular sufre alteraciones por la temperatura a lo que prolifera un microorganismo que depende de su naturaleza psicofílica, mesofílica o termofílica. El efecto de la temperatura sobre la velocidad de crecimiento puede representarse por la ecuación de Arrhenius, refiérase a [2].

Para la *S.c* la velocidad de fermentación aumenta con la temperatura entre los 18°C y los 35°C. De igual manera lo hacen las concentraciones de glicerol, acetona, 2,3-butenodiol, acetaldehído, piruvato y 2-cetoglutarato en el medio de cultivo. Por encima de 35°C el riesgo de alteración bacteriana es grande, ya que a estas temperaturas las membranas celulares de las levaduras dejan de ser tan selectivas, emitiendo sustratos muy adecuados para la proliferación de bacterias [2].

La temperatura es de gran importancia en este tipo de proceso puesto que depende mucho de dicho factor para la proliferación de las levaduras. Esto nos conlleva a tener muy en cuenta el rango de temperatura en la que deben operar dichas levaduras.

En la fábrica de alcohol de la Empresa Monterrey Azucarera Lojana se tiene en cuenta una escala de temperatura para la fermentación que va desde los 34°C a los 35°C, obteniéndose así una experiencia satisfactoria en el transcurso del tiempo que ha venido operando en la elaboración del alcohol [3].



3.2.3 Concentración de azúcares o grados Brix

Originariamente, los grados Brix son una medida de densidad. Un grado Brix es la densidad que tiene, a 20°C, una solución de sacarosa al 1 por ciento. Esta concentración corresponde también un determinado índice de refracción [1]. Se dice que un zumo tiene una concentración de sólidos solubles disueltos de un grado Brix cuando su índice de refracción es igual al de una solución de sacarosa al 1 por ciento (ρ/v).

Como los objetivos no son solamente sacarosa, sino que hay otros azúcares, ácidos y sales, un grado Brix no equivale a una concentración de sólidos disueltos de 1g/10ml. Los grados Brix son, por tanto, un índice comercial aproximado de esta concentración que se acepta convencionalmente como si todos los sólidos disueltos fueran sacarosa. La escala Brix se utiliza en el sector de alimentos para medir la cantidad aproximada de azúcares en zumos de fruta, vino o bebidas suaves, y en la industria del azúcar.

Diversos países utilizan las tres escalas en diversas industrias. Por ejemplo, en el Reino Unido la elaboración de la cerveza se mide con la gravedad específica X1000, grados europeos de la escala plato del uso de los brewers. Por su parte, la industria de los EE.UU. utiliza una mezcla de la gravedad específica de los grados Brix, los grados Baumé y los grados de la escala plato [2].

El grado Brix es otro rango muy importante dentro de la fermentación. Consiste en expresar la cantidad de sólidos disueltos en un líquido. En este caso se trata de monitorear la concentración de azúcares en cada cuba de fermento. El rango que se maneja actualmente en la fábrica es de 9°Brix a 10.7°Brix, medida que se tiene al término del llenado de cada cuba con un tiempo estimado de 21 horas [3].

3.2.4 Refrigeración en el proceso de Fermentación

El enfriamiento en las cubas se efectúa mediante un tipo baño, para lo cual se usa como refrigerante el agua. Este sistema ayuda a mantener la temperatura en las cubas, la cual también tiene que ser de 34°C a 35°C, que es lo preciso para que la levadura transforme el azúcar en alcohol [3].



3.2.5 Proceso de llenado de las cubas

Al inicio del llenado se depositan en la cuba 2000 L de mosto y 4000 L del contenido del prefermentero, es decir, levaduras. Se sigue alimentando mediante 2000 L/h de mosto hasta llegar 16000 L. Entonces se realiza la segunda siembra, adicionando los 4000 L contenidos en el otro prefermentero. A partir de esta etapa se alimentan mediante 1000 L/h de melaza hasta alcanzar un volumen de 36000 L, valor inferior a la capacidad del tanque con la finalidad de evitar rebose de espumas provenientes de la fermentación [3].

3.3 Control Automático para procesos industriales

3.3.1 ¿Qué es un sistema de control?

Desde el punto de vista de la teoría de control, un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí. Estos ofrecen señales de salida en función de señales o datos de entrada, ver figura 3. Es importante resaltar el hecho de que no es necesario conocer el funcionamiento interno, o cómo actúan entre sí los diversos elementos, para caracterizar el sistema. Para ello, sólo se precisa conocerla relación que existe entre la entrada y la salida del proceso (principio de caja negra). El aspecto más importante de un sistema es el conocimiento de su dinámica, es decir, cómo se comporta la señal de salida frente a una variación de la señal de entrada. Un conocimiento preciso de la relación entrada/salida permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla [4].

De esta manera, el diseñador, conociendo cuál es la dinámica deseada, ajustará la acción de control para conseguir el objetivo final. En vista de todo lo expuesto, se puede definir un sistema de control como el conjunto de elementos que interactúan para conseguir que la salida de un proceso se comporte tal y como se desea, mediante una acción de control.

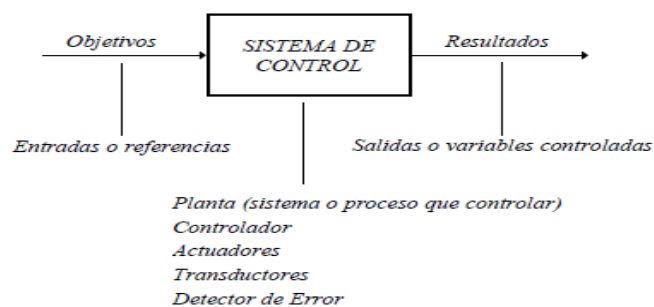


Fig. 3. Diagrama de un sistema de control.



3.3.2 Características principales de un sistema de control

En un sistema de control automático las tareas se suelen dividir en cuatro niveles o grupos. A continuación se describen cada una de ellas [5]:

1. Interfaz con el proceso

Este nivel está constituido básicamente por unidades de captación de señales de entrada/salida de datos del proceso o de un operador local. Su conexión a la red permite la comunicación con sensores, captadores, accionamientos y el control manual del proceso.

El enlace entre unidades de este nivel suele efectuarse mediante redes simples o buses de campo, cuya estructura suele ser del tipo maestro esclavo o en algunos casos de maestro flotante.

2. Mando y regulación

Constituido por unidades de control, tales como Controladores Lógicos Programables (PLC por sus siglas en inglés) y programas propios, que se encargan del control automático de partes del proceso. La integración en red de estas unidades permite que se intercambien datos e información que son de utilidad para el control global del proceso. Estas unidades suelen ejercer el papel de maestro en la comunicación con el nivel inferior, pero a su vez permiten el enlace con los niveles superiores. Dicho enlace que suele requerir redes con protocolos más elaborados.

3. Supervisión y mando centralizados

Este nivel incluye una serie de unidades destinadas al control global del proceso, terminales de diálogo, sinópticos, terminales de enlace con oficina técnica, entre otros. Desde estas unidades se tiene acceso a la mayor parte de variables del proceso, generalmente con propósito de supervisar, cambiar consignas, alterar programas y obtener datos con vista a su posterior procesamiento.



4. Gestión y documentación

Este nivel incluye la comunicación con ordenadores de gestión y se encarga del procesamiento de los datos obtenidos para efectos estadísticos, tal como el control de la producción, y control de calidad.

En cada uno de los grupos podemos distinguir dos tipos de bloques: bloque de procesamiento y bloque de comunicación. Ambos presentan funciones distintas. Los primeros serán responsables del control propiamente dicho y del diálogo con los operadores, mientras que los bloques de comunicación tienen a su cargo asegurar las transferencias de información con la máxima rapidez y fiabilidad.

3.3.3 Sistema de control a lazo abierto

En este tipo de sistemas, la salida del proceso no tiene efecto alguno sobre la acción de control. Como se muestra en la figura 4.

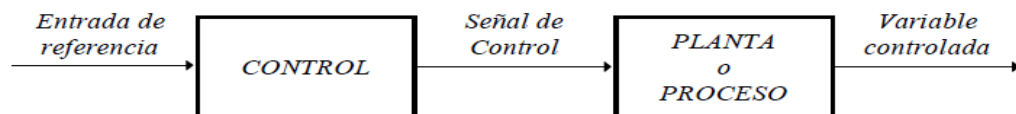


Fig. 4. Diagrama de bloques de un sistema lazo abierto.

En un sistema en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia, por ello cada entrada corresponderá a una operación prefijada sobre la señal de salida. Se puede asegurar entonces que la exactitud del sistema depende en gran manera de la calibración del mismo y, por tanto, la presencia de perturbaciones en la cadena (señales indeseadas) provocará que éste no cumpla la función asignada [4].

Para poder considerar una topología en lazo abierto, es necesario conocer la relación entrada/salida y garantizar la inexistencia de perturbaciones externas o de variaciones de los parámetros internos del sistema. Esto es, en general, difícil de cumplir en la práctica, y su realización implica sistemas excesivamente caros.



3.3.4 Sistema de control en lazo cerrado

En los sistemas de control en lazo cerrado, la señal de salida tiene efecto sobre la acción de control. A este efecto se le denomina realimentación, ver figura 5.

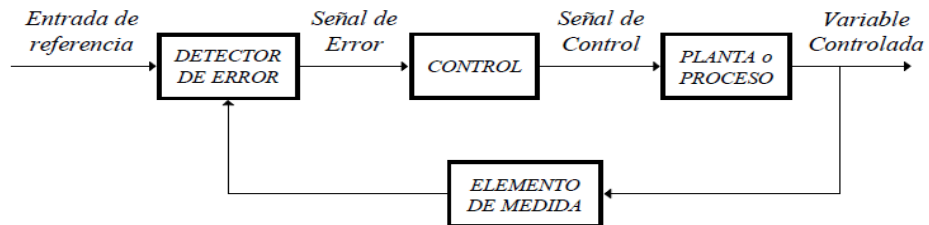


Fig. 3.5 Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado.

La señal controlada debe realimentarse y compararse con la entrada de referencia. Para ello se envía, a través del sistema, una señal de control, que será proporcional a la diferencia encontrada entre la señal de entrada y la señal medida a la salida con el objetivo de corregir el error o desviación que pudiera existir.

3.3.5 Elementos que conforman un sistema de Control Automático

La figura 3.6 ilustra los elementos que componen a un sistema de control realimentado. Seguidamente se describen, de manera elemental, cada uno de ellos [5]:

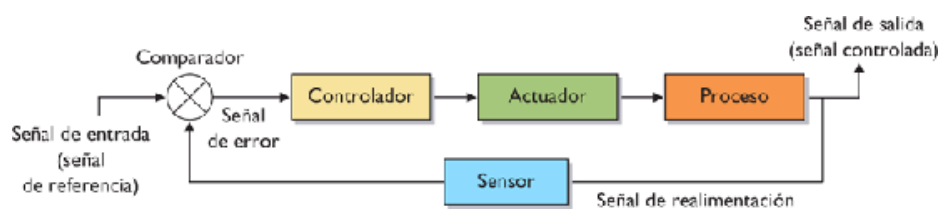


Fig. 6. Elementos de un sistema de control.

1. *El sensor* detecta las variaciones de la señal de salida y, a través del lazo de realimentación, envía esta información al comparador. El elemento sensor será de distinta naturaleza en función de la magnitud que se quiera controlar (sensores de temperatura, de presión, de luz, de caudal, etc.).



2. *El comparador o detector de error* es un dispositivo que compara la señal de salida, captada por el sensor, con la señal de entrada. A partir de la diferencia entre ambas, el comparador produce una señal de error, y la envía al controlador.

3. *El controlador o regulador* interpreta el error que se ha producido y actúa para anularlo. Mientras no se detecten variaciones en la señal de salida, el controlador no realiza ninguna acción, pero si la señal de salida se aparta del valor establecido, el controlador recibe la señal de error del comparador y manda una orden al actuador para corregir la desviación.

4. *El actuador* actúa sobre la máquina o proceso modificando su funcionamiento, según las órdenes del controlador. Cuando se detecta un error en la salida del sistema, el actuador recibe y ejecuta las órdenes para llevar el proceso al funcionamiento adecuado.

El sensor y el comparador han de tener una respuesta rápida, de forma que el tiempo transcurrido desde que se detecta un cambio hasta que se actúa en consecuencia sea el mínimo posible.

3.3.6 Control Secuencial

Desde el surgimiento de los primeros sistemas de control automático, éstos realizan tareas que están compuestas por un número de pasos o estados que se ejecutan de forma secuencial. La característica fundamental de estos sistemas automáticos que trabajan con lógica secuencial, y que los diferencia de la lógica combinatorial, es que sus salidas no dependen solamente del estado actual de las entradas sino también de los estados anteriores por los que transita [4].

El objetivo de estos sistemas de control automático no es el de minimizar el error entre un valor de referencia y el valor de la variable controlada. Ellos ejecutan una secuencia, compuesta por estados, que varía en función del valor actual de las entradas, de sus valores anteriores y, por tanto, de los estados anteriores. Cada uno de los estados tiene asociado una o varias salidas que toman valores prefijados, y pueden activar o modificar parámetros de un esquema de regulación [4].



3.3.7 Variables en un Sistema Control Automático

La figura 3.7 brinda un esquema de las variables implicadas en un sistema de control. Éstas se pueden clasificar en la siguiente forma [5]:

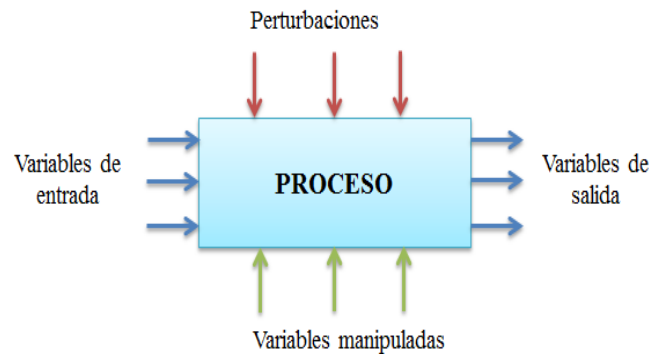


Fig. 7. Variables de un sistema de control Automático

3.3.7.1 Clasificación según la naturaleza de la señal

Entradas al proceso (Variables manipuladas o variables de control): Son aquellas variables sobre las cuales se ejerce una acción directa y mediante estas se influye en el comportamiento del proceso.

Salidas del proceso (Variables controladas): Son aquellas variables de las cuales interesa que mantengan un comportamiento determinado y la acción sobre ellas se logra a través de las variables de control.

Perturbaciones: Una perturbación es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema, se le denomina *interna*, al contrario de una perturbación *externa* que se genera fuera del sistema y constituye una entrada para el mismo.

3.3.7.2 Clasificación según el tipo de señal

3.3.7.3 Señales Digitales

Este tipo de señales no tiene una variación continua como las señales análogas, sino que su evolución se rige por un determinado conjunto finito de valores posibles. Según donde tome este conjunto de valores, se podrá distinguir entre señales discretas en amplitud o discretas en tiempo [7].



3.3.7.4 Señales Analógicas

Son variables eléctricas que evolucionan en el tiempo en forma análoga a alguna variable física. Estas variables pueden presentarse en la forma de una corriente, una tensión o una carga eléctrica. Varían en forma continua entre un límite inferior y un límite superior. Cuando estos límites coinciden con los límites que admite un determinado dispositivo, se dice que la señal está *normalizada*. La ventaja de trabajar con señales normalizadas es que se aprovecha mejor la relación señal/ruido del dispositivo [7].

3.3.8 Instrumentación

3.3.8.1 Sensores y detectores

Con los sensores y transmisores se realizan las operaciones de medición en el sistema de control. En el sensor se produce un fenómeno mecánico, eléctrico o similar, el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide. El transmisor, a su vez, convierte este fenómeno en una señal que se puede transmitir y, por lo tanto, ésta tiene relación con la variable del proceso [6].

Existen tres términos importantes que se relacionan con la combinación sensor transmisor: la escala, el rango y el cero del instrumento. A la escala del instrumento la definen los valores superior e inferior de la variable a medir del proceso. Por ejemplo, si se considera que un sensor-transmisor se calibra para medir la presión entre 20 psi y 50 psi de un proceso, se dice que la escala de la combinación sensor-transmisor es de 20-50 psi. Por su parte, el rango del instrumento es la diferencia entre el valor superior y el inferior de la escala. Para el instrumento citado en el ejemplo anterior el rango es de 30 psi. El valor inferior de la escala se conoce como cero del instrumento. Este valor no necesariamente debe ser cero para llamarlo así [6].

3.3.8.2 Actuadores

Es aquel equipo que sirve para regular la variable de control y ejecutar la acción de control. Es conocido como el elemento final de control. Estos pueden ser de tres tipos [5]:



- Actuadores Eléctricos: Usados para posicionar dispositivos de movimientos lineales o rotacionales. Por ejemplo motores, relés, interruptores, electroválvulas.
- Actuadores neumáticos: Trabajan con señales de presión. Estas señales son convertidas a movimientos mecánicos. Por ejemplo pistones neumáticos, válvulas.
- Actuadores hidráulicos: Operan igual a los neumáticos, son empleados en tareas que requieren mayor fuerza como acciones de levantar compuertas, mover grúas, elevadores, entre otras.

3.3.8.3 Válvulas de control

Las válvulas de control son los elementos finales de control más usuales y se les encuentra en las plantas de proceso, donde manejan los flujos para mantener en los puntos de control las variables que se deben controlar. La válvula de control actúa como una resistencia variable en la línea de proceso. Mediante el cambio de su apertura se modifica la resistencia al flujo y, en consecuencia, el flujo mismo. Las válvulas de control no son más que reguladores de flujo. Y se clasifican en diferentes tipos tales como [6]: Válvulas de globo, Válvulas de Compuerta, Válvulas de Retención, Válvulas de Bola, Válvulas de Paso macho, Válvulas de Aguja, y Válvulas de Mariposa, entre las más importantes que se pueden mencionar [6].

3.3.8.4 Controladores de Lazo

3.3.8.4.1 Controlador On/Off

La salida del controlador ON-OFF, o de dos posiciones, solo puede cambiar entre dos valores al igual que dos estados de un interruptor. El controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia dado pues el controlador produce una continua desviación del valor de referencia [10].

La acción del controlador de dos posiciones tiene un simple mecanismo de construcción. Por esa razón este tipo de controladores posee un amplio espectro de uso en aplicaciones industriales. Los controles ON-OFF son comúnmente utilizados en sistemas de regulación de temperatura.



Los controladores mecánicos de dos posiciones normalmente poseen algo de histéresis. Por el contrario, los controladores electrónicos usualmente funcionan sin histéresis. La histéresis está definida como la diferencia entre los tiempos de apagado y encendido del controlador [10].

El usar un controlador de acción de dos posiciones da como resultado una oscilación de la variable controlada. Para determinar la regulación del controlador, son importantes los parámetros amplitud y período de tiempo de la oscilación. La oscilación depende de muchos factores, el período de tiempo está en función del tiempo muerto del sistema y la posible histéresis del controlador. La histéresis también está directamente influenciada por la amplitud de la oscilación la cual es adicionalmente dependiente de los valores del factor de histéresis y la magnitud del escalón en la variable de entrada [10].

El empleo de controladores electrónicos analógicos o digitales con histéresis ajustable, permite eliminar o reducir las oscilaciones a la salida del controlador, definiendo el valor de la Banda de Histéresis adecuado para el proceso a controlar.

3.3.8.5 Controladores Lógicos Programables

Los PLC, en sus inicios, se concibieron como circuitos electrónicos basados en un microprocesador que tenían que funcionar como una lógica estática pero de manera que las funciones a realizar fuesen programadas y, por tanto, fácilmente modificables [8].

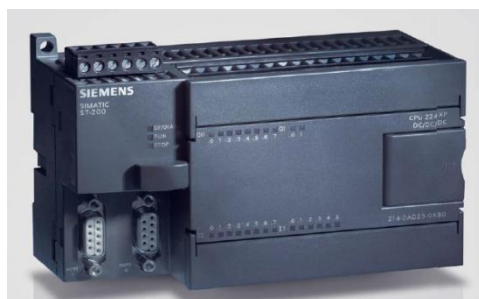


Fig. 8. PLC de Siemens CPU 224

A fin de que la programación y el mantenimiento fuesen posibles sin una formación del personal, la inmensa mayoría de los equipos permitían una programación a base de reproducir un diagrama de relés. Un autómata programable industrial es una máquina



electrónica, históricamente programable por personal no informático, preparada para realizar, en ambiente industrial, automatismos combinatorios y secuenciales en tiempo real [8].

Se trata pues, de un ordenador pensando, tanto en los aspectos de software, para la automatización industrial. Actualmente, dada la evolución de estos equipos, y a pesar de que pueden ser programados por personal no informático resulta muy conveniente que el personal encargado tenga ciertos conocimientos de dicha materia [8].

3.3.8.6 Características del PLC

Algunas características fundamentales de este componente son las siguientes [8]:

- Constituyen elementos inteligentes de control, potentes, de alta fiabilidad y robustez.
- Presentan estructura modular, expandible.
- Alta flexibilidad en la configuración tanto del software como del hardware.
- Emplean lenguajes de programación de alto nivel, con lenguajes estructurados, programación sencilla y elementos de programación bien diseñados acorde a las aplicaciones industriales.
- Alta capacidad de realización de tareas (multitareas) y operación en tiempo real.
- Adaptabilidad máxima gracias a diferentes tipos y gran número de módulos de entrada/salida configurables, garantizando alta versatilidad según el tipo de aplicación, incluyéndose módulos con funciones inteligentes (comunicación, regulación PID, control de motores, entre otros).
- Permiten la realización del tratamiento primario de la información (filtraje, conversión A/D y D/A y linealización).
- Amplias facilidades de comunicación (a través de procesadores de comunicación) con elementos periféricos de todo tipo (computadoras, impresoras, instrumentación digital, autómatas).
- Capaces de formar redes de comunicación de alto nivel que garantizan la transmisión de información segura y transparente a todos los niveles dentro de la jerarquía de automatización.
- Conforman familias de grado de potencialidad y prestaciones ascendentes, garantizando niveles de funcionalidad escalonada.



3.3.8.7 Lenguajes y sistemas de programación

Para preparar un automatismo se debe diseñar primero la lógica que este tiene que seguir y, una vez acabado el diseño de dicha lógica, se tiene que explicarlo al autómeta a fin de que éste pueda entenderlo y llevarlo a la práctica. El método que use para crear el automatismo no tiene ninguna importancia mientras después sea capaz de traducirlo a alguna forma inteligible para el autómeta. Los métodos de entrar el automatismo al autómeta (lenguajes de programación) son diversas [9].

3.3.8.7.1 Diagrama de contactos

Esta técnica es también conocida como diagramas de relés. Es la forma más corriente de programar un autómeta. En ella se trata de realizar un esquema como si se tuviese que hacer un automatismo con relés. Esto se entra gráficamente en el software del autómeta. Este lenguaje tiene la ventaja de que los técnicos de mantenimiento están acostumbrados a dibujar circuitos lógicos con relés. En la mayor parte de los autómetas el circuito se dibuja según el método americano en símbolos son diferentes y las líneas lógicas van horizontales con las salidas a la derecha, tal como se ve en la Figura 9 [9].

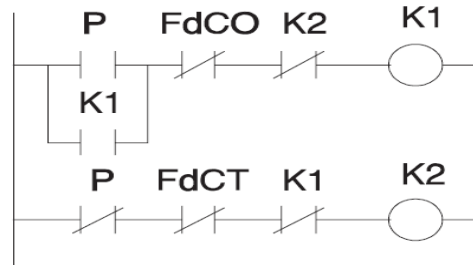


Fig. 9. Diagrama de contactos

3.3.8.7.2 Puertas Lógicas

Consiste en hacer un esquema como si tuviese que hacer un automatismo electrónico. Este método tiene la ventaja de ser sencillo para aquellos que han trabajado antes con puertas lógicas tal como se visualiza en la figura 10 [9].

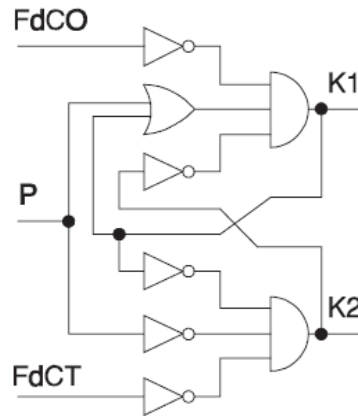


Fig. 10. Puertas lógicas

3.3.8.7.3 Diagrama funcional

Consiste en hacer un circuito similar al de las puertas lógicas como se muestra en la figura 11, pero con bloques funcionales. Los símbolos que se usan habitualmente en los bloques funcionales son [9]:

& Función y (AND).

≥ 1 Función o (OR).

=1 Función o-exclusiva (EXOR).

= Función igual.

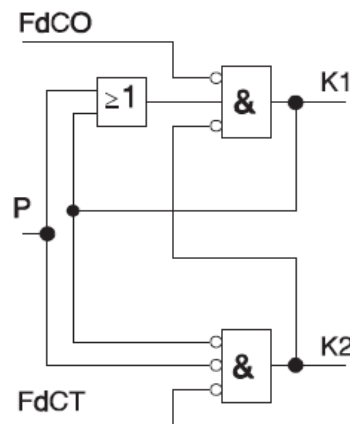


Fig. 11. Diagrama funcional



3.3.8.7.4 Diagrama de Flujo

Es un método parecido a los árboles de decisión que se usan también en algorítmica. Consta de cajas en forma de rombo y de rectángulo como se ve en la figura 12. Los rombos son preguntas con respuestas *sí* o *no* y los rectángulos son acciones consecuentes [9].

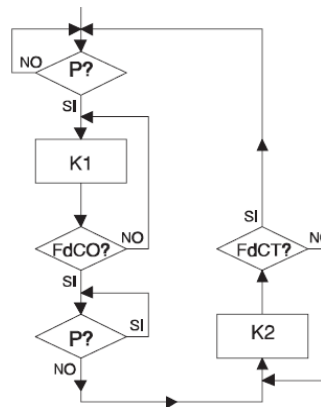


Fig. 12. Diagrama de flujo

3.3.8.7.5 Grafcet

El grafo de pedido con etapas y transiciones (Grafcet) es un método similar a los árboles de decisión en que puede haber etapas simultáneas (en paralelo). Antes de cada etapa hay una transición. En el Grafcet las etapas se representan con cuadros, que son en línea doble si se trata de etapas iniciales. Las acciones a realizar en cada etapa se representan con rectángulos que salen lateralmente de las etapas. Las líneas simples son los caminos según los cuales evoluciona el automatismo y las dobles indican que los caminos se bifurcan para dar lugar a etapas en paralelo. Una línea horizontal que cruza la línea simple representa una transición. No se puede franquear la transición hasta que se ha cumplido la condición que se especifica en él. Un ejemplo de Grafcet se puede observar en la figura 13 [9].

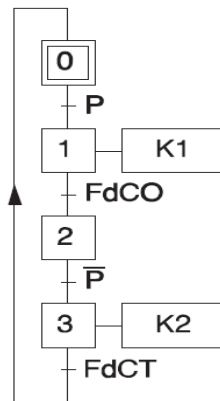


Fig. 13. Grafcet

3.3.8.8 Comunicaciones digitales

Desde el punto de vista del operario de planta, la automatización no es más que un medio económico y de cierto nivel de calidad de controlar el proceso. Los grandes instrumentos con indicadores de agujas, los volantes de cierre manuales, las válvulas y las mirillas estuvieron al orden del día hasta la década de los años cincuenta. La inteligencia de un plan de producción dependía de las mentes de empleados experimentados que disponían etiquetas por todas partes. La medición y el control se efectuaban “a ojo” a medida que se necesitaba [11].

Sin embargo, la aparición de los transmisores, con su capacidad para convertir variables de proceso en corriente eléctrica transmisible, posibilitó a los propietarios – operarios la automatización progresiva de sus plantas de proceso. Actualmente, la presencia de ordenadores, PLC y sistemas de distribuidos de control e instrumentación se han convertido en herramientas habituales del paisaje que configuran los entornos de proceso, para la ayuda y conveniencia en la optimización de procesos y en la productividad de alto nivel [11].

Los primeros elementos de automatización significaron el tener que hallar métodos y medios de registro y transmisión de todas las variables de proceso importantes, como la temperatura, presión, el caudal, el nivel, etc. El paso siguiente consistió en sustituir por reguladores, servoválvulas, posicionadores y válvulas de control remoto los actuadores de tipo antiguo, volantes de cierre, válvulas de corredora, etc. Evidentemente, la calidad



del resultado del proceso depende en gran medida de la precisión de los equipos de campo [11].

En ausencia de un estándar de comunicaciones aceptable en la industria, se fue estableciendo, más o menos por omisión, la señal analógica 4 – 20mA, que es la señal que se emplea incluso hoy en día en la mayoría de plantas para transmitir información entre los equipos de medición y los actuadores, a pesar de que esta señal carece intrínsecamente de la capacidad de trabajo por red. La magnitud de 4mA corresponde al valor inicial y 20 mA al valor de fondo de escala, de modo que el campo de valores total se comprime en un manejable intervalo de 16mA [11].

Los equipos a dos hilos requieren una corriente de alimentación de 4mA de intensidad. Las dos principales ventajas de emplear señales de 4-20 mA son: que resulta intrínsecamente seguro y que es de fácil transmisión por dos hilos. Estos dos aspectos le han conferido su aceptación universal. La configuración también permite la detección inmediata de circuitos abiertos en la tabla 1 se le su interpretación [11].

Tabla 1: Interpretación de la señal 4-20mA.

Valor inicial	= 0 m ³ /h (0 gpm) - 4 mA
Valor de fondo	= 100 m ³ /h (440 gpm)- 20 mA
Valor medio	= 50 m ³ /h (220 gpm) - 12 mA

3.3.8.9 Normas y estándares oficiales de protección

Los estándares oficiales obligan a los fabricantes a producir sus productos según un estándar específico. Estos estándares hacen referencia a aspectos tales como el aislamiento, las distancias entre conductores, las corrientes y los voltajes máximos, etc., para componentes específicos. Cada fabricante debe ser capaz de establecer, por lo menos, con qué estándares se aviene su producto. Muchos fabricantes aplican sus propios criterios de estandarización que superan los estándares que exige la industria. Estos estándares adicionales pueden referirse al empleo de los componentes de esa marca y a la disponibilidad de circuitos integrados y transistores. El empleo de resistores de película metálica, condensadores de tantalio y contactos con baño de oro han aumentado la fidelidad de los equipos y los niveles de confianza. Las verificaciones nacionales independientes y las organizaciones de certificación certifican los equipos



fabricados y también contribuyen a los estándares oficiales. Uno de los estándares más conocidos es el de la protección contra intrusión de material sólidos y/o prevención de penetración de agua, es decir, el Ingress Protection. Los estándares disponibles son el EN 60529 = DIN VDE 0470 europeo y el NEMA No. 250 americano [12].

El estándar IP es la descripción de medidas diseñadas para proteger tanto los cabezales como el equipo que hay en el interior. También presta atención a la protección contra influencias o condiciones externas tales como impactos mecánicos, corrosión disoluciones cáusticas (por ejemplo, líquidos refrigerantes y líquidos de corte refrigerantes), moho, plagas (insectos), exposición a la radiación solar o hielo [12].

IP x. El primer dígito indica: protección contra impacto y penetración por cuerpos extraños. El segundo dígito indica: protección contra agua [12].

IP (International Protection).

3.3.9 Plataformas SCADA

Los sistemas de adquisición de datos, supervisión y control han evolucionado, en las dos últimas décadas, a la par de la evolución de las Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones; independientemente de que usuarios e ingeniería sigan reclamando a desarrolladores soluciones cada vez más potentes [13].

Los tiempos en los que un sistema de adquisición de datos, supervisión y control consistía en un simple terminal MTU (Master Terminal Unit) conectado a varios terminales RTU (Remote Terminal Unit), adquiriendo los datos de un proceso para luego mostrarlos en un terminal HMI (Human Machine Interface) y enviar las señales de control en consecuencia; actualmente se inscriben en la letra “A” dentro del “ABC” de estos sistemas. Sin embargo el término más utilizado para nombrar los sistemas de adquisición de datos, supervisión y control continúa siendo SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) [13].

Los sistemas SCADA actuales permiten gestionar alarmas, almacenar valores históricos, almacenar eventos, graficar el comportamiento de variables, generar reportes, mostrar en pantallas mímicos animados del proceso, gestionar recetas, realizar análisis estadísticos, así como la integración vertical con sistemas MES (Manufacturing Execution Systems) y ERP (Enterprise Resource Planning) [13].



Las aplicaciones SCADA más comunes en el mercado (aplicaciones capaces de realizar todas o la mayoría de las funciones anteriormente descritas sobre una plataforma hardware específica) se basan, en su mayoría, en soluciones generales que, configuradas por una ingeniería, permiten lograr una aplicación específica. Lo que se conoce como plataforma SCADA o entornos de desarrollo SCADA [13].

Las plataformas SCADA poseen la ventaja de una configuración relativamente simple, que no requiere grandes habilidades de programación por parte de la ingeniería, además de reducir tiempos de proyecto y aumentar la fiabilidad de la aplicación final [13].

La generalidad de las plataformas SCADA actuales están diseñadas para trabajar en el sistema operativo Windows. Presentan una arquitectura interna compuesta por varios programas o módulos con funciones específicas, a ejecutarse de forma local o remota, e interconectados entre sí. Un módulo de configuración permite a la ingeniería conformar la aplicación final y un módulo de ejecución se encarga de ponerla en marcha [13].

La comunicación entre los módulos se realiza a través de tecnologías estandarizadas como OLE(Object Linking and Embedding), COM (Component Object Model), DCOM (Component Object Model), ODBC (Open Database Connectivity) y OPC (Openness, Productivity and Collaboration). Por otro lado, existe una tendencia a la implementación de arquitecturas orientadas a servicios (Services Oriented Architecture), lo que incorpora numerosas ventajas como robustez, facilidad de mantenimiento, independencia de las tecnologías y rapidez (ver figura 14) [13].

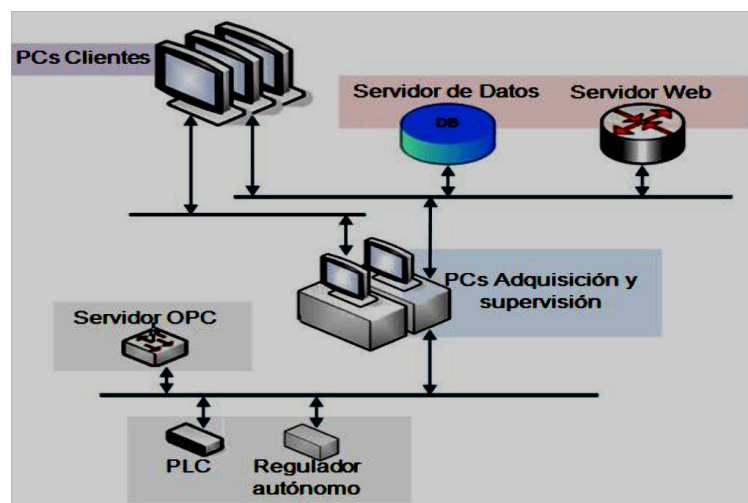


Fig.14. Diagrama genérico de la arquitectura de una aplicación SCADA distribuida



A continuación se detallan las características de algunas plataformas para crear un SCADA.

Características generales de SIMATIC/WinCC Flexible, SIEMENS. Siemens, uno de los fabricantes de elementos de tecnología que goza de mayor prestigio a nivel internacional. La marca SIMATIC, perteneciente a esta compañía, fue pionera en el desarrollo tecnologías para la automatización de maquinarias y cuenta con más de 60 años de fundada. Actualmente SIMATIC oferta desde de dispositivos de campo y programadores lógicos programables hasta soluciones SCADA, MES y sistemas de control distribuidos [13].

SIEMENS SIMATIC divide su oferta de plataformas SCADA en dos vertientes: SIMATIC Wincc Flexible para aplicaciones a pie de máquina o proceso y SIMATIC Wincc para implementar desde sistemas monoestación hasta complejos sistemas distribuidos. Ambos productos están orientados para cubrir cualquier sector y soportan los requisitos de validación según las normativas EU 178/2002 y 21CFR Part. 11 de la FDA4 para su aplicación en sectores de la industria alimenticia y farmacéutica. Las soluciones están diseñadas para funcionar bajo Sistemas Operativos de Microsoft y soportan los estándares básicos de dicha compañía [13].

SIMATIC Wincc Flexible ha sido concebido para implementar HMI para los paneles de mando de la línea SIMATIC HMI así como para soluciones individuales basadas en PC bajo Windows XP / Windows 7. La plataforma SCADA (llamada por SIMA-TIC software de ingeniería) está disponible en diferentes variantes escalonadas por precio y prestaciones. Estas variantes se basan unas en las otras y están adaptadas de forma óptima a cada clase de panel de mando. Además, cada paquete de software contiene las posibilidades de configuración incluidas en los paquetes inferiores. El módulo de ejecución (llamado por SIMATIC software de runtime) se encuentra incluido en cada panel SIMATIC y existe una versión para las soluciones individuales basadas en PC [13].

Características generales de In Touch HMI-System Platform, Wonderware .La oferta de Wonderware para la creación de aplicaciones SCADA se basa en sus productos InTouch



HMI y System Platform. Este software permite la creación de aplicaciones SCADA para cualquier sector industrial y soportan los requisitos de validación según las normativas 21CFR Part 11 de la FDA para su aplicación en sectores de la industria alimenticia y farmacéutica [13].

InTouch HMI puede ser utilizada como plataforma SCADA para crear aplicaciones para estaciones aisladas o fusionada con System Platform para crear aplicaciones distribuidas con estaciones redundantes. Por otro lado, utilizar la fusión InTouch HMI-System Platform permite tener manejar recursos del segundo como el Modelo de la planta de ArchestrA, Servidores Historian, de Aplicaciones y de Información en tiempo real. Wonderware proporciona el Wonderware Development Studio que permite configurar toda la aplicación basada en InTouch HMI-System Platform. Además desde Wonderware Development Studio se puede desplegar las aplicaciones a ejecutarse en cada una de las estaciones y servidores de un sistema distribuido sin necesidad de hacerlo in situ. Los productos de Wonderware se encuentran distribuidos en gran parte de los países del mundo. Se estima que están presentes en un tercio de las plantas industriales a nivel global [13].

Características generales de Movicon, Progea. Progea es una compañía con sede en Italia y 20 años de fundada. Enfoca su trabajo al desarrollo de software para la informatización industrial basados en los sistemas operativos Windows de Microsoft. La compañía ofrece, además de sus productos y la asistencia técnica a los mismos, servicios de entrenamiento, consultoría, ingeniería, gestión de desarrollo y soluciones específicas. Progea oferta la plataforma Movicon para crear aplicaciones SCADA para cualquier sector industrial y la automatización de edificaciones. Movicon soporta los requisitos de validación según las normativas 21CFR Part. 11 de la FDA para su aplicación en sectores de la industria alimenticia y farmacéutica [13].

Movicon se comercializa, distribuye y soporta en 25 países a lo largo de tres continentes, incluyendo todos los países líderes de Europa, además de países de Norteamérica, Suramérica, el Caribe, China, el Este Asiático y Australia [13].



DSC el modulo NI LabVIEW Dataloggin and Supervisory Control (DSC) es el complemento de LabVIEW, ideal para desarrollar su HMI/SCADA o aplicaciones de registro de datos de muchos canales. Con LabVIEW DSC, usted puede desarrollar de manera interactiva un sistema de monitoreo y control distribuido que va desde docenas hasta decenas de miles de etiquetas. Incluye herramientas para registro de datos a una base de datos histórica en red, tendencia de datos históricos y en tiempo real, administración de alarmas y eventos, objetivos de LabVIEW Real-Time en red y dispositivos OPC en un sistema completo y añadir seguridad a interfaces de usuarios [14].



4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 INTRODUCCIÓN:

En este capítulo se dará una descripción de todo el proceso de la planta de alcohol. Además se desarrollará la automatización con sus diferentes estrategias de control, también el direccionamiento de las entradas y salidas del proceso de fermentación. Así se procederá a seleccionar la instrumentación necesaria para llevar a cabo nuestro objetivo.

Al mismo tiempo contaremos con un software para programar nuestro sistema de la firma SIEMENS, el cual nos permitirá representar el proceso de fermentación en su lenguaje gráfico de programación. También nos permite observar en tiempo real los mecanismos que se encuentran funcionando y sus respectivas alarmas en caso de fallo con la herramienta SCADA WinCC flexible.

4.2 MATERIALES

- Microsoft Word
- Paint
- Solid Converter PDF
- Microsoft Excel

4.3 METODOS

4.3.1 Descripción del Proceso de la Planta de Alcohol

4.3.1.1 Almacenamiento de la Materia Prima

La materia prima (melaza de la caña de azúcar o designada también como miel final o miel de purga de la melaza de tercera) es almacenada, una parte, en una piscina con capacidad de 264600 L. También se cuenta con un tanque de 378000 L para esta tarea [3].

La piscina está construida de concreto y ladrillo, provista de una cubierta de asbesto y cemento, con esquinas redondeadas. El otro depósito es un tanque de hierro de forma cilíndrica cerrado dispuesto verticalmente. Desde estos dos depósitos de



almacenamiento se encuentran disponibles las respectivas conexiones para las salidas del producto. De igual manera se dispone de dos bombas para el envío de la melaza desde los depósitos donde se encuentra almacenada hacia el tanque de recepción de melaza de la planta de alcohol[3].

Bombas de melaza: esta bomba tiene un reductor cerrado, de 3.6 Hp, 440 V y 1730 RPM. Reduce su velocidad a 400 rpm. La capacidad de bombeo de esta es 400 GPM. También existe una bomba de auxilio que se utilizapara el envío de la melaza desde el ingenio cuando la otra bomba sufre algun desperfecto. Además se tiene instalado un medidor magnético de flujo que contabiliza y totaliza el flujo enviado por hora en galones de melaza[3].

4.3.1.2 Almacenamiento de Melaza en la Destilería

El tanque para el almacenamiento de la melaza es de hierro en lamina de ¼ pulgadas, cerrado, con tapa tipo bisagra y capacidad de 1190 galones[3]. Para el transporte de la melaza desde este tanque se utiliza una tubería de hierro de 4 pulgadas que recorre una longitud de 26 metros, provisto de sus respectivas válvulas de compuerta y manual a la salida del tanque y en la parte final de la misma se dispone de una válvula de 4 pulgadas, tipo mariposa, bridada que hace su apertura o cierre con control neumatico para llenar el tanque de dosificación en la seccion de preparación de melaza. Los parámetros de calidad de la materia primase exponen en la siguiente tabla 2.

Tabla 2: Parámetros de calidad de la melaza [3]

°Brix	80-83
A.R.T.	48-52 %
PH	6.3
Azucares fermentables	47-52

4.3.1.3 Pasteurización de la melaza

La pasteurización de la melaza se realiza con la finalidad de eliminar los gérmenes presentes en ella. Este proceso se realiza a 85°C y con una duración de 30 minutos. Se lleva a cabo en un tanque reactor que dispone de líneas de suministro de vapor, agua, aire y ácido sulfúrico. Para cumplir con este propósito se dispone de [3]:



- Un tanque dosificador de melaza de hierro inoxidable, con capacidad de 1100 L.
- Un tanque plástico dosificador de ácido sulfúrico con capacidad de 25 L, tiene como objeto ajustar el pH de la melaza cuanto más bajo sea el pH en la fermentación, menor es el riesgo de infecciones.

La operación comprende los siguientes pasos [3]:

1. La melaza cruda baja por gravedad desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque dosificador de melaza. Se depositan 1100 L de melaza aproximadamente.
2. Se ingresa al tanque una cantidad aproximada de 2700 L a 3200 L de agua. Paralelamente se agrega un aproximado de 24 L de ácido sulfúrico con la finalidad de reducir el pH.
3. La melaza anterior debe alcanzar una temperatura mayor a 65°C. Esta temperatura se logra por la adición de vapor que ingresan al tanque reactor por la parte inferior a través de una tubería de 2 pulgadas y se homogeniza por medio de una línea de aire de la que dispone el tanque reactor.
4. Una vez preparada el agua y el ácido sulfúrico se adiciona la melaza desde el tanque dosificador.
5. Esta mezcla (agua-melaza-ácido sulfúrico) se homogeniza y se calienta hasta alcanzar una temperatura de 78°C, entonces se toma una muestra para controlar los grados Brix y el pH.
6. Una vez que la mezcla alcanza la temperatura ideal debe mantenerse un cierto tiempo con la finalidad de pasteurizar la melaza. Transcurrido ese tiempo se cierra la válvula de vapor y se enciende la bomba para transportarla hacia el tanque de almacenamiento de melaza tratada.
7. El proceso de preparación de una bachada se realiza en aproximadamente 1 hora y 50 minutos.

4.3.1.4 Almacenamiento de Melaza Tratada

Habiéndose pasteurizado la melaza se bombea desde el tanque reactor hasta un tanque de almacenamiento de melaza tratada, ubicado en la torre de destilación. Este tanque es de hierro recubierto internamente con lámina de acero inoxidable 316, de forma cilíndrica y abierta y con una capacidad de 4100 L. La bomba de transporte de la melaza



tiene un motor de 5.0 KW, 220V y 3360 RPM, es una bomba de tipo centrifuga y bombea 15116 L/H.

4.3.1.5 Clarificación

Para el procesamiento de clarificación de la melaza tratada se utiliza un tanque de sedimentación denominado hidrociclón.

Tanque Hidrociclón: La melaza tratada baja por gravedad hasta el hidrociclón. Este tiene una capacidad de 1100 L y está construido en acero inoxidable. En él se realiza la clarificación de la melaza pasteurizada, separando los lodos en la parte inferior del cono, puesto que son sales de calcio y magnesio que se precipitan por el efecto del pH y la temperatura.

La melaza clarificada rebosa por la parte superior del hidrociclón hacia un enfriador de tubos verticales de acero inoxidable, reduciéndose la temperatura. El agua de enfriamiento proviene de la torre de enfriamiento.

Una vez clarificada y enfriada la melaza se envía a un tanque de almacenamiento de melaza clarificada, el tanque es de hierro con una capacidad de 4100 L. La bomba que se encarga de transportar la melaza clarificada hasta el tanque de almacenamiento es neumática y bombea aproximadamente 12 L por minuto [3].

4.3.1.6 Dilución Final de Mosto

Se conoce como preparación de mosto la dilución para lograr una buena fermentación de la melaza. Para controlar la dilución se usa como parámetro la medición de grados °Brix.

La melaza clarificada de 35 a 37°Brix por gravedad llega al tanque de dilución final. Este es de acero inoxidable con capacidad de 200 L. Se encuentra provisto de un agitador de hélices neumático, en donde se mezcla con agua tratada para obtener un mosto de 22 a 22.5 °Brix, controlados por un hidrómetro. Este mosto es utilizado en la alimentación de los prefermenteros y las ocho cubas [3].

4.3.1.7 Prefermentación

En la destilería se cuenta con dos tanques prefermenteros, cada uno con capacidad de 400 L, provistos de un serpentín de tubo de acero inoxidable de 1" para enfriamiento,



una tubería de entrada de aire por el fondo del tanque para introducir mediante el aire oxígeno, elemento necesario e indispensable para la reproducción de las levaduras, y una tubería de agua de 1/2" para disminuir la concentración o Brix del cultivo de levaduras [3].

El mosto de 22 a 22.5°Brix es enviado a los tanques de prefermentación. Se adiciona agua para alcanzar 14°Brix. En este punto se realiza una siembra de 2 kilogramos de levadura *S.c*, utilizada específicamente para melaza de caña de azúcar [3]. Los tanques prefermenteros se llenan en aproximadamente 2 horas.

Durante el proceso de llenado de los prefermenteros, los Brix de la melaza varían debido al consumo de azúcares de las levaduras. Inicialmente se encuentran en 14°Brix, en aproximadamente 3 horas disminuye hasta los 11°Brix [3].

En este intervalo de tres horas de trabajo de las levaduras es necesario controlar la temperatura, la cual debe mantenerse entre 30 y 32°C, rango adecuado para la proliferación de levaduras. Además se debe adicionar los nutrientes requeridos para la acción de las levaduras cada una de las cuales cumple con una función específica [3].

Estas son:

- Sulfato de magnesio (400g/prefermentero): utilizado en la regeneración de las levaduras para mantener su poder de acción.
- Sulfato de amonio (1500g/prefermentero): ayuda en la reproducción de las levaduras.
- Fosfato diamónico (750g/prefermentero): es imprescindible su presencia para que tenga lugar la fermentación y así se fortifican las levaduras apartándoles nitrógeno.

Una vez que se han alcanzado los 11 °Brix, se hace pasar la mitad del contenido en el prefermentero uno al prefermentero dos, o sea, cada uno de ellos contiene 2000 L, entonces se completan los 4000 L requeridos en cada uno de ellos con melaza que llega desde el dilutor. Acto seguido se espera que alcance nuevamente los 11°Brix y se realiza la siembra de un prefermentero en la cuba correspondiente. El otro prefermentero sirve como semilla, entonces se divide entre los dos y se repite el proceso [3].



4.3.1.8 Fermentación

Es el proceso por el que la azúcar presente en el mosto se transforma en alcohol debido a la acción de la levadura. La fermentación instalada en Monterrey Azucarera Lojana es de tipo discontinuo, y está formada por cinco cubas de hierro al carbón, con capacidad de 37000 L cada una. El sistema de enfriamiento se realiza mediante un baño de agua por la pared externa del tanque. Cada cuba presenta una parte cónica donde se depositan lodos o sedimentos, los mismos que generalmente están constituidos por levaduras muertas y otra parte por sales de calcio y magnesio [3].

En cada cuba se siembran 8000 L de levadura reproducida en la sección de Prefermentación. Las siembras se realizan en dos fases y con un intervalo de aproximadamente cinco horas entre ambas. El procedimiento es como sigue:

Al inicio del llenado se depositan en la cuba 2000 L de mosto y 400 L del contenido del prefermentero. Se sigue alimentando 2000 L/H de mosto hasta llegar a 16000 L, entonces se realiza la segunda siembra, adicionando los 4000 L contenidos en el otro prefermentero. A partir de este momento se alimentan 1000L/H de melaza hasta alcanzar un volumen de 36000L, valor inferior a la capacidad del tanque, con la finalidad de evitar rebose de espumas provenientes de la fermentación [3].

La temperatura debe mantenerse en 34°C, registrada en termómetros tipo capilar colocados en la pared de cada cuba. El tiempo de llenado de cada cuba es de 21 horas [3]. Una vez llena la cuba se deja reposar por 24 horas aproximadamente, tiempo en el que se completa el proceso de fermentación, es decir, todos los azúcares han sido transformados por efecto de las enzimas de las levaduras en alcohol, estando listo para pasar al proceso final, que es el de destilación [3]. El rendimiento de alcohol promedio obtenido es de 9.0 a 9.4°GL.

Cada cuba presenta una parte cónica en la que se depositan sedimentos, aproximadamente 5000 L/cuba, los cuales son enviados a un tanque receptor de lodos construido en acero al carbón, por medio de una bomba neumática. Se dejan reposar de 8 a 12 horas para recuperar el vino que ha sido transportado con los lodos, el cual



retorna como alimentación al proceso de destilación, mientras que los lodos son transportados hacia el campo para ser utilizados como abono [3].

4.3.1.9 Destilación

La rectificación o destilación fraccionada es el proceso que nos permite obtener alcohol crudo o alcohol etílico rectificado de 96°GL a partir del vino de la melaza. Este proceso consiste en la separación de todas las impurezas que acompañan al alcohol en el vino, que se puede dividir en tres grupos:

- Impurezas no o muy poco volátiles.
- Impurezas menos volátiles que el alcohol.
- Impurezas más volátiles que el alcohol.

Para realizar la separación se utilizan columnas de destilación fraccionada. En estas columnas se introduce el vino y el vapor que facilita la energía para el proceso de destilación.

En la destilería de alcohol de la empresa MALCA, el equipo para la rectificación del alcohol etílico está formado por cinco columnas (C-510, C-520, C-536, C-540, C-550) [3].

Para la obtención de alcohol crudo se utilizan únicamente dos ellas (C-510 y C-520). En la figura 4.1 se muestra el diagrama de proceso de la planta.



Fig. 15. diagrama de proceso en la planta de alcohol



4.4 Proceso de Fermentación

Este proceso es clave para la elaboración del alcohol, ya que una buena fermentación conduce a elevar la concentración de alcohol en las cubas, y por ende, a elevar la producción.

4.4.1 Variables de Proceso

Hemos creído necesario explicar los parámetros y variables que se encuentran en el proceso de Fermentación para esclarecer y comprender mejor la elaboración de la vinaza la cual es objeto de nuestro estudio en la tabla e 3 visualizamos dichas variables. *La vinaza* es el producto final que se obtiene luego de la fermentación. Esto se produce por la acción de las levaduras, al transformar el azúcar en alcohol.

Tabla 3: Variables de Proceso

VARIABLE	Unidad	RANGO DE MEDICIÓN		ERROR
		Máximo	Mínimo	MAXIMO ADMISIBLE
TEMPERATURA	°C	50	0	±0.1 °C
CONCENTRACIÓN	°Brix	20	0	±0.1 °Brix
NIVEL (volumen)	M	5	0	± 0.1 m

4.4.2 Flujo de diferentes líquidos que entran al Proceso

El flujo es un factor importante en la operación del proceso, para ello se tiene la entrada de tres líquidos los cuales son: Agua, Mosto y Levaduras en la tabla 4 lo explicamos.

Tabla 4: Flujos del proceso

LÍQUIDO	FLUJO PROMEDIO	UNIDADES
AGUA	5400	L/H
MOSTO	3000	L/H
LEVADURAS	4000	L/H

4.4.3 Operación del sistema de llenado

En la actualidad esta operación se realiza de forma manual, al abrir y cerrar las válvulas de las tuberías que transportan los diferentes líquidos. También, para verificar el nivel, se utiliza una regleta con una boya la cual está en el interior del tanque. Para mejor comprensión se procede a describir el llenado de las cubas.



1. Se llena, en una primera fase, un total de 2000L de mosto en una hora.
2. Acto seguido se procede a introducir 4000L de levadura. También se utiliza el tiempo de una hora para depositar este líquido llegando a un total de 6000 L de fermento en un tiempo de dos horas.
3. Llegando a las cinco horas se procede a la segunda siembra de levaduras que son 4000L más los 2000 L de mosto que siguen entrando en el tiempo de cinco horas y llegando a una cantidad total de 22000 L de fermento.
4. Al cabo de las seis horas está depositado en su totalidad los 22000 L de fermento. Desde esta hora en adelante se pasa a alimentar la cuba con 1000L/H de mosto hasta el término de su llenado. Así mismo se seguirá llenando la siguiente cuba, cualquiera que sea ésta, siguiendo el mismo proceso para las ocho cubas del proceso. En la tabla 4.4 se ilustra el fragmento de registro de llenado de una cuba, tal y como se procede actualmente.

Cabe recalcar que las válvulas instaladas en la fábrica son del tipo bola, de 2” y en acero inoxidable de la marca ROWECO al igual que la tubería correspondiente.



Tabla 5: Registro de llenado

TANQUE	LITROS	BRIX	TEMPERATURA	
#1	Fermtds 8000	22.6	36 °C	
HORA DE LLENADO		HORA DE FERMENTACIÓN		
FECHA	04/04/2011	FECHA	05/04/2011	
INICIO	08:00	INICIO	6:00:00	
FIN	06:00	FIN	06:00 (07/04/2011)	
HORA	BRIX	TEMPERATURA °C	VOLUMEN Lts	
8:00	*****	36	*****	
9:00	19,400	36	6.250	1° siembra
10:00	15,600	36	8.250	
11:00	16,300	36	10.250	
12:00	16,800	36	12.250	
13:00	17,100	36	14.250	
14:00	17,700	35.5	20.250	2° siembra
15:00	15.1	35	21.250	
16:00	14,500	35	22.250	
17:00	14,000	35	23.250	
18:00	13,500	35	24.250	
19:00	13,000	35	25.250	
20:00	12,900	34.5	26.250	
21:00	12,500	34.5	27.250	
22:00	12,000	35	28.250	
23:00	11,800	35	29.250	
0:00	11,500	35	30.250	
1:00	11,400	35	31.250	
2:00	11,100	35	32.250	
3:00	10,900	35	33.250	
4:00	10,900	34	34.250	
5:00	10,900	34	35.250	
6:00	10,700	34	36.250	
			LLENO	

4.4.4 Tiempo de Fermentación

Al término del llenado de cada cuba comienza la etapa de fermentación, la cual consiste en la transformación de azúcares en alcohol. El tiempo estimado para que se realice este proceso es de 24 horas.

4.4.5 Frecuencia de Muestrea Necesaria

Actualmente la empresa exige llevar un control de muestra cada hora para la verificación de los estándares de calidad de producción, lo cual es una política interna de la empresa que le exige tanto a la fábrica de azúcar como a la fábrica de alcohol.



4.4.6 Condiciones Ambientales

Las condiciones ambientales para el proceso se han tener muy en cuenta, ya que se expone directamente a gases como lo es el dióxido de Carbono emanado por la fermentación. También se tiene contacto muy frecuente con agua y mosto.

El tipo de protección ambiental (IP, NEMA) que se necesita en los instrumentos de medición es como mínimo una IP 67 del tipo 6 según las normas estándares y certificados de protección ambiental [11]. Para las válvulas se tendrá en cuenta una IP 67 del tipo 6P, la cual valida la resistencia ante sustancias corrosivas.

4.4.7 Variables Medidas y Controladas

Para el proceso se tiene que tener muy claro las variables que son medidas y las variables controladas, en el cuadro siguiente quedan detalladas. En la tabla 6 se presentan las variables medidas y las variables controladas, así también en la tabla 7 se contabiliza el total de variables para el proceso.

Tabla 6: Variables

<i>VARIABLES MEDIDAS</i>	<i>VARIABLES CONTROLADAS</i>
Grado Brix	TEMPERATURA
	VOLUMEN

Tabla 7: Cantidad de variables para el proceso de fermentación

VARIABLE DE ENTRADA ANALOGICA (EA)	VARIABLE DE SALIDA DIGITAL(SD)	TOTAL PARA UNA Cuba
VOLUMEN	VALVULA DE MOSTO	3 EA / 6SD
TEMPERATURA	VALVULA DE LEVADURA.	
BRIX	VALVULA DE AGUA	
	VALVULA DE VINAZA	
	LED DE INACTIVA	
	LED DE ACTIVA	
TOTAL PARA LAS OCHO Cubas		24 EA / 48 SD



4.5 PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN

Los objetivos principales que se toman en cuenta para la propuesta de automatización son los siguientes:

- Mejorar el control del proceso de temperatura y la secuencia de operación del subproceso de fermentación, facilitando la lectura y el registro de las variables Temperatura, Brix y Volumen. Aumentando así la eficiencia de la producción y la calidad del producto final.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, al no tener que exponerse mucho tiempo a los gases tóxicos que provoca la fermentación.
- Crear condiciones que facilite la integración de esta información al sistema la gestión de calidad y de la producción que exige la empresa.

4.5.1 Ingeniería Básica

La ingeniería básica comprende la ingeniería conceptual y la ingeniería de procesos. Los principales documentos que deben ser generados en esta fase de la ingeniería son los siguientes:

4.5.1.1 Bases y Criterios de Diseño

Para el desarrollo de la ingeniería se calcularon y se cotizaron instrumentos de tipo industrial, que cumplirán con estándares internacionales de seguridad.

4.5.1.2 Estrategia de control

Para el control del proceso de fermentación se emplearán algoritmos de control secuencial que manejen el llenado y vaciado de las cubas, siguiendo los pasos descritos anteriormente. Para ello se requiere manejar las válvulas on/off (todo/nada), ya instaladas en el proceso, que manejan los flujos de entrada de mosto y levadura, y de salida la vinaza. También se requiere medir el nivel o volumen de vinaza en la cuba para controlar el llenado de la misma, teniendo en cuenta los tiempos establecidos en el proceso.

También se implementará un lazo de control de la temperatura de la vinaza para mantener esta variable entre los valores establecidos. Teniendo en cuenta la dinámica



lenta del proceso de temperatura y los requerimientos de diseño del control, es posible seleccionar un controlador on/off con histéresis que mantenga esta variable entre los valores de 34 y 35 °C prefijados por los productores. De esta forma se pueden emplear también válvulas y actuadores on/off reduciendo considerablemente los costos de instalación. Este lazo se activará cuando comience el llenado de las cubas y se desactivará al finalizar el vaciado.

La limpieza de las cubas se continuará realizando de forma manual, pero se colocarán señalizaciones para indicar si requiere ser limpiada, si está activa o inactiva, así como pulsadores para conocer cuando se termina la limpieza y la cuba se encuentra lista para ser llenada nuevamente.

La medición de Brix se empleará solamente como variable referencia (testigo) para certificar la calidad del producto.

4.5.1.3 Rango de las señales a trabajar

Las señales a trabajar es el estándar de 4 – 20 mA. Ello debido a sus ventajas con respecto a otros estándares, como lo es la gran inmunidad al ruido.

4.5.1.4 Diagrama Entradas y Salidas del Proceso (EPS)

En la siguiente figura 15 se observa la distribución de las variables que están presentes en el proceso de Fermentación.



Fig. 15. diagrama EPS

4.5.1.5 Tipo de Instrumentación a utilizar

Realizada la propuesta de automatización para el proceso de fermentación semicontinuo lineal, se procede a describir los diferentes equipos que realizarán la medición y control en el sistema propuesto.



4.5.1.6 Sensor de Grado Brix

El tipo de sensor propuesto es el DT301 de la marca SMAR figura 16, el cual mide densidad por medio de un diferencial de presión que es dado por dos sensores de presión. Su elemento primario es del tipo capacitivo con compensación de temperatura y tiene un rango de $\pm 0.1^\circ$ Brix. En total se instalan ocho sensores de concentración, los cuales estarán ubicados en sus respectivas cubas. En el Anexo 2 se aborda sobre su instalación para un correcto funcionamiento del instrumento según el fabricante. En la tabla 8 se describe sus características.



Fig. 16. Sensor DT301 de marca SMAR



Tabla 8: Características del Sensor DT 301

Precisión	$\pm 0,1^{\circ}\text{Brix}$
Salida	Salida 2 hilos, 4-20 mA
Límites de temperatura	Ambiente: -40 a 85 °C (-40 A 185 °F) Proceso: -20 a +150°C (-4 A 302°F)
Alimentación eléctrica	12 a 45 Vdc
Material de diafragma	316L SST
Fluido de recubrimiento	DC 200/20 SILICONE OIL
Indicador Local	Si
Conector Eléctrico	½ - 14 NPT
Montaje	Superior o Lateral
Proceso de Conexión	4" ANSI en acero inox. 316 sst
Límites de presiónestática	70 kgf/cm ² (7MPa) (1015 PSI)
Peso	Modelo Sanitario: 4.5 kg (10 lb) - Modelo Industrial: 8 kg (18 lb)
IP	67

4.5.1.7 Sensores de Temperatura

El sensor seleccionado es un RTD del tipo PT100 con salida 4-20mA y un rango de medida de 0-100°C (ver figura 17). En total se instalan ocho sensores de temperatura, todos con las mismas características y estarán ubicados en las respectivas cubas de fermentación. Para seleccionar la RTD se utilizó el catálogo de Endress + Hauser que se muestra en el Anexo 3. En tabla 9 se describe sus características.



Fig. 17. Sensor de temperatura RTD TR11 de Endress + Hauser

Tabla 9: Características del Sensor de Temperatura RTD

Modelo	M TR11
Tipo	B
Rango	0 a 100 °C
Precisión	0.01 °C
Resistividad	9,83
Coefficiente de (TCR)	0.00385 Ω/Ω
Material Para Termopozos y Protectores	Acero Inox. 316
Altura de inmersión	06
Conector Eléctrico	C45,T
Transmisor Configurable	450
Unidad de Medida	°C
Salida	4...20mA
Montaje	Alta precisión 4 Hilos
Housing Type	TA20A
IP	66 - 67

4.5.1.8 Sensor de Nivel del Tipo Presión Hidrostática

Estos sensores se emplean en muchas ramas de la industria para la medición de niveles en tanques o cisternas, ya sean abiertos o cerrados. El sensor que se ha escogido es el



modelo DB53 de marca Endress + Hauserel cual brinda una indicación del nivel, desde unos pocos mm de columna de agua hasta 0-160 m de columna de agua 0-100%. Su instalación para un correcto funcionamiento según el fabricante se muestra en el Anexo 4. El principio de este instrumento se basa en la medición de presión ()



Fig. 18. Sensor de Nivel Deltapilot S DB53 de Endress + Hauser

Tabla 10: Características del sensor Nivel DB53

Modelo	Deltapilot S DB 53 Handress + Hauser
Fabricante	
Rango de medición	0....100 m
Precisión	
Límites de temperatura	-10.....+80°C
Salida	4.....20 mA
Material de Construcción	stainless steel 1.4301, un varnished
Inserto electrónico	Tipo C 66
IP	



4.5.1.9 Selección de Válvulas

Para la selección de las válvulas se debe tener en cuenta, la capacidad de repetición, estabilidad, tiempo de respuesta, tiempo de vida, rango y costo.

Las válvulas instaladas en el proceso son del tipo bolay de la marca ROWECO, de operación muy rápida ver figura 19. Se utilizan para abrir o cerrar el paso de fluido. Mediante ellas se logra un buen sello de la bola con el asiento (anillo de goma sintética, TFE, RTFE, Nylon y otros) sin depender de torque externo. Permiten una operación de abrir y cerrar (on/off) muy frecuente sus características se expresan en la tabla 11. La cantidad de válvulas requeridas para el control del proceso es de 32 unidades de 2 pulgadas c/u. Cada cuba cuenta con cuatro válvulas que solo requieren acoplarles un actuador.



Fig. 19. Válvula de Bola tipo bridada

Tabla 11: Características de la Válvula de bola tipo bridada

Marca	ROWECO
Tipo	Bridada de 2" Norma ANSI
Material	Acero Inoxidable
Accionamientos	Manual, eléctrico, hidráulico, neumático
Aplicaciones	Químico, Petroquímico, Aguas Minería.
IP	68

4.5.1.10 Actuador de las Válvulas de Control

El actuador elegido es de la marca Centork (Centronik) serie 415 ver figura 20. El actuador se maniobra a través de las entradas remotas (Abrir, Cerrar, Stop y Des), es un control TODO-NADA denominado control de lazo abierto. Responde a las órdenes recibidas (Abrir, Cerrar) moviendo la válvula a una de las posiciones finales (Abierta, Cerrada).



Sus características técnicas se muestran en el anexo 5.



Fig.20 Actuador Seri 415

Tabla 12: Características del Actuador Serie 415

Marca	CENTORK
Consigna de entrada	0-10V
IP	68
Voltaje de alimentación	220V A.C
Precisión	
Desplazamiento Operación	0° y 90° Todo/Nada
Tiempo de recorrido total	7 seg

4.5.1.11 Selección del PLC

Para la selección del PLC se utilizó el fabricante SIEMENS. Este posee un gran prestigio internacional en el campo del Control Automático y en todas las ramas de la electrónica en general.

El PLC va a ser el encargado de controlar el funcionamiento de todos los componentes de entrada/salida, además de realizar todos los pasos lógicos secuenciales de arranque, parada, condiciones normales de trabajo y condiciones anormales o de alarmas.

Para la automatización del proceso de obtención de la vinaza, se escogió el autómeta S7-200. Este es un micro poderoso PLC, el cual presenta una fuente de alimentación integrada, circuito de entrada y de salida, que puede utilizarse para numerosas tareas.



El S7-200 vigila las entradas y cambia el estado de las salidas conforme al programa de usuario. Este puede contener operaciones de lógica booleana, operaciones con contadores y temporizadores, operaciones aritméticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes [15]. A continuación se presentan las tablas 12 y 13 con entradas y salidas, analógicas y digitales necesarias con su rango de corriente.

Las características del PLC y su CPU se muestran en el anexo 6.

Tabla 12: De Entradas Analógicas 4 – 20 mA

MODULO	CANAL	VARIABLE
EM231 (cada modulo Analógico consume una corriente de 480 mA) corriente para 24V	0	TEMP. C1
	2	TEMP. C2
	4	TEMP. C3
	6	TEMP. C4
	8	TEMP. C5
	10	TEMP. C6
	12	TEMP. C7
	14	TEMP. C8
EM231	16	NIVEL C1
	18	NIVEL C2
	20	NIVEL C3
	22	NIVEL C4
	24	NIVEL C5
	26	NIVEL C6
	28	NIVEL C7
EM231	30	NIVEL C8
	32	BRIX C1
	34	BRIX C2
	36	BRIX C3
	38	BRIX C4
	40	BRIX C5
	42	BRIX C6
	44	BRIX C7
46	BRIX C8	



Tabla 13: De Salidas Digitales 0-10V

MODULO	CANAL	CONTROL DE VALVULAS
PRICIPAL O CPU 24 ED/ 16 SD (Cada Modulo digital consume una corriente 128mA) Para una tensión de 24V	Q0.0	VALV. DE AGUA C1
	Q0.1	VALV. DE AGUA C2
	Q0.2	VALV. DE AGUA C3
	Q0.3	VALV. DE AGUA C4
	Q0.4	VALV. DE AGUA C5
	Q0.5	VALV. DE AGUA C6
	Q0.6	VALV. DE AGUA C7
	Q0.7	VALV. DE AGUA C8
	Q1.0	VALV. DE MOST. C1
	Q1.1	VALV. DE MOST. C2
	Q1.2	VALV. DE MOST. C3
	Q1.3	VALV. DE MOST. C4
	Q1.4	VALV. DE MOST. C5
	Q1.5	VALV. DE MOST. C6
	Q1.6	VALV. DE MOST. C7
	Q1.7	VALV. DE MOST. C8
	EM 223 16 ED / 16 SD	Q2.0
Q2.1		VALV. DE LEVA. C2
Q2.2		VALV. DE LEVA. C3
Q2.3		VALV. DE LEVA. C4
Q2.4		VALV. DE LEVA. C5
Q2.5		VALV. DE LEVA. C6
Q2.6		VALV. DE LEVA. C7
Q2.7		VALV. DE LEVA. C8
Q3.0		VALV. DE VINAZA C1
Q3.1		VALV. DE VINAZA C2
Q3.2		VALV. DE VINAZA C3
Q3.3		VALV. DE VINAZA C4
Q3.4		VALV. DE VINAZA C5
Q3.5		VALV. DE VINAZA C6
Q3.6		VALV. DE VINAZA C7
Q3.7	VALV. DE VINAZA C8	

Unidad Central de Procesamiento (CPU)

En correspondencia con las características tabla 14 y prestaciones del proceso se selecciona una CPU 226 DC/DC/DC. (Figura 21)



Fig. 21. CPU 226 DC/DC/DC.

Tabla 14: Características de la CPU [15]:

Versión	DC/DC/DC/Relé
Dato de pedido	6ES7 216 – 2AD23-0XB0
Entradas digitales integradas	24
Salidas digitales integradas	16
Entradas/Salidas Analógicas integradas	No
Módulos de ampliación	7
Entradas/ salidas Digitales máxima	148 max. 128 entradas y 120 salidas
Entradas/Salidas analógicas	max. 35; max. 28 y 7 salidas (EM) o máx.0 entradas y 14 salidas (EM)
Puertos de comunicación	2 RS 485
Velocidad de ejecución	0.22 microsegundos/operación
Memoria del programa	Con edición en runtime: 16384 bytes Sin edición en runtime: 24576 bytes
Memoria de datos	10240 bytes
Protocolos de comunicación opcionales	Profibus DP esclavo y ASInterface, Máster/ Ethernet.
Lenguaje de programación	KOP, FUP y AWL.
Marcas/Contadores/Temporizadores	256/256/256.
Velocidades de transferencia	PPI: 9.6, 19.2 y 187.5 Kbits/s



A continuación se muestra el diagrama de cableado de una CPU 226 serie 6ES7 216 - 2AD23-0XB0 figura 22.

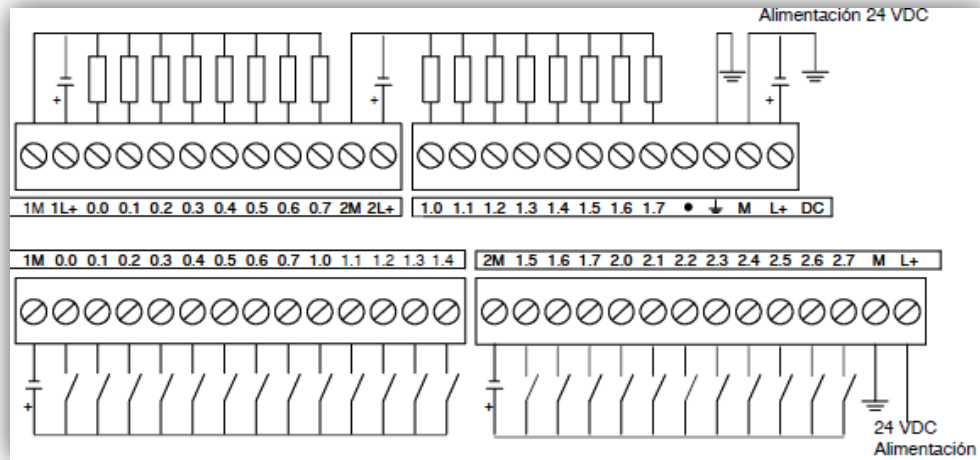


Fig. 22. Diagrama de cableado de una CPU 226 DC/DC/DC.

Con las entradas y salidas integradas de la CPU no se garantiza la demanda de variables del proceso. Para escoger los módulos de entradas/salidas digitales y analógicas se tuvo en cuenta la cantidad de dispositivos presentes en el sistema. En el proceso de obtención de Vinaza existen 32 salidas digitales y 24 entradas analógicas. Por lo tanto es necesario incorporar nuevos módulos de ampliación para complementar la periferia integrada de la CPU.

Módulo de ampliación EM 223:

Se decidió adicionarle a la CPU 226, un módulo de ampliación de entradas y salidas digitales EM 223 (figura 23), que cuenta con 16 entradas y 16 salidas. Con este módulo más las integradas a la CPU se aseguran los requerimientos de las salidas necesarias.



Fig. 23. Módulo de ampliación EM 223.



En la tabla 15 se muestra las características del módulo.

Tabla 15: Características del Módulo de Ampliación [15]:

Dato de pedido	6ES7 223 -1BL22 - 0XA0
Entradas Digitales	16x 24VCD
Salidas Digitales	16SDC, 75A
Disipación	6W

En la figura 24 se muestra el diagrama de cableado para el módulo de ampliación digital EM 223.

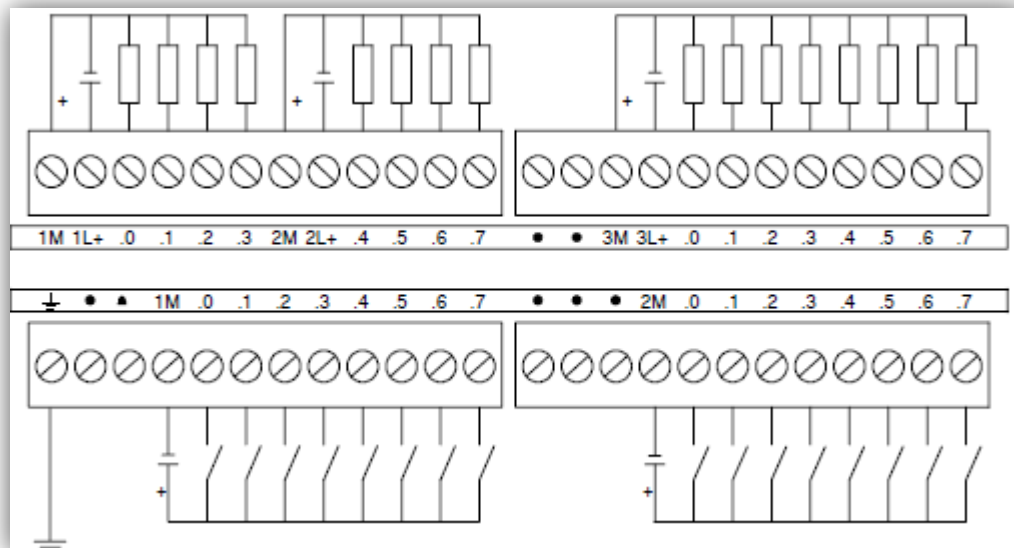


Fig. 24. Diagrama de cableado del EM 223 6ES7 223-1BL22-0XA0.

Módulo de ampliación analógica EM 231

En cada cuba se miden las variables de nivel, temperatura y concentración, los instrumentos propuestos para la medición de dichas variables tienen salidas 4-20 mA. Para el tratamiento de las señales de las ocho cubas son necesarias 24 entradas analógicas, por lo tanto, para satisfacer dicha demanda, se proponen tres módulos EM 231. (figura 25)



Fig. 25. Módulo EM 231.

Tabla 16: Características del Módulo EM 231[15]:

Dato de pedido	6ES7 231-0HF22-0XA0
Entradas Analógicas	8
Formato de la palabra de datos	Bipolar: -32000 a 32000 Unipolar: 0 a 32000
Resolución	11 bits
Rango de entrada	Canales de 0 a 5: +10V, +5V,+/- 5V,+/-2.5V. Canales de 6 a 7: +10V, +5V,+/- 5V,+/-2.5V y de 0 a 20mA.

A continuación se muestra el diagrama de cableado para el módulo de 8 entradas analógicas EM 231 (figura 26).

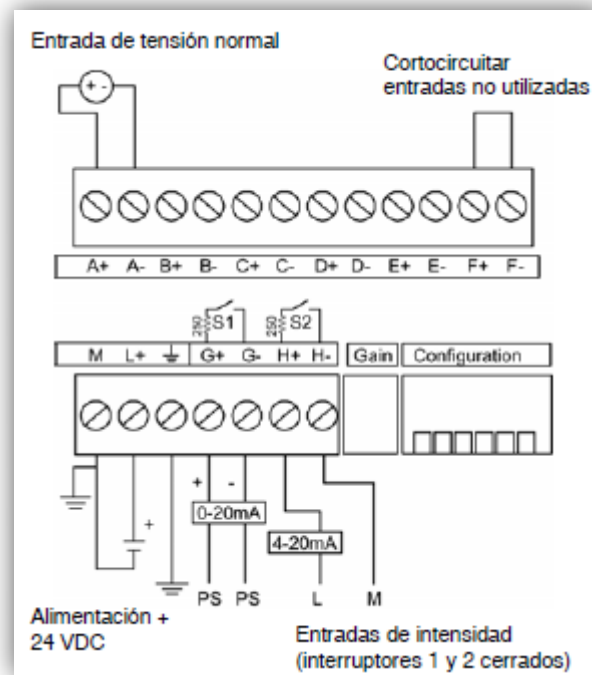


Fig. 26. Diagrama de cableado del EM 231 6ES7 231-0HF22-0XA0.

Todas las señales analógicas del proceso son 4-20 mA por lo tanto es necesario configurar al módulo analógico según la salida de los sensores. Para esto se realizó lo siguiente:

En el módulo EM 231, de 8 entradas analógicas, los interruptores 3, 4 y 5 seleccionan el rango de entradas analógicas. El interruptor 1 ON selecciona la entrada del modo actual para el canal 6; OFF selecciona el modo de tensión. El interruptor 2 ON selecciona la entrada del modo actual para el canal 7; OFF selecciona el modo de tensión (ver tabla 17).

Tabla 17: Estado de los interruptores para la configuración de las entradas analógicas para la EM 231.

Interruptor 1	Interruptor 2	Interruptor 3	Interruptor 4	Interruptor 5
ON	ON	ON	ON	OFF



Los canales del 0 al 5 son entradas de tensión, pero es necesario configurarlas para intensidad. Para esto hay que integrar una resistencia de 500 Ohmios entre los bornes A+ y M y así con los canales restantes. La figura 27 muestra la conexión a 2 hilos de un sensor a una fuente de tensión:

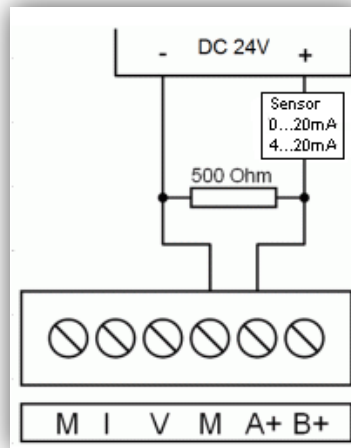


Fig. 27. Conexión utilizando una entrada analógica de 0-10V por medio de una conexión externa para convertirla de 4-20mA.

La resistencia externa es una fuente de error, porque no está lo suficientemente aislada. Para obtener los resultados de medida lo más exactos posibles, es necesario la utilización de resistencias con la tolerancia lo más pequeña posible.

Requisitos de Alimentación

Se realizaron los cálculos correspondientes de la corriente consumida por cada uno de los dispositivos. El cálculo se realizó en todos los casos teniendo en cuenta la condición máxima, es decir, la situación de mayor consumo y además se le adicionó el 1.3% del consumo total con el objetivo de garantizar futuras expansiones.

Análisis de la corriente para 5V:

Es necesario realizar el análisis de la corriente que es capaz de entregar la CPU y si esta puede abastecer a los módulos de ampliación. La CPU le entrega alimentación de 5V a los diferentes módulos que se le agreguen a ésta. Si el consumo de 5V de los módulos de ampliación excede la corriente que le entrega la CPU, es requerido desconectar



tantos módulos de ampliación como sea necesario para no superar la corriente que pueda suministrar la CPU.

$$I_{cpu} = 1000 \text{ mA}$$

$$I_{em223} = 160 \text{ mA}$$

$$I_{em231} = 20 \text{ mA}$$

$$1 \cdot I_{em223} + 3 \cdot I_{em231} = 160 \text{ mA} + 3 \cdot 20 \text{ mA} = 220 \text{ mA}$$

$$1000 \text{ mA} > 220 \text{ mA}$$

Por lo tanto se evidencia que la CPU 226 suministra la suficiente corriente para abastecer a los tres módulos EM 231 y al EM 223.

Análisis de la corriente para 24V:

Todas las CPUs disponen de una fuente de alimentación para sensores de 24 VDC que puede suministrar tensión de 24 VDC a las entradas locales o bobinas de relés en los módulos de ampliación. Si el consumo de 24 VDC excede la corriente que puede aportar la

CPU, entonces puede agregarse una fuente de alimentación externa de 24 VDC para abastecer con 24 VDC a los módulos de ampliación [15].

La CPU 226 es capaz de entregar a 24 V 400mA. En la tabla 18 se realiza el cálculo de la demanda de todos los elementos:

Tabla 18: Consumo de las entradas y salidas.

Consumo del sistema	24V
CPU 226 24 Entradas	$24 \cdot 4 \text{ mA} = 96 \text{ mA}$
16 salidas	$16 \cdot 4 \text{ mA} = 64 \text{ mA}$
1 EM 223 16 Entradas	$16 \cdot 4 \text{ mA} = 64 \text{ mA}$
16 Salidas	$16 \cdot 4 \text{ mA} = 64 \text{ mA}$
3 EM 231	$3 \cdot 60 \text{ mA} \cdot 8 = 1440 \text{ mA}$
Consumo Total	1728 mA

Según los cálculos realizados, la CPU no es capaz de suministrarle la suficiente corriente para 24 V. Las entradas y salidas requieren de 1728 mA, y la CPU es capaz de entregarle solamente 400 mA, por lo tanto es necesario para la configuración



seleccionada adicionarle una fuente de alimentación externa que como mínimo entregue 1728 mA.

Para esto se propone la fuente de alimentación SITOP POWER de 3.5 A (Figura 28). Con ello se garantizan las corrientes mínimas establecidas y futuras expansiones.



Fig .28. SITOP POWER de 3.5 A.

Tabla 18: Características de la Sitop Power [15]:

Tensión nominal de entrada	230 V/120 V
Frecuencia	50 / 60 Hz.
Ámbito de funcionamiento	93 V - 132 V, 47 - 63 Hz y 187 - 264 V, 47 - 63 Hz
Tensión continua de salida	24 V +-5 %.
Temperatura	Almacenamiento y transporte: -25 a +85°C. Funcionamiento: 0 a +60°C

Cable de Comunicación Multi Master RS 232/PPI

Para la comunicación del PLC con el Supervisor se propone el cable Multi Master RS 232 /PPI figura 29, con número de serie 6ES7 9013CB3 0XA0. Este cable se va a conectar directamente a la PC por lo tanto se debe ajustar los interruptores como se indica a continuación [15]:

- Ajuste el modo PPI (interruptor 5=1).
- Ajuste el modo local (interruptor 6=0).
- Ajuste el modo de 11 bits (interruptor 7=0).

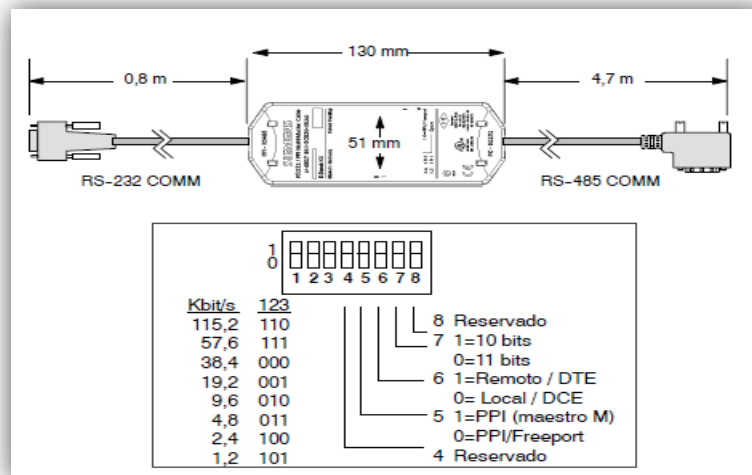


Fig.29. Dimensiones y etiquetas del cable multimaestro RS232 /PPI.

4.5.1.12 Selección de la plataforma SCADA

Para la selección de la plataforma SCADA se utilizó el fabricante SIEMENS. SIMATIC HMI ofrece una amplia gama de posibilidades para realizar las más variadas tareas de manejo y visualización.



Fig. 30. Pantalla de Inicio WinCC flexible 2008 SP1 de SIEMENS

Así también permite controlar el proceso en todo momento y mantener en funcionamiento las máquinas e instalaciones. WinCC flexible es el software HMI para conceptos de automatización del ámbito industrial con proyección de futuro y una ingeniería sencilla y eficaz. WinCC flexible reúne las siguientes ventajas:

- Sencillez
- Claridad
- Flexibilidad



Versiones de software soportadas

WinCC flexible 2008 funciona con el software siguiente ver tabla 19.

Tabla 19: Software soportadas

Software	Versión
STEP 7	Versión 5.4 SP4
SIMOTION SCOUT	V4.1 SP1
SIMATIC NET	V7.1 (2008)
Pro tool	V6.0 SP3
WinCC	V7

WinCC flexible Ingeniería de sistema

WinCC flexible soporta todos los PCs de uso corriente compatibles con IBM/AT. Para trabajar con WinCC flexible de forma eficaz, adopte los valores recomendados. En la tabla 20 se menciona los requisitos del sistema.

Sistemas operativos autorizados

- Windows XP Professional SP2
- Windows XP Professional SP3
- Windows Vista Business (32 Bit)
- Windows Vista Ultimate (32 Bit)



Tabla 20: Requisitos del sistema

Requisitos del sistema		Sistema operativo
Memoria RAM	Mím. 1 GB, recomendados 2GB Mím. 1.5 GB, mím. Recomendos. 2 GB	Windows XP Windows Vista
Procesador	Min. Pentium IV o un procesador comparable de 1,6 GHz, se recomienda Pentium M. Min. Pentium IV o un procesador comparable de 1,6 GHz, se recomienda Core 2 Duo	Windows XP Windows Vista
Gráfica	XGA 1024x768 WXGA en portátiles Intensidad de color 16 bits	Windows XP Windows Vista
Disco duro espacio libre en memoria	Min. 2 GB en caso de instalar idioma. Para cada idioma adicional 200MB adicionales.	Windows XP Windows Vista
Navegador de Internet	Microsoft Internet Explorer V6.0 SP1 o superior	Windows XP Windows Vista
Visualización de la documentación en PDF	Adobe Acrobat Reader 5.0	Windows XP Windows Vista

Las recomendaciones para WinCC flexible Engineering se refieren especialmente a los PCs de ingeniería, en los que los proyectos de WinCC flexible se procesan integrados en STEP 7.

Abriendo simultáneamente varias instancias de WinCC flexible en un PC de ingeniería pueden ser necesarios requisitos de hardware mayores.

En caso de utilizar el PC de configuración como punto de acceso al proceso (Panel PC con WinCC flexible Runtime), ajuste todos los esquemas de rendimiento a servicio permanente ilimitado. Estos datos técnicos del SCADA se muestran en el anexo 7.



5. RESULTADOS

5.1. PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.

5.1.1 Introducción

En el siguiente capítulo se procederá al diseño del control secuencial del proceso de fermentación y del lazo de control de la temperatura en cada cuba. Se realiza además la programación del PLC seleccionado, para lo que se utilizó el lenguaje de contactos KOP.

Así mismo detallamos los procedimientos utilizados en el SCADA, el cual se realizó con WinCC Flexible. También se explica cada herramienta utilizada para obtener estos resultados.

5.1.2 Diseño de la lógica secuencial.

A continuación se detallan los algoritmos de control secuencial del proceso de fermentación mediante diagramas de flujo. Estos algoritmos son la base teórica para la programación del PLC.

5.1.2.1 Diagrama de flujo para el llenado de una cuba.

En el siguiente diagrama (figura 31) se explica el inicio de llenado para una cuba, la cual comienza con la verificación de si la cuba está lista, y si lo está lista se abren las válvulas de mosto y levadura, sino se salta toda la lógica de esta etapa, para posteriormente llenar otra cuba. Si la cuba está lista se verifica el volumen, si este es inferior a 6000L se espera, y cuando esta condición se cumpla se cierra la válvula de levadura. Se vuelve a verificar el nivel, que debe ser superior a 16000L para que la condición se cumpla y se abre la válvula de levadura. Seguidamente se verifica nuevamente si el nivel es superior a 22000L, y si esta condición se cumple se cierra la válvula de levadura. Cuando el nivel supera los 23000L se inicializa N a 1, donde N es la variable de control de ciclo o el número de veces que la válvula debe cerrarse y abrirse en el ciclo siguiente.



PROCESO DE LLENADO DE UNA CUBA

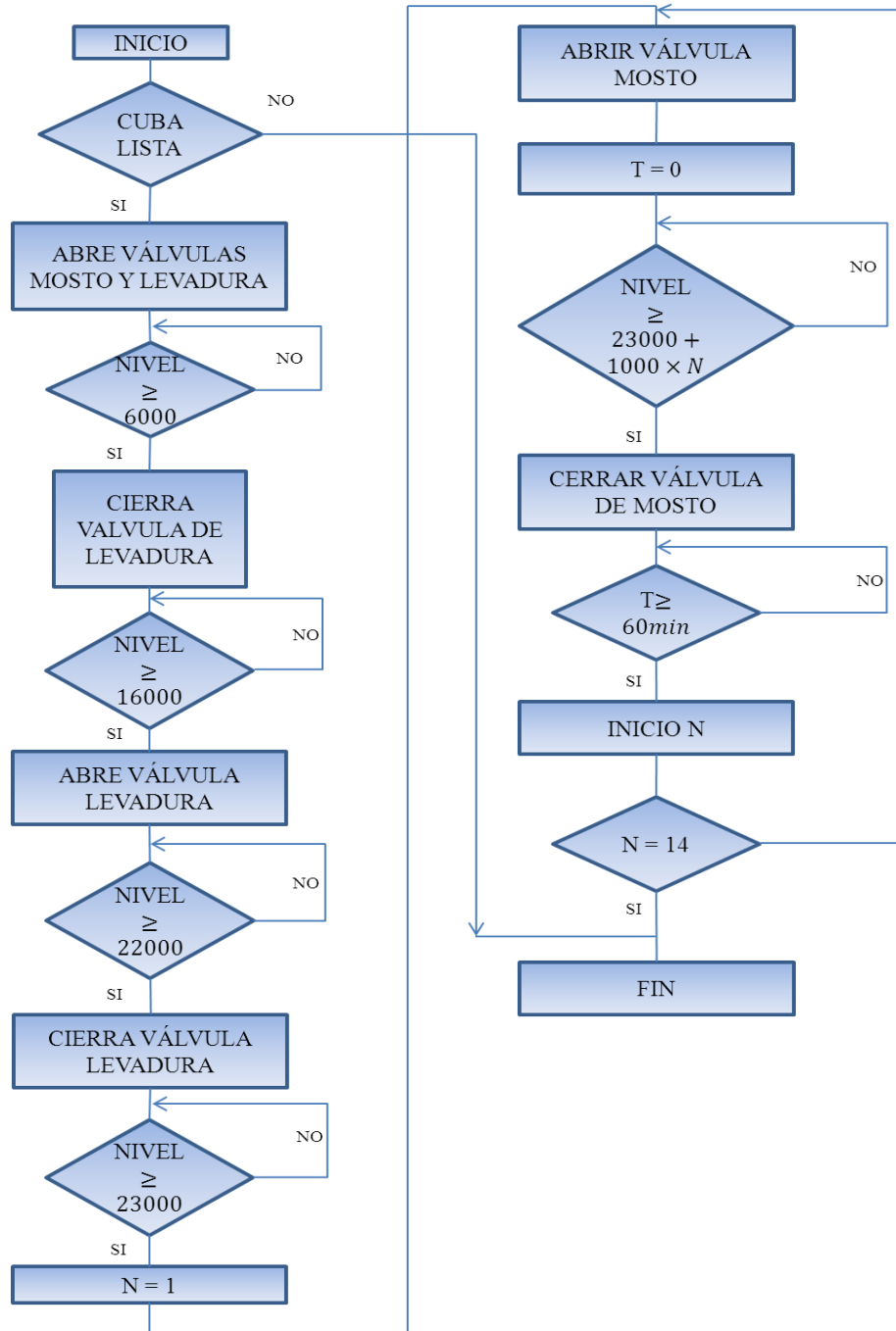


Fig. 31 Diagrama de flujo para el proceso de llenado de una cuba



5.1.2.2 Diagrama de flujo para el proceso de Fermentación

En el proceso de fermentación (figura 32) se empieza por inicio y se establece la condición del tiempo igual a cero, y procedemos a contar tiempo. El tiempo debe ser de 24 horas, si se cumple esta condición se abre la válvula de vinaza, pasando el producto a destilación.

Continuamente se verifica el nivel de 5000L, que corresponde a los residuos del proceso, si esta condición se cumple se cierra la válvula de vinaza, si no se cumple se seguirá esperando hasta se cumpla la condición y llegar al fin del proceso, pasando a la limpieza.

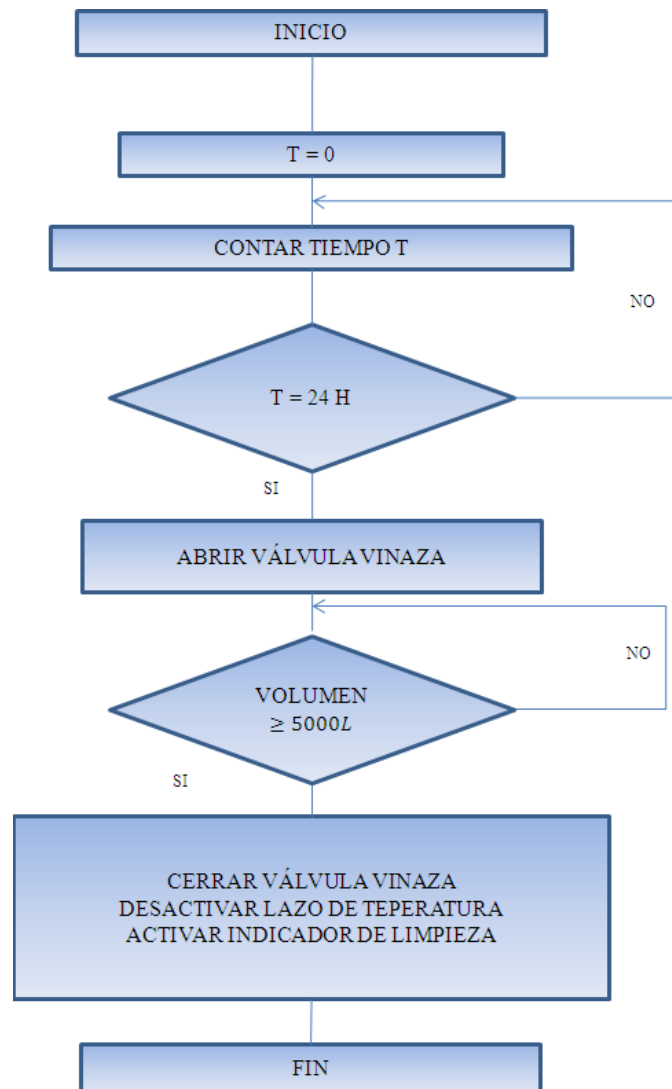


Fig. 32. Diagrama de flujo del proceso de fermentación



5.1.2.3 Diagrama de flujo de limpieza

Para realizar la limpieza se empieza en inicio, se cierran las válvulas de mosto, levadura y vinaza y también se procede a desactivar el lazo de temperatura (figura 33). Se indica el aviso de limpieza para esto se establece la condición de que si el pulsador de limpieza está presionado se inicia la limpieza, si no es así se espera hasta que el pulsador este presionado.

Se establece la segunda condición si el pulsador está presionado se indica fin de la limpieza, si esto se cumple se indica que la cuba esta lista, caso contrario se espera hasta que se presione el pulsador, y se llega al fin de esta tarea. Este control es necesario por seguridad ya que al ser manual puede ocurrir que se deje abierta la válvula de purga.

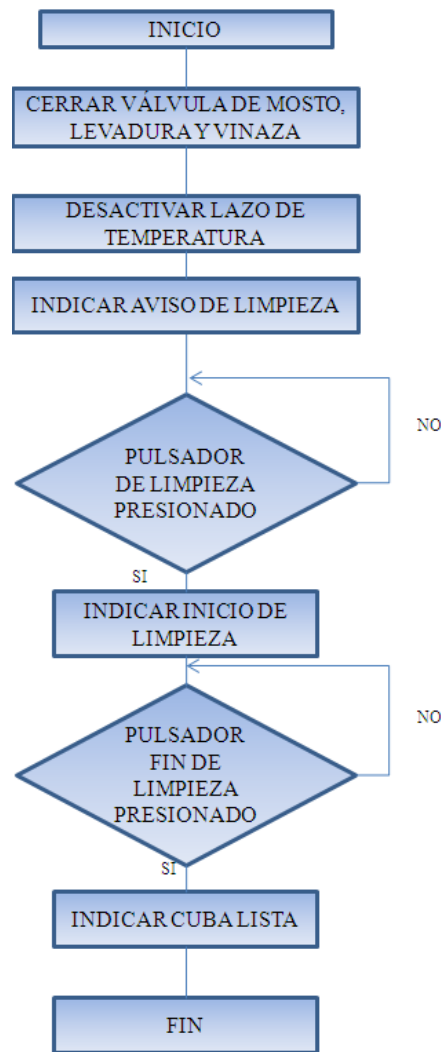


Fig. 33. Diagrama de flujo de limpieza



5.1.2.4 Diagrama de flujo de la secuencia entre cubas

La secuencia de llenado entre cubas (figura 34) comienza inicializando a C en 1 (C es la cuba y el numero indica su localización de un total de 8 cubas). Chequeamos la condición de que la cuba C este activa, si esta condición se cumple se pasa a la condición donde nos dice si la cuba C está limpia, si es así se pasa al llenado de la cuba C, sino se limpia. Después se verifica el nivel en C, que debe ser superior a 28000, si la condición se cumple se incrementa C. Cuando se completan las 8 cubas, se repite todo el ciclo indefinidamente.

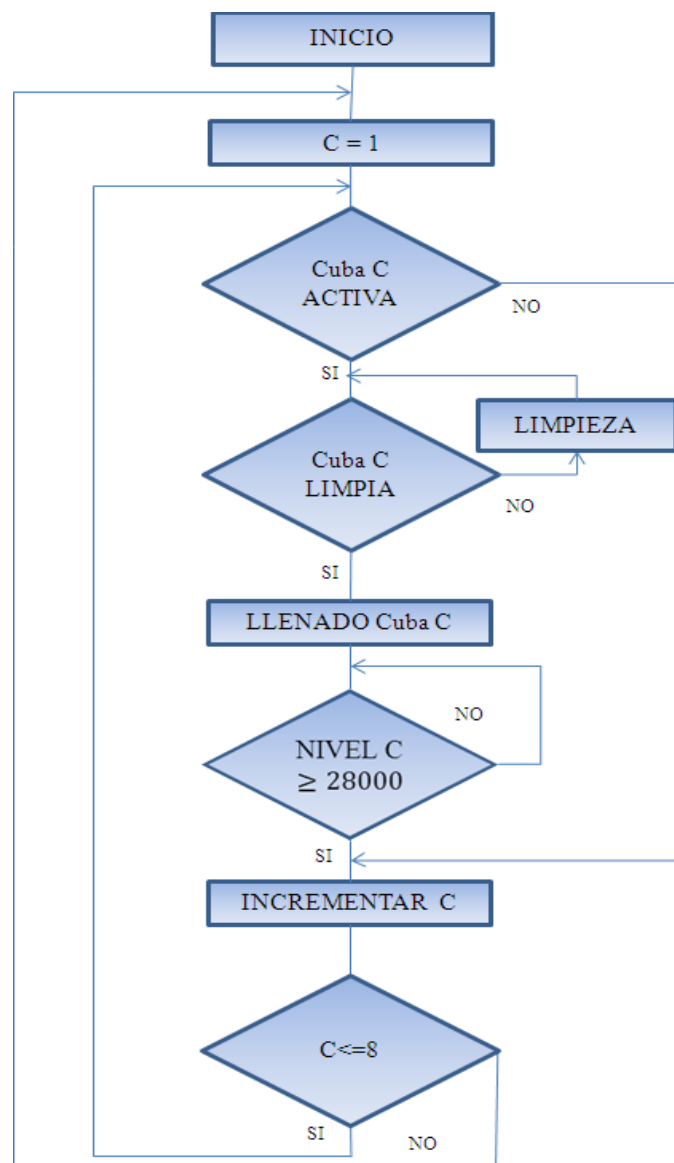


Fig. 34. Diagrama de flujo para la secuencia de llenado entre cubas



5.1.2.5 Diagrama de condiciones de arranque

Esta secuencia se realiza cada vez que la planta comienza el arranque. Para esta condición se tomó en cuenta las siguientes características tales como: cerrar válvulas, actualizar variables medidas, verificar las cubas si están activas o inactivas, se limpian las activas. Se verifican las alarmas y si todo está correcto se indica el arranque, sino se pasa a condiciones anormales. Esto se lo explica en el diagrama de la figura 35.

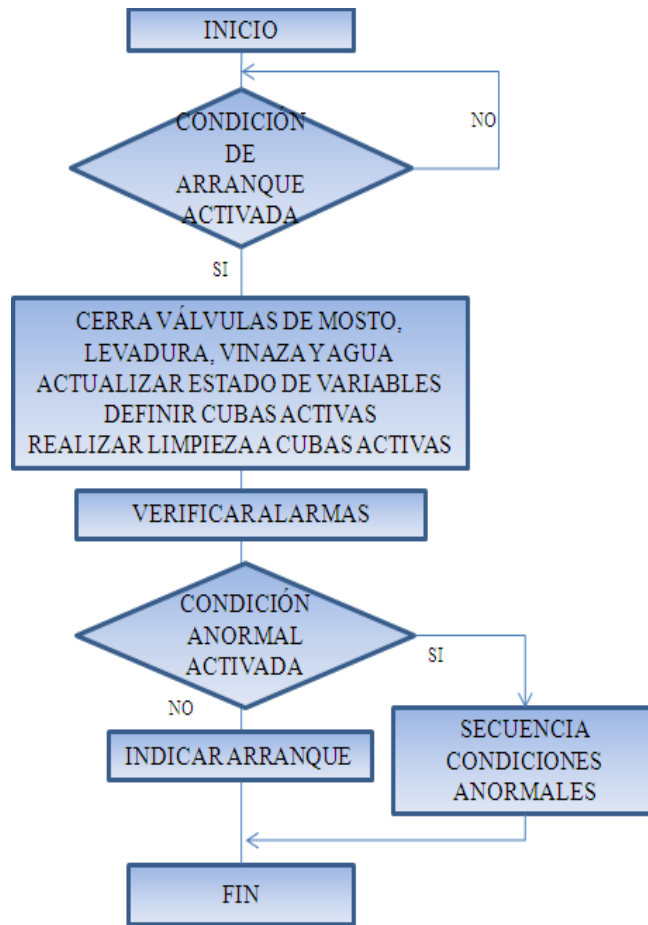


Fig. 35. Grafico de condiciones de arranque

5.1.2.6 Diagrama de parada

En el diagrama de parada (figura 36) se ejecuta durante la parada de la planta. En él se tomó en cuenta la verificación de condición de parada, que puede activarse desde un pulsador en el campo o desde el SCADA. Al activarse esta condición se procede a cerrar todas a las válvulas y desactivar el lazo de control de temperatura.

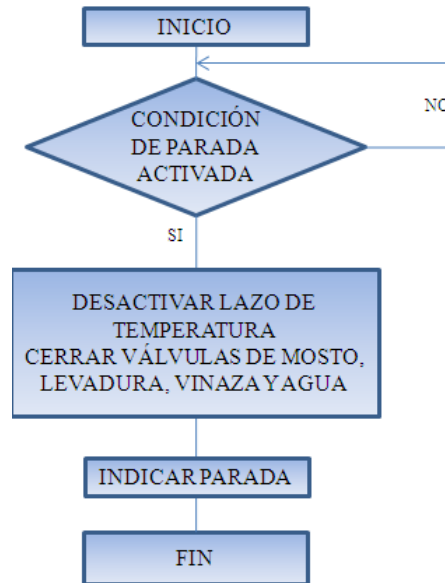


Fig. 36. Diagrama de parada

5.1.2.7 Diagrama de condiciones anormales

La entrada a la secuencia de condiciones anormales se debe al disparo de una alarma de proceso figura 37. Esta se basa en establecer si el pulsador de emergencia está presionado o si una variable está fuera del rango deseado. Si la condición anormal se mantiene y no puede ser anulada se procede a la parada del proceso, sino se finaliza desactivando la condición anormal.

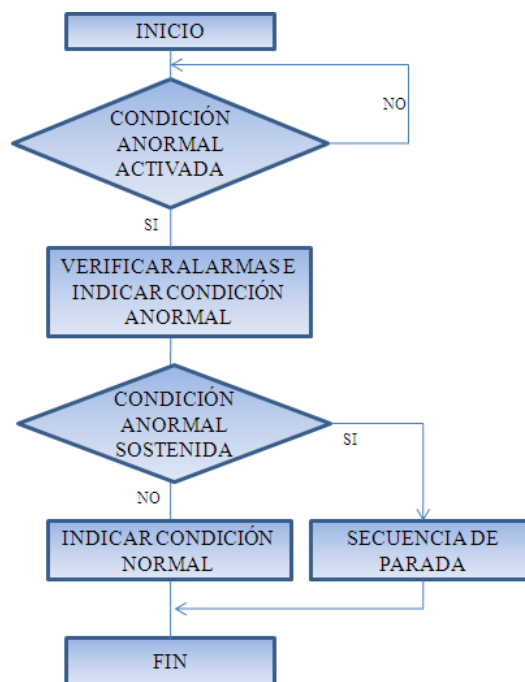


Fig. 37. Grafico de condiciones anormales



5.2. Diseño del lazo de control de temperatura.

Para el diseño y simulación del lazo de control de temperatura se empleó Matlab-Simulink con el diagrama en bloques que se muestra a continuación figura 38.

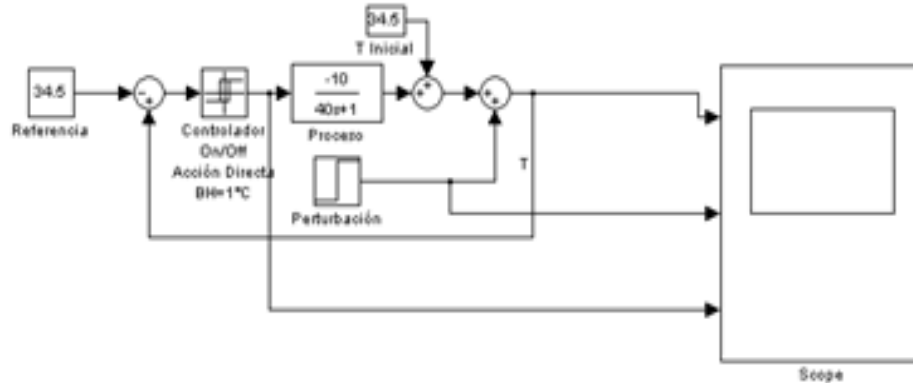


Fig. 38. Diagrama en bloques para el control de temperatura

En él se pueden apreciar los bloques del controlador y del proceso. El controlador está compuesto por un sumador de dos entradas y un relé. Ambos conforman un regulador On/Off con histéresis con una banda de histéresis de 1°C y acción directa; lo cual establece que cuando la variable de proceso (temperatura del mosto) aumente, la salida del controlador también aumentará para abrir la válvula de agua y así enfriar el mosto. El valor de la banda de histéresis se define a partir del error de control máximo que permite el proceso, lo cual significa que la temperatura del mosto puede estar 0.5°C por encima o por debajo de la referencia (34.5°C).

El modelo del proceso utilizado se aproximó a un modelo de primer orden, adecuado para representar las variaciones de temperatura en las cubas. La ganancia se obtuvo a partir de la relación existente entre la posición de la válvula (por ciento de apertura) y la variación de temperatura. La posición de la válvula puede estar entre 0 y 100%, que al ser On/Off se puede considerar 0 cuando está cerrada y 1 cuando está totalmente abierta. La variación de temperatura del mosto está entre 35°C y 45°C , por lo que se obtiene una ganancia de 10. La constante de tiempo de 40 minutos se estimó teniendo en cuenta el tiempo medio que demora en enfriarse una cuba desde 45°C a 35°C , a partir de que se abre totalmente la válvula de agua.

En este modelo se incluye la válvula, la cual tiene una ganancia unitaria (dado que la salida del controlador es también 0-1) y una constante de tiempo de 7 segundos, la cual es despreciable en relación al proceso.



En la simulación se incluyó una perturbación por la carga, que es lo más frecuente en este proceso, ya que la referencia no se modifica nunca. Esta perturbación es de tipo paso escalón con una amplitud de 5°C , lo cual equivale a que la entrada de mosto (o de levadura) aumente su temperatura en igual magnitud.

Se observa en la figura 39 que al aplicar este paso escalón la temperatura aumenta bruscamente y el controlador responde abriendo la válvula de agua y la temperatura comienza a disminuir lentamente. En la figura 40 se puede apreciar con mayor detalle que el controlador consigue llevar al sistema hasta dentro de la banda de histéresis, definida entre 40°C y 45°C en aproximadamente 20 minutos y mantenerlo dentro de este rango. Dado la dinámica lenta del proceso y el valor de la Banda de Histéresis la válvula se abre y se cierra cada 8 minutos, lo cual es aceptable para un accionamiento de este tipo.

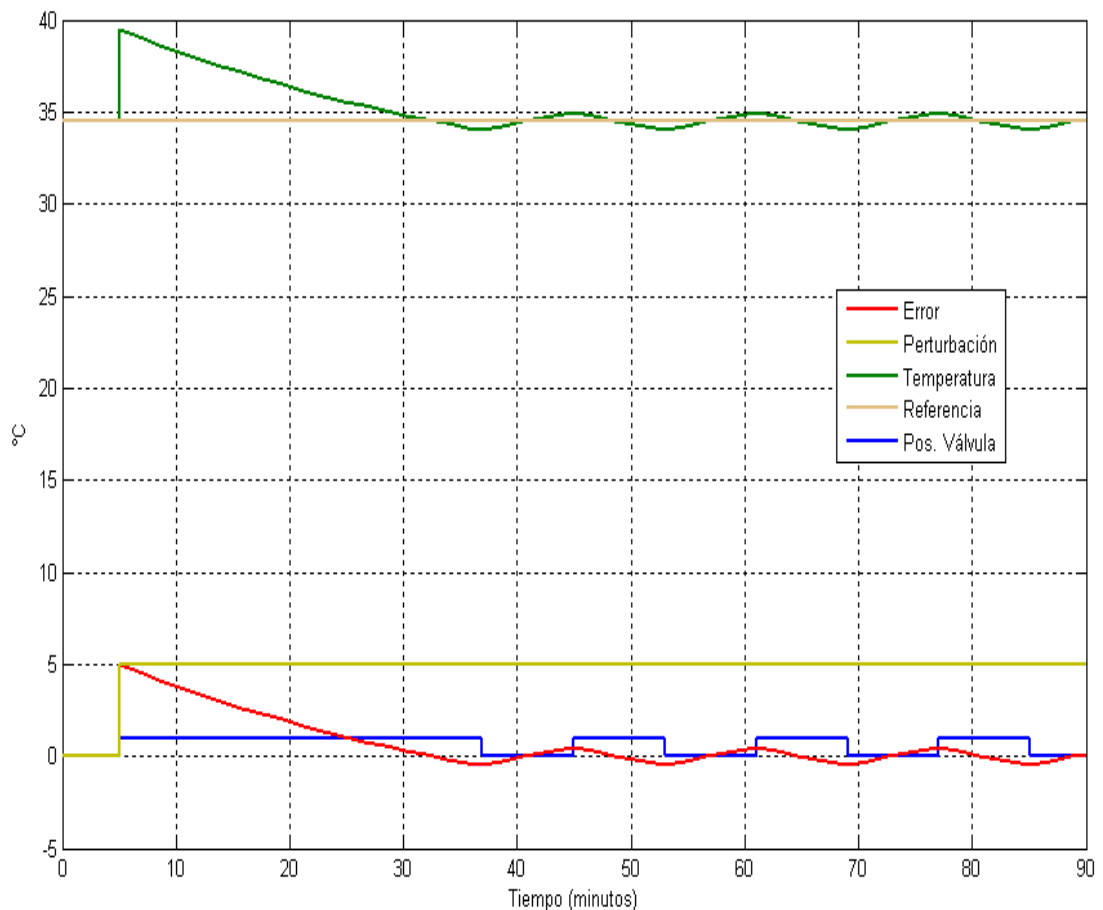


Fig. 39. Comportamiento de la válvula para el control on/off

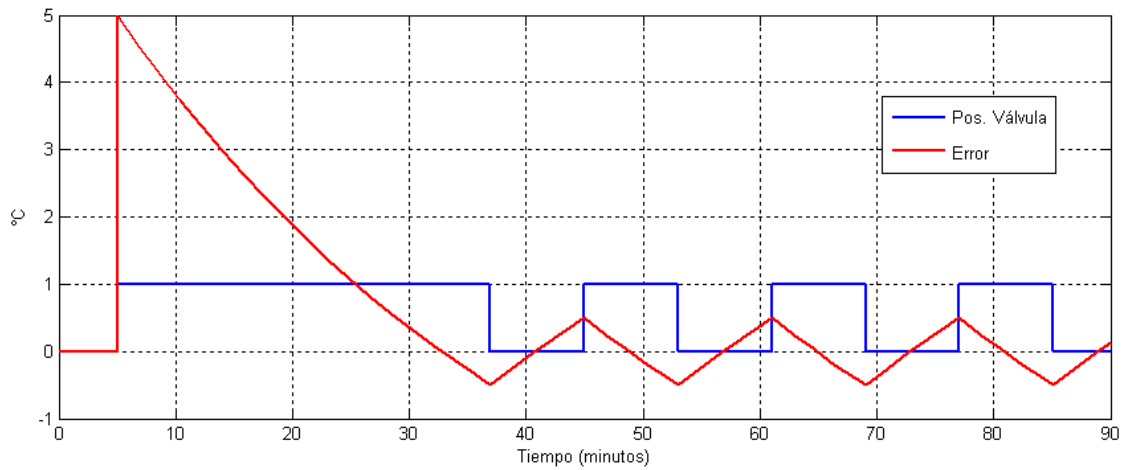


Fig. 40. Posición de la válvula para al comportamiento del error

El lazo de control de temperatura (figura 41) se implementa mediante la comparación con histéresis. Se inicia con la verificación de si el lazo está activo (corre), sino se finaliza. Si la válvula de agua está cerrada y la temperatura supera los 35 °C, la válvula de agua se abre. Si está abierta y la temperatura es inferior a 34°C, esta se cierra.

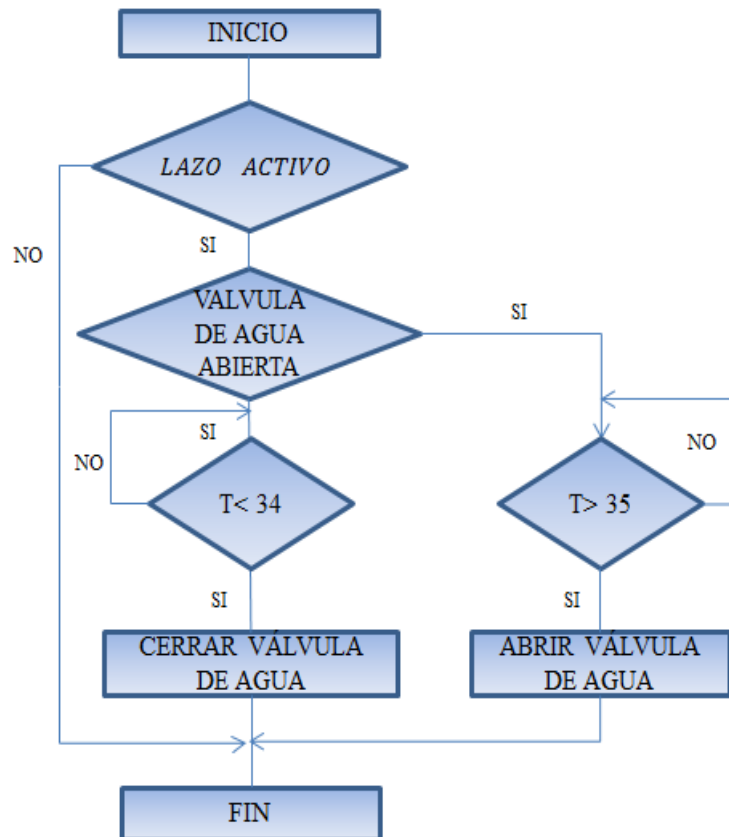


Fig. 41. Control del lazo de temperatura



La histéresis (figura 42) es un factor muy importante dentro de un control de este tipo porque evita las oscilaciones a la salida del controlador. En este caso mientras la temperatura encuentre entre 34°C y 35°C las válvula mantendrá su estado anterior.

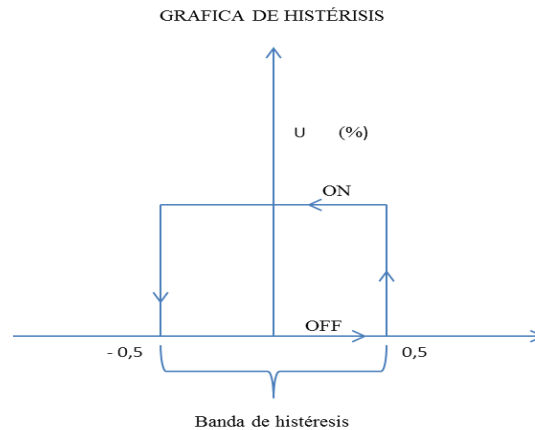


Fig. 42. Histéresis

5.3 Programación del PLC.

El PLC seleccionado tiene como objetivo principal vigilar las entradas de campo y conforme a la lógica de control que se quiera realizar, activar o no las salidas que correspondan a los dispositivos de campo.

Para lo que se utilizó el lenguaje de contactos KOP

5.3.1 Direccionamientos de las entradas y salidas a la CPU y a los módulos de ampliación.

Para el caso de las entradas digitales estas se leen al principio de cada ciclo y seguido estos valores actuales se escriben en la imagen del proceso de las entradas o en la pantalla principal de tareas. Para el caso de las entradas analógicas no se actualizan estas como parte del ciclo normal, a excepción de que se haya habilitado su filtración. En la escritura de las salidas digitales al final de cada ciclo se escribe los valores de la imagen del proceso de salida.

Las entradas y salidas de la CPU tienen direcciones fijas. Las direcciones de las E/S de cada módulo vienen determinadas por el tipo de E/S y la posición del módulo en la cadena, con respecto al anterior módulo de entradas o de salidas del mismo tipo.



Los módulos de ampliación digitales reservan un espacio de la imagen del proceso en incrementos de ocho bits (un byte). Si un módulo no dispone de un punto físico para cada bit de cada byte reservado, se pierden estos bits no utilizados y no se pueden asignar a los módulos siguientes en la cadena de E/S. [15]

Para el caso de las entradas y salidas analógicas no se reserva una imagen de proceso, todos los accesos a ellas se establecen en el instante que se realiza la operación de lectura o escritura. Las E/S analógicas se asignan siempre en incrementos de dos puntos (16 bits).

A continuación se muestra el direccionamiento según el hardware seleccionado (Tabla 21):

Tabla 21: Direccionamiento de las entradas y salidas digitales y analógicas según el hardware seleccionado en el capítulo anterior.

226 24ED/16SD		16ED/16SD EM223		16ED/16SD EM223		8 EA EM231		8 EA EM231		8 EA EM231	
		Módulo 1		Módulo 2		Módulo		Módulo3		Módulo	
I0.0	Q0.0										
I0.1	Q0.1										
I0.2	Q0.2	<i>I3.0</i>	Q2.0	<i>I3.0</i>	Q4.0	EA 0	EA 16	EA 32			
<i>I0.3</i>	Q0.3	<i>I3.1</i>	Q2.1	<i>I3.1</i>	Q4.1	EA 2	EA 18	EA 34			
<i>I0.4</i>	Q0.4	<i>I3.2</i>	Q2.2	<i>I3.2</i>	Q4.2	EA 4	EA 20	EA 36			
<i>I0.5</i>	Q0.5	<i>I3.3</i>	Q2.3	<i>I3.3</i>	Q4.3	EA 6	EA 22	EA 38			
<i>I0.6</i>	Q0.6	<i>I3.4</i>	Q2.4	<i>I3.4</i>	Q4.4	EA 8	EA 24	EA 40			
<i>I0.7</i>	Q0.7	<i>I3.5</i>	Q2.5	<i>I3.5</i>	Q4.5	EA10	EA 26	EA 42			
<i>I1.0</i>	Q1.0	<i>I3.6</i>	Q2.6	<i>I3.6</i>	Q4.6	EA 12	EA 28	EA 44			
<i>I1.1</i>	Q1.1	<i>I3.7</i>	Q2.7	<i>I3.7</i>	Q4.7	EA 14	EA30	EA 46			
<i>I1.2</i>	Q1.2	<i>I4.0</i>	Q3.0	<i>I4.0</i>	Q5.0						
<i>I1.3</i>	Q1.3	<i>I4.1</i>	Q3.1	<i>I4.1</i>	Q5.1	2				4	
<i>I1.4</i>	Q1.4	<i>I4.2</i>	Q3.2	<i>I4.2</i>	Q5.2						
<i>I1.5</i>	Q1.5	<i>I4.3</i>	Q3.3	<i>I4.3</i>	Q5.3						
<i>I1.6</i>	Q1.6	<i>I4.4</i>	Q3.4	<i>I4.4</i>	Q5.4						
<i>I1.7</i>	Q1.7	<i>I4.5</i>	Q3.5	<i>I4.5</i>	Q5.5						
<i>I2.0</i>		<i>I4.6</i>	Q3.6	<i>I4.6</i>	Q5.6						
<i>I2.1</i>		<i>I4.7</i>	Q3.7	<i>I4.7</i>	Q5.7						
<i>I2.2</i>											
<i>I2.3</i>											
<i>I2.4</i>											
<i>I2.5</i>											
<i>I2.6</i>											
<i>I2.7</i>											
E/S físicas						E/S DE AMPLIACIÓN					



5.3.2 Generalidades de la programación en lenguaje de contacto KOP

La programación del PLC Siemens S7-200 se efectuó utilizando el lenguaje de contacto KOP, estructurado con diferentes subrutinas y utilizando direcciones simbólicas para la referencias de las variables.

Para esto se utilizó el software Simatic STEP 7-MicroWIN V4.0 SP 8 que incorpora una barra de navegación, un árbol de operaciones y un editor de programas. Ofrece una vista en árbol de todos los objetos del proyecto y de todas las operaciones disponibles en el editor de programas actual (KOP, FUP o AWL).

El editor KOP visualiza el programa gráficamente, de forma similar a un esquema de circuitos. Los programas KOP hacen que el programa emule la circulación de corriente eléctrica desde una fuente de alimentación, a través de una serie de condiciones lógicas de entrada que, a su vez, habilitan condiciones lógicas de salida. Los programas KOP incluyen una barra de alimentación izquierda que está energizada. Los contactos cerrados permiten que la corriente circule por ellos hasta el siguiente elemento, en tanto los contactos abiertos bloquean el flujo de energía. [15]

Se realizó un control secuencial en la que cada paso va seguido de determinadas acciones. Los pasos son consecutivos y cada uno de ellos se ejecuta sólo si se cumplen todas las condiciones estipuladas para el mismo.

5.3.3 Estructura de programación

El código programado comprende el programa Principal, así como 5 subrutinas con el objetivo de lograr una mayor organización y reducir el tamaño en memoria del programa.

Las unidades de organización (programa principal, subrutinas) sirven para estructurar el programa de control.

Es importante destacar que toda la programación se trabajó con direcciones simbólicas, donde a cada entrada y salida se le asigna un nombre simbólico y un tipo de datos. Estos nombres, denominados variables globales, son válidos para todos los componentes del programa. La programación simbólica permite mejorar considerablemente la legibilidad



del programa S7. En el Anexo 8 se encuentran las tablas de símbolos utilizadas en el programa (usuario1, usuario2 y Manual Supervisorio), la tabla usuario1 se destinó a las variables externas mientras que usuario2 se utilizó para las variables internas utilizadas en la programación.

Seguidamente se expone la estructura general que se concibió para la ejecución del programa (Figura f.30).

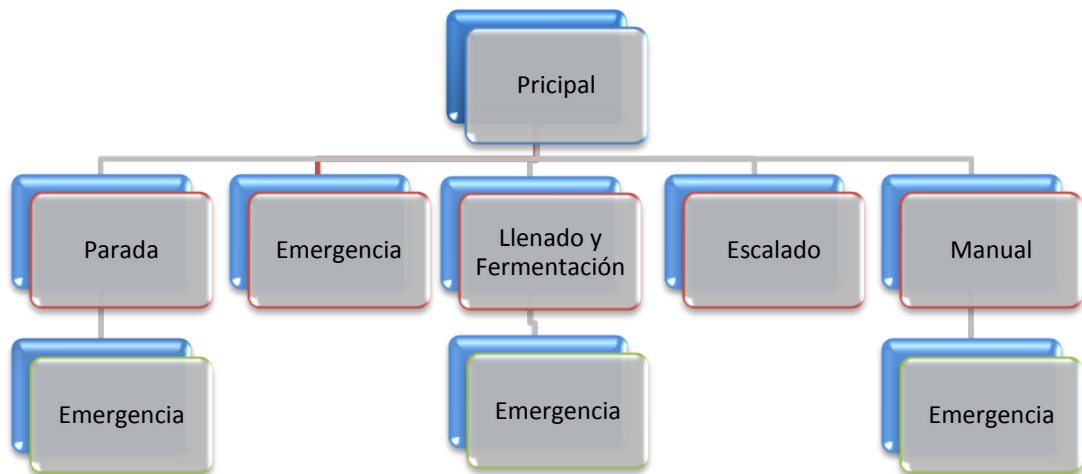


Fig. 43. Estructura de programación

5.3.4 Programa Principal (OB1)

El sistema operativo de la CPU del PLC ejecuta el OB1 de forma cíclica, es decir, una vez finalizada la ejecución del OB1 el sistema operativo comienza a ejecutarlo de nuevo. Las subrutinas de Parada, Emergencia, Llenado, Escalado y Manual son llamadas desde este bloque. En cada ciclo de ejecución se verifica la señal Remoto/Local, si esta seleccionado modo local todas las operaciones se realizarán desde el campo a través de los accionamientos propios de cada uno de los dispositivos, este modo es muy usado en las acciones de mantenimiento con el objetivo de aumentar la seguridad al individuo que realiza estas tareas. En caso de que se seleccione Remoto el control lo lleva el PLC.

En el Anexo 9 se encuentran los comentarios de cada segmento del código fuente de la programación en KOP de esta función.



5.3.5 Subrutina Parada:

Recibida la señal de parada se activa la secuencia de parada de la planta, donde se cierran todas las válvulas de control ON-OFF de levadura, mosto, agua y vinaza de la cuba o de las cubas que estén en su proceso de llenado. Luego como norma de seguridad se manda a cerrar todas las válvulas de control ON-OFF relacionadas con cada una de las 8 cubas vinculadas al proceso de obtención de vinaza.

En el Anexo 9 se encuentra la programación en KOP de la subrutina anterior con los comentarios de cada segmento.

5.3.6 Subrutina Emergencia

Recibida la señal de emergencia se activa la secuencia de parada por emergencia de la planta, esta señal se activa cuando se detecta algún caso extremo de anomalía que no se pueda controlar, básicamente en esta subrutina lo que se realiza es un paro de funcionamiento del proceso, es decir, se cierran todas las válvulas de control ON-OFF relacionadas con cada una de las 8 cubas vinculadas al proceso de obtención de vinaza.

Siguiendo la lógica de programación para la subrutina de Emergencia en el Anexo 9 se muestra su programación.

5.3.7 Subrutina Llenado

Se programan los pasos necesarios para el llenado de las 8 cubas. *Tabla de secuencia.*

En el Anexo 9 se encuentra comentario cada segmento del código fuente de la programación en KOP de esta función.

5.3.8 Subrutina Escalado

Esta subrutina lee un valor analógico de uno de los canales de entrada analógica de los módulos de ampliación agregados a la CPU 226 y suministra un valor de salida convertido a unidades de ingeniería como se muestra en el anexo 9. Se programó según la fórmula matemática de la ecuación de una recta $Y=mX+n$, donde Y es la variable de salida, X la variable de entrada, m es la pendiente y n es la intersección de la recta con el eje y (figura f.31).

El diagrama de escalado es el siguiente:

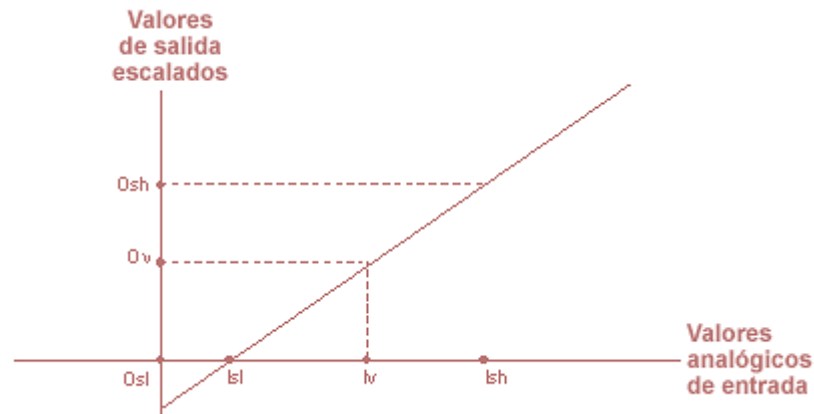


Fig. 44. Diagrama de escalado

La siguiente fórmula para calcular el valor escalado:

$$Ov = [(Osh - Osl) * (Iv - Isl) / (Ish - Isl)] + Osl$$

Donde:

Ov = valor de salida escalado

Iv = valor de entrada analógico

Osh = límite superior de la escala para el valor de salida escalado

Osl = límite inferior de la escala para el valor de salida escalado

Ish = límite superior de la escala para el valor de entrada analógico

Isl = límite inferior de la escala para el valor de entrada analógico

El código de programación se encuentra detallado en el Anexo LL.

5.3.9 Subrutina Manual

Se realizan las operaciones de aperturas de las válvulas de mosto, levadura, agua y vinaza de cada cuba de forma manual. Cada una de estas operaciones se realizará de forma manual, es decir, el operador interactuando con el sistema SCADA y este a su vez con el autómat (S7-200) que será el que operara directamente con los actuadores (válvulas de control ON-OFF de vinaza, mosto, levadura y agua)

En el Anexo 9 se encuentra comentario cada segmento del código fuente de la programación en KOP de esta función.



5.4 SCADA

5.4.1 Software utilizado

Para la programación y diseño del SCADA se escogió el SIMATIC Wincc Flexible SP1. Este brinda funcionalidades SCADA completas bajo Windows para todos los sectores de la industria. Este permite la supervisión, adquisición y tratamiento de datos provenientes del proceso. Cubre la gama de prestaciones que va desde los Micro Paneles hasta la visualización sencilla en PC.

Dispone de un programa de visualización que permite supervisar todos los aspectos de los procesos de automatización. Se puede archivar avisos y valores de proceso permitiendo documentar el transcurso del proceso y, posteriormente, también será posible acceder a anteriores datos de producción.

Su estructura es de tipo explorador que representa el acceso a todas las opciones como sistema de desarrollo para visualización. La configuración de los menús y las barras de herramientas se efectúa a través de un propio editor WinCC Flexible. Para las alarmas contiene controles para mostrarlas y un editor con grandes posibilidades de configuración.

5.4.2 Diseño de programación

Para realizar el diseño del sistema SCADA se recopiló toda la información proveniente del proceso: arquitectura, cantidad de dispositivos, variables que influyen en el proceso y la lógica secuencial a seguir.

El sistema supervisorio cuenta con una pantalla inicial de la cual se puede acceder a las diferentes pantallas. Los botones ubicados en la pantalla inicial poseen un sistema de seguridad, donde el usuario tendrá que autenticarse para poder entrar a ellos.

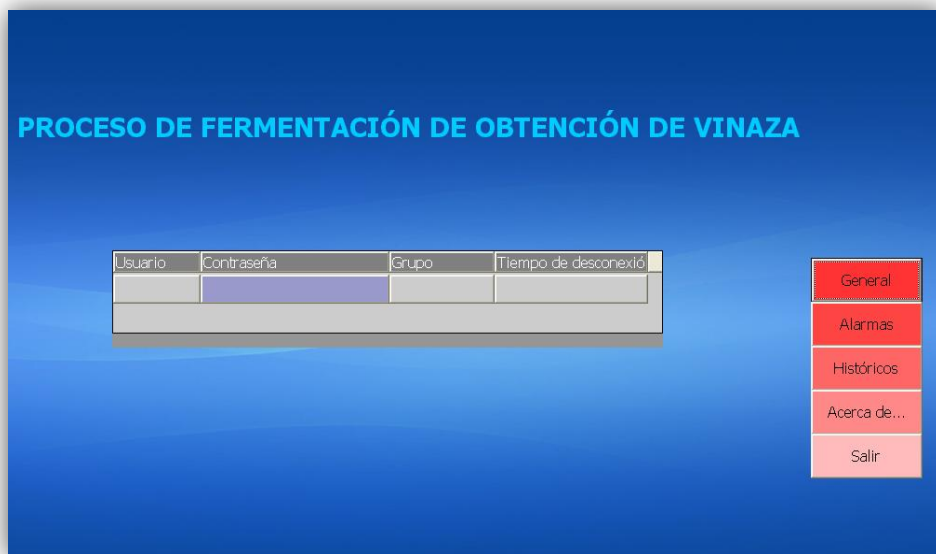


Fig. 45. Pantalla principal del SCADA.

Seguido sale una subventana (Figura 45 y 46) donde hay que introducir el nombre de usuario y la contraseña. Si son correctos los datos entrados, se tiene acceso a las ventanas posteriores.

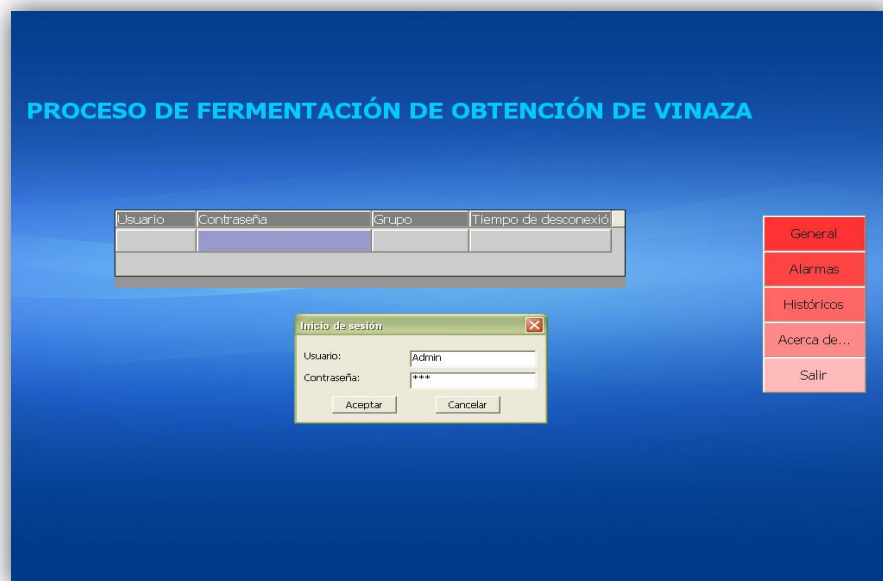


Fig. 46. Control de acceso a las pantallas siguientes.

Para la conexión al sistema se definieron dos grupos de usuarios Administrador e Invitados figura 47. A estos se les otorgó niveles de permisos diferentes con el objetivo de aumentar la seguridad de acceso. En la siguiente se muestra los grupos creados con sus niveles de autorización asignados.

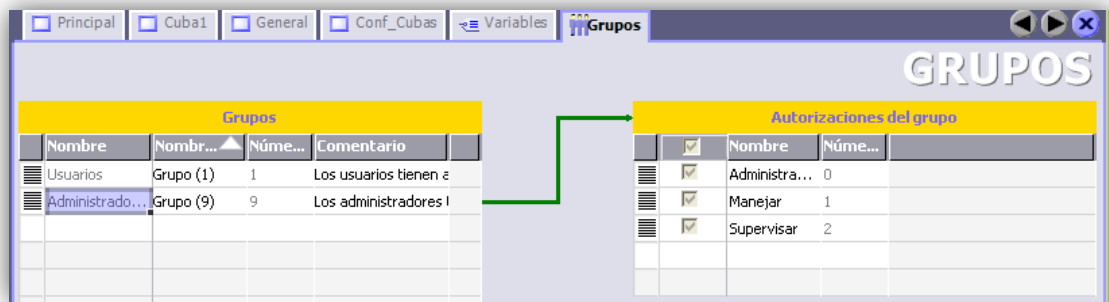


Fig. 47. Grupos de usuarios con sus autorizaciones.

Como parte de la creación de usuarios es necesario configurar la seguridad en modo Runtime, en este caso se accede en la barra de Proyecto a Administración de usuario en modo Runtime, y de aquí se selecciona Configuración de seguridad en modo Runtime. En esta ventana se configuran una serie de parámetros que influyen en la seguridad en modo runtime. (Figura 48)

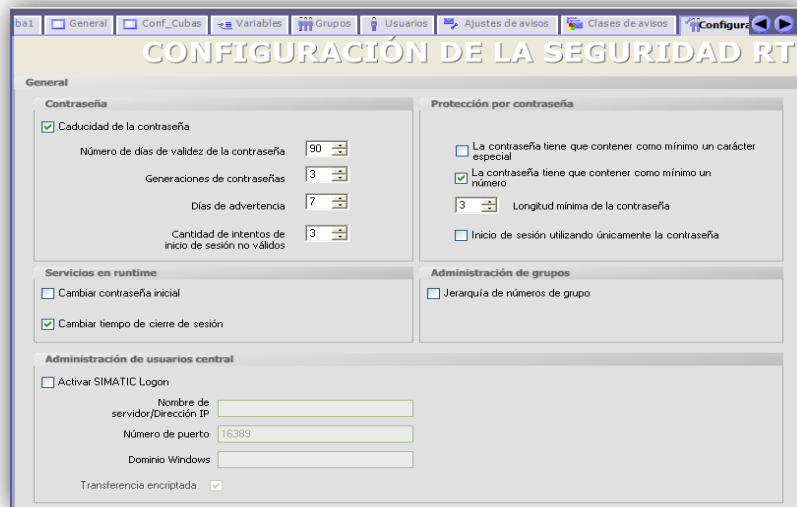


Fig. 48 Configuración de seguridad en modo runtime.

Por tanto se aplicarán las siguientes reglas de la configuración de seguridad en runtime:

- La contraseña va a tener una longitud mínima de 3 caracteres y al menos debe poseer un número.
- Una nueva contraseña no se compara con las contraseñas anteriores, puesto que éstas no están disponibles.



- El plazo de caducidad de la contraseña comienza con la importación de la administración de usuarios.

Presionando el botón de General se accede a la pantalla que representa el proceso de obtención de vinaza. (Figura 49)

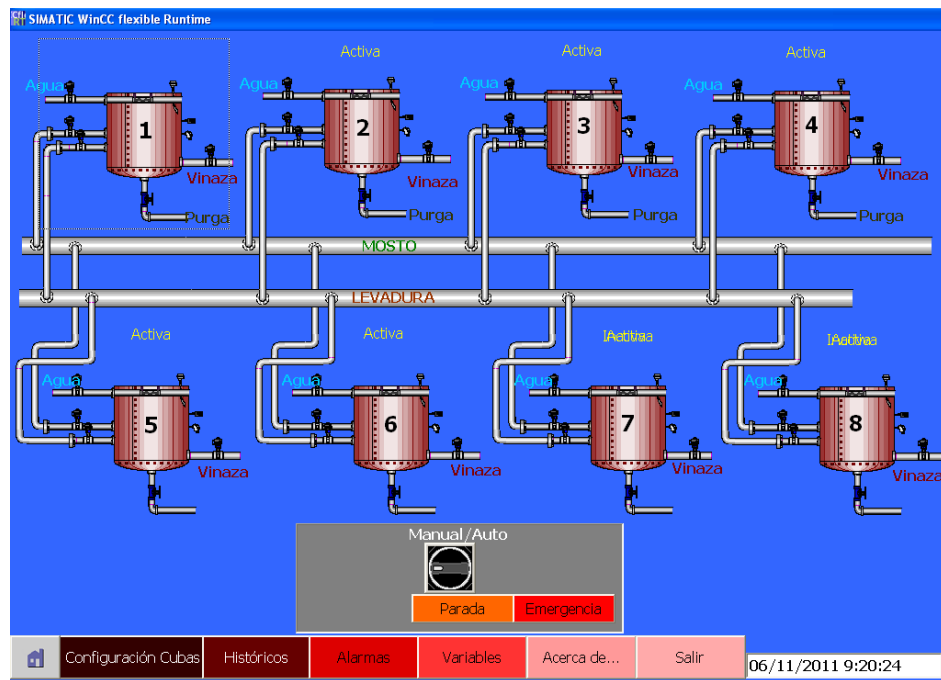



Fig. 49. Pantalla General.

En la pantalla General se visualiza el proceso de obtención para las 8 cubas.

La pantalla cuenta con una barra de botones en la parte inferior. Si seleccionamos el botón  se accede a la pantalla principal, este está presente en todas las pantallas del sistema. Se presionamos el botón de Configuración de Cubas se visualiza la ventana que permite seleccionar las Cubas que van a estar en funcionamiento. Presionando los botones de Históricos, Alarmas, Variables, se accede a las ventanas que muestran los históricos, alarmas e indicación de variables respectivamente. Presionando el botón Acerca de. Se accede a la ventana de Información. Para salir del modo Réuntame se presiona el botón de Salir.

Cuenta con un selector Manual/Auto cuya función es la selección del modo de trabajo (Manual o Automático). Seleccionando Auto, se visualiza en botón de Inicio, que es el encargado de confirmar el inicio de llenado de las cubas. (Figura 50)

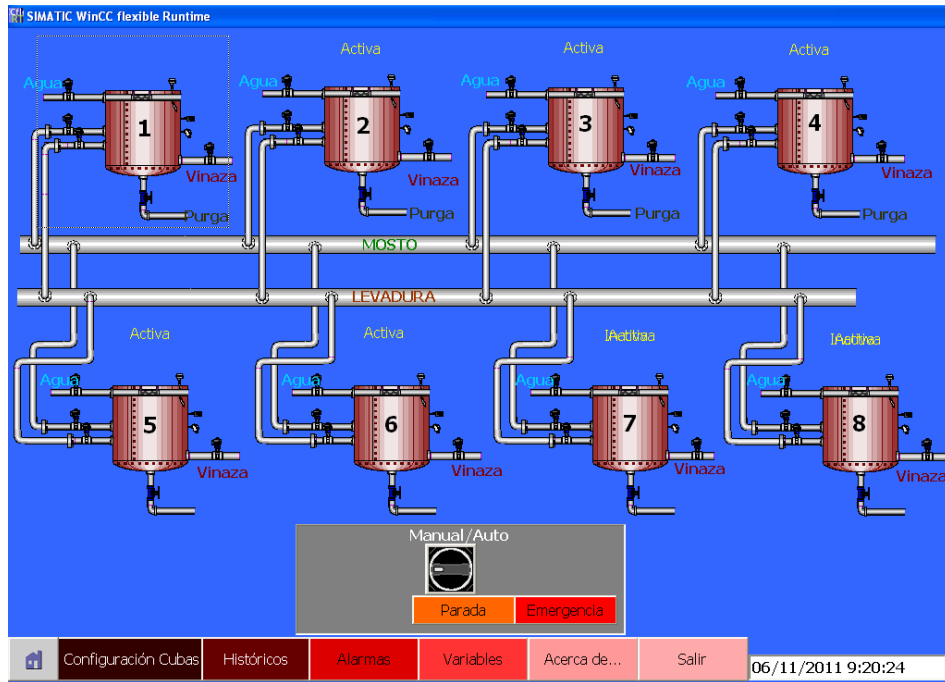


Fig. 50 Modo de trabajo en modo Automático.

Dando clic sobre los botones de Parada y Emergencia se detiene el proceso. Presionando sobre cada una de las Cubas se accede a la pantalla que representa la cuba seleccionada. Por ejemplo si presionamos la Cuba 1, se accede a la pantalla que representa la Cuba1. (Figura 51)

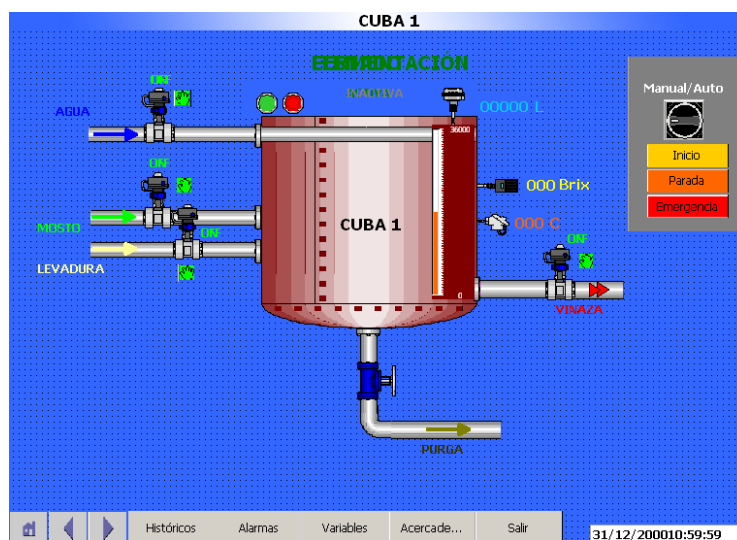




Fig. 51. Pantalla de proceso correspondiente a la Cuba1.



Presenta campos de Salida que visualiza la indicación de la Temperatura, el nivel y la densidad de la Cuba que se haya seleccionado.

En cada una de las Cubas se va a poder acceder a los Históricos, Alarmas, Variables, Información y se podrá Salir del modo Runtime. Con el botón ▶ se puede desplazar por las pantallas correspondientes a las diferentes cubas y el botón ◀ visualiza la pantalla anteriormente abierta.

Si se activa el modo Manual se visualizan botones que tienen la función de abrir  y cerrar  las válvulas de forma manual. En caso de selección de Automático se desaparecen estos y se visualiza el botón de Inicio.

Presionando el botón Acerca de. Se accede a la ventana de información. (Figura 52)



Fig. 52 Ventana de información del software.

Existen tres pantallas que muestran los valores de las variables de temperatura (Figura 53), volumen (Figura 54) y Brix (Figura 55).



Fig. 53. Visualización de las variables de temperaturas de las cubas.



Variables del proceso	
Volumen Cuba 1	00000 L
Volumen Cuba 2	00000 L
Volumen Cuba 3	0000 L
Volumen Cuba 4	00000 L
Volumen Cuba 5	00000 L
Volumen Cuba 6	0000 L
Volumen Cuba 7	00000 L
Volumen Cuba 8	00000 L

Fig. 54. Visualización de las variables de volumen de las cubas.

Variables del proceso	
Brix Cuba 1	000 Brix
Brix Cuba 2	000 Brix
Brix Cuba 3	000 Brix
Brix Cuba 4	000 Brix
Brix Cuba 5	000 Brix
Brix Cuba 6	000 Brix
Brix Cuba 7	000 Brix
Brix Cuba 8	000 Brix

Fig. 55. Visualización de las variables de Brix de las cubas.

En el proceso de obtención de vinaza existen 8 cubas de las cuales por defecto las primeras 6 se encuentran en funcionamiento. De existir algún cambio por rotura de alguna de ellas, se puede seleccionar el modo de trabajo. En la ventana de Configuración de Cuba se selecciona la Cuba poniendo un 1. (Figura 56)

Selección de Cubas			
Cuba1 0 1 []	Modo de trabajo de la Cuba 1	Cuba5 0 1 []	Modo de trabajo de la Cuba 5
Cuba2 0 1 []	Modo de trabajo de la Cuba 2	Cuba6 0 1 []	Modo de trabajo de la Cuba 6
Cuba3 0 1 []	Modo de trabajo de la Cuba 3	Cuba7 0 1 []	Modo de trabajo de la Cuba 7
Cuba4 0 1 []	Modo de trabajo de la Cuba 4	Cuba8 0 1 []	Modo de trabajo de la Cuba 8

General | Histórico | Alarmas | Variables | Acerca de... | Salir | 12/10/2011 22:30:55

Fig. 56. Ventana de selección de Cubas.



Alarmas. En la ventana de Alarmas se visualizan avisos del sistema, errores, advertencias y eventos de diagnóstico. (Figura 57)

Nº	Hora	Fecha	Estado	Texto	GR
A...22	23:03:27	12/10/2011	Apar...	No hay Flujo de mosto C5	0
A...13	23:03:26	12/10/2011	Apar...	Alarma Temperatura Cuba4	0
A...11	23:03:26	12/10/2011	Apar...	Alarma Temperatura Cuba3	0
A...19	23:03:26	12/10/2011	Apar...	Alarma Nivel Cuba 8	0
A...6	23:03:26	12/10/2011	Apar...	Alarma Nivel Cuba 5	0
A...5	23:03:26	12/10/2011	Apar...	Alarma Nivel Cuba4	0
A...4	23:03:26	12/10/2011	Apar...	Alarma Nivel Cuba3	0
A...3	23:03:26	12/10/2011	Apar...	Alarma Nivel Cuba2	0
A...29	23:03:26	12/10/2011	Apar...	No hay Flujo de lavadura C4	0
A...22	23:03:26	12/10/2011	Apar...	No hay Flujo de lavadura C2	0
A...26	23:03:26	12/10/2011	Apar...	No hay Flujo de lavadura C1	0
A...24	23:03:26	12/10/2011	Apar...	No hay Flujo de mosto C7	0
A...22	23:03:26	12/10/2011	Apar...	No hay Flujo de mosto C5	0
A...14	23:03:26	12/10/2011	Apar...	No hay Flujo de mosto C4	0
A...17	23:03:25	12/10/2011	Apar...	Alarma Temperatura Cuba5	0
A...15	23:03:25	12/10/2011	Apar...	Alarma Temperatura Cuba6	0
A...14	23:03:25	12/10/2011	Apar...	Alarma Temperatura Cuba5	0
A...12	23:03:25	12/10/2011	Apar...	Alarma Temperatura Cuba3	0
A...9	23:03:25	12/10/2011	Apar...	Alarma Nivel Cuba 6	0
A...8	23:03:25	12/10/2011	Apar...	Alarma Nivel Cuba 7	0
A...7	23:03:25	12/10/2011	Apar...	Alarma Nivel Cuba 6	0

Fig. 57. Ventana de visualización de Alarmas.

Para configurar la pantalla anterior previamente se creó un sistema de avisos identifica el tipo de información que hace que se dispare un aviso y, por consiguiente, también las características de los avisos. Los tipos de avisos creados fueron del tipo binario. En la pantalla de Alarmas se dispara un aviso cuando se activa un determinado bit en el autómat. En la figura 58 se muestra la tabla de avisos de bit creado en Cinc Flexible.

Texto	Número	Clase	Variable de trigger	Número de bit	Dirección de di...
Alarma_Emergencia	1	Errores	Alarma_VW2500	0	0
Alarma Nivel Cuba1	2	Errores	Alarma_VW2500	1	1
Alarma Nivel Cuba2	3	Errores	Alarma_VW2500	2	2
Alarma Nivel Cuba3	4	Errores	Alarma_VW2500	3	3
Alarma Nivel Cuba4	5	Errores	Alarma_VW2500	4	4
Alarma Nivel Cuba 5	6	Errores	Alarma_VW2500	5	5
Alarma Nivel Cuba 6	7	Errores	Alarma_VW2500	6	6
Alarma Nivel Cuba 7	8	Errores	Alarma_VW2500	7	7
Alarma Nivel Cuba 8	9	Errores	Alarma_VW2500	8	8
Alarma Temperatura Cuba1	10	Errores	Alarma_VW2500	9	9
Alarma Temperatura Cuba2	11	Errores	Alarma_VW2500	10	10
Alarma Temperatura Cuba3	12	Errores	Alarma_VW2500	11	11
Alarma Temperatura Cuba4	13	Errores	Alarma_VW2500	12	12
Alarma Temperatura Cuba5	14	Errores	Alarma_VW2500	13	13

Aviso de bit 34 (Aviso de bit)	
Configuración	
Texto	Error Hardware
Número	34
Clase	Errores
Grupo	<Ningún grupo>

Fig. 58. Tabla de avisos de bit.

Si se cumple la condición que dispara un aviso, el estado del aviso será "Aparecido". Cuando el operador acusa recibo del aviso, el estado del aviso es "Aparecido/Acusado". Si la condición que dispara un aviso ya no se cumple, el estado del aviso será



“Aparecido/Desaparecido”. Cuando el operador acusa recibo del aviso desaparecido, el estado del aviso es "Aparecido/Desaparecido/Acusado".

5.4.3 Históricos y Tendencias

Para archivar los valores de las variables se tuvo que crear un fichero de datos. Mediante la evaluación de los ficheros de variables podrá optimizar el ciclo de mantenimiento, aumentar la calidad del producto y asegurar los estándares de calidad.

El proceso de archivar variables se controla mediante ciclos y eventos. Los ciclos de archivos encargan del registro y el almacenamiento continuado de los valores de variables. Una vez que sistema supervisorio se encuentre en Réuntame se registran y procesan los valores de variables que se van archivar y se almacenan en un archivo CSV. La variante seleccionada para el fichero es de forma cíclica, para que continuamente se estén almacenando dichas variables.

Dicho fichero se guardará en la dirección C:\Logs y cuando se accede esta se podrá abrir dicho fichero con Microsoft Excel. (Figura 59)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
34	Temp_C6_sc	14/10/2011 16:13	74.55061	1	40830675836						
35	Temp_C5_sc	14/10/2011 16:13	33.88775	1	40830675836						
36	Temp_C7_sc	14/10/2011 16:13	17.13004	1	40830675836						
37	Temp_C4_sc	14/10/2011 16:13	65.98407	1	40830675836						
38	Temp_C2_sc	14/10/2011 16:13	96.30116	1	40830675836						
39	Brix_C8_sc	14/10/2011 16:13	15.48814	1	40830675836						
40	Temp_C8_sc	14/10/2011 16:13	30.72298	1	40830675850						
41	Temp_C3_sc	14/10/2011 16:13	10.99582	1	40830675850						
42	Temp_C1_sc	14/10/2011 16:13	38.92636	1	40830675850						
43	Temp_C6_sc	14/10/2011 16:13	73.25358	1	40830675850						
44	Temp_C5_sc	14/10/2011 16:13	78.30134	1	40830675850						
45	Temp_C7_sc	14/10/2011 16:13	61.4185	1	40830675850						
46	Temp_C4_sc	14/10/2011 16:13	59.84375	1	40830675850						
47	Temp_C2_sc	14/10/2011 16:13	69.33195	1	40830675850						
48	Brix_C8_sc	14/10/2011 16:13	22.49214	1	40830675850						
49	Temp_C8_sc	14/10/2011 16:13	20.33753	1	40830675864						
50	Temp_C3_sc	14/10/2011 16:13	44.18775	1	40830675864						
51	Temp_C1_sc	14/10/2011 16:13	90.71932	1	40830675864						
52	Temp_C6_sc	14/10/2011 16:13	81.37455	1	40830675864						
53	Temp_C5_sc	14/10/2011 16:13	52.7665	1	40830675864						
54	Temp_C7_sc	14/10/2011 16:13	85.43962	1	40830675864						
55	Temp_C4_sc	14/10/2011 16:13	53.26701	1	40830675864						
56	Temp_C2_sc	14/10/2011 16:13	71.29734	1	40830675864						
57	Brix_C8_sc	14/10/2011 16:13	41.3419	1	40830675864						
58	Temp_C8_sc	14/10/2011 16:13	22.7607	1	40830675877						
59	Temp_C3_sc	14/10/2011 16:13	54.9852	1	40830675877						

Fig. 59. Valores de las variables almacenados en el fichero CSV.

Para representar los valores de dichas variables se configuraron la vista de curva en las pantallas de Históricos y Tendencias.



Las curvas son la representación gráfica de valores que adopta una variable en réuntame. En las figuras 60, 61 y 62 se muestran las ventanas para la visualización de los valores de densidad, temperatura y nivel respectivamente.

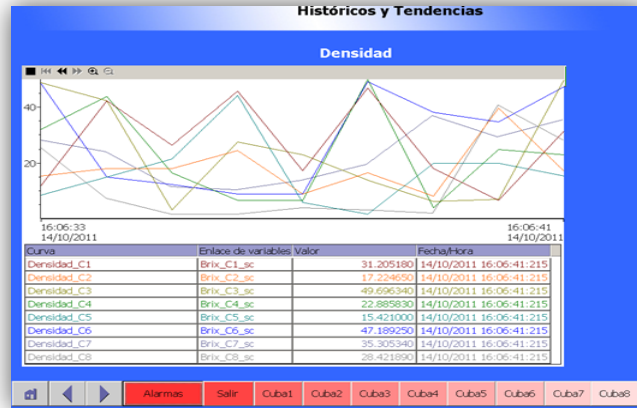


Fig. 60. Históricos y tendencias para las variables de Brix.

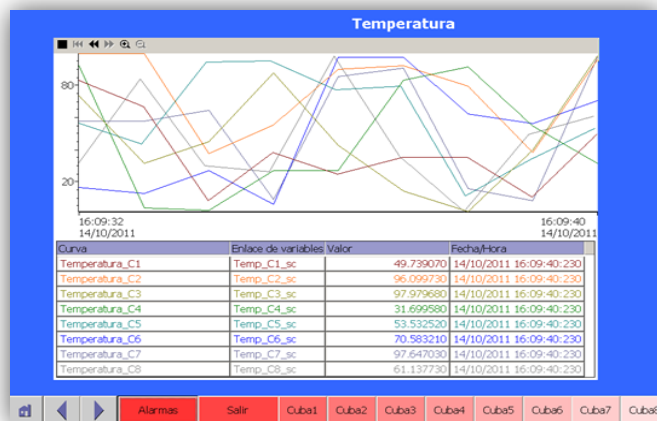


Fig. 61. Históricos y tendencias para las variables de temperatura.

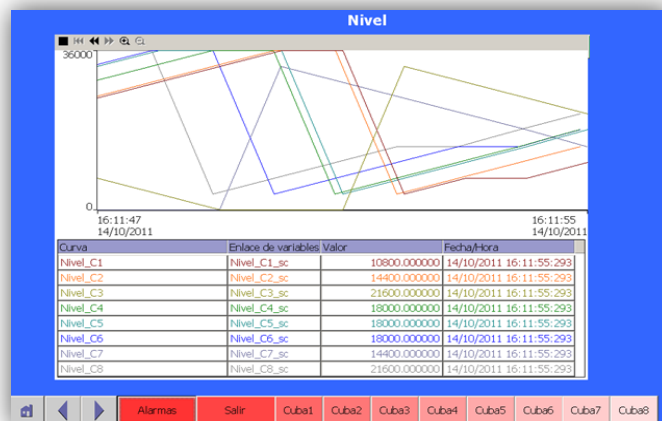


Fig. 62. Históricos y tendencias para las variables de volumen.



En cada uno de estos casos se realizó la simulación de las variables mediante Cinc Flexible Réuntame Simulator. En la Figura 63 se muestra la configuración de las variables de densidad, temperatura y nivel para cada una de las Cubas.

Variable	Tipo de datos	Valor actual	Simulación	Ajustar valor	Valor mín	Valor máx	Periodo	Inicio
Brix_C1_sc	REAL	37.05557	Casual		0	50		<input checked="" type="checkbox"/>
Brix_C2_sc	REAL	32.9371	Casual		0	50		<input checked="" type="checkbox"/>
Brix_C3_sc	REAL	10.22065	Casual		0	50		<input checked="" type="checkbox"/>
Brix_C4_sc	REAL	44.9614	Casual		0	50		<input checked="" type="checkbox"/>
Brix_C5_sc	REAL	26.57552	Casual		0	50		<input checked="" type="checkbox"/>
Brix_C6_sc	REAL	4.071169	Casual		0	50		<input checked="" type="checkbox"/>
Brix_C7_sc	REAL	38.90499	Casual		0	50		<input checked="" type="checkbox"/>
Brix_C8_sc	REAL	47.80267	Casual		0	50		<input checked="" type="checkbox"/>
Temp_C1_sc	REAL	22.69051	Casual		0	100		<input checked="" type="checkbox"/>
Temp_C2_sc	REAL	27.03024	Casual		0	100		<input checked="" type="checkbox"/>
Temp_C3_sc	REAL	35.60289	Casual		0	100		<input checked="" type="checkbox"/>
Temp_C4_sc	REAL	36.51234	Casual		0	100		<input checked="" type="checkbox"/>
Temp_C5_sc	REAL	88.30531	Casual		0	100		<input checked="" type="checkbox"/>
Temp_C6_sc	REAL	44.48683	Casual		0	100		<input checked="" type="checkbox"/>
Temp_C7_sc	REAL	13.773	Casual		0	100		<input checked="" type="checkbox"/>
Temp_C8_sc	REAL	39.8236	Casual		0	100		<input checked="" type="checkbox"/>
Nivel_C1_sc	REAL	28800	Incrementar		0	36000	10.000	<input checked="" type="checkbox"/>
Nivel_C2_sc	REAL	32400	Incrementar		0	36000	10.000	<input checked="" type="checkbox"/>
Nivel_C3_sc	REAL	0	Decrementar		0	36000	10.000	<input checked="" type="checkbox"/>
Nivel_C4_sc	REAL	3600	Incrementar		0	36000	10.000	<input checked="" type="checkbox"/>
Nivel_C5_sc	REAL	10800	Incrementar		0	36000	10.000	<input checked="" type="checkbox"/>
Nivel_C6_sc	REAL	14400	Incrementar		0	36000	10.000	<input checked="" type="checkbox"/>
Nivel_C7_sc	REAL	18000	Decrementar		0	36000	10.000	<input checked="" type="checkbox"/>
Nivel_C8_sc	REAL	21600	Incrementar		0	36000	10.000	<input checked="" type="checkbox"/>
* ---								<input type="checkbox"/>

Fig. 63. Simulador de las variables.

5.4.4 Configuración de las variables en el SCADA:

Para el caso del sistema supervisorio es necesario también configurar las variables del sistema. Estas variables pueden ser de tipo interna o externa. Una variable interna es propia del sistema supervisorio sin embargo una variable externa sirve para intercambiar valores de proceso entre el panel de operador y el autómata.

Para crear la tabla de variables en Cinc Flexible, se accede en la barra de Proyecto a Comunicación. Se selecciona Variables y se comienza a completar la tabla según las variables del sistema. (Figura 64)

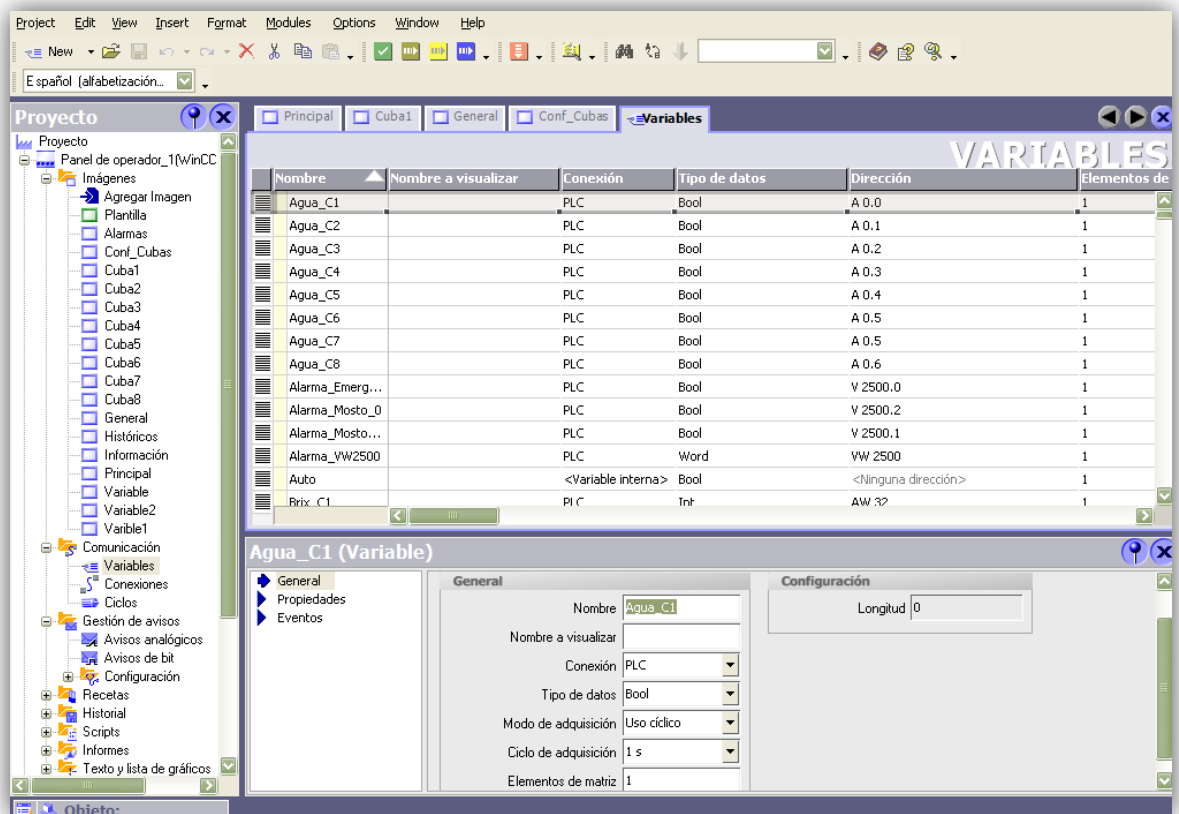


Fig. 64 Creación de variables.

Una variable externa es la imagen de una posición de memoria definida en el autómata. Es posible acceder con derechos de lectura y escritura a esta posición de memoria tanto desde el panel de operador como desde el autómata.

En la configuración variables externas es necesario enlazar con el PLC, esto se logra seleccionando en la casilla Conexión tipo PLC. Al crear cada una de las variables hay que indicarle el tipo de dato si es booleana, entera, real, etc., esta debe coincidir según la declaración en el autómata. También es imprescindible declararle la dirección ya que tanto el panel de operador como el autómata acceden a la misma posición de memoria.

En el caso de las variables internas deben definirse como mínimo el nombre y el tipo de datos. En lugar de una conexión con un controlador se selecciona la entrada Variable interna.



5.4.5 Comunicación del PLC con la PC:

Primeramente es necesario configurar físicamente los interruptores del cable, para esto seleccionamos la velocidad de transferencia de 19,2 kbit/s y quedaría los interruptores 1, 2, y 3 con el valor 0, 0 y 1 respectivamente.

Seguido se ajusta el Interface PG/PC ubicado en Panel de Control:

El punto de acceso tiene que ser S7 online, y la parametrización utilizada es PC/PPI que varía en correspondencia con el cable utilizado (figura 65 y 66).

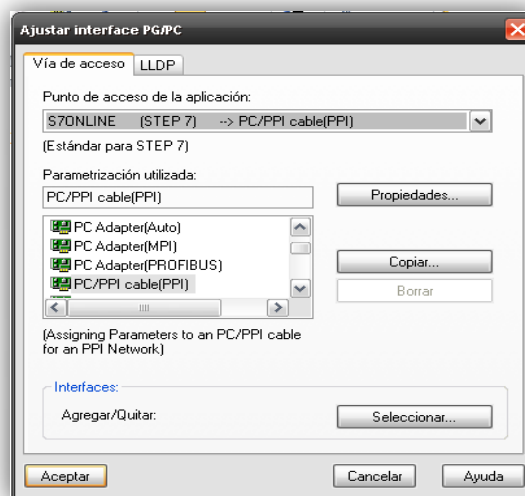


Fig. 65. Ajuste de la Interface PG/PC.

Si presiona propiedades se accede a la ventana siguiente:



Fig. 66. Ajuste de las propiedades PC/PPI.



En este caso se selecciona la dirección 1 (figura 67) que corresponde a la misma dirección que se configura en el Wincc flexible para el panel de operador. La velocidad escogida es de 19.2kbts/s debido a que ya previamente se configuró está en el cable. En propiedades de la red es necesario marcar PPI avanzado.

En la pestaña de conexión local se establece COM 1 que es al puerto al que está conectado el cable a la PC.



Fig. 67. Ajustes de la Conexión local.

Corresponde ahora configurar la conexión en Wincc flexible:

Para esto es necesario agregar una nueva conexión con driver de comunicación S7 200. Es importante chequear que la conexión esta activada (figura 68)

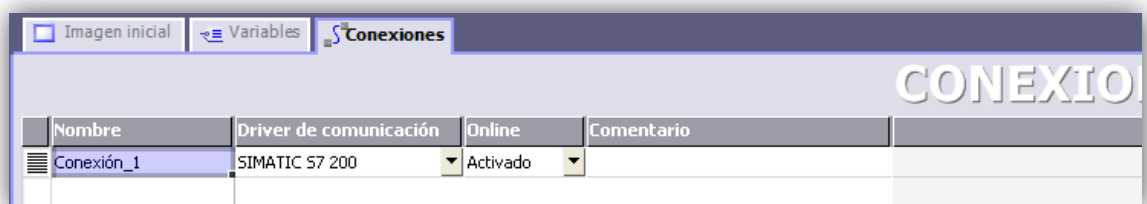


Fig. 68. Activación de la conexión.

En la pestaña *Parámetros* se escoge la interfaz MPI/DP y se configura como se muestra a continuación (figura 69):

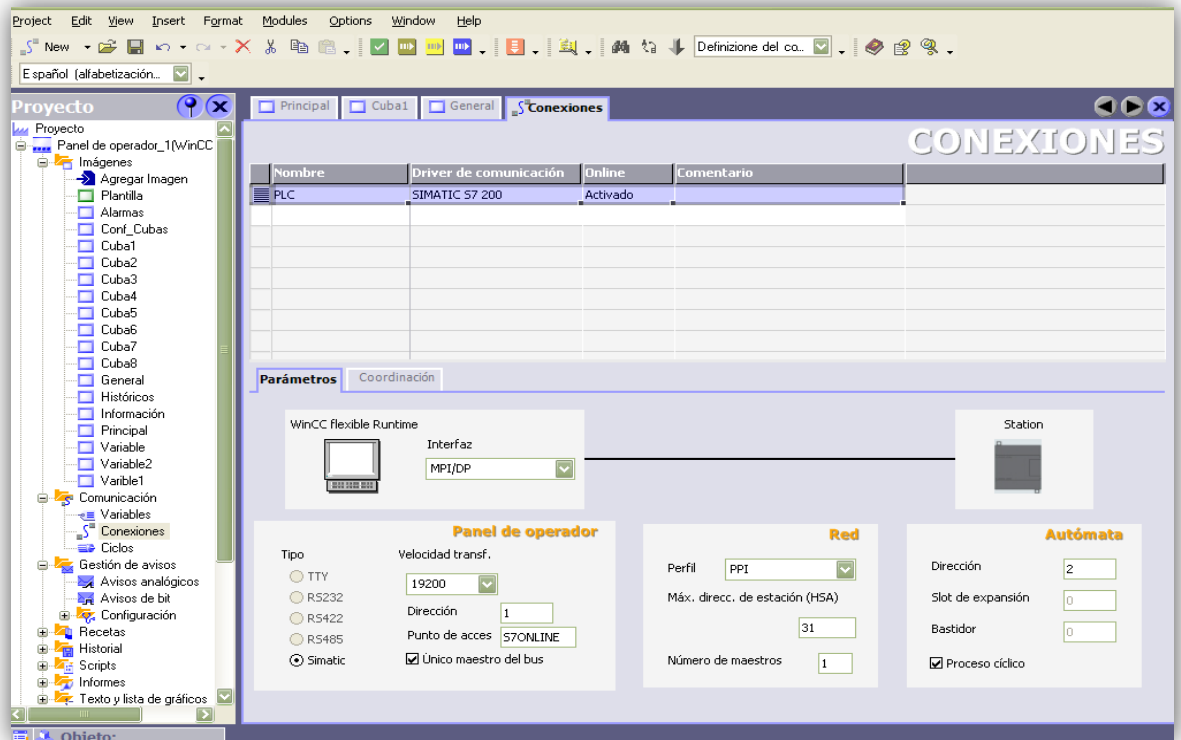


Fig. 69. Configuración de los parámetros de la comunicación.

Finalmente se presiona Runtime.



6. DISCUSIÓN:

El sistema automático que se implantó para la planta de fermentación se encuentra diseñado con toda la instrumentación tanto de medición, control y regulación, las cuales garantizan todas las condiciones de seguridad en su funcionamiento.

Para esto se tomó en cuenta las normas de protección ambiental o IP (International Protección) las cuales son muy importantes al momento de seleccionar los equipos. Se fue muy cauteloso en este tema ya que los instrumentos se exponen a medios corrosivos tales como: el mosto, el agua y el dióxido de carbono que son muy frecuentes en dicho proceso.

Se estableció una estrategia de control secuencial, el cual se basa en un número de estados que se ejecutan al cumplirse la condición programada, dando paso así a las siguientes condiciones que se programó para dicho proceso.

Las condiciones de trabajo se las elaboró en diagramas de flujo de proceso los cuales siguen una lógica de secuencia que a su vez es una estrategia de control.

La programación se la llevó a cabo en Microwin programa de Siemens que ayuda a la programación mediante un lenguaje de contactos KOP, el cual nos facilita la tarea al ser de fácil entendimiento para el programador.

La descripción total del proceso de fermentación se la puede observar en un SCADA desarrollado en WinCC flexible de Siemens, ya que es una plataforma amigable para el programador al ser de fácil manejo. WinCC flexible nos permite observar de forma gráfica los distintos procesos que se llevan a cabo en fermentación además de alarmas, emergencias y paradas las cuales nos sirven de aviso para actuar en caso de alguna avería o fallo de algunas de las etapas del proceso enviando automáticamente la señal aviso.



6.1. IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental que se puede hacer al tecnificar el proceso de fermentación se puede decir que casi es nulo.

Ya que más bien se favorece en cierta forma al ambiente, al utilizar un recurso como lo es el agua de forma óptima para el enfriamiento de las cubas de fermento.



6.2. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA.

6.2.1. Introducción.

En este capítulo efectuaremos el análisis de los requerimientos de inversión, costos de operación y mantenimiento, producción, reducción de personal, ahorro por disminución de pérdidas. Para evaluar estos parámetros con los beneficios de productividad y ahorro que ofrecería. Cabe resaltar que los precios aquí detallados son referenciales y correspondientes al año 2010, para ser utilizados como base para las licitaciones públicas deberá realizarse una actualización de estos en caso de prolongarse el tiempo de gestión de los recursos económicos, es importante destacar que para el análisis económico se ha tomado como referencia la evaluación financiera de la aplicación de la tecnología.

6.3. Costos de inversión para las ocho cubas de fermentación.

Se a enumerado los equipos e instrumentos a emplearse en las ocho cubas de fermentación, investigado con los proveedores de equipos Locales Nacionales e Internacionales, en el presente proyecto se incluye la informacion de costos unitarios de los materiales a utilizar e instrumentación.

Tabla 22. Materiales utilizados en el proceso de automatización.

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	U	PRECIO UNITARIO	TOTAL POR ITEM
Cable AWG 22	1000	m	0.10	100,0
Cable AWG 14	800	m	0.25	200,0
Terminales o bornes	500	U	0.05	25,0
Cinchas de agarre	100	U	0.10	10,0
Manguera para el paso eléctrico 3/4"	400	m	0.20	80,0
Regleta de conexión	1	U	80,0	80,0
Breacker30A	1	A	35,0	35,0
Armario para el PLC	1	U	250,0	250,0
			TOTAL	545,0



Tabla 23. Equipos utilizados en la automatización del proceso de fermentación.

ÍTEM	Descripción	Cantidad	VALOR REF. TOTAL (EN DOLARES)	TOTAL POR ÍTEM
1	Transmisor, medidor de Brix DT 301 de smar	8	880,0	7040,0
2	Termocupla RTD	8	180,0	1440,0
3	Sensor de nivel hidrostático	8	690,0	5520,0
4	Actuador eléctrico on/off para válvula de 2"	32	1200,0	38400,0
5	Autómata programable (PLC). S7 – 200 de siemens. Especificaciones técnicas: CPU 226 serie 6ES7 216 - 2AD23-0XB0.	1	726,336	726,336
6	Modulo Digital EM 223 Serie 6ES7 223 – 1BL 22 – 0XA0	2	605,40	1210,8
7	Módulo Analógico EM 231 Serie 6ES7 231- OHF22- 0X0A0	3	304,50	913,50
8	Fuente de poder Sito Power 3.5 A	1	156,0	156,0
9	Cable de conexión. Multa Master RS 232/PPI Serie 6ES7 9013CB3 0XA0	1	150,66	150,66
10	Software WinCC flexible	1	12000,0	12000,0
		TOTAL		67593,296

A continuación se resume los costos correspondientes a la inversión de los diferentes elementos del sistema de automatización.



Tabla 24. Resumen del costo de inversión para la automatización del proceso de fermentación.

Ítem Denominación	Costo
Compra de equipos e instrumentación	52400,0
Contratación de la mano de obra para la instalación de la instrumentación	9000,0
Compra de equipos y materiales de control automático electrónico	15701,96
Contratación de la mano de obra para equipos y materiales de control automático electrónico	1000,0
Costo total de inversión	87101,96

6.4. Resumen de costos totales de inversión del proyecto (CAPEX).

A continuación se presenta el resumen del costo total de inversión del proyecto de Automatización del proceso de fermentación de la planta de alcohol del Ingenio Monterrey Azucarera lojana C. A.

El presupuesto de inversión (CAPEX) que se necesitara para el proyecto de Automatización del proceso de fermentación está presupuestado con un monto referencial de **USD 87101,96** (OCHENTA Y SIETE MIL CIENTO UNO DOLARES AMERICANOS CON NOVENTA Y SEIS CENTAVOS).

Los costos por reinversión en este proyectado estará en función de los equipos que haya que reemplazar o ampliar en el transcurso de los años venideros, se estima un costo de reinversión de USD 1000.00 cada dos años lo que nos da valor anual de USD 2000.00.

6.5. Costos de operación proyectados (OPEX).

Los costos operativos proyectados al momento de implantar el proyecto están enmarcados al costo por suministro eléctrico, mantenimiento y operadores.

a) Costo por consumo de energía eléctrica adicional en el sistema.

En este caso incluiremos la energía promedio que los actuadores, el PLC y su conjunto de módulos y la PC consumirán al mes por consumo del control automático, esto es:

- El consumo proyectado para todo el sistema 0.90 Kwh al mes equivalente a USD 64.80 de costo mensual considerando las 8 y el total de los equipos.
- En total se tendrá un costo de energía eléctrica consumida de: E (mensual) = 64.80 USD



b) Costo por remuneración de operadores.

Para este caso se tiene proyectado la contratación de 2 operadores que tengan título de técnico a fin, esto para trabajar en la vigilancia y operación del sistema de Control por un operador siempre presente y disponible. El sueldo promedio que podría ganar un técnico para ocupar estos puestos es de USD 400.00

En total el costo de operación (OPEX) proyectado para el sistema al momento de su implantación es de:

$$\text{OPEX} = (64.80 + 400.00) \times 12 = \text{USD } 10377,60 \text{ anuales.}$$

6.6. Situación económica actual y proyectada.

6.6.1. Situación económica actual.

Hasta el 2010 se tiene registrado que por cada cuba de vinaza se obtiene 2400 litros de alcohol extra neutro es decir de 95 °GL. Se puede estimar que en 36000 litros de vinaza solo un 6.6% es alcohol.

Tabla 25. Precio del alcohol en el mercado actual.

Precios	
Precio por cada litro de alcohol	USD 0.87

Para propósitos de cálculo que más adelante se realizaran se toma como referencia los USD 0.87 (ver tabla 25), hay que tener en cuenta que a la empresa le cuesta producir un litro de alcohol la cantidad de USD 0,36. Teniendo un total neto que recibe a favor de USD 0,51

Cogiendo así mismo el promedio de alcohol por cada cuba, conociendo que al día se destilan dos cubas dando un total de 4800 litros diarios, tomamos el valor de referencia de **USD 0.51** del litro del alcohol, y lo multiplicamos por los **4800** litros de alcohol que son destilados diariamente nos da un valor de **USD 2448**. Así también si cogemos los 4800 litros diarios y lo multiplicamos por 30 días que tiene un mes nos da la cantidad de 144000 litros mensuales, si lo multiplicamos por los 12 meses de un año tendremos la cantidad 1'728.000 litros anuales multiplicándolo por USD 0,51 nos da una cantidad anual de UDS 881280



6.6.2. Pérdidas reales actuales del sistema.

Son las pérdidas físicas que corresponden a las fugas del recurso dentro del proceso de fermentación.

a) Fugas y desbordamiento en los tanques de almacenamiento de fermentación.

Los desbordamientos en tanques se han estimado en unos 36000 L de mosto por mes (432000 litros anuales), sabiendo que cada cuba aproximadamente nos provee de 2400 litros de alcohol multiplicando por 12 meses del año nos da una cantidad de 28800 litros que equivale al 1,6% de pérdidas totales) lo que nos arroja un total de **USD 14688** de pérdidas anuales, esto sucede porque hay veces que existe un desborde en el sistema aproximadamente 4 cada semana y debido a que no hay un medio de vigilancia del rebose.

b) Pérdidas por errores de medición.

En este caso podrían darse en los macro-medidores de las cubas de fermentación debido a la baja precisión de estos y también porque no existe una eficiente labor de lectura de la temperatura, concentración y volumen por parte de los operadores, se puede estimar estas pérdidas en un 1 % equivalente a aproximadamente 17280 litros de alcohol lo que significa un total de **USD 10713,6** de pérdidas anuales.

6.6.3. Situación económica proyectada.

Para determinar el impacto de ahorro que generara la implantación de este proyecto es necesario saber la disminución de pérdidas reales que este traerá.

6.6.3.1. Pérdidas reales a disminuirse con el sistema de Monitoreo y Control del proceso de Fermentación.

a) desbordamiento en las cubas de almacenamiento de fermentación.

Los desbordamientos en tanques ya no existirán debido al control de nivel automático de todas las ocho cubas disminuyendo del 1,6 al 0%, lo que significa un ahorro anual de **USD 14688**



b) Pérdidas por errores de medición.

De igual forma los macro-medidores electrónicos en las cubas de fermentación mejoraran la precisión de las mediciones y la confiabilidad de las lecturas al no utilizarse a los operadores para su registro ya que se generaran automáticamente en la base de datos del Scada mejorando la eficiencia de esta labor.

Con esto se puede estimar una disminución de las pérdidas desde un 1 % a un 0.5% equivalente a un ahorro de 8640 litros de alcohol lo que significa un total de ahorro de **USD 5356,8 anuales.**

c) Sumatoria de ahorros por disminuciones de pérdidas reales.

Con todo esto podemos cuantificar el porcentaje de ahorro por disminución de pérdidas reales que traerá este sistema, esto es:

Tabla 26. Sumatoria de ahorros por disminución de pérdidas reales.

Ahorro	Total (USD)
Desbordamiento en las cubas de almacenamiento de fermentación	14688
Perdidas por errores de medición	5356,8
Total	20044,8

De los 28800 litros de alcohol no contabilizado (USD 14688) equivale a una recuperación del: $\text{Recuperación} = (20044,8 / 14688) \times 100 = 1,3 \%$

Lo que conlleva a una disminución del índice de mosto entre perdidas por desbordamiento, medición y lectura del 2,7 % a un valor proyectado de 1.3 %, en otras palabras se reduce a la mitad del actual.

6.6.4. Costos operativos actuales (OPEX) en las cubas de fermentación.

Los costos de operación directos son equivalentes a gastos en personal de operación encargado del proceso de fermentación en la planta de alcohol, de los cuales se puede determinar un valor de:

Remuneración de operadores = USD 600x3x12=USD 21600 al año (USD 1800 mensuales).



Equivalente al sueldo promedio (600 dólares mensuales) acumulado en un año de 3 trabajadores que se dedican a la operación del proceso de fermentación.

Tabla 27. Costos de operación

Ahorro	Total (USD)
Remuneración de operadores	21600
Total	21600

6.6.5. Resumen de Ahorro total con el sistema implantado.

Sumando los ahorros por año por causa de una disminución proyectada de pérdidas y costos de operación se tienen la siguiente tabla de sumatoria.

Tabla 28: Resumen de Ahorros con la implantación del proyecto

Ahorro anual	Total (USD)
Por disminución de pérdidas reales	20044,8
Por disminución de costos de operación	21600
Total	41644,8



Tabla 29: Calculo del VAN, TIR y B/C para la inversión del proyecto.

AÑO	CAPEX		OPEX	T. EGRESOS	Ingresos por ahorro	total ingresos	Flujo	VAN
	INVERSION	REINVERSION						
0	87101,96			87101,96		0	-87101,96	-87101,96
1		1000	10377	11377	41644,8	41644,8	30267,8	-59384,19443
2		1000	10377	11377	41644,8	41644,8	30267,8	-34001,62523
3		1000	10377	11377	41644,8	41644,8	30267,8	-10757,51424
4		1000	10377	11377	41644,8	41644,8	30267,8	10528,30
5		1000	10377	11377	41644,8	41644,8	30267,8	30020,80711
6		1000	10377	11377	41644,8	41644,8	30267,8	47871,0868
7		1000	10377	11377	41644,8	41644,8	30267,8	64217,49678
8		1000	10377	11377	41644,8	41644,8	30267,8	79186,73669
9		1000	10377	11377	41644,8	41644,8	30267,8	92894,83184
10		1000	10377	11377	41644,8	41644,8	30267,8	105448,0325
				200871,96	416448	215576,04	14704,08	111032,5909
							VAN	111032,59
							B/C	1,0732013

Interés	9,20%
Inversión	87101,96
Rein:	1000
OPEX	10377

VAN	111032,59
TIR	14,06%
B/C	1,07

En la tabla anterior mostrada (29), se puede observar que al final del periodo de 4 años se obtiene un valor actual neto (VAN) positivo, lo que significa que el proyecto es atractivo pues tenemos un valor alto, lo que explica su alta rentabilidad.

Por otro lado podemos ver que el TIR (Tasa Interna de Retorno) nos indica cuantitativamente la rentabilidad pues es mucho mayor al interés que se le aplica a la financiación de este tipo de proyectos.

La Relación Beneficio - Costo (B/C), nos da un resultado superior a la unidad lo que nos indica que la inversión en este proyecto es atractivo, ya que demuestra que los beneficios son mayores que los costos.



7. CONCLUSIONES

- La propuesta de automatización se realizó tomando en cuenta las características del proceso de fermentación, para lo que se concretó implementar un sistema de control automático que nos conlleve a condiciones adecuadas de temperatura, nivel y Brix proporcionando un ambiente óptimo para la fermentación.
- Mediante al análisis de los requerimientos del proceso se definió la estrategia de control a utilizar y se diseñaron los algoritmos de control secuencial y de los lazos de temperatura. La simulación en Matlab fue una herramienta imprescindible para la validar el diseño.
- Mediante una correcta búsqueda y recopilación bibliográfica se seleccionaron los instrumentos de medición, de accionamiento y de control, necesarios para el proceso. Así también sus normas de protección ambiental ya que se exponen a un medio corrosivo.
- El control del sistema automático se realiza mediante un PLC de Siemens de la gama del S7-200, el cual cubre las necesidades de cómputo y de entradas y salidas necesarias para esta aplicación manteniendo un costo relativamente bajo.
- Mediante la implementación de una interfaz gráfica con la plataforma de WinCC flexible de Siemens la cual nos permitirá observar el proceso de fermentación en su estado real.



8. RECOMENDACIONES

- Elaborar una propuesta de proyecto para entregar a la empresa Monterrey Azucarera Lojana, donde se debe tener en cuenta:
 - Realizar las conexiones eléctricas entre el dispositivo PLC y los elementos actuadores con el número y tipo de conductor adecuado.
 - Implementar la puesta a tierra, ya que es muy importante proteger los equipos de sobrecargas.
 - Recomendar la acción manual del sistema, ya que dependen de un operario.
 - A los equipos se les debe garantizar la energía, todo el tiempo.
 - Realizar el mantenimiento de todo el sistema automático, que se debe hacer por lo menos una vez al año.

- El trabajo de investigación que abierto para futuras mejoras, entre lo que se propone:
 - Iniciar un estudio de eficiencia basado en la estrategia de control propuesta, con el objetivo de mejorar el rendimiento del proceso de fermentación a partir de la optimización de su operación.



9. BIBLIOGRAFÍA:

LIBROS:

- [11] ALTENDORF, MATTHIAS, LEARDI ULRICH y Otros. Medición de Caudal. 1era Ed. De Endress + Hauser. España. 2005. 380 – 382 pp.
- [9] ARAGONÉS, ORLANDO, ZABALETA F. M. GRAU,. Automatismos eléctricos programables. 2da Ed. MARCOMBO. Barcelona. España. 1998. 23-31 pp.
- [1] CHEN, JEP. Manual de azúcar de caña. 1era Ed. LIMUSA. México, D.F. MX.1991. 230-240pp. Vol. 1.
- [12] KAMP, WIM VAN. Teoría y Práctica de Medición de Niveles. 19da Ed. De Endress + Hauser. España, 2005. 171-173 pp.
- [10] KATSUHIKO, OGATA. Ingeniería de Control Moderna. 1era Ed. CUBA. 1987. 166-168 pp.
- [3] MONTERREY. Manual de Procesos. Catamayo. Loja. 2004. 6-13 pp.
- [7] RAMÓN, PABLO A. Adquisición y Distribución de Señales. 1era Ed. MARCOMBO. Barcelona. España. 1993. 27- 36 pp.
- [15] SIEMENS. Manual del Sistema de Automatización S7- 200. Núremberg, Alemania 2008. 413 - 497 pp.
- [6] SMITH, CARLOS y CORRIPIO, ARMANDO. Control Automático de Procesos. 1era Ed. LIMUSA. MEXICO, D.F. 1991. 647- 674 pp.
- [13] VALDÉS, JUAN, (2010). Evaluación de Plataformas SCADA comerciales en la creación de aplicaciones distribuidas. Departamento de Eléctrica. ISPJAE. Cuba.
- [4] VILLANOVA, GELTRÚ. Teoría de Control. Diseño Electrónico. 2da Ed. Barcelona. UPC. 1988. 15- 23pp. Vol. 1.

SITIOS WEB

- [2] Elprisma. Fermentación. Consultada: <http://www.elprisma.com>
- [5] Emagister. Teoría de Control. Consultada: <http://www.emagister.com>
- [14] LabVIEW. DSC. Consultada: <http://www.ni.com>
- [8] Siemens. PLC. Consultada: <http://www.siemens.com>



DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZCAIÓN PARA EL PROCESO DE FERMENTACIÓN,
DE LA FABRICA DE ALCOHOL DEL INGENIO MONTERREY AZUCARERA LOJANA C.A.

ANEXOS