FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA

Trabajo de Diploma

EN OPCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN AUTOMÁTICA

Título

Propuesta de automatización del área de vinaza de la Planta de Torula, para la UEB "Derivados Granma".

Autor

Ewar Altarriba Massó

Tutores

MSc. Mónica Mulet Hing

Ing. Abel Poll Salas

Curso: 2015-2016

PENSAMIENTO

Dichoso el hombre que halla la sabiduría,

Y que obtiene inteligencia;

Porque su ganancia es mejor que la ganancia de la plata,

Y su fruto más que el oro fino.

Rey Salomón

DEDICATORIA

A Dios, por ser el eje de mi vida.

En especial a mi papá Eduardo Altarriba que siempre se ha esforzado por que yo sea un profesional.

A mi madre por ser eso simplemente, y por las oraciones de ella, que sin estas no hubiera llegado hasta aquí.

A mi novia Lidia, porque ha sido parte de la fuerza que me ha hecho llegar hasta aquí.

A mi hermana Idailín (tata) y a mis sobrinos Daniela, Daniel y David.

A mi abuela Cristina.

A mis sietes tíos, en especial a Nereida y Melquiades.

A todas las que siempre me han apoyado y me han dado fuerzas para que siga adelante y no descanse hasta terminar la obra que emprenda.

AGRADECIMIENTOS

Eben-ezer. Hasta aquí me ha ayudado DIOS.

A mis padres por haberme apoyado en todas las cosas que hicieron que llegara hasta aquí.

A mi tutora Mónica por haberme aceptado bajo ninguna condición.

A mi tutor Abel Poll por su apoyo incondicional, ya que sin apenas conocerme me ha atendido y me ha tratado como si fuera un amigo.

A mi novia Lidia por aceptarme, apoyarme y aguantarme en momentos superdifíciles durante el transcurso de la carrera.

Que decir de todos los profesores que han hecho que me convierta hoy en un ingeniero, gracias por haber compartidos sus conocimientos con nosotros, gracias de corazón.

A todos mis compañeros del aula, por la ayuda que nos dimos mutuamente en los diferentes trabajos que realizamos durante estos años en especial a Yunier Prieur.

Resumen

Este trabajo forma parte de uno de los proyectos que lleva a cabo el grupo empresarial AZCUBA en la provincia de Santiago de Cuba (ZETI), y la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oriente, en búsqueda de soluciones que permitan, de forma económica y eficiente la automatización en el área de vinaza de la “Empresa Azucarera UEB Derivados Granma”, formando parte de los “Sistemas de Control y Supervisorio”, para el primer nivel de automatización en esta industria, realizándose la propuesta de automatización en esta área del central mediante Autómatas Programables (PLC´s).

Esta propuesta surge a partir de la necesidad de mejorar el proceso de tratamiento de la vinaza en dicha área, ya que la misma no presenta automatización ninguna, es decir, todo se realiza de forma manual, lo cual traerá consigo indudablemente una mejoría de la calidad del producto final.

Abstract

This work is part of one of the projects that carries out the managerial group AZCUBA in the county of Santiago from Cuba (ZETI), and the Ability of Electric Engineering of the University of East, in search of solutions that they allow, in an economic and efficient way the automation in the area of vinaza of the Sugar Company Derived UEB Granma, being part of those "Systems of Control Supervisorio", for the First Level of Automation in this industry, being carried out the automation proposal in this area of the central one by means of Programmable Robots (PLC´s).

This proposal arises starting from the necessity of improving the process of realization of the vinaza in this area, since the same one doesn't present automation any; that is to say, everything is carried out in a manual way, that which will bring gets an improvement of the quality of the final product undoubtedly.

Índice

Introducción 1
Capítulo 1: Fundamentos Teóricos y Tecnológicos. 5
1. ¿Qué es la Vinaza? 5
1.1 Fase de hechura de vinaza 8
1.1.1 Beneficios de la vinaza. 9
1.1.2 Condensado soluble de melaza (CMS). 9
1.1.3 Flujo tecnológico del proceso 10
1.2.1 Evaporadores. Fundamentos. 11
1.2.2 Componentes principales de un evaporador. 12
1.2.3 Clasificación. 12
1.2.3.1 Evaporadores de Plantas de Energía. 13
1.2.3.2 Tipos de Evaporadores de Plantas de Energía. 13
1.3 Características de los evaporadores de simple y múltiple efecto. 14
1.4 Tipos de Alimentación. 16
1.5 Termolizador (Intercambiador de calor). Fundamentos. 18
1.6 Antecedentes y estado actual de la automatización. 19
1.6.1 Funciones de los PLC's. 21
1.6.2 Campos de Aplicación. 22
1.6.3 Ventajas de los PLC´s. 23
1.6.4 Controladores Lógicos Programables Mitsubishi (PLC's). 23
1.6.5 Ventajas de los PLC´s Mitsubishi serie (FX3U) [10]. Agoritmo de programción. 25
1.7 Referencia del software "Sistema de Supervisión y Control EROS. Versión 5.10.1.18. Características. 26
1.8 Conclusiones del Capítulo 32
Capítulo 2: Propuesta de automatización con PLC del área de vinaza. 34
2.1 Descripción de los Lazos a Automatizar. 34
2.2 Sistema de protección y alarmas. 39
2.3 Proyecto de instalación y supervisión del sistema. 39
2.4 Descripción y funcionamiento del sistema. 43
2.5 Referencia al cuarto de control del Panel PM8. 45
2.6 Estrategias de Automatización. 46

2.7 Configuración del autómata Mitsubishi FX3U. 47
2.8 Características del software GX-Devolper-Fx utilizado en la programación del autómata. 48
2.9 Instrumentación propuesta en el campo. 52
2.10 Análisis Técnico-Económico 54
Conclusiones del Capítulo 2. 56
Conclusiones generales. 57
Recomendaciones 58
Referencia Bibliográfica. 59
Anexos 1

Introducción

A lo largo de muchos años Cuba se ha beneficiado económicamente gracias a ese preciado producto como lo es la caña de azúcar. En muchas industrias azucareras ésta es tratada para su correcto uso en la elaboración de diferentes productos derivados de ésta. El presente trabajo forma parte del proyecto técnico ***"Sistema de Control y Supervisión del área de vinaza de la Planta de Torula"***, para la UEB "Derivados Granma" en la Provincia Granma, que ha sido concebido como su nombre indica para el control y supervisión del proceso en el área de vinaza.

Entre los factores que aumentan la productividad de la caña de azúcar está la fertilización. Sin embargo, en los últimos años los fertilizantes minerales han sufrido significativos incrementos en sus costos; a tal efecto, surge la necesidad de buscar vías alternas que permitan el suministro al suelo de los elementos nutritivos en una forma más económica.

La vinaza es un residuo industrial que se genera durante la destilación del alcohol. En términos del volumen producido, se estima que por cada litro de alcohol obtenido a partir de mosto de melaza, se generan alrededor de trece litros de vinaza. Este residuo, altamente corrosivo y contaminante de las fuentes de agua, presenta en su composición química altos contenidos de materia orgánica, potasio y calcio, y cantidades moderadas de nitrógeno y fósforo. [16]

En estudios realizados acerca de la fertilización de los terrenos para la siembra de la caña de azúcar han llegados a conclusiones como:

1- La aplicación de vinaza aumentó en forma significativa la producción de caña y de azúcar por hectárea. [16]

2- En comparación con la fertilización mineral, las dosis de vinaza utilizadas no afectaron el contenido de cenizas ni el de sacarosa total en el jugo, así como tampoco influyeron en el rendimiento industrial. [16]

3- Con la utilización de la vinaza como fertilizante, se obtuvieron rendimientos crecientes en caña de azúcar, sin necesidad de una fertilización mineral. Sin

embargo, se pudo detectar que la complementación mineral es necesaria para alcanzar una mayor producción. [16]

4- Los resultados obtenidos revelan que la vinaza incrementa el rendimiento de la caña de azúcar y evidencian que puede sustituir el 55% del nitrógeno, el 72% del fósforo (P_2O_5) y el 100% del potasio (K_2O), provenientes de la fertilización mineral. [16]

Este trabajo tiene como objetivo describir las características técnicas fundamentales del sistema, de modo que se vislumbre su alcance y se comprendan mejor todas sus posibilidades. Las soluciones técnicas planteadas se basan fundamentalmente en los datos obtenidos en la propia UEB y en las exigencias planteadas por sus técnicos y personal de dirección, especialmente los especialistas de la planta.

Dado que en el área de vinaza no hay automatización de ningún tipo, ya que todo las operaciones se realizan de forma manual, se implementará este proyecto de automatización; el cual pretende que se logre una mayor eficiencia en el proceso de concentración de la vinaza para la obtención de la crema, para obtener un producto con los parámetros deseados. Para ellos se realizan todas las operaciones correspondientes para su realización, por medio de los lazos de regulación implementados y la secuencia programada en el autómata.

De acuerdo con lo explicado, se define como:

Problema de la investigación: ausencia de un sistema de control automático y monitoreo en el área de vinaza.

Objeto de la investigación: sistemas de supervisión y control en el área de vinaza de centrales azucareros a través de autómatas programables (PLC's).

Objetivo de la investigación: proponer un sistema automático para el proceso de la concentración de la vinaza para la obtención de la crema, que permita el funcionamiento automático del proceso con un menor gasto energético y mayor seguridad para los trabajadores.

El ***campo de acción*** es la Automatización del proceso en el área de vinaza de centrales azucareros planteándose como ***hipótesis:*** si se automatiza el proceso en el área de vinaza de la UEB “Derivados Granma” en la Provincia Granma se garantizará una mayor operatividad, seguridad, confiabilidad y velocidad de respuesta adecuada, obteniéndose un producto con los parámetros deseados.

Tareas de la investigación:

1. Realizar revisión bibliográfica sobre el tema en la actualidad.
2. Estudiar el proceso a controlar con el fin de conocer las exigencias de la instalación para lograr el objetivo propuesto.
3. Determinar las variables que definen la calidad del proceso e implementar los lazos de control.

Métodos y Técnicas empleados en la investigación:

Métodos Teóricos:

- Análisis y Síntesis: Estudio del proceso para definir posibles soluciones en el proceso de obtener la vinaza deseada.

- ***Método Empírico:*** Búsqueda con personal experto y especialistas de experiencia en el proceso que se investiga.

Observación y Revisión documental: Para detectar la situación operacional, es necesario dicho método, porque se profundizará en las vías y soluciones que se planteará en la investigación relacionada con el área de vinaza.

Capítulo 1: Se caracteriza el proceso productivo además se presenta una amplia panorámica del estado del arte sobre el tema, así como las características y fundamentos teóricos del objeto de estudio, quedando establecido el marco teórico que sustenta la investigación. Se realiza una descripción sobre el autómata MITSUBISHI FX3U propuesto para el diseño de la automatización, y del software EROS para la supervisión.

Capítulo 2: Se caracteriza el proceso en cuanto a los sensores-actuadores y equipos auxiliares que se implementarán. Se dará una breve panorámica sobre los

software que se van a utilizar para realizar la programación del PLC. También se realiza la valoración económica de los resultados.

Finalmente se plasman las conclusiones y recomendaciones, además de anexarse todas las figuras, esquemas de control y la programación de este en el PLC que facilitan la comprensión del informe.

Capítulo 1

Capítulo 1: Fundamentos Teóricos y Tecnológicos.

En el presente capítulo se define el marco teórico de esta investigación, a través de un estudio de los fundamentos, manejos, y características principales de los autómatas programables, destacando las grandes ventajas y facilidades que proporcionan en el control de procesos secuenciales. Se realiza una descripción del flujo tecnológico del proceso en cuestión, creando las bases teóricas de su funcionamiento. Se trata entonces, de presentar la plataforma teórica que sustenta las tareas científicas a llevar a cabo en esta investigación.

1. ¿Qué es la Vinaza?

La vinaza es un subproducto líquido derivado de la destilación del mosto de melaza (Figura 1). En general, contiene gran contenido de materia orgánica como nitrógeno, azufre y fósforo. También contiene potasio, ácidos orgánicos, aldehídos y compuestos fenólicos recalcitrantes. Su pH se encuentra entre 3 y 4, por lo que se considera una sustancia ácida y además, con propiedades corrosivas. [16]

El proceso de fabricación de azúcar comienza en el campo con el corte de la caña de azúcar. Al llegar al central es sometida a varios subprocesos hasta la obtención del producto final. Estos subprocesos están compuesto por: Área de Basculadores y Molinos, Área de Purificación, Área de Evaporación, Área de Cristalización y Área de Centrifugación.

Área de Basculadores y Molinos

Es la primera y una de las más importantes secciones de la Industria, es aquí donde se descarga la caña de los carros en una estera transportadora. La caña es sometida a un proceso de preparación por medio de la acción de dos juegos de cuchillas picadoras de diente de sierra, que golpean ininterrumpidamente sobre el

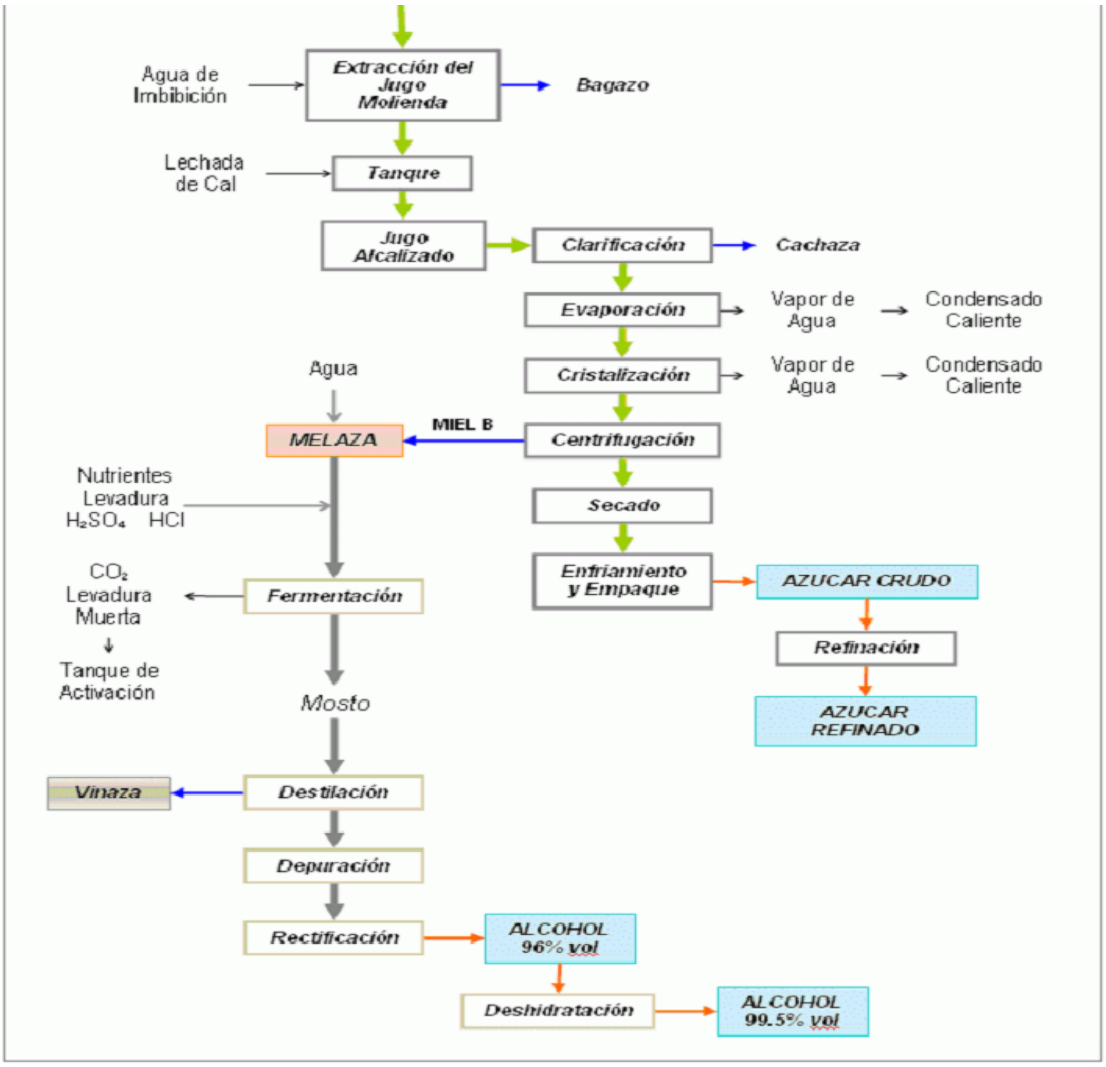


Figura 1: Obtención de la vinaza primaria.

colchón en la estera de caña. El número de machetes depende del ancho de la estera. Es la primera operación que se realiza en la fábrica y tiene como objetivo fundamental romper la corteza exterior de la caña y llegar hasta las celdas donde se encuentra contenida la sacarosa para facilitar su extracción.

Área de Purificación

La función principal de los procesos de purificación es la de eliminar impurezas y otros no azúcares presentes en el guarapo, al menor costo posible y con el mínimo de pérdidas en azúcar. En esta área se recibe el jugo crudo o mezclado,

se le somete a procesos de alcalización y calentamiento para poder desechar de él aquellas sustancias indeseables tales como el bagacillo, la tierra y un conjunto de no azúcares, en forma de cachaza y poder entregar así un jugo clarificado.

Área de Evaporación

La estación evaporadora es la responsable de concentrar el jugo y convertirlo en meladura por la acción del vapor vivo proveniente de las calderas, bajo el principio del múltiple efecto, y se define como el centro de balance energético de los ingenios pues ella recibe vapores de escape de alta presión y entrega vapores vegetales a calentadores y tachos; por ello su operación, limpieza y mantenimiento están estrechamente vinculadas a la eficiencia energética del ingenio.

Área de Cristalización

Los tachos reciben la meladura concentrada por los evaporadores y a partir de una secuencia de operaciones básicas de ingeniería producen la semilla necesaria para la fabricación del azúcar granulado.

Estas operaciones en los tachos tienen como fin:

- Concentrar los materiales que se les alimentan hasta un nivel de sobresaturación tal que permita un rápido crecimiento de los granos.
- Agotar progresivamente los materiales mediante una operación por etapas.
- Lograr como producto final un azúcar granulado de tamaño tal que cumpla los requisitos normados.

Área de Centrifugación

Es la última operación básica de ingeniería del proceso de producción de azúcar crudo, en los casos en que se comercializa sin secarse. El área recibe la masa cocida de los tachos, la acondiciona en los mezcladores para posteriormente someterla a un proceso de centrifugación para separar los granos de azúcar producidos de su licor madre.

La función de esta área es entregar azúcar y miel final como productos aptos para la comercialización y además retornar al proceso aquellos productos

intermedios que pueden ser agotados aún (mieles “A” y “B” y azúcar “C” y B” en forma de magma), de forma que si su operación no es la adecuada entonces se rompe el equilibrio del proceso tecnológico y se puede afectar todo el trabajo de purificación, evaporación y tachos.

1.1 Fase de hechura de vinaza

Luego de la centrifugación la miel B es mezclada con agua, obteniéndose así una melaza a la cual se le añaden nutrientes para fermentar la misma. Cuando este producto se encuentra fermentado se separa la levadura muerta, quedando el mosto de melaza. Posteriormente este mosto es destilado y es aquí donde se deriva la vinaza. El resto de la melaza ya destilada se depura y se rectifica para obtener el alcohol.

Dado que este producto es un fuerte contaminante de las aguas, pero tiene nutrientes minerales capaces de servir en el crecimiento de la caña este se podría utilizar de una manera reciclable, en vez de derramar este hacia efluentes, por ejemplo:

1- Reciclo a los campos de cultivos para sustituir total o parcialmente otros fertilizantes (fertirrigación).

2- Digestión anaerobia utilizando bacterias acetogénicas, acidogénicas, metanogénicas, para la producción de biogás (CH_4+CO_2).

3- Compostaje (fermentación aeróbica).

4- Concentración de vinaza por evaporación:

Hasta 40% de vinaza concentrada para el reciclo a los campos como fertilizantes y alimentación animal.

Hasta 60% de la vinaza concentrada para la combustión en calderas especiales.

De estas opciones la dirección del ingenio azucarero ha optado por la concentración de vinaza por evaporación, ya que así se ahorra dinero en la compra de fertilizantes, resuelve parte de la alimentación de los animales y utiliza

este mismo producto para producir energía, algo que también es muy económico para un ingenio.

1.1.1 Beneficios de la vinaza.

- Permite mezclarse con melaza.
- Posee efecto estimulante en su consumo por ser catalizador en la digestión.
- Compensa deficiencias nutricionales de dietas animales.
- Reduce costos de proteínas.
- Reduce trabajo en la alimentación al aumentar el consumo de forraje.
- Es una manera económica y conveniente de añadir calcio, fósforo, potasio, magnesio, azufre, hierro, y zinc a las plantaciones de cañas.
- Balance nutricional de proteínas, minerales y vitaminas.
- Facilita el almacenamiento ya que no fermenta con facilidad.

1.1.2 Condensado soluble de melaza (CMS).

Líquido viscoso resultante del proceso de concentración de la vinaza. Contiene 9% de proteínas además de calcio, fósforo, nitrógeno, potasio, cenizas, celulosa, magnesio y agua, con un peso específico, a una concentración de 65 °Brix, de 1.325gr/lt. [17]

El CMS se utiliza como materia prima en mezclas de forraje para animales y ya se efectúa en gran escala en Holanda, Bélgica, Francia y Colombia. Los estudios realizados al respecto demostraron que por medio de este producto era posible mejorar la rapidez de crecimiento en un 5 % y disminuir el precio de la ración alimenticia en un 15 %. Otro uso importante consiste en la incorporación del producto al pasto o cualquier cultivo por su riqueza en macronutrientes, micronutrientes y materia orgánica. Por su alto contenido de electrolitos y compuestos gelatinosos ejerce una acción aglomerante, sobre las partículas dispersas, por lo que es utilizado también como controlador anti polvo, aglomerado de materiales secos y para el fraguado de cemento. [17]

1.1.3 Flujo tecnológico del proceso

Inicialmente la vinaza se encuentra en dos tanques A y B. Luego esta es bombeada hacia el termolizador, el cual tiene como objetivo elevar la temperatura de la crema sobre los 90^{o}C con el fin de romper las células y hacerlas más digeribles por los animales. De la crema estar por encima de los 90^{o}C esta se bombea hacia los evaporadores, sino esta se envía de vuelta hacia los tanques A y B. Ya en el primer evaporador comienza la concentración de la crema mediante la eliminación parcial del agua en todo el volumen de la disolución a su temperatura de ebullición. Luego es bombeada la crema hacia el otro evaporador para su última fase de concentración. Finalmente esta es bombeada hacia los tanques de despacho 1 y 2.

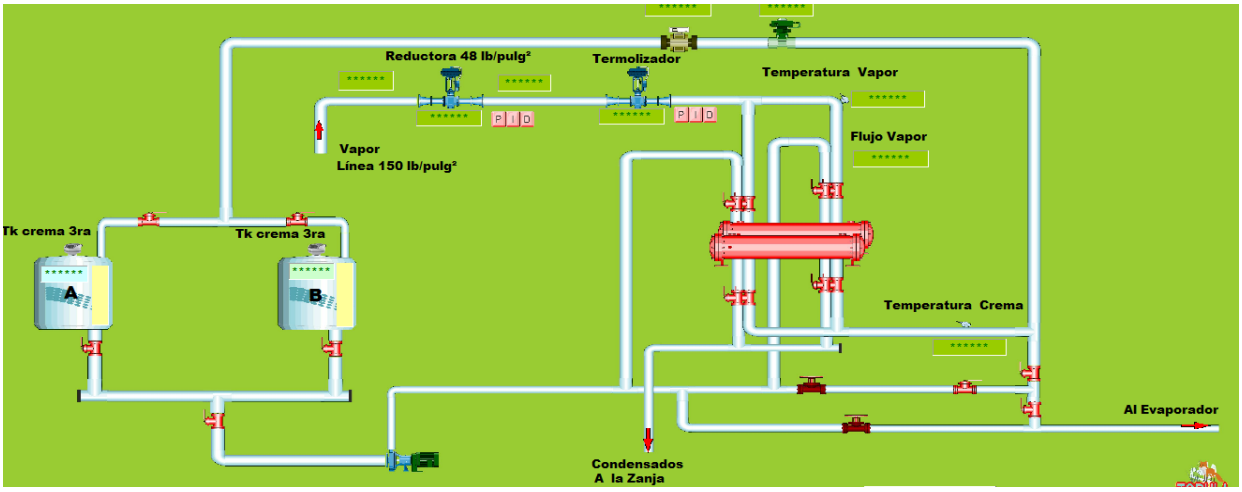


Figura 2.a: Flujo tecnológico del proceso de tratamiento de vinaza

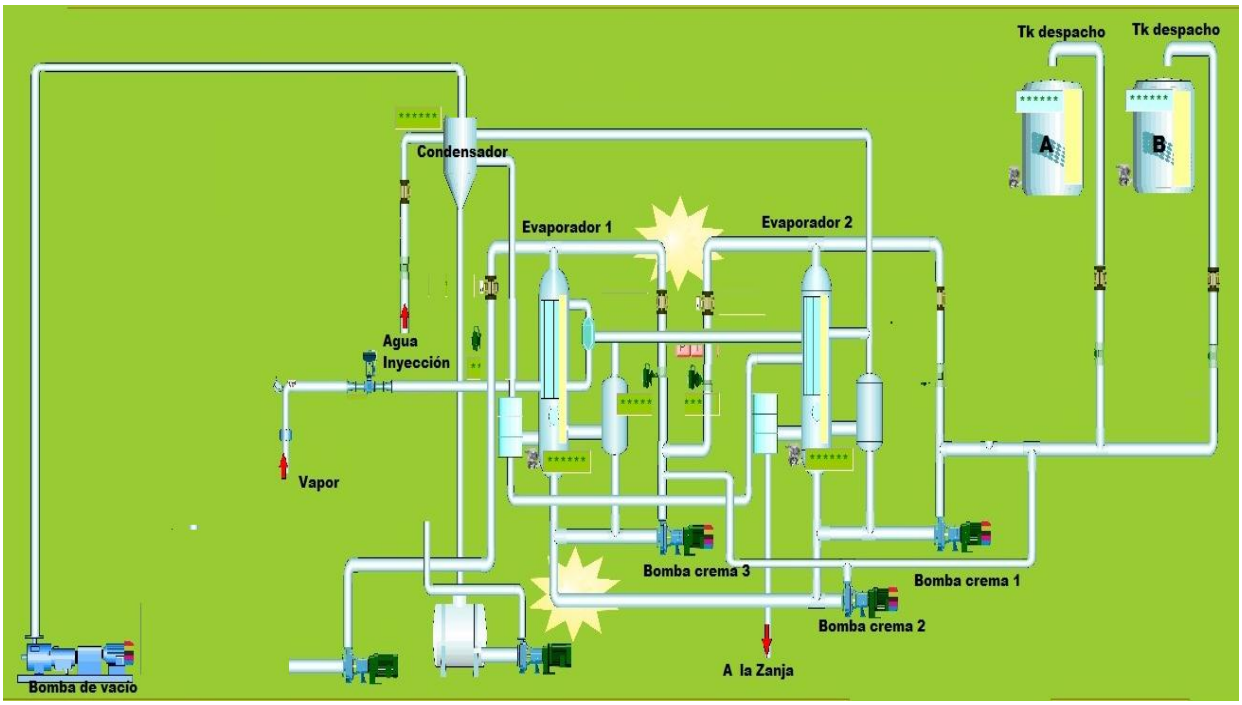


Figura 2.b: Flujo tecnológico del proceso de tratamiento de vinaza

1.2.1 Evaporadores. Fundamentos. [18]

Son equipos vaporizantes que utilizan como fuente de energía un vapor latente a una temperatura mayor a la temperatura de vaporización del agua o solución acuosa para concentrar.

La evaporación se realiza vaporizando una parte del disolvente para producir una disolución concentrada (Figura 3). Difiere de los generadores de vapor porque la fuente de energía es un vapor y lo que se evapora no necesariamente tiene que ser agua.

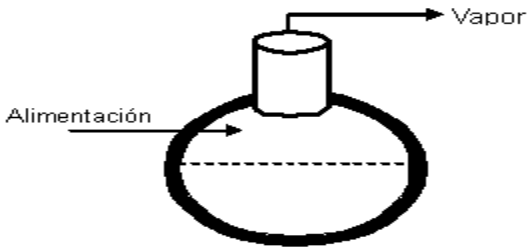


Figura 3. Evaporador

Se conoce como **evaporador**, si se evapora agua; como **vaporizador**, si se evapora un producto que no es agua como: alcohol, éter, gasolina, etc.

1.2.2 Componentes principales de un evaporador.

A.- Ebullidor Tubular. Es donde ocurre el proceso de ebullición del agua o disolvente producto del calor transmitido por el vapor latente. Por lo general está constituido por un haz de tubos por donde circula la solución a concentrar y una carcasa por la cual circula el vapor latente.

B.- Separador líquido-vapor. Es donde la mezcla líquido-vapor proveniente del ebullidor es separada, obteniendo el líquido concentrado y la fase de vapor. El separador fue diseñado para evitar el arrastre de líquido concentrado en la corriente de vapor.

C.- Área de circulación del medio de calentamiento (vapor, electricidad, etc).

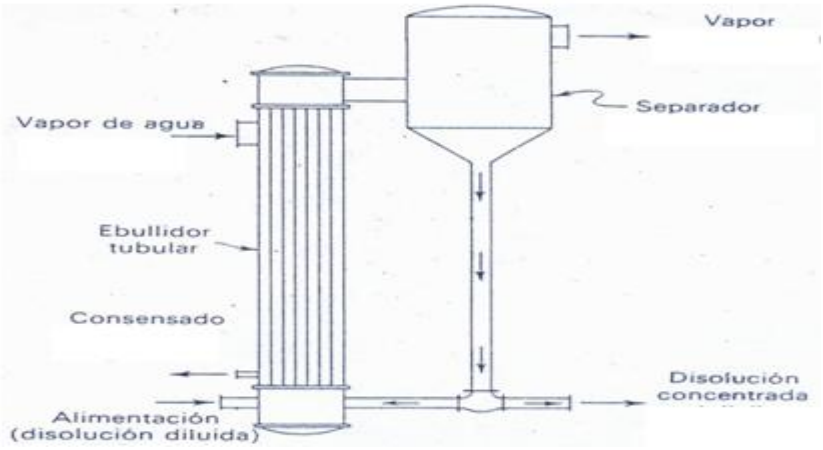


Figura 4: Componentes principales de un evaporador

1.2.3 Clasificación.

Los evaporadores se clasifican en:

- Evaporadores de Plantas de Fuerza o Energía.
- Evaporadores Químicos.

1.2.3.1 Evaporadores de Plantas de Energía.

Son evaporadores que se utilizan en plantas de generación de potencia eléctrica para obtener agua desmineralizada aprovechando extracciones de vapor en turbinas.

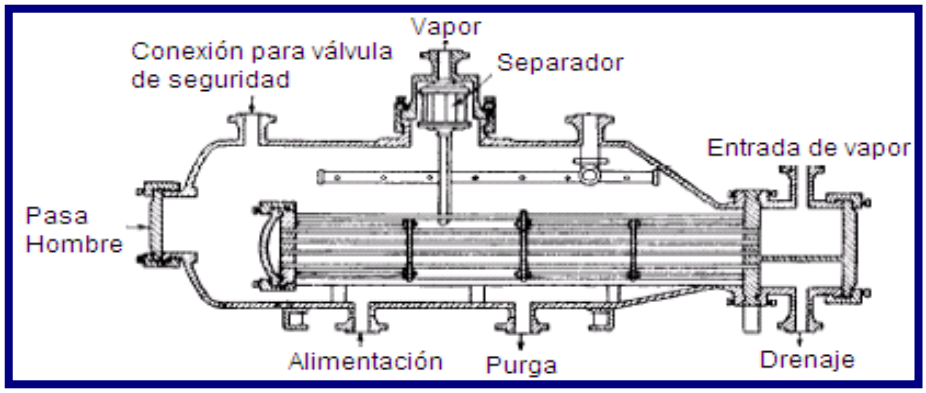


Figura 5: Evaporador de Planta de Energía.

1.2.3.2 Tipos de Evaporadores de Plantas de Energía.

***Evaporadores para agua de reposición para caldera*:** Reponen agua en las calderas. Este es, el proceso de evaporación de más volumen y usualmente se efectúa en un evaporador de simple efecto, aunque ocasionalmente puede usarse un evaporador de doble efecto, dependiendo de las características del ciclo de condensado en la planta de fuerza y la cantidad requerida de agua de compensación. No hay plantas de fuerza modernas que no incluyan este equipo.

Evaporadores para agua de proceso producción agua purificada: Es agua desmineralizada que se usa en algunos procesos en la planta. Hay cierto número de industrias que requieren continuamente grandes cantidades de agua destilada. Este tipo de plantas emplea evaporadores de doble, triple o cuádruple efecto y recibe calor ya sea de una purga de la turbina o directamente de la caldera. La selección del número de efectos está correlacionada con los cargos fijos y el costo del vapor de operación. Los evaporadores de múltiple efecto con alimentación paralela no necesitan tener todos los efectos operando simultáneamente, y puede ajustarse si la demanda de agua destilada varía.

Destiladores de salmuera: Son utilizados para obtener agua desmineralizada a partir del agua de mar. Este usa sistemas de evaporación al vacío, la temperatura reducida favorece una baja velocidad de incrustación.

Transformadores de calor: Son sistemas de efecto simple, con una o más carcasas en paralelo. Reciben vapor de escape de una turbina o máquina de alta presión. Su propósito es de condensar vapor de agua de una caldera de alta presión que ha pasado a través de una turbina y luego al evaporador. La transferencia de calor se usa para producir grandes cantidades de vapor de proceso. Este tipo es relativamente grande hasta 11000 ft^2 de superficie. Evaporación de múltiple efectos en plantas de fuerza: Aumenta la calidad del producto que requiere (agua desmineralizada).

1.3 Características de los evaporadores de simple y múltiple efecto.

Al aumentar los efectos, aumenta la calidad del producto que se requiere, por la eliminación continúa del agua. Los evaporadores pueden ser de efecto simple o multi-efectos. Estos arreglos permiten el aprovechamiento del calor del vapor generado en el evaporador.

- Evaporadores de un solo paso (Figura 6):

- El líquido de alimentación pasa una sola vez a través de los tubos, desprende el vapor y sale de la unidad como líquido concentrado.
- Son especialmente útiles para el tratamiento de materiales sensibles al calor, y operando con un vacío elevado se puede mantener el líquido a baja temperatura.
- Con un solo paso rápido a través de los tubos el líquido concentrado está durante un corto período de tiempo a la temperatura de evaporación y se puede enfriar bruscamente a medida que abandona el evaporador.
- Los evaporadores de película: agitada, ascendente y descendente también pueden operar de esta forma.

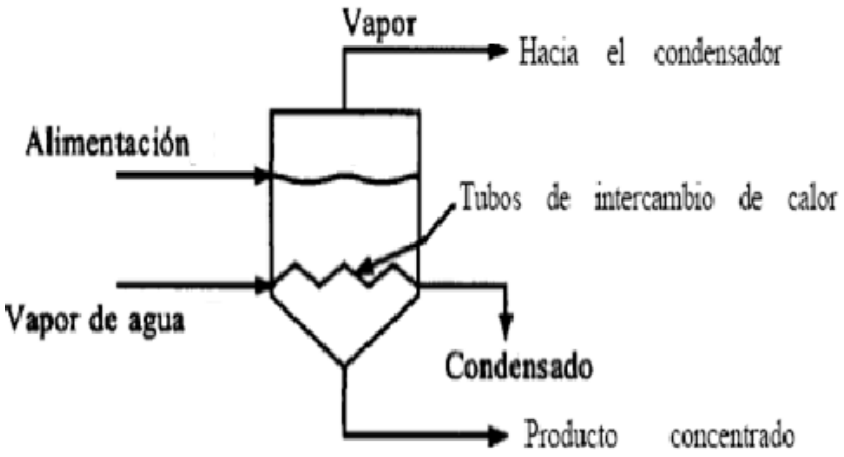


Figura 6: Evaporadores de un solo paso.

- Evaporadores de efecto múltiple (Figura7):

- Está compuesto por varios evaporadores de efecto simple, donde la alimentación es suministrada a un primer evaporador y el concentrado que sale de este alimenta a su vez a otro, lo cual ocurre sucesivamente.
- La solución concentrada que sale de un evaporador de circulación se retira del líquido contenido en el aparato, que está a la concentración máxima.
- Como el líquido que entra a los tubos contiene varias partes del concentrado por cada parte de alimentación, su concentración, densidad, temperatura de ebullición son aproximadamente las correspondientes a la concentración máxima. Por esta razón el coeficiente de transmisión de calor tiende a ser bajo.
- Estos evaporadores no son adecuados para concentrar líquidos sensibles al calor. A pesar del uso de un vacío muy bajo, el recipiente está repetidamente en contacto con los tubos calientes, y por consiguiente una parte del mismo se calienta a temperaturas excesivamente altas
- Pueden operar en un amplio intervalo de concentraciones, comprendidas entre las de la alimentación y el líquido concentrado, y se adaptan muy bien a la evaporación de efecto simple en operar tanto con circulación natural (se debe a las diferencias de densidad) como con circulación forzada (circulación del líquido mediante una bomba).

- Su modo de circulación puede ser adaptado por medio de varios mecanismos a evaporadores de efecto múltiple con: alimentación hacia delante, alimentación hacia atrás y alimentación en paralelo.

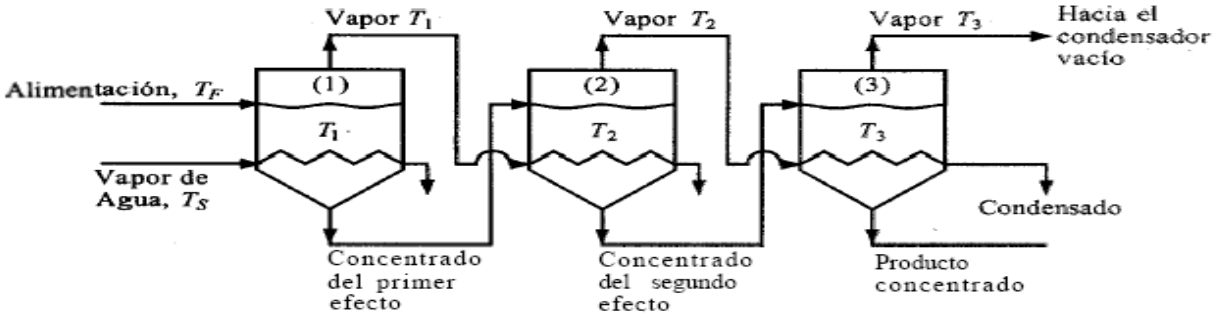


Figura 7: Evaporadores de efecto múltiple.

Al aumentar los efectos, aumenta la calidad del producto que se requiere, por la eliminación continúa del agua. Los evaporadores pueden ser de efecto simple o multi-efectos. Estos arreglos permiten el aprovechamiento del calor del vapor generado en el evaporador.

1.4 Tipos de Alimentación.

La alimentación a los evaporadores de más de un efecto puede ser:

- Directa.
- Inversa.

Alimentación Directa. Figura 8

Consiste en introducir mediante una bomba la dilución diluida en el primer efecto y hacerla circular después a través de los demás efectos, sin bombas, puesto que el flujo es en el sentido de presiones decrecientes, y todo lo que se requiere es válvulas de control en las líneas de unión. Es el modelo de flujo de líquido más sencillo. La concentración de la solución aumenta desde el primer efecto hasta el último, del cual es extraída por una bomba.

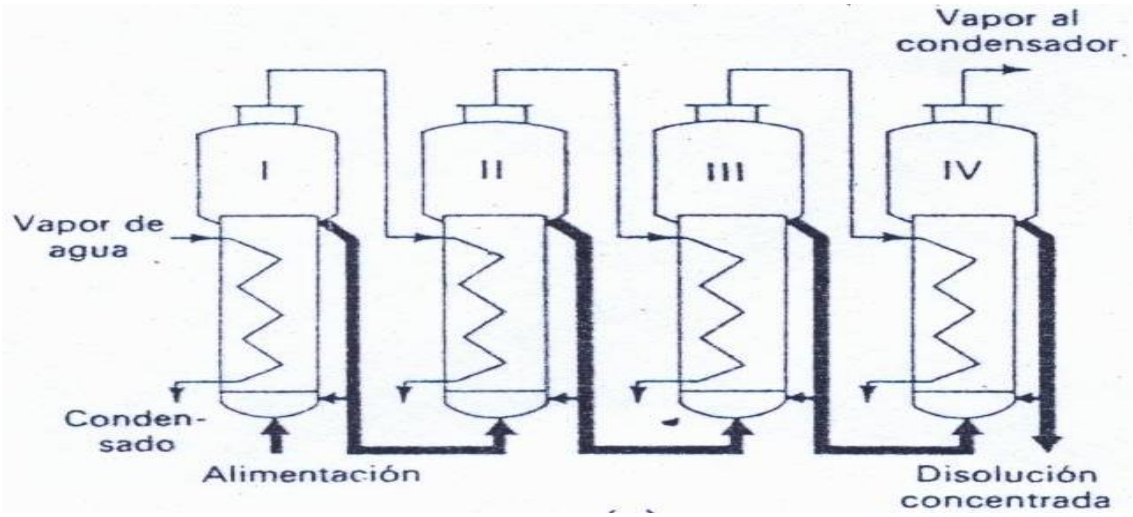


Figura 8: Alimentación Directa

Alimentación Inversa. Figura 9

En esta la solución diluida se alimenta en el último efecto y se bombea hasta los sucesivos efectos hasta el primero, esta requiere una bomba entre cada pareja de efectos además de bomba para extraer la solución concentrada, ya que el flujo es en sentido de presiones crecientes.

La alimentación inversa conduce con frecuencia a una mayor capacidad que la alimentación directa cuando la disolución viscosa, pero puede producir menor economía cuando la alimentación esta fría.

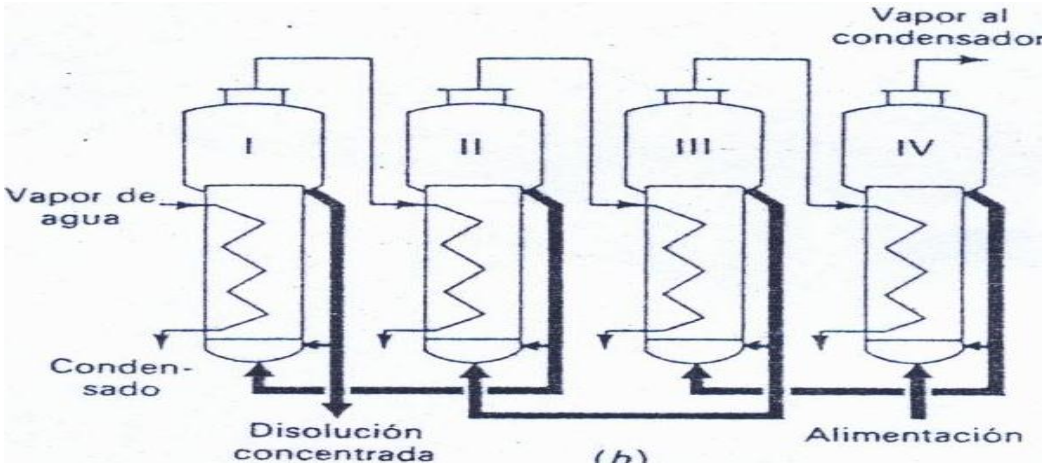


Figura 9: Alimentación Inversa

1.5 Termolizador (Intercambiador de calor). Fundamentos.

Es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico. Un intercambiador típico es el radiador del motor de un automóvil, en el que el fluido refrigerante, calentado por la acción del motor, se refrigera por la corriente de aire que fluye sobre él y, a su vez, reduce la temperatura del motor volviendo a circular en el interior del mismo. [20]

Clasificación:

Intercambiadores de contacto directo: son aquellos dispositivos en los que los fluidos sufren una mezcla física completa.

Intercambiadores de contacto indirecto: los intercambiadores de flujo paralelo (intercambio líquido - líquido) y los cambiadores de flujo cruzado (intercambio líquido - gas)

Clasificación de los intercambiadores de calor de superficie.

La clasificación más usual de este grupo de intercambiadores, se realiza en base a la dirección relativa de los flujos de ambos fluidos, pudiéndose hablar entonces de cambiadores de flujos paralelos y de cambiadores de flujos cruzados, según sus direcciones sean paralelas en el espacio o formen cualquier ángulo en él.

Los intercambiadores de flujos paralelos, son generalmente utilizados en el intercambio térmico líquido-líquido, mientras que los de flujos cruzados se utilizan generalmente en el intercambio líquido-gas.

Se denomina intercambiadores de calor de flujos paralelos a aquellos en los que circulan ambos fluidos con direcciones paralelas en el espacio, si además de tener ambos flujos la misma dirección, tienen el mismo sentido, reciben el nombre de

“en equicorriente”, denominándose en “contracorriente” a aquellos en los que los flujos tienen sentidos contrarios.

Dentro del subgrupo de intercambiadores de flujos paralelos, se emplean entre otros, los denominados “de placas”, “de tubo”, también llamados “de doble tubo”, de “inmersión”, “multitubulares” o de “carcasa y tubos”. En los Intercambiadores de Calor de Carcasa y Tubos , es normal combinar la clasificación anterior con otra, basada en el número de veces que cada partícula de los fluidos recorre el intercambiador, recibiendo el nombre de paso cada recorrido, así, un intercambiador en equicorriente o contracorriente, sería un cambiador de un paso por carcasa y un paso por tubos.

En los Intercambiadores de Calor de Carcasa y Tubos , es normal combinar la clasificación anterior con otra, basada en el número de veces que cada partícula de los fluidos recorre el intercambiador, recibiendo el nombre de paso cada recorrido, así, un intercambiador en equicorriente o contracorriente, sería un cambiador de un paso por carcasa y un paso por tubos.

Estos intercambiadores de calor se utilizan en diversos servicios, como se describe a continuación:

- Enfriadores y condensadores de líquidos.
- Evaporadores.
- Absorvedores.
- Congeladores.

1.6 Antecedentes y estado actual de la automatización. [15]

La historia del Controlador Lógico Programable comienza en1968, cuando Ford y General Motors, preocupados por los elevados costos de los sistemas de control a base de relés de lógica cableada, comenzaron a trabajar con Digital en el desarrollo de un sistema de control que evitara estos inconvenientes, el resultado

de la colaboración fue un equipo programado, denominado PDP-14, cuyo empleo no tardó en extenderse a otras industrias. Este equipo debía ser fácilmente programable, sin recurrir a los computadores industriales ya en servicio en la industria. A medio camino entre estos microcomputadores y la lógica cableada aparecen los primeros modelos de autómatas, también llamados Controladores Lógicos Programables (PLC's). Limitados originalmente a los tratamientos de lógica secuencial, los autómatas se desarrollaron rápidamente, y extendieron sus aplicaciones al conjunto de sistemas de control de procesos y de máquinas.

En la actualidad es posible encontrar en el mercado entornos de desarrollo de aplicaciones para PLC´s que permiten crear programas siguiendo las recomendaciones IEC1131, simularlos en una PC y hacer automáticamente las conversiones necesarias para ejecutarlos en equipos de diferentes fabricantes. Hoy en día, los PLC´s no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores proporcional integral derivativo (PID).

Los PLC´s actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido. Dado el desarrollo obtenido internacionalmente en la Automatización en los tiempos actuales y en específico en los Autómatas Programables (PLC´s) así como la Periferia Descentralizada y utilización de Buses Estándares, paralelo al desarrollo de la electrónica, ha traído como consecuencia una estrategia generalizada para la Automática como muestra la siguiente (figura 10).

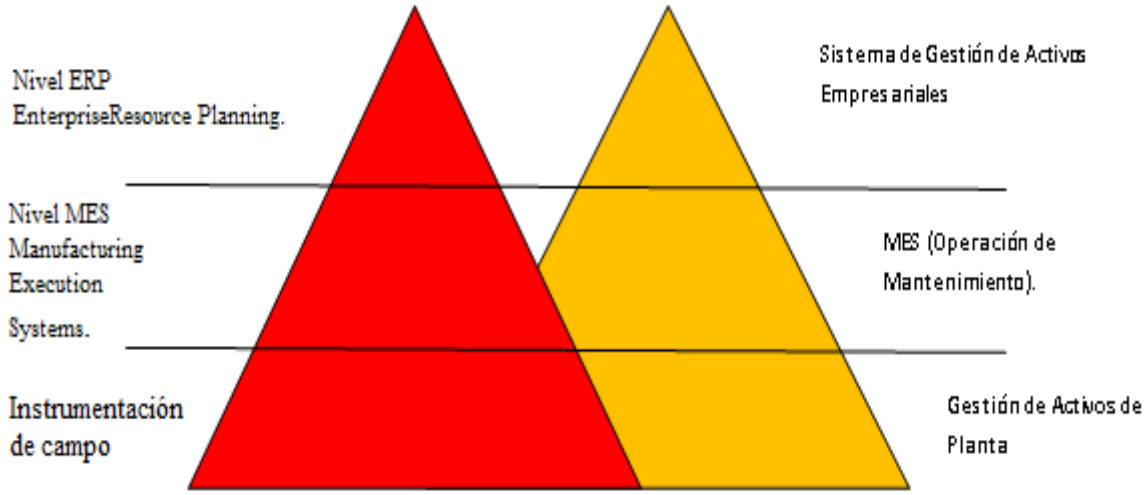


Figura 10: Niveles de automatización y mantenimiento.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan, su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización; por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, de servicio, comercial o doméstico, es decir la satisfacción de cualquier cliente.

1.6.1 Funciones de los PLC's.

Redes de comunicación: Permiten establecer comunicación con otras partes del sistema de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas en tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse mensajes e intercambiar tablas de memoria compartida.[4]

Sistemas de supervisión: También los Autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

Control de procesos continuos: Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entradas y salidas analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.

Entradas-Salidas distribuidas: Los módulos de entrada/salida no tienen por qué estar en el armario del autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.

Buses de campo: Mediante un solo cable de comunicación o bus se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores. [4][9]

1.6.2 Campos de Aplicación.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. [9]

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc. Por mencionar algunos como:

- Maniobra de máquinas
- Maniobra de instalaciones.
- Instalaciones de seguridad.
- Señalización y control.
- Chequeo de programas.

1.6.3 Ventajas de los PLC´s.

La técnica estándar de los autómatas programables, su estructura modular y la gran potencia de los programadores se combinan para dar lugar a las características siguientes [9]:

- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Manejo fácil, gracias a un montaje simple y diferentes técnicas de conexión.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar los contactos móviles, los mismos autómatas pueden detectar e indicar averías.
- Programación sencilla, gracias a la estructuración del programa y al empleo de partes de programas normalizadas.
- Puesta en marcha fácil, gracias a los aparatos de programación y mantenimiento con numerosas ayudas en programas y pruebas.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo Autómata

1.6.4 Controladores Lógicos Programables Mitsubishi (PLC's). [10][13]

Los PLC's compactos de las series **FX** ofrecen soluciones económicas para tareas pequeñas a medias de control y posicionamiento de 100 a 256 entradas/salidas integradas en la industria, artesanía y técnica doméstica. Este autómata cuenta con las siguientes series **FX1S, FX1N, FX2N, FX2NC, FX3U**, con la excepción de la serie **FX1S**, en caso de modificaciones de las instalaciones se pueden ampliar todas las series **FX**, por lo cual ofrecen la posibilidad de seguir creciendo en función de la necesidad real, además existe la posibilidad de integración en redes. De esta forma los controles de la familia **FX** pueden comunicarse con otros PLCs y Sistemas de Regulación MMI (Tarjetas de reguladores PID de la familia Mitsubishi).

Así estos pueden integrarlos por un lado como estaciones locales en las redes de Mitsubishi y por todos los lados de equipos esclavos en redes abiertas se pueden ampliar todas las series **FX,** además el autómata cuenta con diferentes componentes. (Ver Anexo 2 y Anexo 3)

Características de la serie (FX3U) Mitsubishi a utilizar en la automatización del proceso. [10][13]

- Rango de entradas/salidas: 16, 32,48, 64, 80 ó 128 puntos.
- (Máx. 256 en unidad base/de extensión), (ampliable hasta 384 E/S).
- Memoria de programa: 64 k paso (estándar).
- Procesamiento de instrucciones básicas: 0,065 μs/instrucción lógica.
- Procesamiento de señales analógicas: Hasta 80 entrada analógicas, 48 salidas analógicas.
- Resolución analógica: 8, 12 y 16 bits.

Posicionamiento Integrado:

6 contadores de alta velocidad (100 kHz)

2 contadores de alta velocidad (10 kHz)

3 salidas de tren de pulsos (100 kHz),

Sólo módulos de salida de transistor

Opcionalmente:

ADP (Módulo de comunicación definido por el fabricante) con contadores de alta velocidad (200 kHz)

ADP con salidas de tren de pulsos (200 kHz)

ADP con salidas de tren de pulsos (1 MHz).

Características de equipamiento.

● Se puede elegir entre modelos con salidas de relé o de transistor.

● Interfaz serie integrado para la comunicación con PC y HMI: Interfaz Hombre Máquina.

● Control de posicionamiento integrado.

● Módulos de interface intercambiables para el montaje directo en la unidad base.

● LEDs para la indicación de los estados de entrada y salida.
● Slot para casettes de memoria.
● Reloj de tiempo real integrado.
● Ampliable mediante módulos de entradas/salidas digitales, módulos especiales y módulos ADP.
● Sistemas de programación de fácil funcionamiento, como software de programación según IEC1131-3 (EN 61131), equipos HMI y equipos de programación manuales.

1.6.5 Ventajas de los PLC´s Mitsubishi serie (FX3U) [10]. Agoritmo de programción.

La fuerza de la serie FX3U radica en las siguientes características:
✓ Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que el tiempo que tarda en ejecutar una instrucción es 0.065 μs.
✓ Su pequeño tamaño compacto con un estilo de diseño común.
✓ De buen funcionamiento y costo.
✓ De control y alta precisión de alta velocidad.
✓ Muy avanzados en funciones integradas y fáciles de usar funciones analógicas.
✓ Mayor número de puntos de control.
✓ Capacidad de memoria expandida, hardware y software, compatibilidad de software para FX2N.
✓ Mejora de la comunicación y la demanda de trabajo en redes.
✓ Los modelos estándar en conformidad con las normas internacionales.
✓ Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
✓ Manejo fácil, gracias a un montaje simple y diferentes técnicas de conexión.
✓ Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar los contactos móviles, los mismos autómatas pueden detectar e indicar averías.

✓ Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo Autómata.

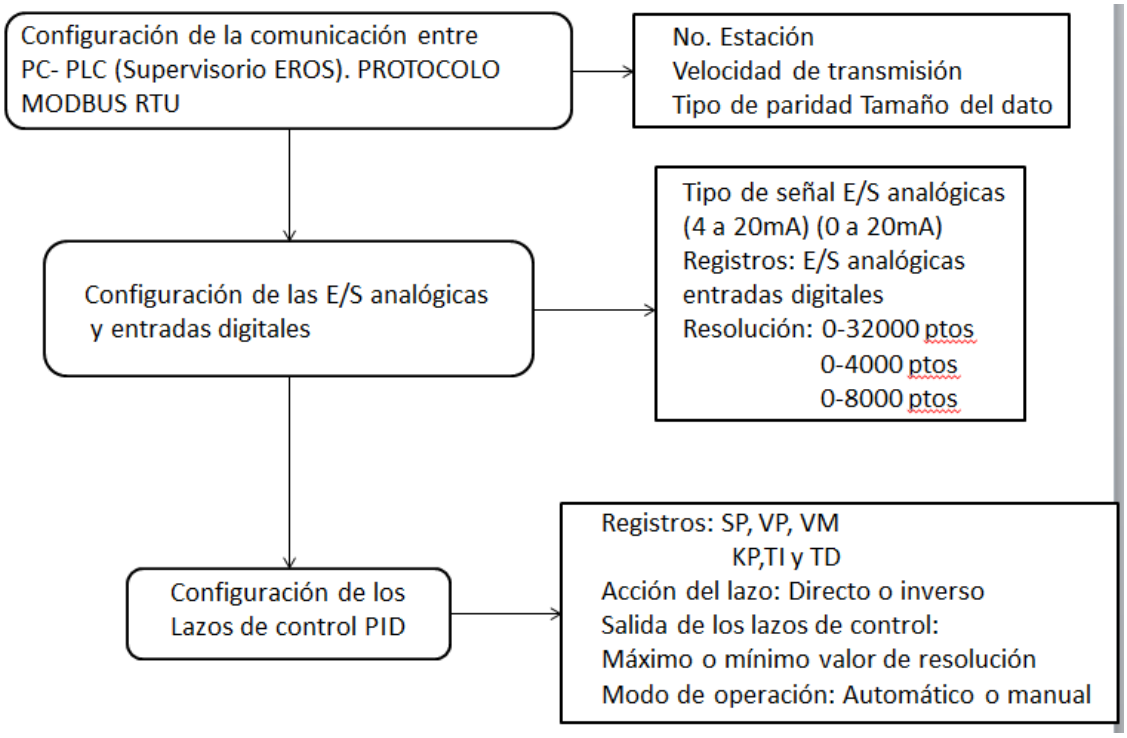
✓ Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.

✓ Comunicación sencilla con otros autómatas y ordenadores a través de procesadores de comunicación y redes locales propias.

✓ Programación sencilla, gracias a la estructuración del programa y al empleo de partes de programas normalizadas.

✓ Adaptabilidad máxima, gracias a las diferentes opciones de entrada/salida y a la expansibilidad modular.

Algoritmo de programación del proceso.



Nota: Los parámetros del controlador son ajustados por el método de prueba y error.

1.7 Referencia del software "Sistema de Supervisión y Control EROS. Versión 5.10.1.18. Características. [14]

Puede trabajar acoplado a diversos sistemas de colección de datos, como elemento único o formando parte de una red industrial. Tiene en cuenta todas las características de las variables medidas y realiza un potente tratamiento estadístico y determinístico de las mismas con solo configurarlo.

Su ambiente de trabajo es amistoso y la presentación agradable (Figura 11). Se configura de forma muy fácil (en línea) lo que permite que un usuario no especializado, con orientaciones sencillas, pueda configurarlo sin tener que depender de especialistas. Este sistema contiene la experiencia acumulada durante más de 18 años y ha sido validado en 67 plantas industriales.

Figura 11. EROS (Ventana de presentación).

Manejadores

El EROS se comunica con los dispositivos por medio de manejadores (Drivers), lo que le aporta mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a nuevos entornos. Actualmente se conecta con Servidores OPC, Redes MODBUS, Autómatas, Reguladores autónomos, Analizadores de redes e interruptores, Sistemas de Pesaje y otros dispositivos.

Posee una capa de red poderosa que, a través del protocolo TCP-IP, habilita la comunicación entre diferentes computadoras que ejecutan el EROS lo que permite la operación remota. Soporta el protocolo OPC v. 2.0 para la Integración con otros SCADA y es compatible con el RDP lo que viabiliza la administración remota y

facilita los servicios de postventa. Ofrece además un módulo que implementa una interfase ActiveX para facilitar la interacción del EROS con cualquier sistema, pueden crearse páginas Web activas y documentos de Microsoft Office que muestren en “caliente” la información del Proceso.

Ethernet y ErosNet

El EROS es un Sistema distribuido en el cual sus diferentes componentes se interconectan a través de la Intranet Empresarial. Los componentes que cooperan entre sí son las Estaciones de Operación, Estaciones de Visualización, Servidores de Reportes, Páginas WEBs y otras aplicaciones. Estos componentes pueden estar en ordenadores separados vinculados a través de una Red Ethernet o en un mismo ordenador.

Para facilitar la conectividad entre diferentes sistemas, el SCADA posee un servicio de datos. Su función es hacer accesible a cualquier ordenador que ejecute el SCADA el resto de las variables configuradas en otras aplicaciones. A partir de la versión 5.0 se introdujo el Servidor ErosNet que amplió la interfase de acceso a través de la red e incorporó un control Active X diseñado para la interconexión con el SCADA brindando la posibilidad de conectar aplicaciones de diferente naturaleza y permitiéndoles intercambiar información con: Otros SCADAs, Páginas Web, Tablas de Excel, Informes en Word, Bases de Datos, entre otras aplicaciones.

Entorno de programación

El entorno de programación EROS permite programar bloques que se ejecutan dentro del Sistema en cada ciclo de medición para realizar una tarea determinada (scripts), lo que permite ampliar sustancialmente las posibilidades del Sistema al poderse enlazar, en estos scripts, variables y registros que son medidos en diferentes dispositivos e incluso en diferentes redes. Permite utilizar 96 funciones y

23 operadores (aritméticos, lógicos y relacionales) en la configuración de las expresiones de las variables internas y los script, agrupadas en: Estadísticas, Hiperbólicas, de Tiempo, con Registros, de Sistema y Adicionales.

El sistema posee un compilador para un lenguaje de alto nivel similar al PASCAL. Este compilador, al igual que los compiladores de Java, convierte el código fuente en un código intermedio, altamente optimizado, pero independiente en principio de la Plataforma de Hardware empleada. Este código intermedio es ejecutado luego por una máquina virtual diseñada para tales efectos.

Estadísticas

El SCADA posee un subsistema de potente tratamiento estadístico de las variables que ofrece funciones Matemáticas, Trigonométricas, Estadísticas, Hiperbólicas, de Tiempo entre otras, esta herramienta distingue al SCADA del resto de los SCADAs conocidos en los cuales hay que programarlas. Utiliza el concepto de variables extendidas que permite la configuración de los cálculos estadísticos de forma sencilla. Con solo configurar el nombre de la variables con una extensión determinada, se puede obtener estadísticas en el periodo deseado (Hora, Turno o Día) tales como: el valor promedio de la variable, la Integración, el valor máximo, el valor mínimo, el tiempo en que la variable se mantuvo por encima o por debajo de un valor predeterminado configurable, el coeficiente de variación, la desviación típica. A ellas se puede acceder desde el registro histórico, la tabla de variables, los mímicos o mediante la ErosNet.

Históricos

El subsistema de datos históricos es el encargado de almacenar la sucesión de valores tomados por las variables con el objetivo de mostrarlos en la interfase del usuario (registradores, gráficos de barra y pastel, entre otros) posibilitando realizar diferentes análisis ante la ocurrencia de averías u otras situaciones de operación.

Este subsistema utiliza un esquema de compresión inteligente para reducir el espacio a utilizar por los datos sin que se degrade su velocidad de acceso. Las características del registrador son:

- Le brinda un registrador que va mostrando el comportamiento y tendencia en tiempo real de 8 variables (un grupo) al mismo tiempo, así como la historia de las mismas.
- El registrador combina variables de diferentes tipos en grupos configurables por el usuario (en caliente). Pueden configurarse de forma sencilla gran cantidad de grupos de registros.
- El registrador permite mostrar los valores de las señales en el tiempo (registro histórico). El tiempo histórico que brinda el registro depende de la capacidad del disco duro que posea su equipo y puede ser limitado por el usuario autorizado, en la configuración en la opción que existe para ello.
- En el registrador se puede cambiar la resolución de la carta, lo que facilita percibir con más claridad la tendencia de la señal. Si cambia la resolución a un período determinado puede mostrar la señal filtrada, el máximo y mínimo en ese período.
- Brinda datos estadísticos de las variables en diferentes períodos de tiempo que se marquen dentro del registrador
- El fichero histórico de variables contiene la información de un día completo lo que facilita el análisis de la operación de manera integral, además permite navegar de un día hacia otro con facilidad, pues tanto el registro actual como el histórico se encuentran en la misma opción.
- Puede exportar los datos del registrador a Word o Excel, así como también la imagen del gráfico.

Alarmas

El subsistema de Alarmas es el encargado de verificar la ocurrencia de condiciones potencialmente peligrosas para el proceso industrial.

- *Alarmas de Proceso*: Cuando las señales toman valores fuera de las normas de operación que fueron previamente definidas en la configuración, en la pantalla aparece un Panel que muestra constantemente estas señales que están fuera del rango de operación, al normalizarse su valor, desaparecen automáticamente.
- *Alarmas Prohibitivas*: Cuando las señales toman valores inoperables que pueden provocar averías o destruir el material que se procesa, el sistema presenta una línea roja en la barra de alarmas (parte inferior de la pantalla principal) con el nombre, valor que tomó la variable, unidad de medida, tipo de alarma y hora en que ocurrió, además emite un sonido (que si se desea puede ser desactivado en la configuración) para que el operador se percate y pueda registrar que la reconoció dando click con el botón derecho del mouse sobre dicha línea roja, y si se da click sobre ella con el botón izquierdo, aparecerá la tabla de alarmas. Para indicar si se han acumulado más de una alarma prohibitiva, en la zona derecha de esta línea roja aparecerá un cuadrado verde amarillo con el número de alarmas que están en espera para mostrarse y ser reconocidas por el operador.

Configuración

El SCADA EROS permite configurar de manera sencilla por personal con un mínimo entrenamiento, un número prácticamente ilimitado de variables. Ofrece funcionalidades por Omisión. La configuración del Sistema es en caliente, por lo que no necesita detener el proceso de Supervisión para efectuar cambios en la configuración.

Interfaz con el usuario

La Interfaz con el usuario está diseñada con el propósito de ser amigable y sencilla para todos los usuarios. El mando a distancia y el ajuste de los lazos de

regulación son permitidos (previa validación del derecho de usuario) desde las pantallas de mímicos y las tablas de variables, utilizando objetos predefinidos que son configurados de acuerdo a las características del proceso. Permite la visualización de los siguientes elementos:

- Tablas con los valores puntuales de las variables.
- Registros históricos.
- Gráficos de pastel.
- Gráficos de perfil.
- Mímicos diseñados a gusto y necesidad del usuario.
- Tablas de alarmas agrupadas y filtradas convenientemente.
- Recetas con las posibles soluciones, órdenes o sugerencias ante la ocurrencia de determinadas situaciones.
- Correo interno para el uso informativo como enviar órdenes.
- Visor de eventos.

Requerimientos del hardware.

Microprocesador: Pentium III o superior (>1 GHz recomendado)

Memoria RAM: 512 MB (1 Gb o mayor Recomendado)

Adaptador de vídeo: SVGA

Espacio Disco Duro: Depende de la cantidad de información histórica que se quiera guardar en él. (> 1 Gb recomendado)

1.8 Conclusiones del Capítulo

En este capítulo se llevó a cabo un estudio del estado del arte sobre la automatización, situación actual y características; además se describió la utilidad y el impacto que tendría en la economía del país el producto resultante. A partir de esto se hizo:

- La definición de los PLC´s y específicamente del MITSUBIHI, FX3U-32MR, con sus datos y partes.
- Las aplicaciones de los PLC´s, así como su campo de acción, sus ventajas etc.
- Principales tipos de evaporadores y su caracterización.
- Tipos de intercambiadores de calor y su caracterización y usos más frecuente.
- Descripción de las características principales del software EROS.

Capítulo 2

Capítulo 2: Propuesta de automatización con PLC del área de vinaza.

En este capítulo se realizará una descripción de cada uno de los elementos que intervienen en el control automático del proceso, en función de elaborar una propuesta de automatización para la misma mediante la programación del PLC Mitsubishi FX3U.

2.1 Descripción de los Lazos a Automatizar.

Dentro del autómata se programarán las secuencias establecidas para la correcta operación del termolizador y de los dos evaporadores en toda el área de vinaza, así como los lazos de regulación siguientes:

Lazo de control de la temperatura de la crema en el termolizador.

El objetivo de este lazo es mantener la temperatura de la crema a la salida del termolizador entre de 90^{o}C y 96^{o}C, ya que a esta temperatura se rompen células y el producto se hace más digerible para los animales. La medición de la temperatura de la crema se realiza con una Pt-100. La variable de medición de temperatura (TT512) se conecta al módulo M3 de entradas analógicas del autómata, a través del canal No3, procesándose con un algoritmo PID que devuelve la respuesta correspondiente a través canal No3 del módulo de salidas analógicas M4, hacia la válvula reguladora de mariposa (FCV505.1) que regulará la presión de vapor. Figura 12.

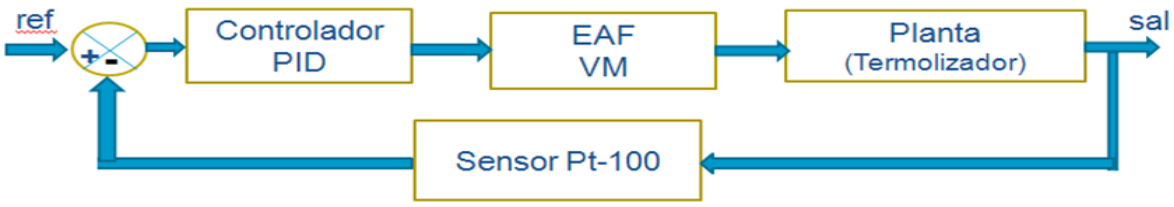


Figura 12: Lazo de control a la salida del termolizador

Lazo de control del Vacío (Presión absoluta)

El principio básico de la evaporación a doble efecto descansa sobre la aplicación del vacío para lograr la reducción sucesiva del punto de ebullición del jugo a medida que aumenta el vacío (disminuye la presión) en cada cuerpo del evaporador. Además esto permite el uso múltiple del calor latente para evaporaciones sucesivas, aumento en la transmisión de calor, y economía de vapor. De ahí la importancia de mantener el vacío en el último cuerpo del evaporador lo más alto y estable posible. Es utilizado un transmisor de presión absoluta para realizar la medición correspondiente. La variable de medición (PT509) se conecta a través del módulo M3 de entradas analógicas, a través del canal No1, procesándose con un algoritmo PID que devuelve la respuesta correspondiente a través canal No1 del módulo de salidas analógicas M4, hacia la válvula de mariposa (FCV506). Figura 13.

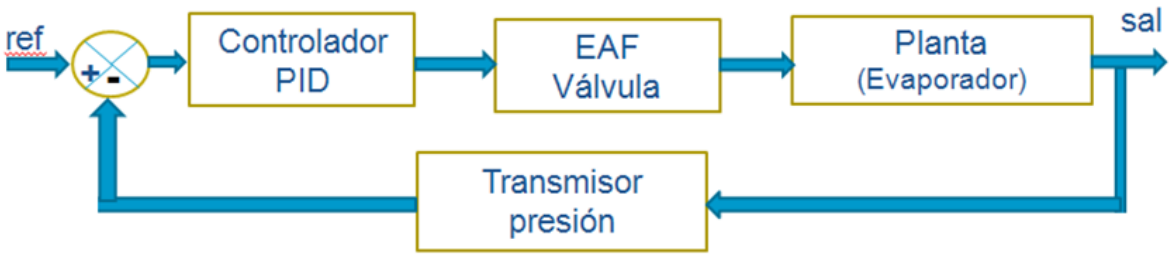


Figura 13: Lazo de control del Vacío (Presión absoluta)

Lazo de control del flujo de agua a los condensadores.

Para mantener el vacío en los condensadores de los evaporadores es necesario que los vapores que se producen en los cuerpos, sean condensados mediante el agua de inyección. La cantidad de agua de inyección depende de las instalaciones locales específicas, y de los factores siguientes:

1- Cantidad de vapores a condensar.
2- Temperatura de los vapores a condensar.

3- Temperatura del agua de inyección.

4- Eficiencia del condensador.

Para medir el flujo de vapor de entrada de los condensadores 1 y 2 son utilizados flujómetros electromagnéticos. La variable de medición (FT501 y FT503) se conecta a través del módulo M3 de entradas analógicas, procesándose con un algoritmo PID que devuelve la respuesta correspondiente a través del módulo de salidas analógicas M4, hacia las válvulas de mariposa correspondientes (FCV501-FCV503). Figura 14.

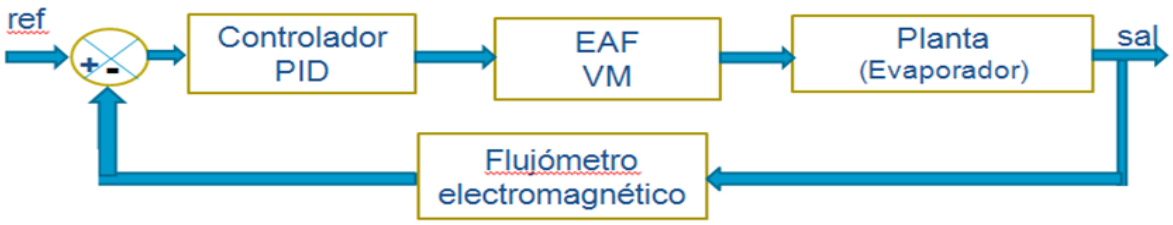


Figura 14: Lazo de control del flujo de agua a los condensadores.

Lazo de control de la presión en la reductora.

El objetivo de este control es llevar la presión que está en la línea variando alrededor de las 150 lb/in^2, a 48 lb/in^2. La presión de vapor es medida con un transmisor de presión. La variable de medición (PT514) se conecta a través del módulo M3 de entradas analógicas, procesándose con un algoritmo PID que devuelve la respuesta correspondiente a través del módulo de salidas analógicas M4, hacia las válvulas de mariposa correspondientes (FCV514). Figura 15.

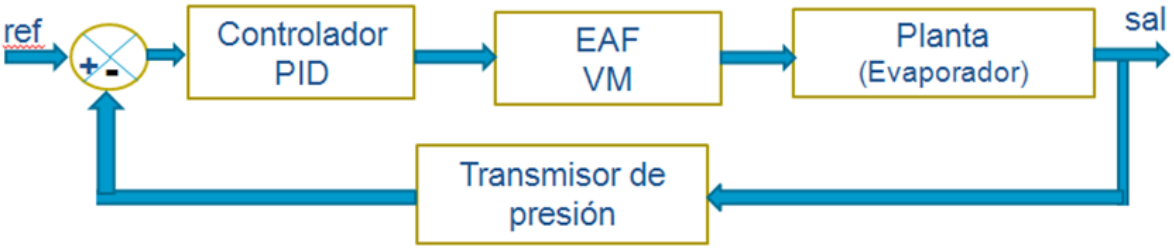


Figura 15: Lazo de control de la presión en la reductora.

Lazo de control del flujo de vapor en la entrada del evaporador

Este control va a permitir que entre un flujo de vapor uniforme al evaporador. La medición se realiza a través de un transmisor de presión diferencial. La variable de medición (FT506) se conecta a través del módulo M3 de entradas analógicas, procesándose con un algoritmo PID que devuelve la respuesta correspondiente a través del módulo de salidas analógicas M4, hacia las válvulas de regulación de globo de simple asiento correspondientes (FCV514). Figura 16.

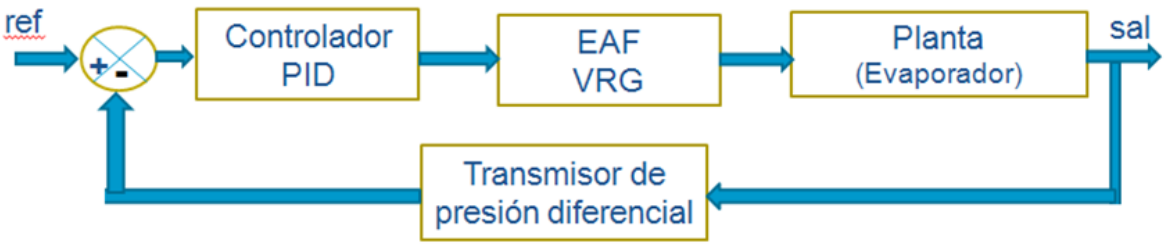


Figura 16: Lazo de control del flujo de vapor en la entrada del evaporador

Lazo de control del flujo a los tanques de despacho 1 y 2.

La operación de los evaporadores a doble efecto es una operación continua, donde se está alimentando un determinado jugo a un Brix determinado al primer cuerpo y extrayendo meladura a un determinado Brix del último cuerpo en forma continua mediante bombas apropiadas. Si la extracción de la meladura se aumenta pueden alterarse los niveles del jugo en cada cuerpo, afectándose la evaporación y disminuyendo el Brix de la meladura. Por otro lado, cuando la extracción de la meladura está variando, su Brix será también variable, lo cual afecta la eficiencia del evaporador. Los equipos de control automático son muy eficientes controlando el grado de Brix de la meladura, pero también puede decirse que cuando se cuenta con operadores experimentados y con conocimientos básicos se puede controlar el Brix de la meladura, en un determinado rango, a través de una extracción continua y uniforme. La medición del flujo se hace través de un flujómetro electromagnético. La variable de medición (FT505 y FT505.1) se conecta a través del módulo M3 de entradas analógicas,

procesándose con un algoritmo PID que devuelve la respuesta correspondiente a través del módulo de salidas analógicas M4, hacia las válvulas reguladoras de mariposa correspondientes (FCV505 y FCV505.1). Figura 17.

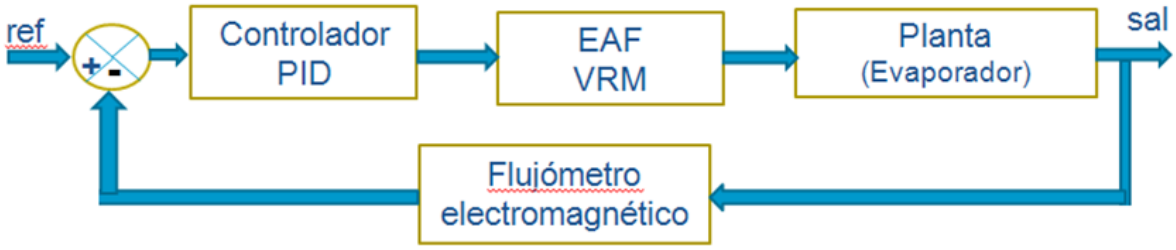


Figura 17: Lazo de control del flujo a los tanques de despacho 1 y 2.

Lazo de control del flujo de agua de inyección.

Este tiene como objetivo mantener un flujo de agua constante hacia los condensadores. La medición del flujo de agua se realiza mediante un flujómetro electromagnético. La variable de medición (FT507) se conecta a través del módulo M3 de entradas analógicas, procesándose con un algoritmo PID que devuelve la respuesta correspondiente a través del módulo de salidas analógicas M4, hacia las válvulas reguladoras de válvulas de regulación de globo con accionamiento neumático correspondiente (FCV507). Figura 18.

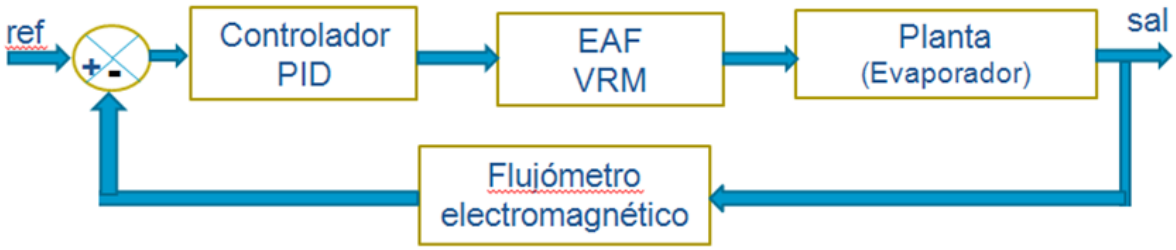


Figura 18: Lazo de control del flujo de agua de inyección.

Supervisión de nivel en el evaporador.

Según expertos en el área las bombas instaladas hacen que el nivel en los evaporadores se mantenga casi a un tercio de la altura, es por eso que el nivel en los evaporadores va a ser solo supervisado, ahorrándose así dinero en la compra

de válvulas. La supervisión del nivel se desarrolla en los dos vasos evaporadores de forma similar. Este control garantiza que el operador observe el nivel en ambos evaporadores, para así asegurar el máximo de evaporación y disminuir incrustaciones. El nivel es medido con dos trasmisores de presión diferencial. Las variables de medición de nivel (LT511-LT511.1) se conectan al módulo M3 de entradas analógicas del autómata.

2.2 Sistema de protección y alarmas.

En los evaporadores existe una válvula PSV, la cual cuando detecta una presión de vapor que excede de 5,3 kgf/cm^2, se abre para dejar salir la presión, y así evitar que pueda ocurrir una explosión, trayendo como consecuencia pérdidas de materia prima, averías y posibles accidentes de trabajo. En los dos tanques de despacho se encuentran dos sensores de nivel para evitar que se desborden los mismos. Cuando estos detectan nivel máximo el autómata manda a parar todo el proceso.

2.3 Proyecto de instalación y supervisión del sistema.

El Panel PM8 tiene el autómata que gobiernan a los lazos de control, el operador tiene la opción de manipular las diferentes válvulas que intervienen en el proceso de forma manual o activar el modo automático desde el supervisorio.

Las señales de entrada son procesadas por el autómata para realizar las funciones de los lazos de regulación de las variables concebidas y actuar directamente sobre el proceso, mediante las señales de salida analógica, garantizando así que se puedan tomar decisiones y controlar el proceso.

El Sistema de Supervisión y Control empleado se basa fundamentalmente en la utilización de un autómata y una computadora (PC), los cuales se comunican mediante una red industrial con protocolo MODBUS RTU. El sistema tiene una estructura distribuida, la computadora constituye el elemento de comunicación con el operador, y mediante la misma éste puede actuar sobre el proceso y observar el

estado del mismo mediante el software de supervisión EROS. El autómata empleado, ubicado en el panel (PM8) correspondiente a la firma Mitsubishi Electric Corporation modelo: FX3U-32MR/ES.

El procesador del autómata (CPU) almacena y ejecuta el programa de aplicación y controla los puntos de E/S locales, a través de un bus de comunicación común.

En la CPU del autómata se configura toda la programación básica de la aplicación:

- Ejecución de los lazos de regulación PID de las variables analógicas.
- Realización de todas las secuencias y bloqueos de operación.
- Procesamiento de los datos de entrada y actuación sobre las salidas al proceso.

En el **Nivel Supervisorio** se utilizará el software de supervisión EROS, que trabaja en ambiente Windows, el cual permite tanto las lecturas de las mediciones como los estados de funcionamientos de válvulas ,etc., así como el trabajo con los lazos de regulación (cambios en el Set point, constantes, paso a trabajo manual o automático, etc.).

Tabla1: Cantidad de señales instaladas en el Panel:

Panel	Entradas analógicas	Salidas Analógicas	Entradas Digitales	Salidas Digitales
PM8	21	11	4	0

RELACIÓN DE SEÑALES:

Tabla 2: Señales de entradas analógicas del panel PM8

1	FT501	Flujo de entrada al condensador 1
2	FT502	Flujo Recirculación al Condensador 1.

3	FT503	Flujo Entrada Condensador 2.
4	FT504	Flujo Recirculación Condensador 2.
5	FT505	Flujo Vinaza Concentrada Tanque Despacho 1.
6	FT505.1	Flujo Vinaza Concentrada Tanque Despacho 2.
7	LT505.2	Nivel Tanque Despacho 1.
8	LT505.3	Nivel Tanque Despacho 2.

Tabla 3: Señales de entradas analógicas del panel PM8

1	FT506	Flujo de vapor entrada evaporador
2	FT507	Flujo de Agua
3	FT508.1	Nivel Tanque Vinaza 1.
4	FT508.2	Nivel Tanque Vinaza 2.
5	PT509	Vacío.
6	TT506	Temperatura vapor entrada evaporador.
7	FT510	Flujo de retorno

1	LT511	Nivel Evaporador 1.
2	LT511.1	Nivel Evaporador 2.
3	TT512	Temperatura Vapor Salida Termolizador.

4	FT513	Flujo Entrada Termolizador.
5	PT514	Presión línea 150/48 lbf\in^2.
6	PT515	Presión línea 150 lbf\in^2.

Tabla 3: Señales de salidas analógicas del panel PM8:

1	FCV501	Posicionador de la válvula entrada al condensador 1.
2	FCV502	Posicionador de la válvula recirculación al condensador 1.
3	FCV503	Posicionador de la válvula entrada al condensador 2.
4	FCV504	Posicionador de la válvula recirculación al condensador 2.

Tabla 4: Señales de salidas analógicas del panel PM8:

1	FCV505	Posicionador de la válvula vinaza concentrada tanque 1.
2	FCV505.1	Posicionador de la válvula vinaza concentrada tanque 2.
3	FCV506	Posicionador de la válvula vapor.
4	FCV507	Posicionador de la válvula de agua.

1	FCV510	Posicionador de la válvula de Retorno.

2	FCV505.1	Posicionador de la válvula vapor al termolizador.
3	FCV514	Posicionador de la válvula reductora 150\48 lbf \ in^2.
4	-----	Reserva.

Tabla 5: Señales de entradas digitales del panel PM8:

1	YSH1	Bomba Crema 1.
2	YSH2	Bomba Crema 2.
3	YSH3	Bomba Crema 3.
4	YSH4	Bomba de Vacío.

2.4 Descripción y funcionamiento del sistema.

Para su descripción y mejor comprensión el sistema se divide en tres partes:

El campo: formado por los elementos primarios, transmisores, captadores, elementos de acción final y el cableado de estos al PLC.

El sistema de control: formado por el autómata y otros accesorios.

Partiendo de las posibilidades de la CPU FX3u-32M que tiene entre otras las siguientes características:

- Tiempo de scan = 0.065 μs
- Entradas / Salidas analógicas 80/48, Resolución: 8,12 y 16 bits.
- Memoria de datos = 64 Kb
- Entradas/salidas discretas = 16 - 384

Se plantea conformar una estructura en un panel de control PM8, que tiene la siguiente composición:

Panel PM8:

- CPU FX3u-32M con Módulo de Comunicación RS-485 (FX3U-485-BD).
- 24 entradas analógicas, dispuestas en 3 módulos FX2N-8AD.
- 12 Salidas analógicas, dispuestas en 3 módulos FX2N-4DA.
- 32 entradas digitales, dispuestas en la CPU y un módulo de extensión de ED.
- 16 salidas digitales, dispuestas en la CPU.
- Conversor de Norma ó Interface para PC, RS-232-C/RS-485-RS.
- Módulo de Comunicación RS232/RS485 FX3U-485ADP-MB.
- Fuente de alimentación de 24 V CD.
- Fuente de alimentación de 5 V CD.

El sistema de supervisión o Supervisorio: formado por la PC y el operador.

En el primer nivel, el cableado de las señales de campo previsto en proyecto enlazará, los elementos Captadores – Transmisores con el PLC en el cuarto de control.

Todas las señales tanto analógicas como digitales que son procesadas por el autómata, pueden ser visualizadas en la pantalla de la PC. En pantalla se tendrá acceso a todos los equipos tecnológicos así como a los reguladores del proceso.

Dentro del autómata se programarán las secuencias establecidas para la operación del evaporador y el termolizador, así como los lazos de regulación correspondientes. Las estrategias de control propuestas para la implementación de estos lazos son los siguientes:

- Control del Nivel en el Evaporador 1.
- Control del Nivel en el Evaporador 2.
- Control del Flujo al tanque despacho 1.

- Control del Flujo al tanque despacho 2.
- Control del Flujo de Vapor.
- Control del Flujo del Agua.
- Control de la Presión Absoluta (vacío).
- Control de la Temperatura a la salida del Termolizador.

Cada uno de estos lazos descritos anteriormente.

Las interfaces del sistema con el proceso se realizan con instrumentos de campo de gran fidelidad. Algunos tienen un display digital para visualizar la variable medida, entre otras prestaciones. La salida de los mismos cumple con el standard de 4-20 mA.

2.5 Referencia al cuarto de control del Panel PM8.

PM8: Armario metálico mod. CRN 108/300 con placa base metálica, cierre con llave TCL/CRN y elementos de fijación PFCR Dimensiones 1000 x 800 x 300 mm.

- Debe estar climatizado, garantizando una temperatura adecuada (alrededor de 25 ºC) para el trabajo de la computadora.
- El interior debe estar aislado de polvo, e interferencias electromagnéticas.
- Dominio por parte del operador del proceso tecnológico de esta área, así como de la operación de los medios de automatización empleados en este sistema.
- Cuidado y correcta utilización de los equipos del área y del panel.
- No someter a vibraciones, ni a medios agresivos que produzcan desajustes y/o corrosión en los medios instalados. Tener en cuenta no someter a campos magnéticos fuertes al autómata que se encuentra dentro del panel ni a la PC.
- Suministrar energía eléctrica de forma estable y con los niveles y capacidad requeridos.

2.6 Estrategias de Automatización.

El sistema de control está concebido por un procesador central lógico programable PLC que es el encargado de recibir todas las señales del campo; transmisores y elementos de acción final. Estas señales se procesan para actuar sobre los mismos; válvulas automáticas, ON/OFF o de guillotinas etc. Este procesador tiene incluido funciones de control PID el cuál se utiliza como regulador principal en lazos de control, además tiene incluido sistemas de comunicación para equipos periféricos, en este caso computadora Industrial como supervisorio SCADA. Para establecer la comunicación con estos dispositivos primeramente se tienen en cuenta el cableado de los mismos. El PLC Fx-3U tiene un puerto de comunicación Fx3U-ADP 485, este puerto es para comunicar a través de la conexión RS 485. Como la PC se comunica por RS-232 se necesita un conversor de norma RS 485 a RS 232. El protocolo de comunicación entre ambos equipos es MODBUS RTU donde la PC industrial es el máster y el PLC el esclavo. Con el módulo de comunicación Fx3U-ADP485 se puede comunicar hasta una distancia de 500 m entre máster y esclavos. Para la comunicación entre ambos equipos se utiliza el cable especial de la firma MITSUBISHI. Este cable es para comunicar por RS-422 con una distancia máxima de 30 m. [Anexo 1]

La PC industrial del área de vinaza se va a integrar a la RED INDUSTRIAL ETHERNET existente en la industria donde se visualizan las mediciones y señales de control de todas las áres automatizadas del central azucarero. Para integrar el supervisorio del área de vinaza a la red industrial, se configura la conexión de red TCP/IP de la PC y del EROS y se conecta la computadora al SWITCH de la red a través del cable UTP con conectores RJ-45. A continuación se muestra en la siguiente figura las tendencias de automatización destinada para dicha propuesta:

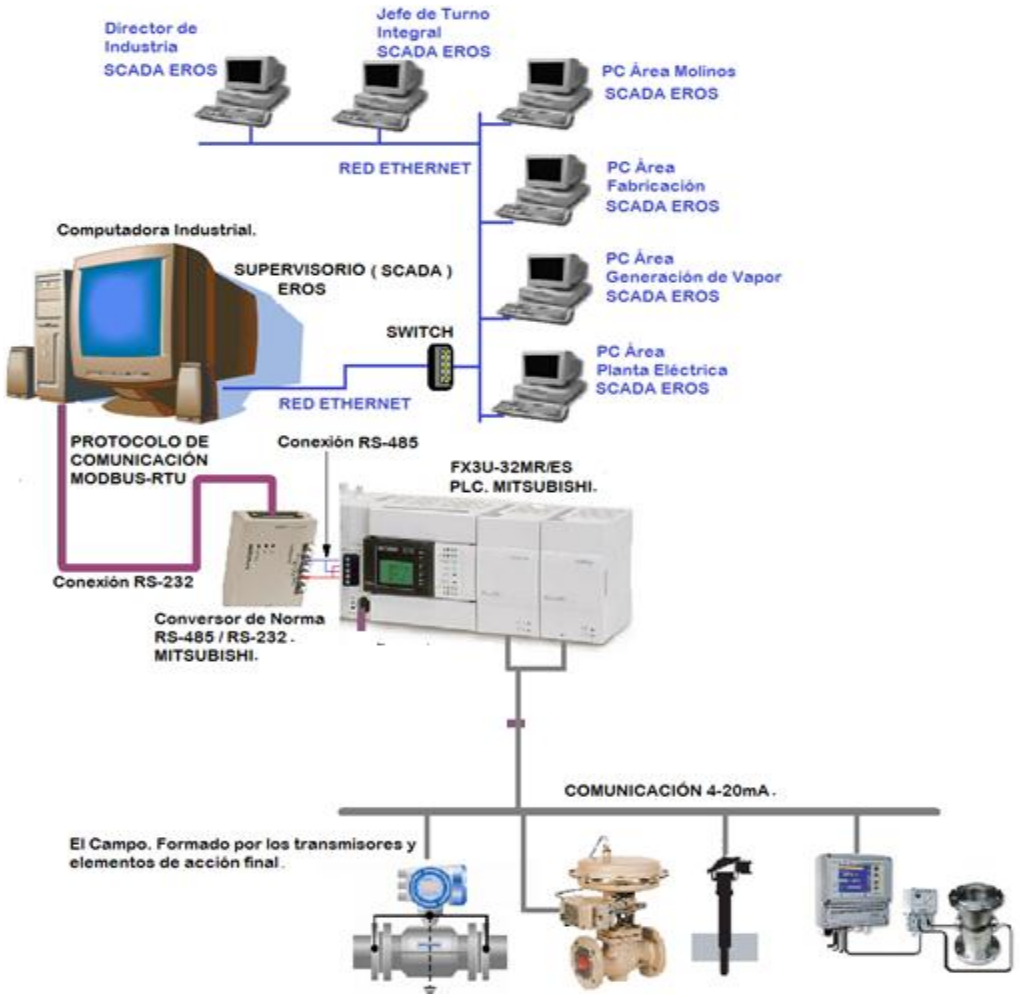


Figura 19: Arquitectura en la tendencia de la automatización.

2.7 Configuración del autómata Mitsubishi FX3U.

El autómata a utilizar es de concepción modular, lo que significa que se le acoplan módulos de entrada/salida según la cantidad de señales a utilizar. En nuestro caso en particular para la recolección de datos se utilizaron los siguientes módulos:

Tabla 6: Configuración necesaria del autómata.

	Descripción	UM	Cantidad
1	Procesador central con 16 Entradas Digitales a 24 Vcd, 16 Salidas Digitales a relé Mod. FX3U-32MR/ES	U	1
2	Módulo de 8 entradas analógicas (1- 5 V CD, 4- 20 MA CD, 0- 10 V CD) Mod. FX2N-8AD	U	3
3	Módulo de 4 salidas analógicas 4- 20 MA CD Mod. FX2N-4DA	U	3
4	Módulo de Comunicación RS232/RS485 Mod. FX3U-485BD	U	1
5	Fuente de Alimentación Externa 100- 240 VCA Salida 24 VCD 2,5 A Montaje en carril DIN, Mod. PSU-25	U	1
6	Batería para el autómata Mod. FX3U-32MR/ES	U	1
Total		U	10

2.8 Características del software GX-Devolper-Fx utilizado en la programación del autómata.

Para empezar un proyecto nuevo hay que clicar sobre la opción del menú principal "Project-New project". Con esto se abrirá el siguiente formulario:

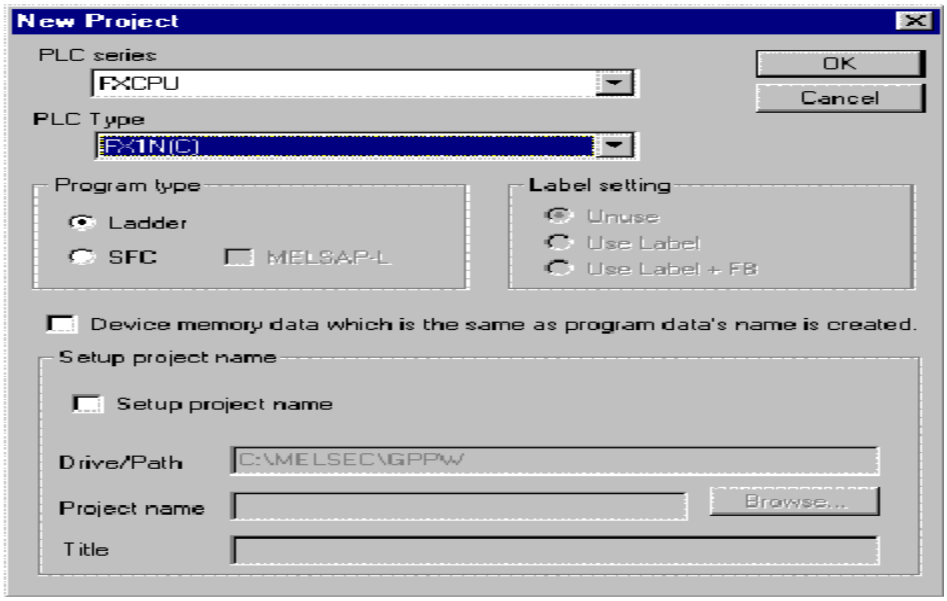


Figura 20: Software GX-Devolper-Fx.

A través de la opción PLC Series(1) se puede seleccionar la serie de PLC's con la que se va a trabajar. Con la opción PLC Type (2) se escogerá el modelo de CPU apropiado. Dentro de Program type (3) debe escogerse entre trabajar con lenguaje de contactos (LADDER) o a través de diagrama de flujo SFC. La opción 4 sirve para crear directamente un archivo de dispositivos, con el que iniciar los valores de las variables (datos D y marcas de bit M). Si no se selecciona, tenemos la posibilidad de activarlo durante la ejecución del proyecto.

Si se activa el Setup project name (5) tenemos la posibilidad de darle un nombre al proyecto, así cuando se quiera guardar el proyecto no será necesario teclear el nombre del archivo.

Entorno de programación:

Cuando se abre un nuevo proyecto aparece en la pantalla el entorno de programación. Es desde esta pantalla donde debemos programar y configurar el autómata.

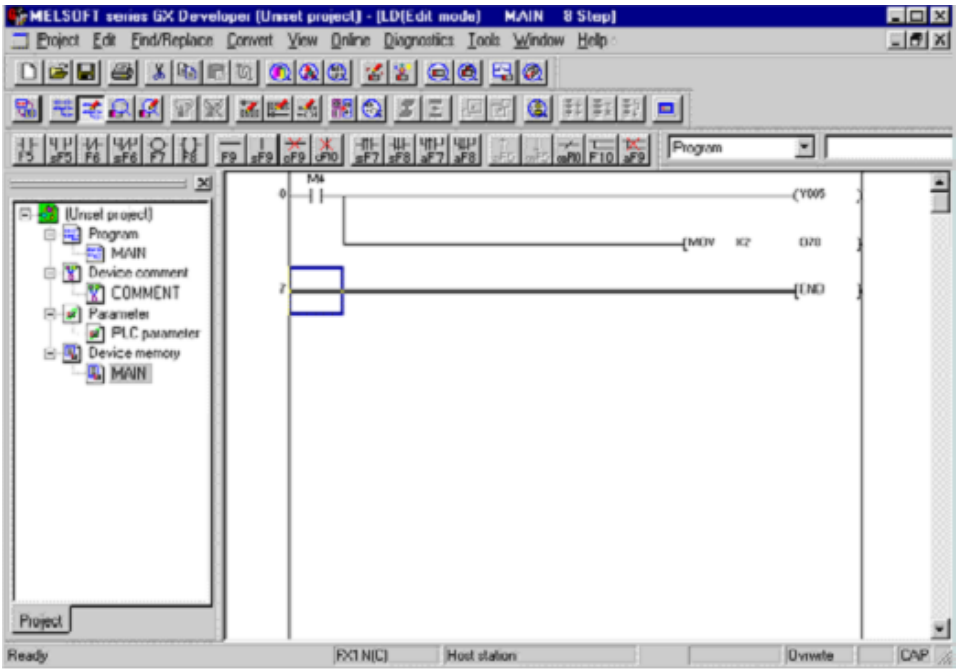


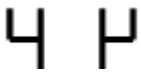
Figura 21: Entorno de programación del software GX-Devolper-Fx.

Editando programa:

Edición de programa en lenguaje de contactos (ladder)

En la parte superior hay una colección de botones dedicados a la inserción de contactos y bobinas en la pantalla de edición. Se tiene la posibilidad de insertar componentes a través de estos botones, desde el menú general (Edit – Ladder symbol…) o con la utilización de teclas abreviadas.

CONTACTO NORMALMENTE ABI ERTO

CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO EN PARALELO 

CONTACTO NORMALMENTE CERRADO

CONTACTO NORMALMENTE CERRADO EN PARALELO

BOBINA DE SALIDA

CONTACTO EN FLANCO ASCENDENTE

CONTACTO PARALELO EN FLANCO ASCENDENTE

BLOQUE PARA INSTRUCCIONES

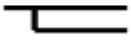
TRAZAR RAMA HORIZONTAL

BORRAR RAMA VERTICAL

CONTACTO EN FLANCO DESCENDENTE

CONTACTO PARALELO EN FLANCO DESCENDENTE

NEGACIÓN DE LA LÓGICA PREVIA

TRAZAR RAMAS CON CURSORES 

BORRAR TRAZADO DE RAMAS CON CURSORES

ACTIVACIÓN POR FLANCO DESCENDENTE

ACTIVACIÓN POR FLANCO ASCENDENTE

(Ver anexo 8).

2.9 Instrumentación propuesta en el campo.

Tabla 7: Transmisores.

Variable	Descripción	UM
Temperatura TT506, TT512	Convertidor de temperatura para montaje sobre rail DIN Rango configurable Ajustado de 0 a 120 ºC Entrada para 2 Pt100, a 3 hilos, Señal de salida 4 a 20 mA, a 2 hilos Alimentación 220 V, 60 Hz Sin separación galvánica Ref. Siemens 7NG3032-1JN00	2
Flujo FT502,FT503 FT510	Flujómetro electromagnético compacto Dn 40 mm Medio a medir: Vinazas de destilerías Rango de medición 0 a 10 m3/h Alimentación 220 V 60 Hz Salida 4-20 mA Conexión al proceso brida DIN Ref. Siemens 7ME6110-2RA10-1AA1	3
Flujo FT501,FT504 FT505,FT505.1	Flujómetro electromagnético compacto Dn 50 mm Medio a medir: Vinazas de destilerías Rango de medición 0 a 20 m3/h Alimentación 220 V 60 Hz Salida 4-20 mA Conexión al proceso brida DIN Ref. Siemens 7ME6110-2YA10-1AA1	4
Flujo FT506	Flujómetro electromagnético compacto Dn 80 mm 100 M3/h Medio a medir: Agua a 35 ºC. Pn 10 bar T 80º C Alimentación 220 V 60 Hz Salida 4-20 mA Conexión al proceso brida DIN Ref. Siemens 7ME6320-C12-1AA1+ 7ME6910-1AA10-1AA0	1
Temperatura TE506,TE512	Termómetro de resistencia PT 100 con termopozo y racor de fijación al termopozo. Dn ½" Longitud de inmersión 250 mm. T 120 ºC Ref. Siemens 7MC1007-6DA11	2
Nivel LT508.1, LT508.2	Transmisor de nivel, ultrasónico, para tanques abiertos Rango 0-6000 mm con conector M12 y 5 m de cable Ref. Siemens- Milltronics 7ML5221-1BB11	2
Presión PT509	Transmisor Smart de presión absoluta con indicador digital incorporado incluidos los herrajes de fijación Alimentación 24 V CD Salida 4 a 20 mA Rango 0-2,0 bar absolutos Ref. Siemens 7MF4233-1FA00-1AA6-Z+A01+B13+Y01+Y15	1
Presión PT515,PT515.1	Trasmisor Smart de presión con indicador digital incorporado incluidos los herrajes de fijación Alimentación 24 V CD Salida 4 a 20 mA Rango 0-2,5 bar Ref. Siemens 7MF8023-1CA14-1AH4-ZY01+B13+Y15	2

Flujo FT506,FT513	Trasmisor Smart de presión diferencial con indicador digital incorporado incluidos el manifold y los herrajes de fijación Alimentación 24 V CD Salida 4 a 20 mA Rango 0-10000 mm H2O Ref. Siemens 7MF4433-1FA02-1AA6-Z+A01+B13+Y15 + 7MF9411-5BA-Z+K16	2
Nivel LT511,LT511.1	Trasmisor Smart de presión diferencial para nivel, con sello separador en la cámara positiva, con indicador digital incorporado, extensión 50 mm Características de la brida 3" clase 150 Alimentación 24 V CD Salida 4 a 20 mA Rango 0 -6000 mm de H2O Medio a medir Vinaza Ref. Siemens 7MF4633-1GY02-1AC6 + 7MF49123QA11	2

Tabla 8: Elementos de acción final

	Descripción	**UM**
FCV506	Válvula de regulación de globo de simple asiento NA, con accionamiento neumático y posicionador electroneumático SMC. Medio a regular: Vapor saturado a 8 bar. Presión diferencial máxima: 3 bar. Diámetro nominal: Dn 65 mm, presión nominal 10 bar. Montado en la válvula Entrada 4-20 mA. Salida la necesaria para accionar la válvulade rgulación. Alimentación de aire 6 bar.	1
FCV502, FCV503 FCV510	Válvula reguladora de mariposa, Tipo wafer NA Dn 40 mm Pn 16 Caracteristica igual porcentaje . Medio a regular: Vinazas de destilerías. Cuerpo de fundición GGG-50. Mariposa Inox 1.4408. Eje Inox. AISI 304. Elastómero en Silicona HT Ref. SAMSON Serie TT Actuador neumático rotativo Simple efecto. Muelles abren Ref. SAMSON serie AT Tipo AT-251 S12. Acoplamiento de la válvula Serie TT DN 100 al actuador Serie AT 251 Con posicionador electroneumático montado en la válvula Entrada 4-20 mA. Salida la necesaria para accionar la válvula reguladora. Alimentación de aire 6 bar. Ref. SMC IP8100-030-H-PN1, montado	3
FCV501, FCV504 FCV505, FCV505.1	Válvula reguladora de mariposa, Tipo wafer NA Dn 50 mm Pn 16 Característica igual porcentaje. Medio a regular: Vinazas de destilerías. Cuerpo de fundición GGG-50. Mariposa Inox 1.4408. Eje Inox. AISI 304. Elastómero en Silicona HT Ref. SAMSON Serie TT Actuador neumático rotativo Simple	4

	efecto. Muelles abren Ref. SAMSON serie AT Tipo AT-251 S12. Acoplamiento de la válvula Serie TT DN 100 al actuador Serie AT 251 Con posicionador electroneumático montado en la válvula Entrada 4-20 mA. Salida la necesaria para accionar la válvula reguladora. Alimentación de aire 6 bar. Ref. SMC IP8100-030-H-PN1, montado	
PCV509	Válvula reguladora de mariposa, Tipo wafer NA Dn 80 mm Pn 16 Caracteristica igual porcentaje. Medio a regular: Agua a 35 ºC. Cuerpo de fundición GGG-50. Mariposa Inox 1.4408. Eje Inox. AISI 304. Elastómero en Silicona HT Ref. SAMSON Serie TT Actuador neumático rotativo Simple efecto. Muelles abren Ref. SAMSON serie AT Tipo AT-251 S12. Acoplamiento de la válvula Serie TT DN 100 al actuador Serie AT 251 Con posicionador electroneumático montado en la válvula Entrada 4-20 mA. Salida la necesaria para accionar la válvula reguladora. Alimentación de aire 6 bar. Ref. SMC IP8100-030-H-PN1, montado	1

Tabla 9: Indicaciones locales:

Presión PI518, PI519	Manómetro indicador, con caja y elemento sensor en acero inoxidable Diámetro de la carátula 150 mm Conexión radial NPT 1/2" Rango 0 a 10 Kgf/cm^2 con doble escala (en Kgf/cm^2 y PSI) Ref. NUOVA FIMA Mod. MGS 18/2/A	2
Presión PI509, PI516, PI517	Manovacuómetro indicador, con caja y elemento sensor en acero inoxidable Diámetro de la carátula 150 mm Conexión radial NPT 1/2" Rango -1.0 a +1 Kgf/cm^2 con doble escala (en Kgf/cm^2 y PSI) Ref. NUOVA FIMA Mod. MGS 18/2/A Con membrana separadora.	3
Temperatura TI506,TI511, TI511.1,TI512	Termómetro bimetálico con termopozo. Diámetro de la carátula 150 mm. Rango 0-120º C. Longitud de inmersión: 250 mm. Conexión al proceso: 1/2" NPT-M, radial Ref. NUOVA FIMA Mod. TB 819	6

2.10 Análisis Técnico-Económico

De acuerdo a las evaluaciones realizadas en fábricas, se ha demostrado que con el resultado de la aplicación de técnicas de automatización se obtienen beneficios económicos, operacionales, de seguridad y calidad en el proceso de producción.

En la siguiente tabla se muestra el presupuesto estimado de la inversión del área de vinaza, en el cual se implementará la automatización avanzada en su proceso de producción.

Área de vinaza		
Clasificación	**Valor CUC**	**Valor CUP**
Instrumentación	0,00	75,126.11
Elemento de acción final (EAF)	0,00	26422.00
Aparellaje	0,00	3473.65
Configuración del sistema de control	0,00	4,226.00
Materiales de Montaje	0,00	23,917.91
Instrumentación Local	0,00	478.00
Estudios e Investigaciones	0,00	2000.00
Proyecto	0,00	10600.00
Programación	0,00	2506.00
Asesoría y Puesta en marcha	0,00	1000,00
Adiestramiento	0,00	4500.00
Montaje	0,00	96900.00
Total general		250,149.67

Análisis de la inversión en Moneda Total.

Costo total de la inversión = 250,149.67 MCUP

Período de recuperación = Utilidades/Inversión = 0,84 % en una zafra de 90 días.

Total recuperado = Costo total de la Inversión/Período de Recuperación = 297797.22 MCUP

Ganancia de inversión = 47647.55 MCUP

Conclusiones del Capítulo 2.

En este capítulo se solucionaron las tareas planteadas, se caracterizaron los lazos de control más importante en el proceso del tacho cristalizador, así como la configuración y programación del autómata Mitsubishi utilizado en dicha propuesta. Se describieron los transmisores y elementos de acción que intervienen en la modernización, culminándose el capítulo con el análisis técnico-económico de la inversión.

Conclusiones generales.

Con el desarrollo de este trabajo realizado se cumplieron los objetivos propuestos en esta investigación, entre los cuáles se encuentran los siguientes:

1- Se caracterizó la instrumentación propuesta a utilizar en el campo.
2- La elaboración del diseño de una estrategia de automatización basado en un PLC.
3- Se realizó el algoritmo de control para facilitar la compresión de la programación.
4- Se programaron las secuencias establecidas para el control de las variables más importante del proceso, con la ayuda de la función PID implementada en el autómata Mitsubishi FX3U, la cual se utiliza como regulador principal.

Recomendaciones

1- Implementar la estrategia de supervisión y control en el área de vinaza.

2- Realizar una identificación de los evaporadores. De esta manera sería posible la obtención de un modelo cercano a la realidad y la posible implementación de la configuración de control que brindaría un mejor control del sistema

Referencia Bibliográfica.

1. Aguilera Castillo Álvaro y Vázquez Seisdedos Luis: "Consideraciones preliminares elaboración de Proyectos de Automatización". Enero 2010.

2. Balda, Milán. "Control Automáticos para Procesos". Editorial Universitaria. La Habana, Cuba, 1966.

3. Bishop, R. & Dorf, R. Sistemas de Control Modernos. 8va Edición. Editora LTC. Río de Janeiro. Brasil. 2001.

4. Colectivo de Autores. “Autómatas Programables, Fundamentos, Manejos, Instalación y Prácticas”. Edición Revolucionaria; 1999.

5. Manuel P. Arca: “Consultor Azucarero.”

6. Grupo de Ingeniería y Desarrollo. “EROS”. División Nicaro.

7. Informe Técnico: Manejador de comunicación con SCADA EROS. Driver: Modbus. SERCONI, División Automatización.

8. K. Ogata: Ingeniería de Control Moderna. 3ra Edición.

9. Loyola Zubia, Iban. “Curso Básico de Autómatas Programables”. Grupo Tecnológico Maser; 2007.

10. Manual de Introducción de la serie FX, “Mitsubishi Electric”.

11. MITSUBISHI PROGRAMMABLE CONTROLLERS, “Manual de Introducción”.

12. MITSUBISHI PROGRAMMABLE CONTROLLERS,” Programming manual Basic & Applied Instruction Editions”.

13. MITSUBISHI ELECTRIC, “Automatización Industrial”.

14. Manual del Usuario, SCADA EROS. “Sistema de supervisión y Control de Procesos” Grupo de Desarrollo EROS.

15. Revista Control Enginering. “Automatización Industrial Integrada”; Febrero 2001.

16. José Miguel Gómez Toro, “Efecto de la aplicación de vinaza en la producción y calidad de la caña de azúcar”.

17. Eduardo Antonio Reis Goncalves, “Diseño de un preevaporador de vinaza para la destilería de C.A. RON SANTA TERESA”.

18. Zoila Pontiles de Hernández. “Equipos máquinas e instalaciones industriales”.

19. Maida Bárbara Reyes-Rodríguez. “Automatización y optimización del diseño de intercambiadores de calor”.

Sitios Web consultados:

20. http://http://www.mitsubishi-automation.com

21. http://http://www.elsevierciencia.es

22. http://http: //www.unicrom.com/art_historia PLC.asp

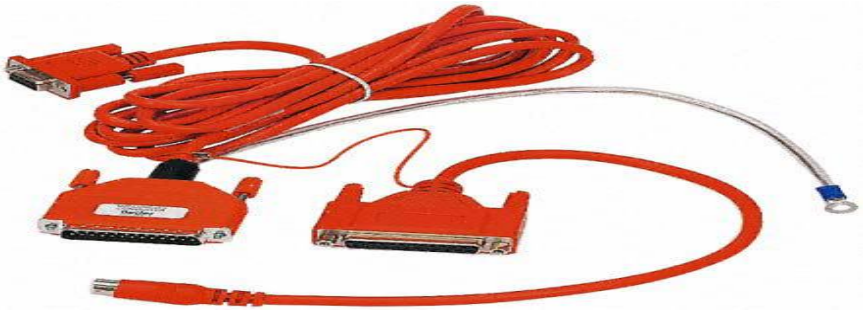
Anexos

Anexo 1. Autómata con sus módulos.

Módulo de Comunicación ADP-RS485

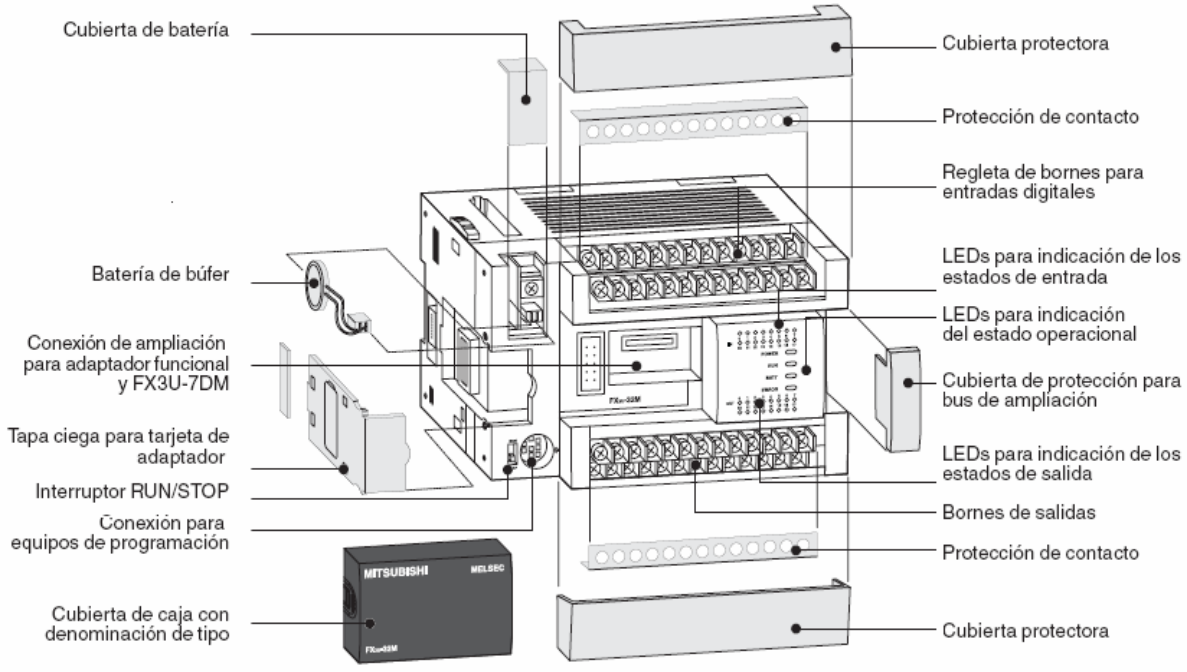
Módulo de comunicación para MORDBUS RTU

Convierte la norma RS485/RS422 a RS322



Cable de programación

Anexo 2. Componente de la serie FX32-U.

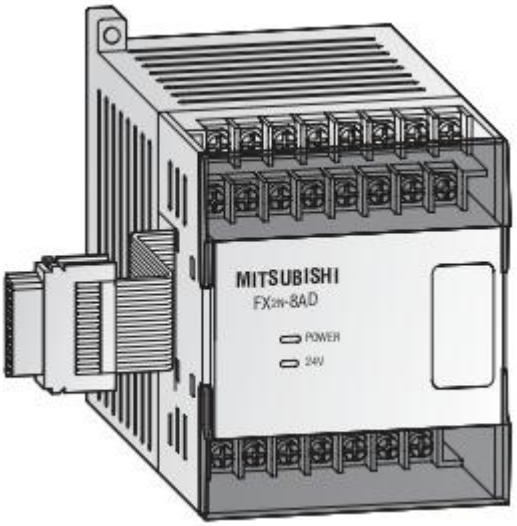


Anexo 3. Descripción de los accesorios de la serie FX3-U.

Función	Descripción
Conexión para adaptador de tarjetas	En esta interfaz se pueden aplicar adaptadores de ampliación opcionales. Los adaptadores están disponibles para todas las series FX (con excepción de FX2NC) en diferentes diseños y ofrecen al equipo base ampliaciones adicionales o interfaces de comunicación. Los adaptadores pueden insertarse directamente en la entalladura.
Conexión para equipos de programación	En esta conexión se puede conectar el equipo de programación manual FX-20P-E o un PC/computador portátil externo con software de programación (p. ej. GX Developer/FX).
EEPROM	Memoria de escritura/lectura en la cual se escribe o lee el programa de trabajo a través del software de programación. Estas memorias son memorias fijas que mantienen su información incluso en caso de interrupción de tensión, por lo cual no requieren un tamponaje de batería.
Ranura disponible para tarjeta de memoria	En esta ranura se pueden insertar las tarjetas de memoria opcionalmente disponibles. Mediante inserción de estas tarjetas se desactiva la memoria interna del control y se procesa exclusviamente el programa contenido en la tarjeta de memoria respectiva.
Bus de ampliación	En este bus de ampliación, junto a los equipos adicionales de ampliación de entrada y salida, se pueden conectar también módulos especiales para la ampliación del sistema de PLC. Una vista sinóptica respectiva se encuentra en el Cap. 6 de este manual.
Potenciómetros analógicos	Con los potenciómetros analógicos se pueden definir los valores nominales. El ajuste respectivo se consulta a través del programa y se utiliza para los temporizadores, emisión de impulsos, etc.
Fuente de tensión de servicio	La fuente de tensión de servicio (excepto FX2NC) suministra una tensión continua regulada de 24 V para la alimentación de las señales de entrada y de los sensores. La capacidad de carga de esta fuente de tensión depende del tipo de control (p. ej. FX1S y FX1N: 400 mA, FX2N-16M□-□□ a FX2N-32M□-□□: 250 mA, FX2N-48M□-□□ a FX2N-64M□-□□: 460 mA)
Entradas digitales	A través de las entradas digitales se registran las señales de control de los interruptores, teclas o sensores conectados. Se pueden registrar los estados CON (tensión aplicada) o DESC (tensión no aplicada).
Salidas digitales	En las salidas digitales pueden conectarse componentes de regulación y actores, en función de la aplicación y del tipo de salida.
LEDs para estados de entrada	A través de los LEDs para los estados de entrada se puede indicar la entrada en la cual se aplica una señal, o sea, una tensión definida. Cuando se enciende el LED correspondiente, se aplica una tensión y por lo tanto una señal de control en la entrada, y se activa la entrada.
LEDs para estados de salida	Los estados de salida, o sea, el estado de activación o desactivación de una salida, se señalizan a través de los LEDs. Las salidas del control pueden conmutar diferentes tensiones en función de su tipo y modo.
LEDs para indicación del estado operacional	Los LEDs „RUN", „POWER" y „ERROR" identifican el estado operacional actual del PLC e indican si está activada la tensión de alimentación (POWER), si el PLC está procesando el programa almacenado (RUN) o bien si se ha generado un fallo (ERROR).
Batería	La batería asegura la alimentación de la memoria RAM interna del PLC de MELSEC en caso de una interrupción de tensión (sólo para FX2N, FX2NC y FX3U). Además sirve para la conservación de los rangos de detención para temporizadores, contadores y relés internos. Adicionalmente alimenta el reloj de tiempo reloj en caso de una interrupción de tensión del PLC.
Interruptor RUN/STOP	El PLC cuenta con dos modos de operación: „RUN" y „STOP". Con el interruptor RUN/STOP se puede realizar la conmutación entre ambos modos de operación. En la operación „RUN", el control procesa el programa indicado. En la operación „STOP" no se ejecuta un procesamiento de programa y el control se puede programar.

Anexo 4. Características de los Módulos de entrada y salida analógica.

Módulo de entrada analógica.



Canales de Entrada analogica: 8.

Rango de entrada analogica: de -10 a 10 Vdc. -20 a 20mA. 4 a 20mA.

Presicion total de escala completa ± 0,3 a 0,5% dependiendo de la temperatura ambiente.

Fuente de alimentacion 24VDC.

Rango de operación de 0 a 55°C.

Resolution

Voltaje de entrada.

- 0.63 mV (20 V × 1/32000)
- 2.5mV (20 V × 1/8000)

Corriente de entrada

- 2.50 µA (40 mA × 1/16,000)

Para entrada de -20 to +20 mA

- 5.00 µA (40 mA × 1/8,000)

Para entrada de -20 to +20 mA

- 2.00 µA (16 mA × 1/8,000)

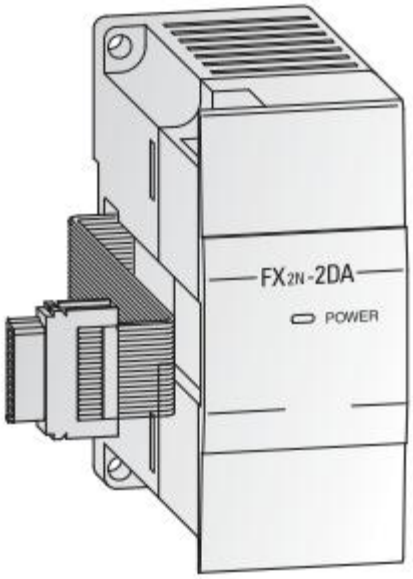
Para entrada de +4 to +20 mA

- 4.00 µA (16 mA × 1/4,000)

Para entrada de of +4 to +20 mA

2.00 µA (16 mA × 1/8,000).

Módulo de salida analógica.



Especificaciones		FX2N-4DA
Canales analógicos	entradas	—
	salidas	4
Rango analógico de salida		-10—+10 V DC / 0—+20 mA / 4—+20 mA
Resolución	Tensión	5 mV (10 bit)
	Corriente	20 µA (11 bit signo +)
Precisión total escala completa		±1 %

Rango de operación de 0 a 55°C.

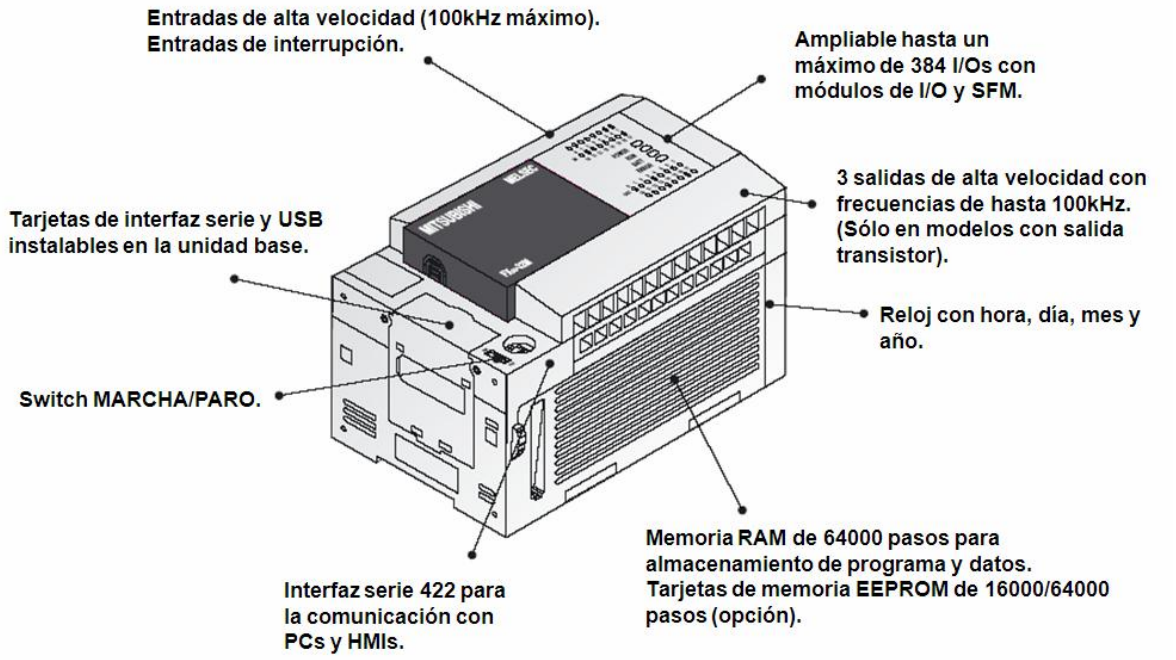
Resolución para señales de salidas analógicas de -10 a 10vcd: -2000 a 2000

Resolución para señales de salidas analógicas de 0, 4 a 20mA: 0 a 1000

Anexo 5. Serie a utilizar.

Codificación	FX1S	FX1N	FX2N	FX2NC	FX3U
Cantidad máx. de entradas I/O integradas	30	60	128	96	80
Ampliabilidad (cantidad I/O máx.)	34	132	256	256	384
Memoria de programa (pasos)	2000	8000	16000	16000	64000
Tiempo de ciclo por instrucción lóg.µs)	0,55 – 0,7	0,55 – 0,7	0,08	0,08	0,065
Cantidad de instrucciones (instrucciones estándares(de estado de paso/especiales)	27 / 2 / 85	27 / 2 / 89	27 / 2 / 107	27 / 2 / 107	27 / 2 / 209
Módulos especiales máx. conectables	—	2	8	4	8 (derecha) 10 (izquierdo)

Anexo 6. Hardware de la serie FX32-U.



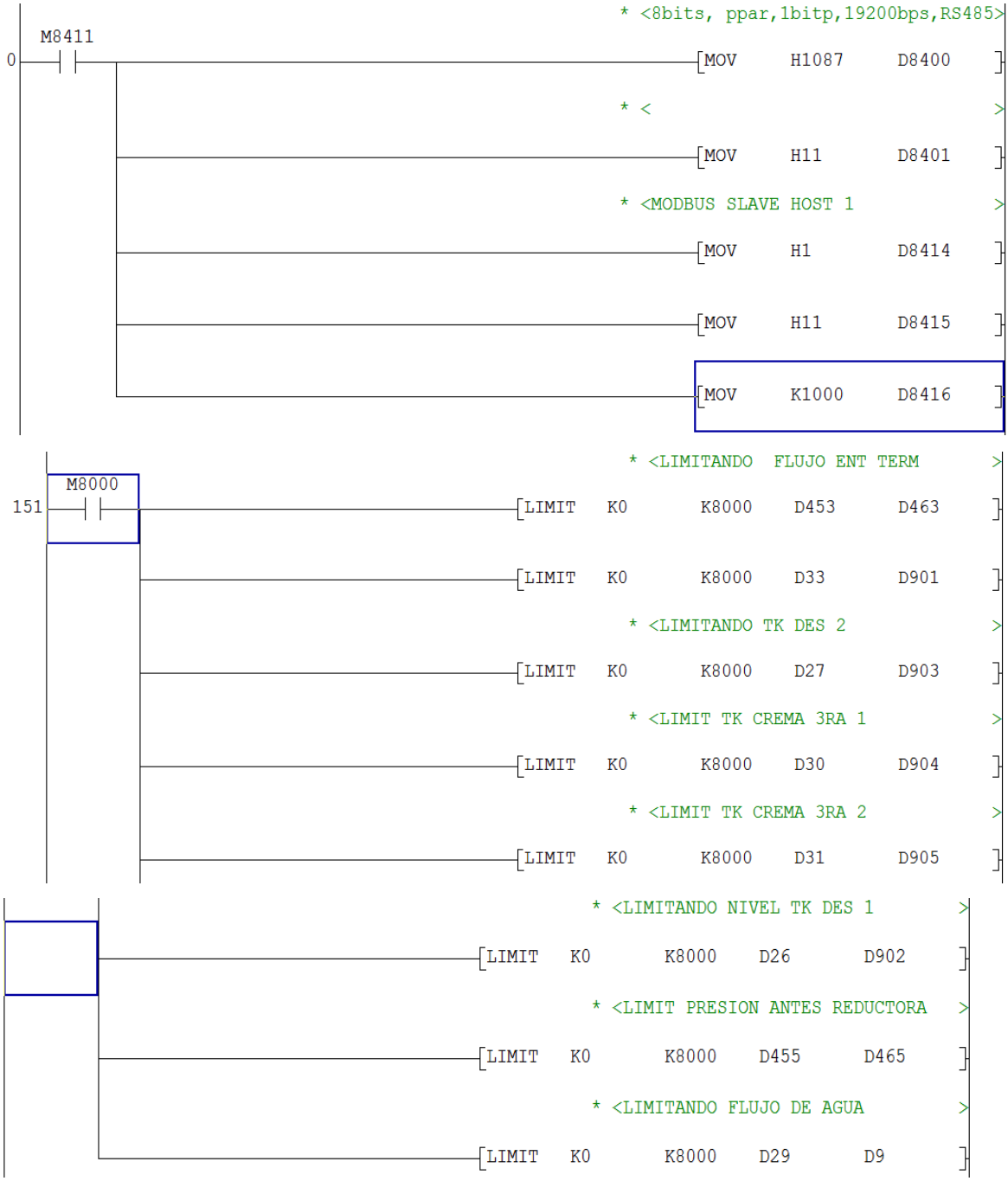
Anexo 7. Ejemplo para identificadores de comando.

Identificador de operando	Tipo	Significado
X	Entrada	Borne de entrada del PLC (p. ej. conmutador)
Y	Salida	Borne de salida del PLC (p. ej. contactor o lámpara)
M	Relé interno	Memoria intermedia en el PLC que puede tener dos estados („Con" o „Desc")
T	Temporizador	„Relé retardado" para realización de funciones que dependen del tiempo
C	Contador	Contadores
D	Registro de datos	Memoria de datos en el PLC en la cual se pueden almacenar p. ej. valores de medición o resultados de cálculos.

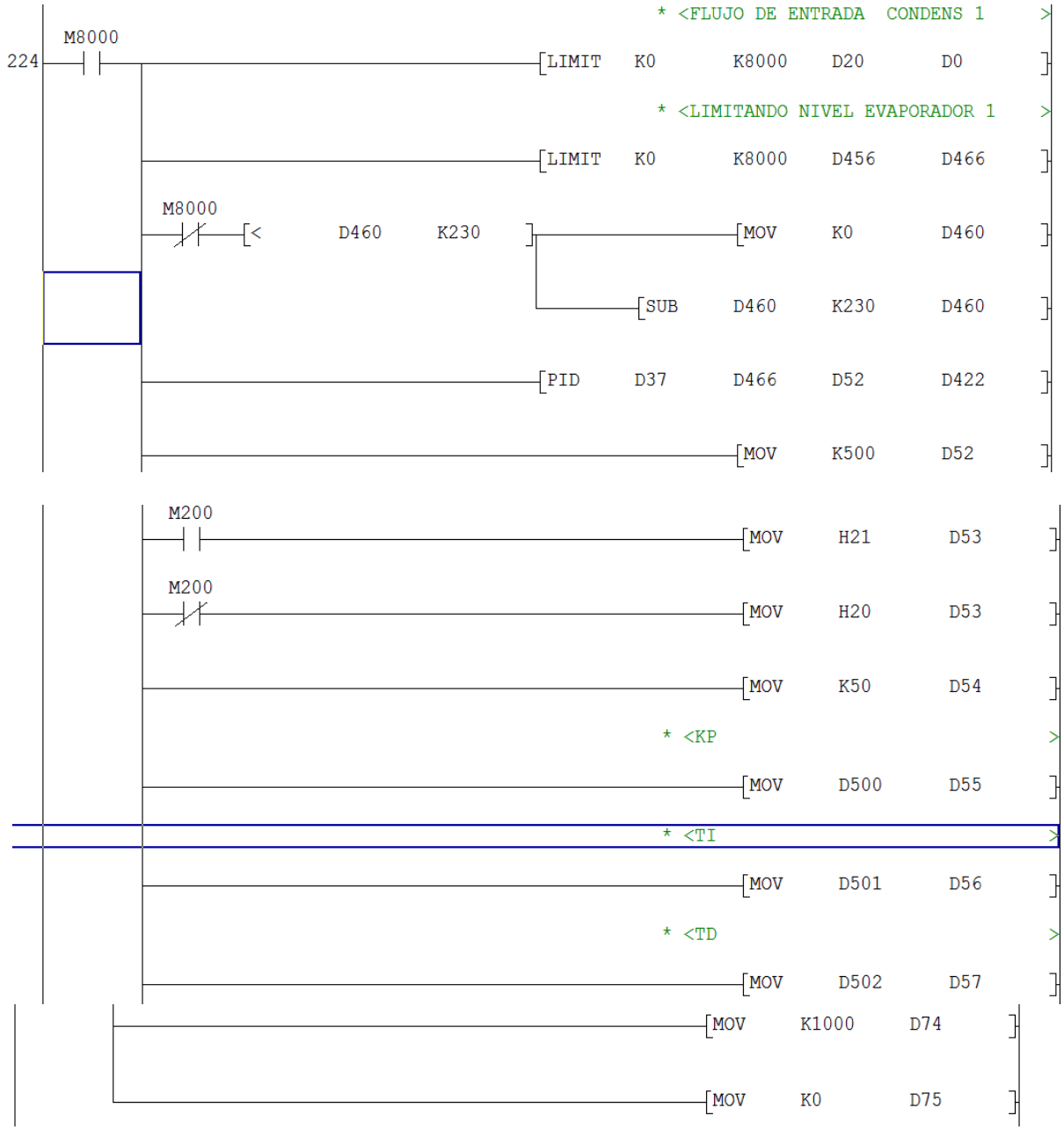
Instrucción	Significado	Descripción
LD	Carga	Inicio de un enlace con consulta de estado de señal „1"
LDI	Carga invers	Inicio de un enlace con consulta de estado de señal „0"
OUT	Instrucción de emisión	Asignación de un resultado de enlace
AND	AND	Enlace AND con consulta de estado de señal „1"
ANI	AND-No	Enlace AND con consulta de estado de señal „0"
OR	OR	Enlace OR con consulta de estado de señal „1"
ORI	OR-No	Enlace OR con consulta de estado de señal „0"
ANB	Bloque AND	Conexión en serie de enlaces paralelos
ORB	Bloque OR	Bloque en paralelo (conexión en serie de enlaces conectados en serie)
LDP	Enlaces controlados por flancos	Instrucción de carga con flanco ascendente del operando
LDF		Instrucción de carga con flanco descendente del operando
ANDP		Instrucción AND con flanco ascendente del operando
ANDF		Instrucción AND con flanco descendente del operando
ORP		Instrucción OR con flanco ascendente del operando
ORF		Instrucción OR con flanco descendente del operando
SET	Aplicar operando	Asignación de un estado de señal que se mantiene incluso después de que ya no se cumple la condición de entrada.
RST	Reponer operando	
MPS	Almacenar, leer y eliminar resultados intermedios en enlaces	Almacenamiento de un resultado de enlace
MRD		Lectura de un resultado de enlace almacenado
MPP		Lectura y eliminación de un resultado de enlace almacenado
PLS	Generar un impulso	Aplicación de un operando* durante un ciclo de programa con flanco ascendente de la condición de entrada
PLF		Aplicación de un operando* durante un ciclo de programa con flanco descendente de la condición de entrada
MC	Control maestro	Activar procesamiento de partes de programa
MCR	Reposición de control maestro	

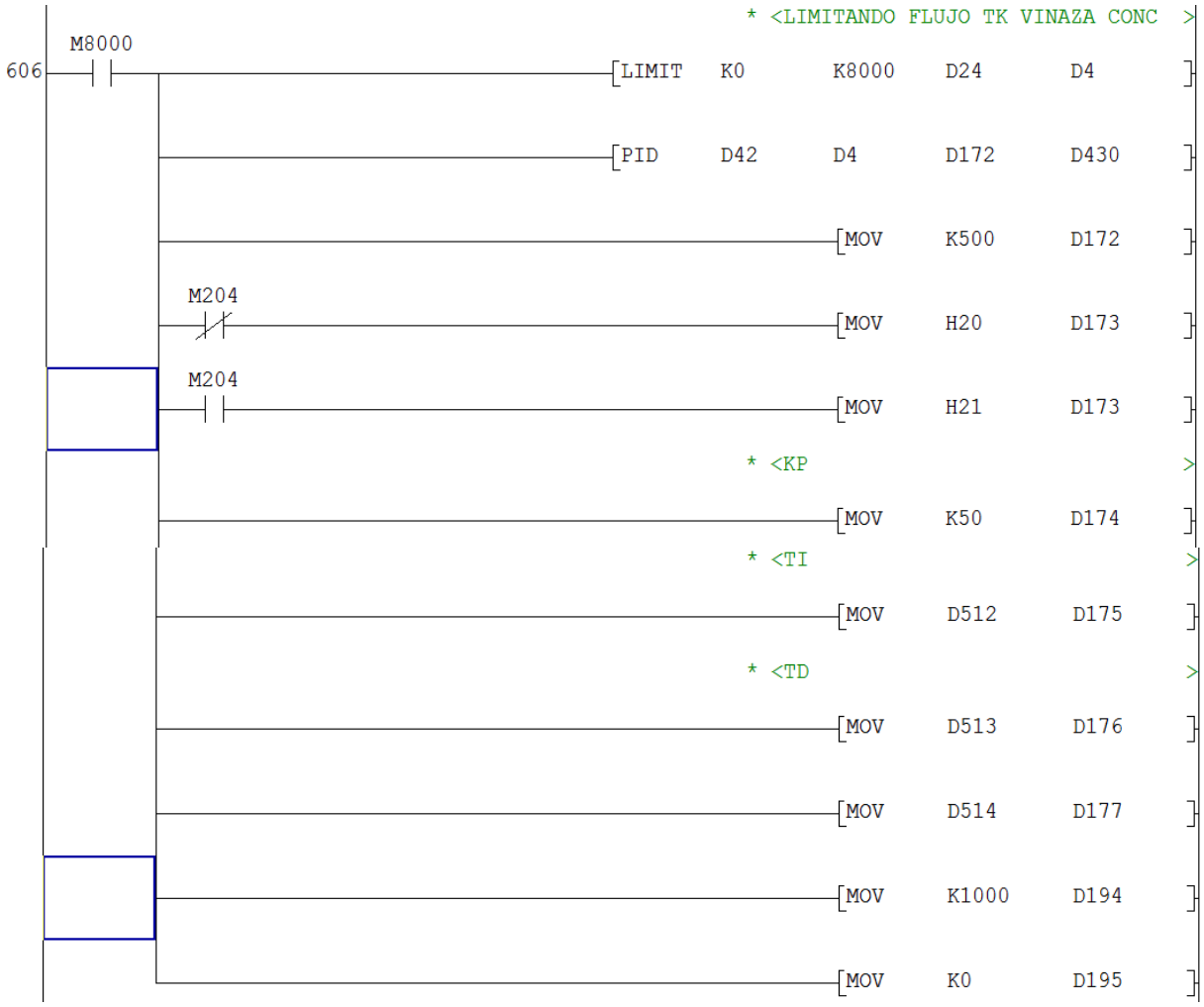
Anexo 8. Programación del PLC FX3U con el software GX Developer-FX.

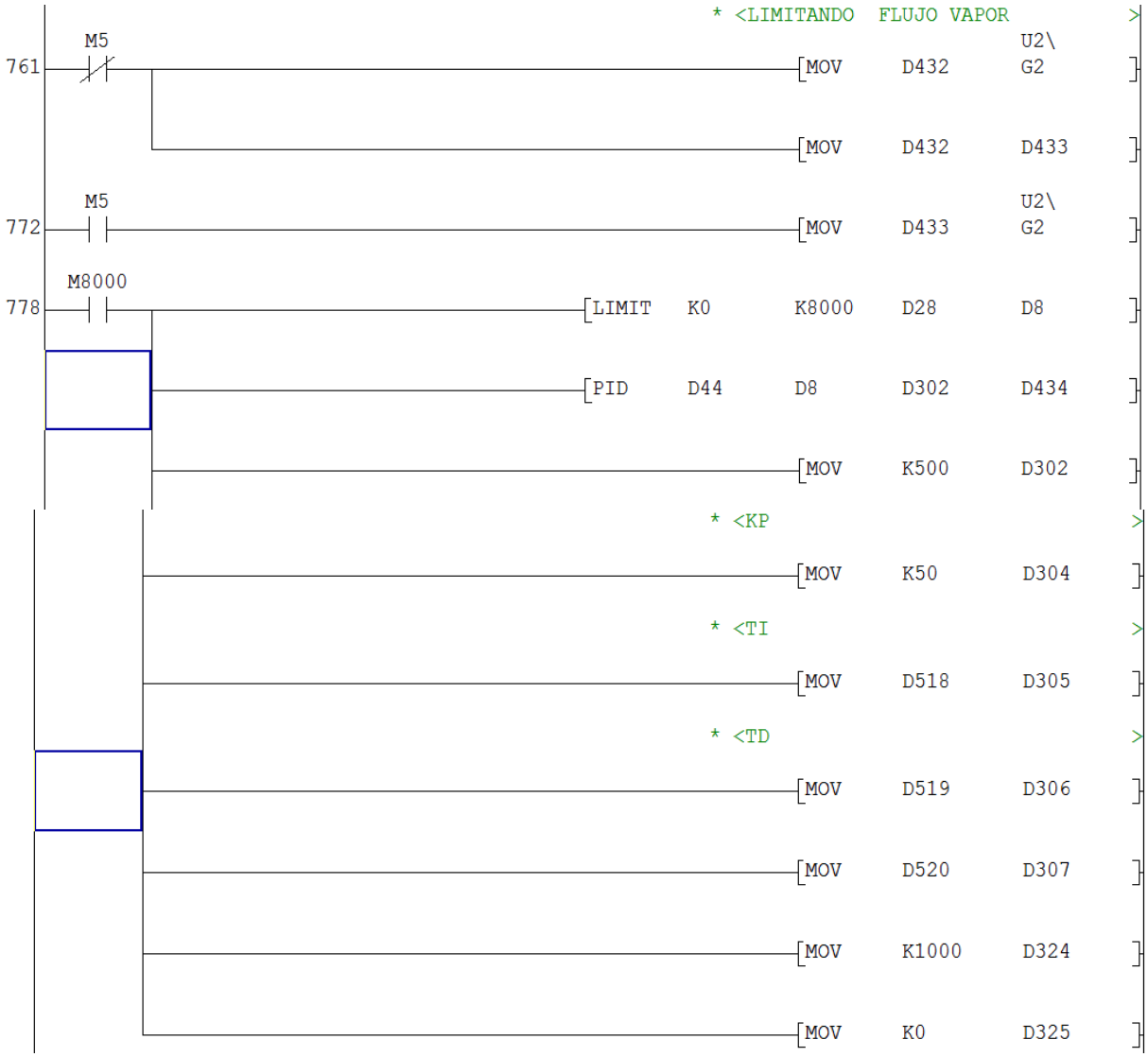
Configuración de la comunicación PC- Autómata

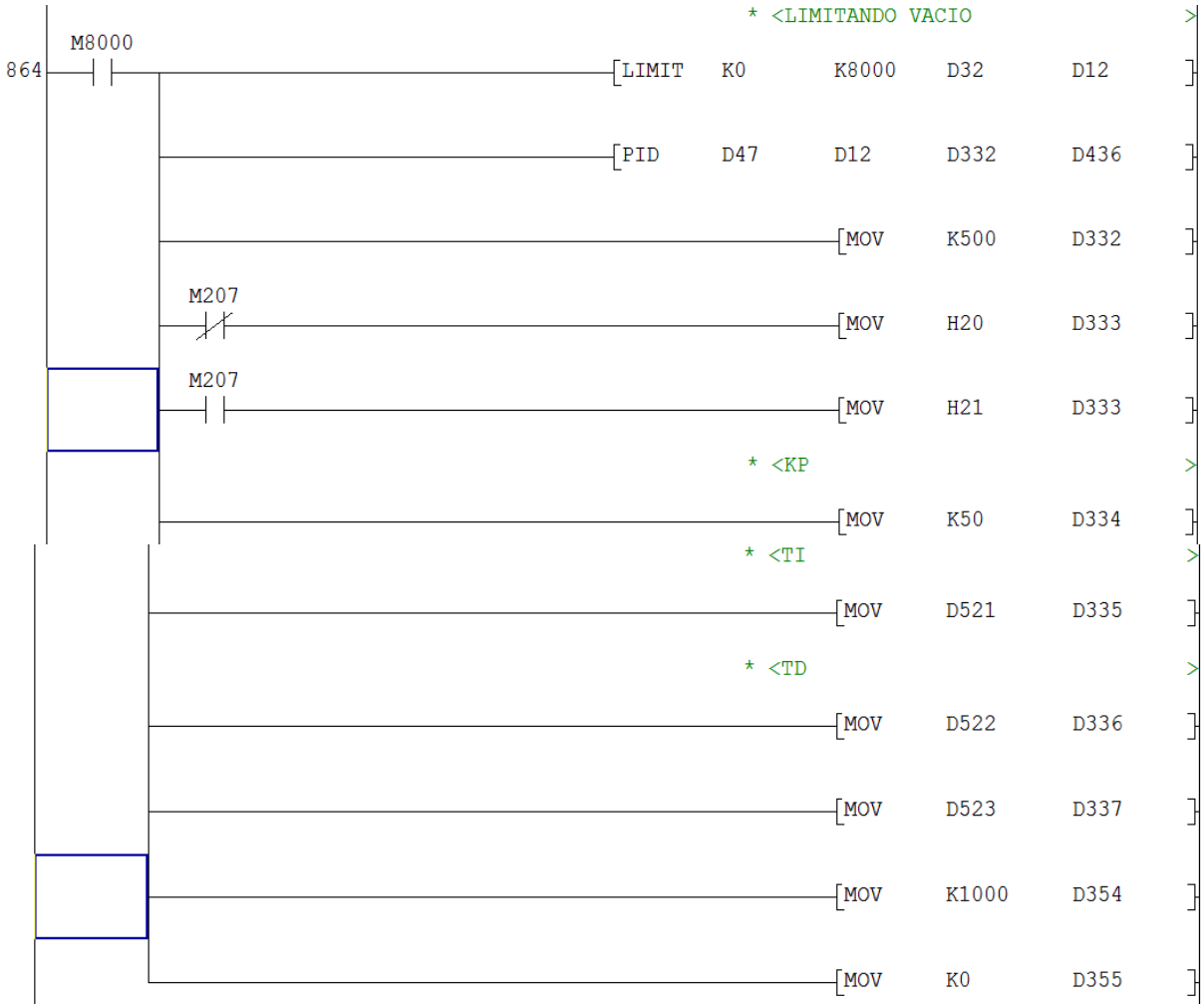


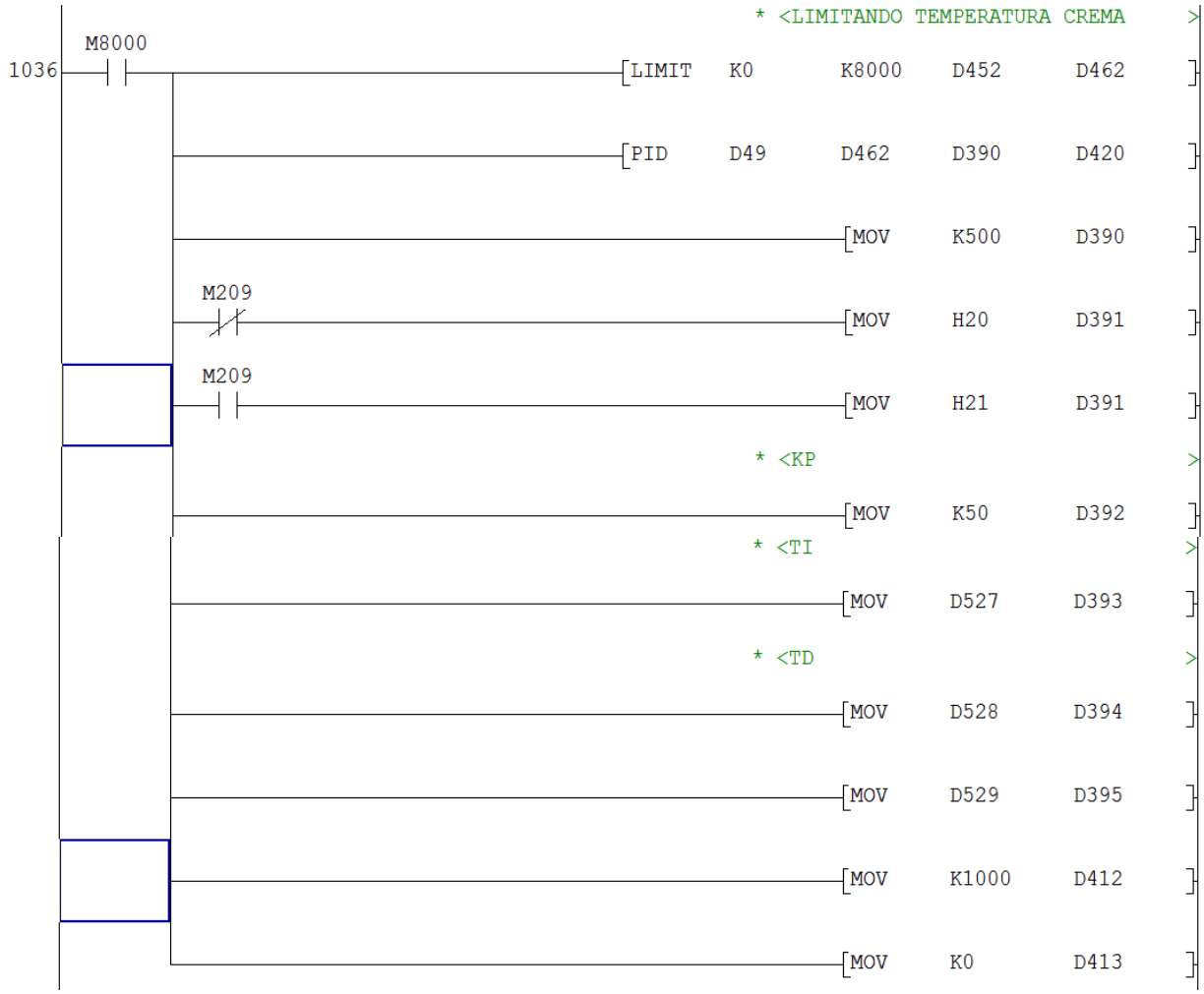
Configuración del lazo de control PID del nivel en los evaporadores y flujo de entrada a los condensadores.

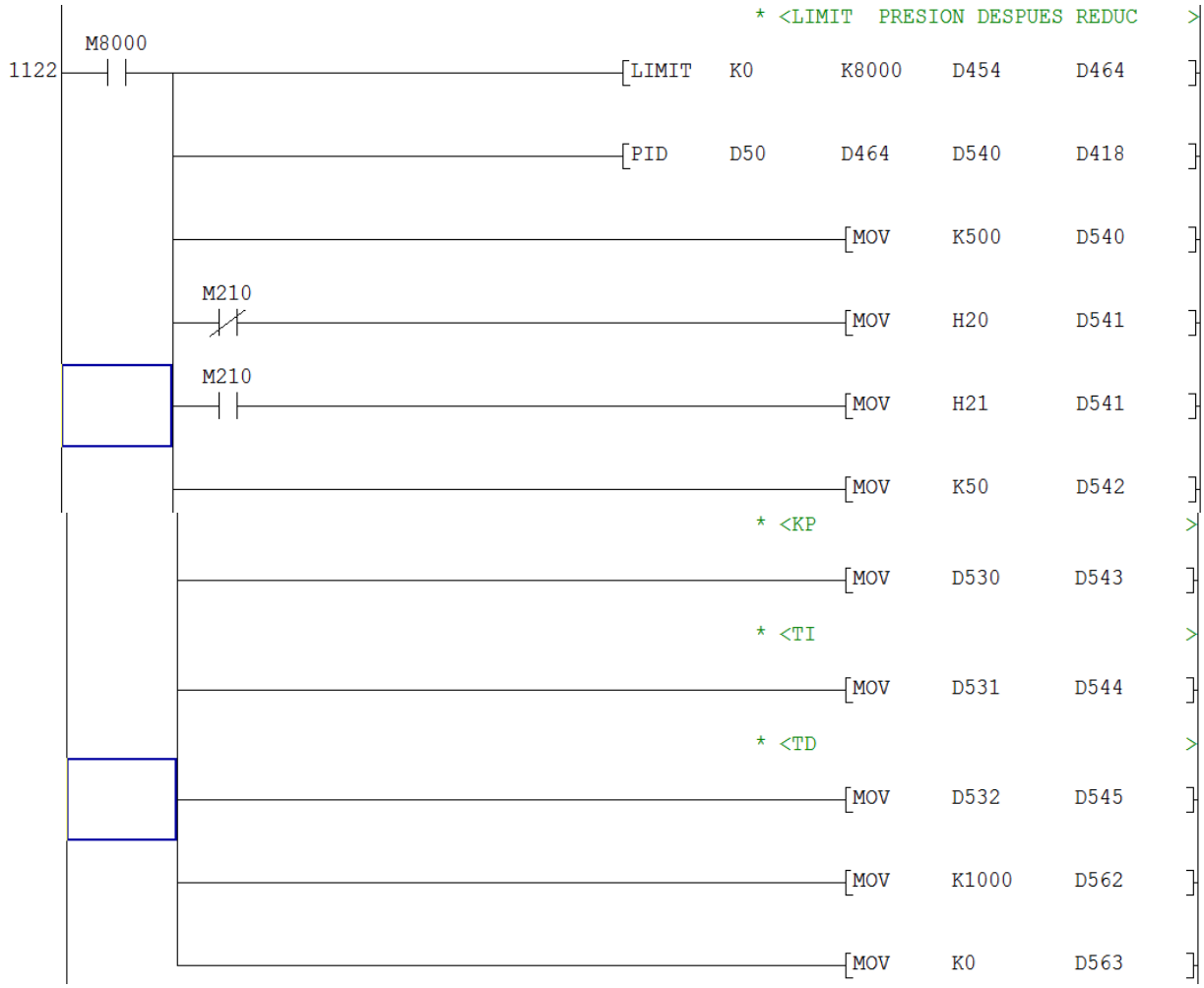



* <LIMITANDO FLUJO TK VINAZA CONC >
M8000
606
LIMIT K0 K8000 D24 D4
PID D42 D4 D172 D430
MOV K500 D172
M204
MOV H20 D173
M204
MOV H21 D173
* <KP >
MOV K50 D174
* <TI >
MOV D512 D175
* <TD >
MOV D513 D176
MOV D514 D177
MOV K1000 D194
MOV K0 D195

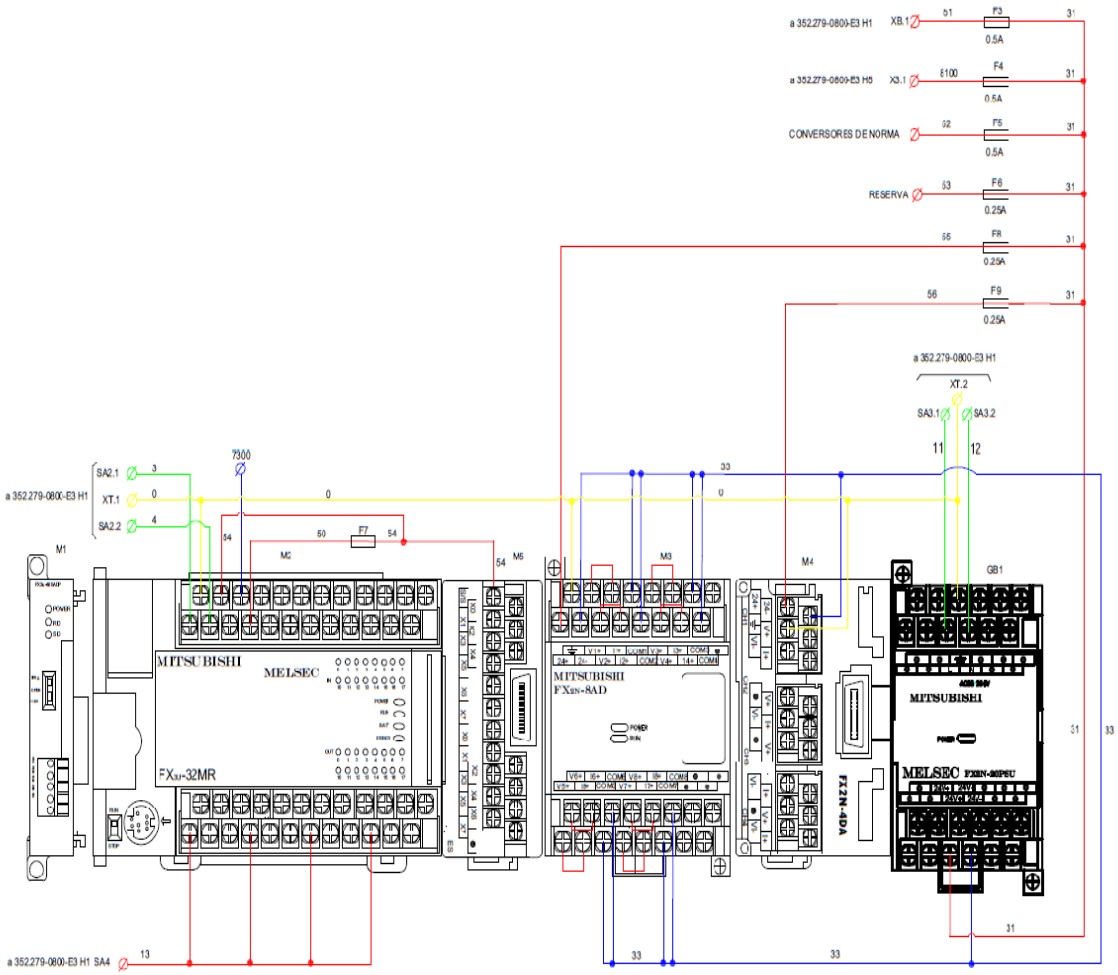

* <LIMITANDO FLUJO VAPOR >
M5
761
MOV D432 U2\G2
MOV D432 D433
M5
772
MOV D433 U2\G2
M8000
778
LIMIT K0 K8000 D28 D8
PID D44 D8 D302 D434
MOV K500 D302
* <KP >
MOV K50 D304
* <TI >
MOV D518 D305
* <TD >
MOV D519 D306
MOV D520 D307
MOV K1000 D324
MOV K0 D325


* <LIMITANDO VACIO >
M8000
864
LIMIT K0 K8000 D32 D12
PID D47 D12 D332 D436
MOV K500 D332
M207
MOV H20 D333
M207
MOV H21 D333
* <KP >
MOV K50 D334
* <TI >
MOV D521 D335
* <TD >
MOV D522 D336
MOV D523 D337
MOV K1000 D354
MOV K0 D355


* <LIMITANDO TEMPERATURA CREMA >
M8000
1036
LIMIT K0 K8000 D452 D462
PID D49 D462 D390 D420
MOV K500 D390
M209
MOV H20 D391
M209
MOV H21 D391
* <KP >
MOV K50 D392
* <TI >
MOV D527 D393
* <TD >
MOV D528 D394
MOV D529 D395
MOV K1000 D412
MOV K0 D413


* <LIMIT PRESION DESPUES REDUC >
M8000
1122
LIMIT K0 K8000 D454 D464
PID D50 D464 D540 D418
MOV K500 D540
M210
MOV H20 D541
M210
MOV H21 D541
MOV K50 D542
* <KP >
MOV D530 D543
* <TI >
MOV D531 D544
* <TD >
MOV D532 D545
MOV K1000 D562
MOV K0 D563

Anexo.9 Esquema alimentación eléctrica del autómata en el panel PM8.



NOTAS:

F-3 FUSIBLE DE LA TERMINAL GRAFICA.

F-4 FUSIBLE DE LOS TRANSMISORES DE NIVEL.

F-5 FUSIBLE DE CONVERSOR DE NORMA.

F-6 FUSIBLE RESERVA

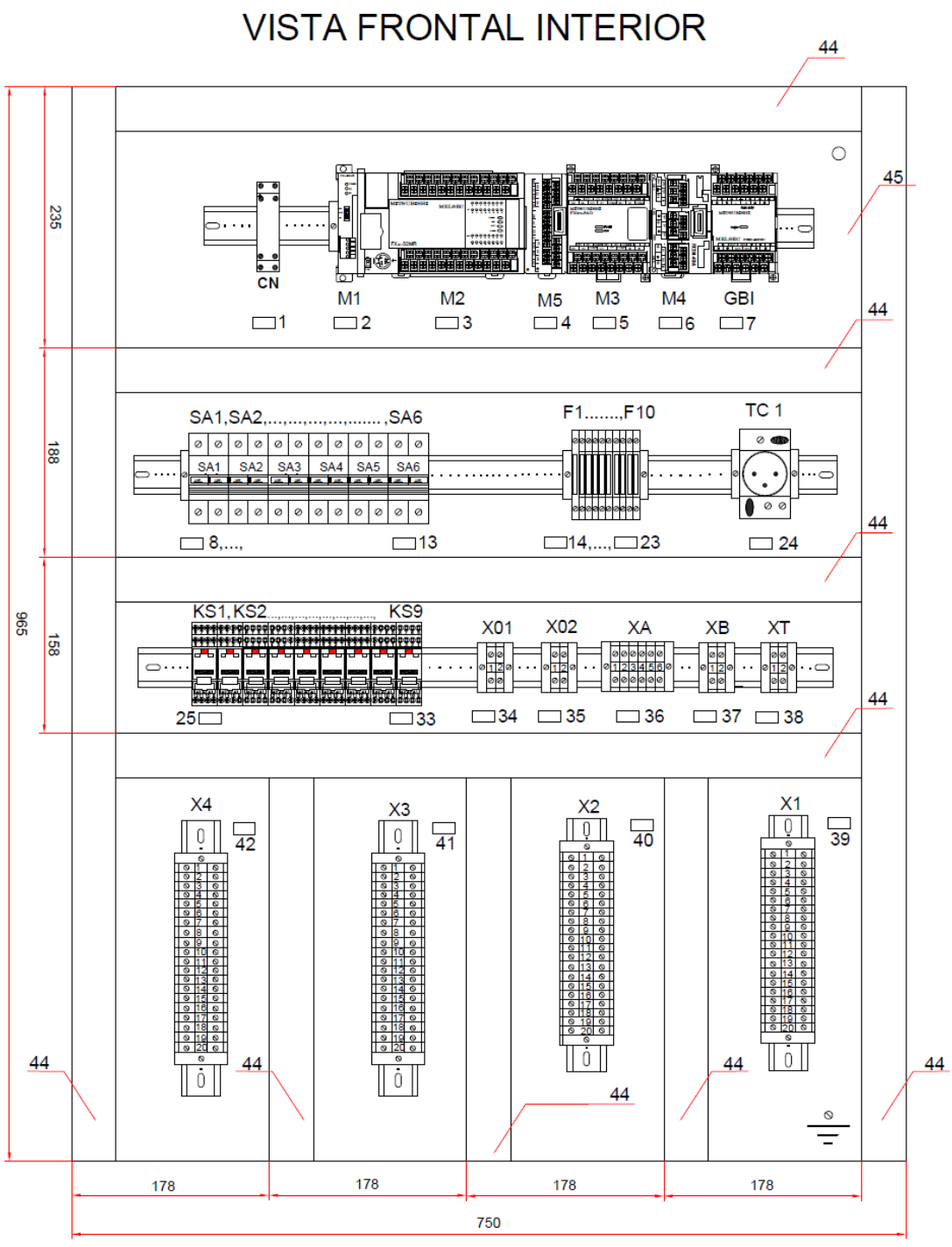
F-7 FUSIBLE DE ENTRADAS DIGITALES

F-8 FUSIBLE DEL MODULO DE ENTRADAS ANALOGICAS (M3)

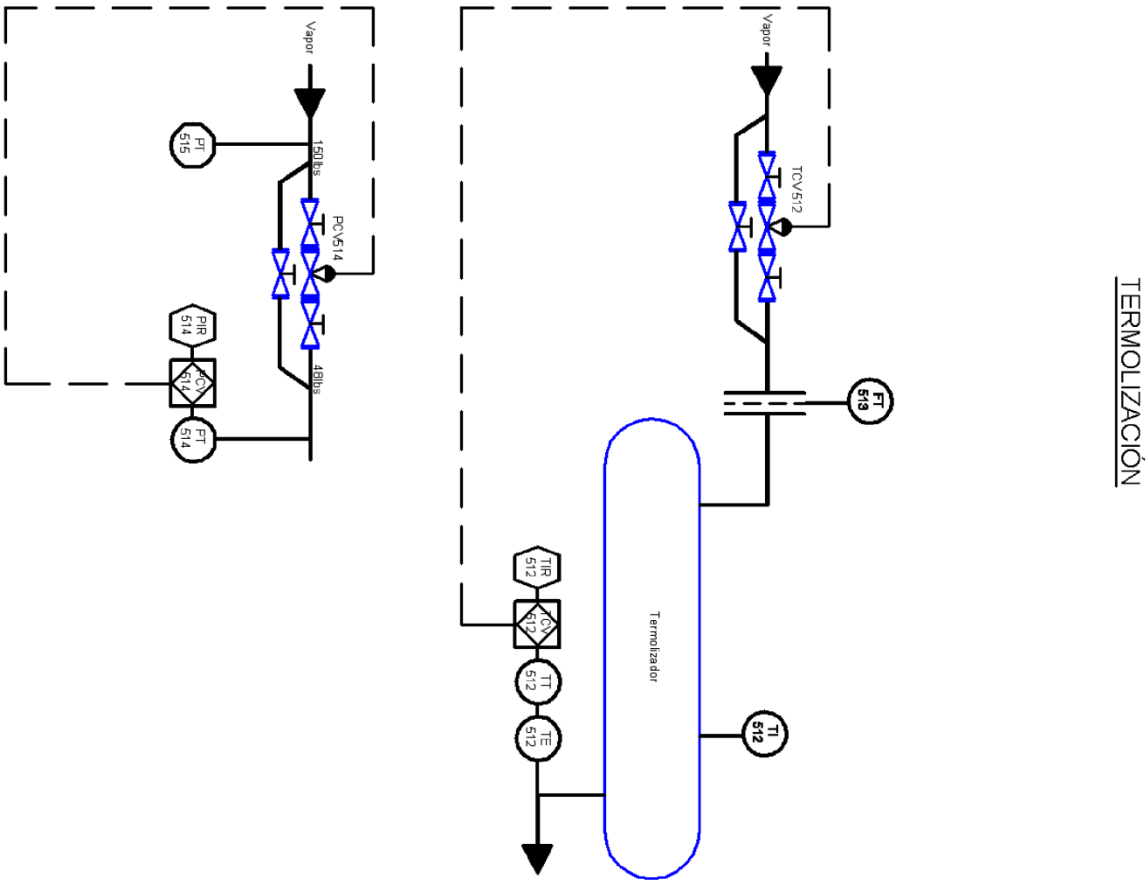
F-9 FUSIBLE DEL MODULO SALIDA ANALOGICAS (M4)

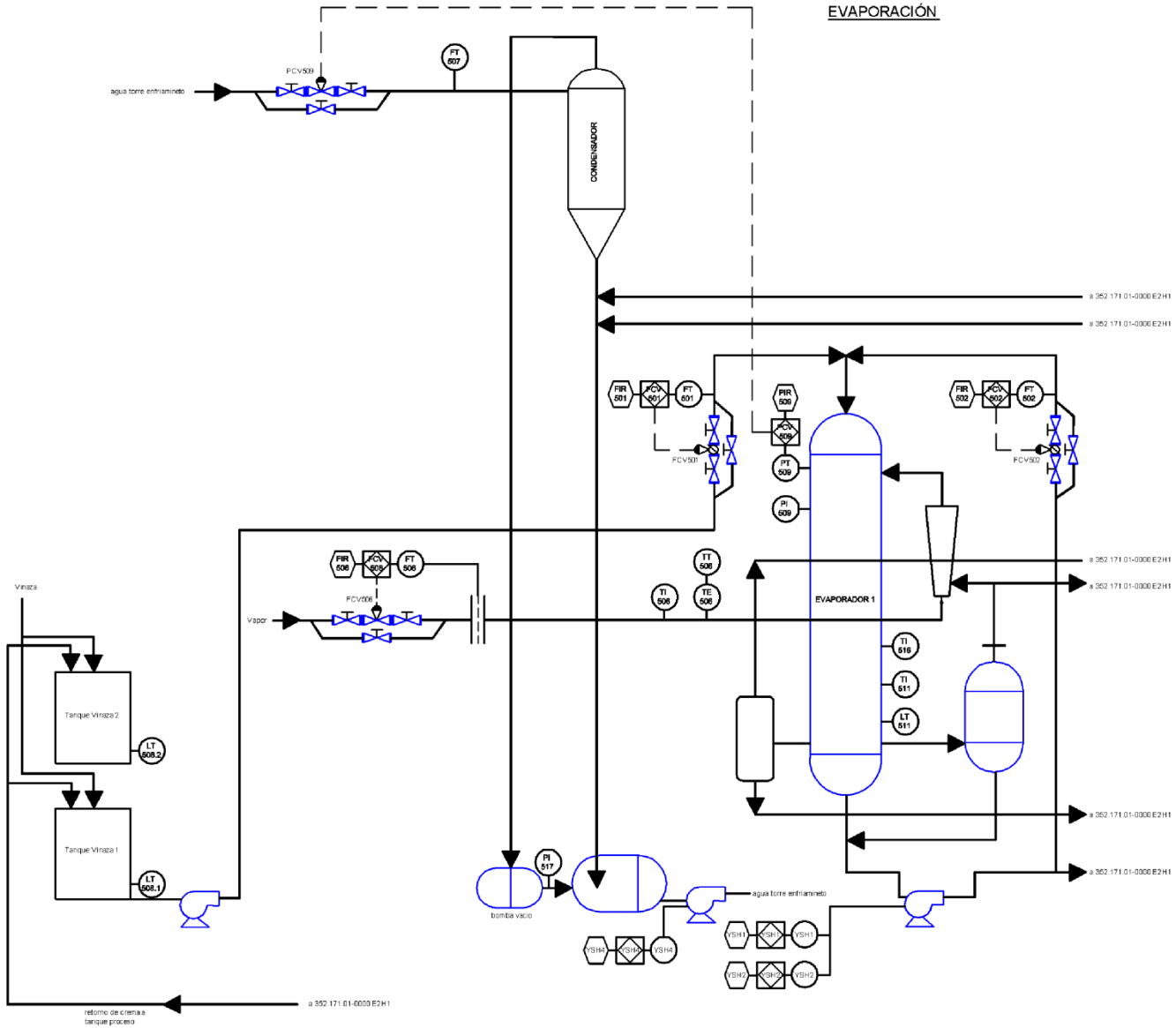
LOS BORNES COM1, COM2,..... COM (N) SE CONECTAN ENTRE S/Y AL BORNE -24 V DE LA FUENTE.

Anexo.10 Plano de Electromontaje.

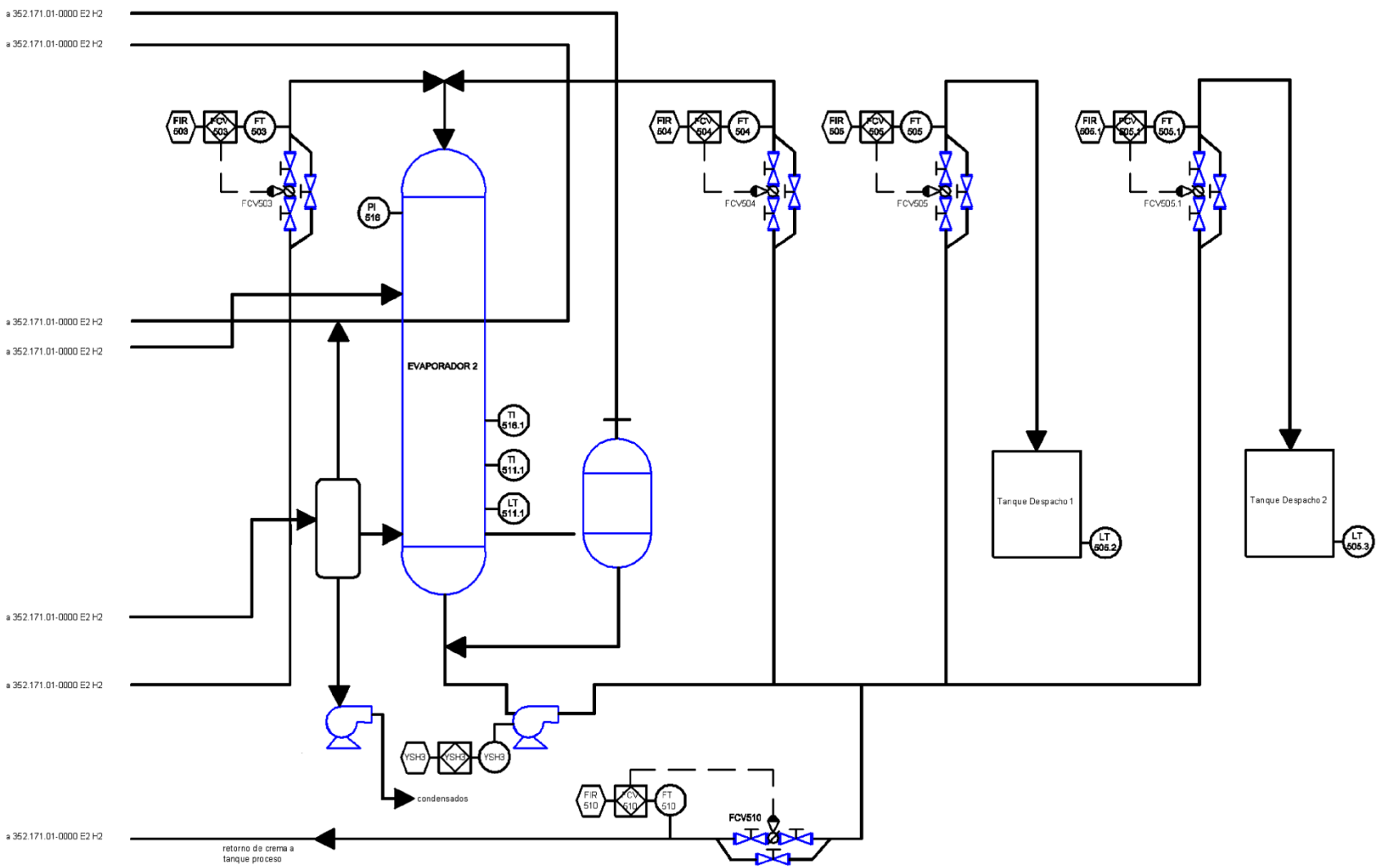


Anexo.11 Esquema funcional con la instrumentación propuesta en norma ISA. Entradas/Salidas Analógicas.




EVAPORACIÓN
agua torre enfriamiento
FCV509
FT 507
CONDENSADOR
a 352.171.01-0000 E2H1
a 352.171.01-0000 E2H1
FIR 501
FCV 501
FT 501
FCV501
FIR 502
FCV 502
FT 502
FCV502
FIR 505
FCV 505
PT 509
PI 509
FIR 506
FCV 506
FT 506
FCV006
Vapor
TT 508
TI 508
TE 508
EVAPORADOR 1
a 352.171.01-0000 E2H1
a 352.171.01-0000 E2H1
TI 516
TI 511
LT 511
a 352.171.01-0000 E2H1
a 352.171.01-0000 E2H1
Vinaza
Tanque Vinaza 2
LT 508.2
Tanque Vinaza 1
LT 508.1
PI 517
bomba vacio
agua torre enfriamiento
YSH4
YSH3
YSH4
YSH1
YSH
YSH1
YSH2
YSH
YSH2
retorno de crema a tanque proceso
a 352.171.01-0000 E2H1

EVAPORACIÓN



Anexo.12 Instrumentación propuesta en el campo.

Transmisor Smart de Presión

Transmisor Smart de presión para nivel

Termómetro de Resistecia PT 100

Válvula de bola

Válvula de mariposa

Válvula reguladora de mariposa

Válvula de guillotina

Válvula obturador

Indicador de nivel

Manómetro Indicador

Vacuómetro

Termómetro bimetálico

Presostato

transmisor ultrasonico

flujómetro electromagnético