



AUTOMATION OF THE MACHINES AND THE TECHNOLOGICAL PROCESSES
AUTOMATIZACIÓN DE LAS MÁQUINAS Y DE LOS PROCESOS TECNOLÓGICOS



ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Design of an Automation System for the Silage Plant “Héctor Molina”

Diseño de un sistema de automatización para la planta de alimento ensilado “Héctor Molina”

Ing. Lieter Javier Silva-Díaz¹, M.Sc. Ybrain Hernández-López^{II}, M.Sc. Arelys Vázquez-Peña¹, M.Sc. Osney Gerardo Pérez-Acosta¹, Ing. Duniel Pérez-Torres¹

¹ Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II} Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Automática y Computación, Marianao, La Habana, Cuba.

ABSTRACT. The work was carried out at “Héctor Molina” plant, located in San Nicolás de Bari, Mayabeque province, Cuba, with the aim of designing an automation system for the control of the silage process. It uses a technology developed at the Instituto de Ciencia Animal (ICA), which uses by-products and waste from sugar industry and agriculture surplus, for animal feeding, and obtained the Cuban patent 2013-0122. At present, this plant lacks automatic control means, which implies that the dosing of raw materials is done with little precision and there is no adequate monitoring of the pH of silage. A proposal for instrumentation was developed, a programmable logic controller (PLC) was configured and programmed to perform the sequential logic control of the process and a supervisory control and data acquisition system (SCADA) was designed, to achieve monitoring and elementary actions of supervision and control.

Keywords: control, monitoring, programmable logic controller (PLC), supervisory control and data acquisition system (SCADA).

RESUMEN. El trabajo se desarrolló en la planta “Héctor Molina” ubicada en San Nicolás de Bari, provincia Mayabeque, Cuba, con el objetivo de diseñar un sistema de automatización para el control del proceso de ensilado, que usa una tecnología desarrollada en el Instituto de Ciencia Animal (ICA) que aprovecha subproductos y desechos de la industria azucarera y excedentes de la agricultura para la alimentación animal y que obtuvo la patente cubana 2013-0122. En la actualidad esta planta carece de medios de control automático, lo que implica que la dosificación de las materias primas se realiza con poca precisión y no se existe un monitoreo adecuado del pH del ensilado. Se elaboró una propuesta de instrumentación, se configuró y programó el controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés), encargado de realizar el control lógico secuencial del proceso y se diseñó un sistema de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA, por sus siglas en inglés), con fines de monitoreo y acciones elementales de supervisión y control.

Palabras clave: control, monitoreo, controlador lógico programable (PLC), sistema de Control Supervisorio y Adquisición de Datos (SCADA).

INTRODUCTION

Automation is the use of control systems and information technologies to reduce the need for human labor in the production of goods and services. Its main advantages are: to replace human operators in hazardous environments, monotonous tasks, activities that involve great physical exhaustion or that go beyond human capacities of size, strength, resistance or speed, and economic improvement, either of the companies or society as a whole (Muqet, 2015).

INTRODUCCIÓN

La automatización es el uso de los sistemas de control y las tecnologías de la información para reducir la necesidad del trabajo humano en la producción de bienes y servicios. Sus principales ventajas son: reemplazar a los operadores humanos en ambientes peligrosos, tareas monótonas, actividades que implican gran desgaste físico o que van más allá de las capacidades humanas de tamaño, fuerza, resistencia o velocidad, y el mejoramiento económico, ya sea de las empresas o de la sociedad en su conjunto (Muqet, 2015).

Automation and process control are widely used in industry worldwide to achieve an increase in process efficiency and product quality, and with this, the competitiveness of companies. This, in turn, allowed accelerating the development of the automation technology and also shortening the time of acquisition of these by the companies to stay in the competition, creating then a cycle characterized by the development of new technologies and their application by the companies. The trend is that when a new factory or industrial plant is created, it is accompanied by the technology for its control and supervision. In Cuba, due to the situation that occurred in 1990, there was a process of deterioration of the industry (Pérez *et al.*, 2016) and while there was a growing tendency in the world to use automation as a way of increasing competitiveness, the country lagged behind in its application because of its high initial cost. In spite of the undeniable advantages that automation introduces in the development of the industry, industrial plants without automatic control are still conceived in Cuba.

A new technology was developed at the Institute of Animal Science (ICA), which uses by-products and waste from sugar industry and surplus from agriculture for animal feeding and it was granted patent status through resolution 2013-0122 (Lezcano *et al.*, 2016). In order to industrially produce animal food using this technology, an industrial plant with a capacity of 45 t / 8 h was built at Héctor Molina plant in San Nicolás de Bari Municipality, Mayabeque Province. Subsequently, the Ministry of Economy and Planning (MEP) authorized the construction of 10 new industrial plants (Lezcano *et al.*, 2017).

These plants were designed to obtain the product on an industrial scale, but without the automation of this process. This work was carried out in the ensiled food plant "Héctor Molina". In this, the dosage is made by manually measuring, with a ruler, the level of the mixture in the mixing tank, while the raw materials are poured, which causes inaccuracies in the process, affecting the quality of the silage and the efficiency in production. To solve this problem we propose the implementation of an automation system based on PLC and SCADA for the control of the ensilage process in the plant. In order to achieve this, it is necessary to make the necessary instrumentation proposal, including sensors, controller and actuators, design an application based on programmable logic controllers for the sequential logic control of the process and design a SCADA application for the control and monitoring of the plant.

METHODS

A study of the process was carried out which took into account the physical properties of the raw materials and the product, the physical structure of the plant and the spatial location of the equipment and tanks, besides the productive flow and the logical sequence of implementation of its stages.

La automatización y el control de procesos se utilizan ampliamente en la industria a nivel mundial por lograr un aumento en la eficiencia del proceso y la calidad del producto, y con esto, la competitividad de las empresas. Esto, a su vez, permitió acelerar el desarrollo de la tecnología de automatización y además acortar el tiempo de adquisición de estas por las empresas para mantenerse en la competencia, creándose entonces un ciclo caracterizado por el desarrollo de nuevas tecnologías y su aplicación por parte de las empresas. La tendencia es que cuando se crea una nueva fábrica o planta industrial, esta es acompañada de la tecnología para su control y supervisión. En Cuba, debido a la coyuntura ocurrida a partir del año 1990, se dio un proceso de deterioro de la industria (Pérez *et al.*, 2016) y mientras a nivel mundial existía una creciente tendencia en la utilización de la automatización como forma de aumentar la competitividad, el país se quedó rezagado en su aplicación por su alto costo inicial. A pesar de las indiscutibles ventajas que introduce la automatización en el desarrollo de la industria, en Cuba aún se conciben plantas industriales sin control automático.

En el Instituto de Ciencia Animal (ICA) se desarrolló una nueva tecnología que aprovecha subproductos y desechos de la industria azucarera y excedentes de la agricultura para la alimentación animal y que recibió la categoría de patente mediante la resolución 2013-0122 (Lezcano *et al.*, 2016). Con el fin de producir industrialmente alimento animal con esta tecnología se construyó una planta industrial con capacidad de 45 t/8 h en el central Héctor Molina, Municipio San Nicolás de Bari, provincia Mayabeque. Posteriormente el Ministerio de Economía y Planificación (MEP) autorizó la construcción de 10 nuevas plantas industriales (Lezcano *et al.*, 2017).

Estas plantas se concibieron para obtener el producto a escala industrial, pero sin la automatización de este proceso. Este trabajo se realizó en la planta de alimento ensilado "Héctor Molina". En esta, la dosificación se realiza midiendo de forma manual, con una regla, el nivel de la mezcla en el tanque de mezclado, mientras se vierten las materias primas, lo que produce imprecisiones en el proceso, afectando la calidad del ensilado y la eficiencia en la producción. Para darle solución a este problema se propone la implementación de un sistema de automatización basado en PLC y SCADA para el control del proceso de ensilado en la planta. Con el objetivo de lograr esto es necesario realizar la propuesta de la instrumentación necesaria, incluyendo sensores, controlador y actuadores, diseñar una aplicación basada en autómatas programables para el control lógico secuencial del proceso y diseñar una aplicación SCADA para el control y el monitoreo de la planta.

MÉTODOS

Se realizó un estudio del proceso en el que se tuvo en cuenta las propiedades físicas de las materias primas y del producto, la estructura física de la planta y la ubicación espacial de los equipos y tanques, además el flujo productivo y la secuencia lógica de implementación de sus etapas.

Generalidades del proceso de ensilaje en la planta

El proceso de ensilaje en la planta comienza con la dosificación y mezcla de las materias primas, que son subproductos y desechos

General Information about the Plant Silage Process

The silage process in the plant begins with the dosing and mixing of raw materials, which are by-products and waste from sugar industry (sugarcane, bee honey, *Saccharomyces cerevisiae* thermalized yeast and distillery vinasse) and surplus agriculture (viands, roots and tubers) (Lezcano *et al.*, 2015). The dosage is made according to the selected formula and the mixing is carried out for a certain time according to the formula that is applied. Then the mixture is sent to the silos to complete the silage process. In the silos, the pH of the silage is monitored until it stabilizes within the range established for subsequent laboratory analysis: percentage of dry matter (DM), ash, crude fiber (FB), crude protein (PB) and ° Brix, in order to check their chemical composition and declare the food suitable for animal consumption (García-Hernández *et al.*, 2015).

Functional Safety

In any industrial plant, the processes or the machines that are operated suppose a certain level of threat for the integrity of the operators or of the environment. This requires the adoption of safety measures in order to reduce risks efficiently.

Functional safety is an essential issue for processes that take a high risk to humans and the environment. An acceptable level of risk is obtained with actions in the process itself and with the use of special safety systems that take the process to a safe mode when a failure or abnormal operation occurs. These security systems are currently based on digital devices. The IEC 61508 standard for the functional safety of safety-related electrical / electronic / programmable-electronic systems specifies the safety requirements for devices that are involved in safety functions (Rocca *et al.*, 2016). It defines an integrated safety system (SIS) as a complete system composed of field devices, sensors, controllers and actuators, which in case of detecting abnormal operating conditions takes the plant to a safe state (Wang and Rausand, 2014). The maximum allowed failure probabilities for the components forming a SIS are defined as SIL (Safety Integrity Level) levels. In this way, the SIL or safety level indicates the likelihood that the safety system will correctly perform its protection function. IEC defines four levels: SIL 1, SIL 2, SIL 3 and SIL 4. SIL 1 is the lowest level of safety.

IEC 61508 describes quantitative methods for performing this analysis and calculating the level of risk of an installation. There is also a qualitative way to perform the risk analysis and the allocation of the SIL level. This qualitative mode is shown in figure 1 and is based on evaluating, for each of the hazards presented in the installation, the degree of damage that can be produced, the duration of the exposure to risk, the possibilities to eliminate it and the frequency / probability with which they are presented. From the level of risk, the necessary SIL is assigned for the safety system of the installation. For the plant under study, according to the qualitative method, it was determined that the SIL level required for the safety system of the installation is SIL 1 (lower level of safety). Therefore, the instruments selected for automation have to comply with the level of safety SIL 1.

de la industria azucarera (miel B de caña de azúcar, crema de levadura *Saccharomyces Cerevisiae* termolizada y vinaza de destilería) y excedentes de la agricultura (viandas, raíces y tubérculos) (Lezcano *et al.*, 2015). La dosificación se realiza según la fórmula seleccionada y el mezclado se realiza durante un tiempo determinado de acuerdo a la fórmula que se aplique. Luego se procede a enviar la mezcla a los silos para completar el proceso de ensilado. En los silos se realiza el monitoreo del pH del ensilado hasta que se establezca dentro del rango establecido para posteriormente realizar los análisis de laboratorio: porcentaje de Materia Seca (MS), cenizas, Fibra Bruta (FB), Proteína Bruta (PB) y °Brix; con el fin de chequear su composición química y declarar el alimento apto para el consumo animal (García-Hernández *et al.*, 2015).

Seguridad funcional

En toda planta industrial, los procesos o las máquinas que se operan suponen un cierto nivel de amenaza para la integridad de los operadores o del medioambiente. Esto obliga a adoptar medidas de seguridad con el fin de reducir eficientemente los riesgos.

La seguridad funcional es un tema esencial para procesos que presentan alto riesgo para los seres humanos y el medio ambiente. Un nivel aceptable de riesgo es obtenido con acciones en el proceso mismo y con el uso de sistemas de seguridad especial que llevan al proceso a un modo seguro cuando ocurre una falla o una operación anormal. Estos sistemas de seguridad actualmente son basados en dispositivos digitales. La norma IEC 61508 para la seguridad funcional de sistemas eléctricos / electrónicos / electrónico programables relacionados con la seguridad, especifica los requerimientos de seguridad para los dispositivos que están involucrados en las funciones de seguridad (Rocca *et al.*, 2016). Esta define un sistema integrado de seguridad (SIS) como un sistema completo compuesto por dispositivos de campo, sensores, controladores y actuadores, que en caso de detectar condiciones anormales de operación, lleva la planta o instalación a un estado seguro (Wang y Rausand, 2014). Las probabilidades máximas de fallo permitidas para los componentes que forman un SIS se definen como niveles SIL (Safety Integrity Level). De este modo, el SIL o nivel de seguridad indica la probabilidad de que el sistema de seguridad cumpla correctamente su función de protección. IEC define cuatro niveles: SIL 1, SIL 2, SIL 3 y SIL 4, siendo SIL 1 el menor nivel de seguridad.

La norma IEC 61508 describe métodos cuantitativos para realizar este análisis y calcular el nivel de riesgo de una instalación. Existe, además, un modo cualitativo para realizar el análisis de riesgos y la asignación del nivel SIL. Este modo cualitativo se muestra en la figura 1 y se basa en evaluar para cada uno de los peligros que se presenten en la instalación, cuál es el grado de daños que se pueden llegar a producir, la duración de la exposición al riesgo, las posibilidades de eliminarlo y la frecuencia/probabilidad con la que se presentan. A partir del nivel de riesgo se asigna el SIL necesario para el sistema de seguridad de la instalación. Para la planta objeto de estudio, según el método cualitativo, se determinó que el nivel SIL necesario para el sistema de seguridad de la instalación es SIL 1 (menor nivel de seguridad), por lo tanto los instrumentos que se seleccionen para la automatización tienen que cumplir con el nivel de seguridad SIL 1. Además se propone el empleo

In addition, it is proposed to use emergency zetas, located in strategic areas, with the purpose of stopping the process in case of danger to people or the integrity of the plant.

de zetas de emergencia, ubicadas en zonas estratégicas, con la finalidad de detener el proceso en caso de peligro para personas o la integridad de la planta.

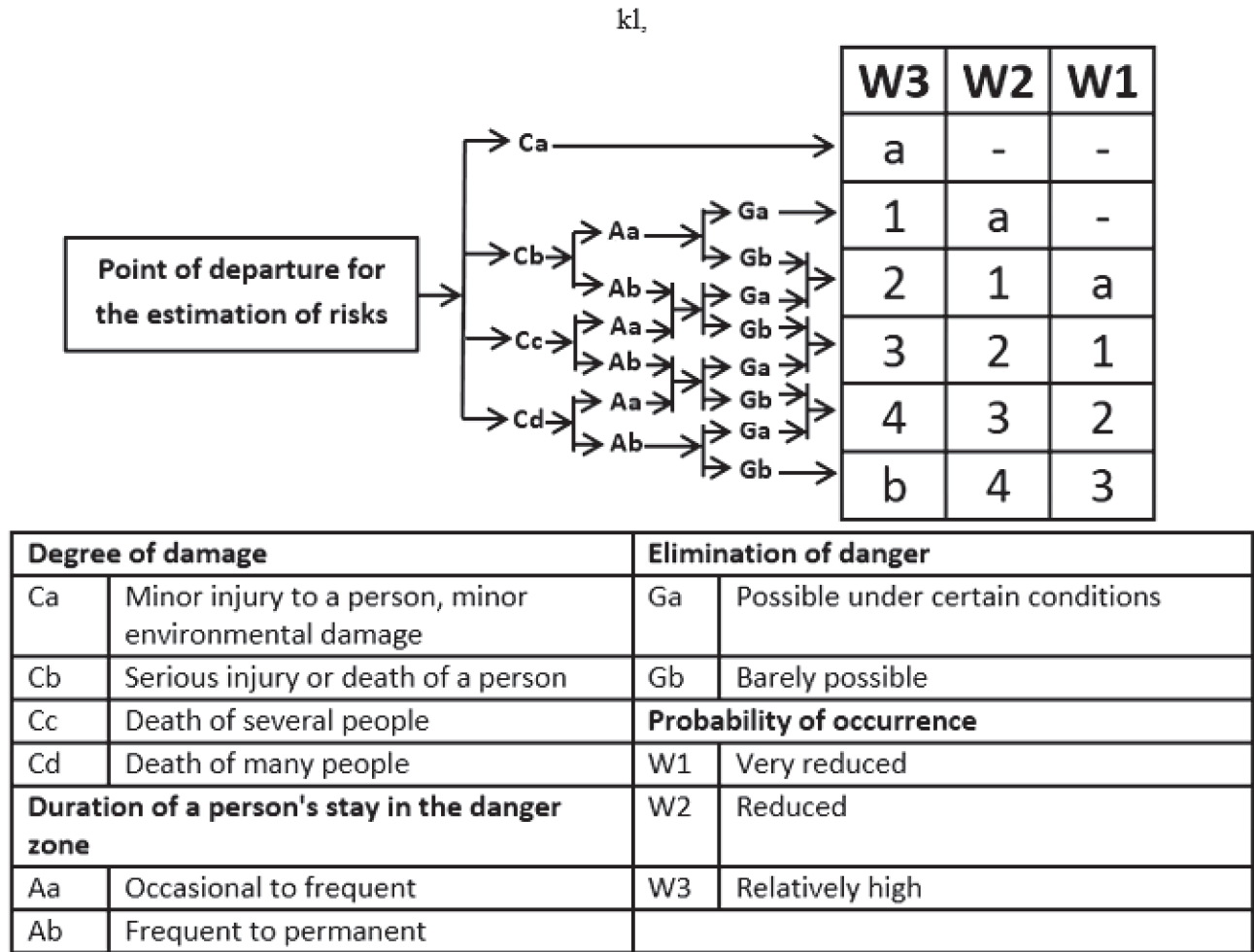


FIGURE 1. Determination of SIL According to the Qualitative Method
 FIGURA 1. Determinación del SIL según el método cualitativo.

Instrumentation

The instrumentation plays a fundamental role in the control systems; hence the quality of the instrument is one of the fundamental elements to achieve efficient process control (Creus-Solé, 2011; Olsson *et al.*, 2014). Because the control currently in the plant is manual, it is necessary to propose all technical means of automation (sensors, actuators and controller). Figure 2 shows the necessary instrumentation in the plant to implement the automation solution.

To carry out the monitoring of the silage pH, the use of transmitter sensors of this variable in the silos is proposed. In order to know the volume of the substances in the raw material tanks, in the silos and in the dispatch tank, in addition to being able to perform the dosing with greater accuracy in the mixing tank, it is necessary to use continuous level sensors. In addition, to detect minimum and maximum levels of food in the tablet mat, discrete level sensors are proposed

Instrumentación

La instrumentación juega un papel fundamental en los sistemas de control, de ahí que la calidad de la misma sea uno de los elementos fundamentales para lograr un control eficiente del proceso (Creus-Solé, 2011; Olsson *et al.*, 2014). Debido a que el control actualmente en la planta es manual, es necesario proponer todos los medios técnicos de automatización (sensores, actuadores y controlador). En la figura 2 se muestra la instrumentación necesaria en la planta para implementar la solución de automatización.

Para realizar el monitoreo del pH del ensilado se propone el uso de sensores transmisores de esta variable en los silos. Con el objetivo de conocer el volumen de las sustancias en los tanques de materias primas, en los silos y en el tanque de despacho, además de poder realizar la dosificación con mayor exactitud en el tanque mezclador, es necesario el uso de sensores de nivel continuo; además para detectar nivel mínimo y máximo de la vianda en la torva con estera se propone la aplicación de sensores de nivel discretos.

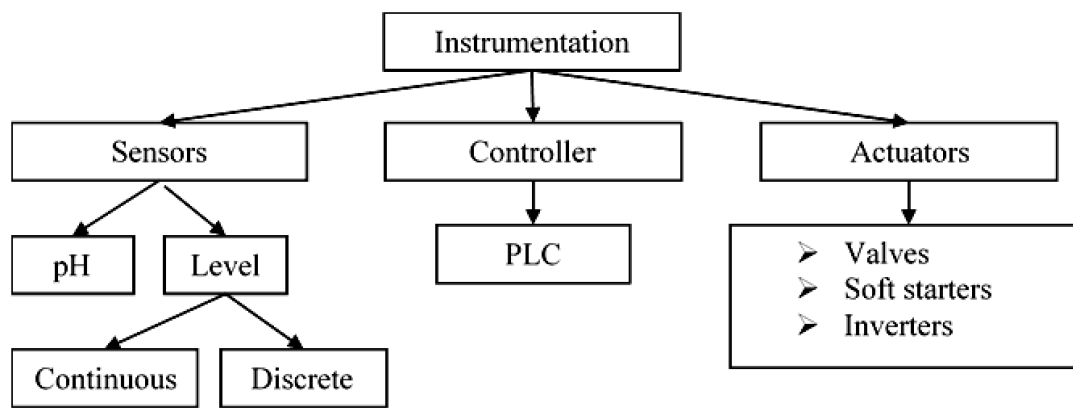


FIGURE 2. Necessary Instrumentation
 FIGURA 2. Instrumentación necesaria.

As the need for automation has increased significantly, a flexible, robust and economical control system needs to be programmable simply (Alphonsus and Abdullah, 2016). These requirements can be met by using programmable logic controllers. In order to automate the process, it is proposed the implementation of a PLC that is in charge of the sequential logical control of the start-up, shutdown, working and emergency conditions, as well as detecting plant faults, acquiring information from sensors and to provide it for the monitoring system, to implement the formula and to execute an algorithm to detect when silage is ready according to the pH behavior.

Programmable logic controllers are computer-based, solid-state; single-processor devices that simulate the behavior of a ladder electrical diagram, capable of controlling many types of industrial equipment and complete automated systems. PLCs are usually a major part of automated systems in the industry. They are very efficient and reliable in applications that involve sequential control and the synchronization of processes and auxiliary elements in manufacturing, in chemical and process industries. In addition to the technological advantages of using these drivers, prices in advanced and complex control systems also decrease. Currently, most of the control elements used to execute system logic were replaced by PLCs (Alphonsus and Abdullah, 2016).

Lashin (2014) states that the PLC is a special form of a microprocessor-based controller, which includes a programmable memory for storing logical, sequential, timed, counting and arithmetic instructions and functions. In order to control machines and processes, the PLCs are designed to be operated by engineers even with limited knowledge about computers and computer languages. PLCs can be considered as special computers for industrial use.

Currently, there are many manufacturers of programmable logic controllers and each has a wide variety of products, so it is very difficult to know the characteristics of all available PLCs. What is commonly done is to know in general the products of some of the most recognized firms and specialize in one of them. We have experience in working with products from the manufacturer SIEMENS, so we selected this one for the project. The SIMATIC S7

Como la necesidad de automatización se ha incrementado significativamente, un sistema de control necesita ser programable de forma sencilla, además, flexible, robusto y económico (Alphonsus y Abdullah, 2016). Estos requerimientos pueden ser cumplidos al utilizar los controladores lógicos programables. Para automatizar el proceso se propone la implementación de un PLC que se encargue del control lógico secuencial de la puesta en marcha, parada, condiciones de trabajo y de emergencia, así como de detectar fallos en la planta, adquirir la información proveniente de los sensores y proporcionarla para el sistema de monitoreo, de implementar la fórmula y de ejecutar un algoritmo para detectar cuándo se encuentra listo el ensilado según el comportamiento del pH.

Los controladores lógicos programables son dispositivos basados en computadoras, de estado sólido, de procesador simple, que simulan el comportamiento de un diagrama eléctrico 'ladder', capaz de controlar muchos tipos de equipos industriales y sistemas automatizados completos. Los PLCs son usualmente una parte principal de los sistemas automáticos en la industria. Son muy eficientes y confiables en aplicaciones que involucran control secuencial y la sincronización de procesos y elementos auxiliares en la manufactura, en la industria química y de procesos. Además de las ventajas tecnológicas de usar estos controladores, también disminuyen los precios en sistemas de control avanzados y complejos. Actualmente, la mayoría de los elementos de control usados para ejecutar la lógica de los sistemas fueron sustituidos por PLCs (Alphonsus y Abdullah, 2016).

Lashin (2014), plantea que el PLC es una forma especial de un controlador basado en microprocesador, que incluye una memoria programable para almacenar instrucciones y funciones lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas. Con la finalidad de controlar máquinas y procesos, los PLCs son diseñados para ser operados por ingenieros incluso con limitado conocimiento sobre computadoras y lenguajes de computación. Los PLCs pueden ser considerados como computadoras especiales para uso industrial.

En la actualidad existen muchos fabricantes de controladores lógicos programables y cada uno posee gran variedad de productos, así que es muy difícil conocer las características de todos los PLCs disponibles. Lo que comúnmente se hace es conocer de forma general los productos de algunas de las firmas más reconocidas y especializarse en una de ellas. Se cuenta con experiencia en el trabajo con productos del fabricante SIEMENS, por lo que se seleccionó este para el proyecto. De

programmable logic controller family consists of the micro-PLC performance range (S7-200), the low / medium performance range (S7-300), the medium / high performance range (S7-400) and the newer S7-1200 and S7-1500. From this, an S7-300, of medium performance range, was selected to fulfill a suitable performance / price ratio for the application (SIEMENS, 2017).

This satisfies the current needs of the process, being a powerful PLC in terms of processing speed, memory, Inputs/Outputs and communication capacity. In addition, it allows other functions to be assumed in the future, this is of special interest for possible extensions and the possibility of linking this process with other productive processes. Specifically, the CPU 313C-2DP COMPACT is proposed, which includes 16 digital inputs and 16 outputs and an integrated PROFIBUS DP communication port. It has a working memory of 128 KB and execution times of about 0.1 μ s for bit operations and 3 μ s for floating-point arithmetic (SIEMENS, 2014).

Due to the viscosity of the raw materials and the total suspended solids of the mixture and of the silage, together with the pipes of the installation are of large diameter (15.24 cm) and working at low pressures, it is advisable to use Butterfly valves (Creus-Solé, 2011). In order to actuate the valves, the use of pneumatic actuators is proposed as it requires great force to actuate them.

The use of soft starters, specifically the SIRIUS 3RW44, is proposed in order to start and stop the pump and compressor motors properly, because it is capable of handling the powers of the installed motors and is easily integrated into the control system via the field bus PROFIBUS DP (SIEMENS, 2010a). For the adequate control of the electric motors of the tablet mat, the conveyor belt, the blade train, the food mill and the agitator, the use of inverters, specifically the MICROMASTER 440, is used to regulate the speed of the electric motor (SIEMENS, 2006).

All the instruments proposed fulfill with at least SIL 1 safety level, so they meet the functional safety requirements at the plant.

Programming and Configuring the PLC

The software used to carry out the project is STEP 7 (SIEMENS, 2010b). This is the standard software for configuring and programming SIMATIC automation systems. Programming languages integrated in STEP 7 comply with DIN EN 6.1131-3. The software runs under the Windows XP Professional, Windows Server 2003 and Windows 7 Business, Ultimate and Enterprise operating systems, being adapted to its graphical and object oriented operation.

For the design of the control system, the four basic operating sequences were considered, taking into account the possible conditions or states in which the automation system can be found:

1. Sequence for starting (initial conditions).
2. Sequence for working conditions.
3. Sequence for stopping (stopping conditions).
4. Sequence for abnormal conditions.

esta firma se trabaja con la familia de controladores lógicos programables SIMATIC S7 que consta del rango de prestaciones del micro PLC (S7-200), el rango bajo/medio de prestaciones (S7-300), el rango de prestaciones medio/alto (S7-400) y los más nuevos S7-1200 y S7-1500. De esta se seleccionó un S7-300, de rango medio de prestaciones, por cumplir una relación rendimiento/precio adecuada para la aplicación (SIEMENS, 2017).

Este satisface las necesidades actuales del proceso, por ser un PLC potente en cuanto a velocidad de procesamiento, memoria, entradas/salidas y capacidad de comunicación. Además permite en un futuro asumir otras funciones, esto es de especial interés para posibles ampliaciones y la posibilidad de encadenar el este proceso con otros procesos productivos. Específicamente se propone la CPU 313C-2DP COMPACT, que incluye 16 entradas y 16 salidas digitales y un puerto de comunicación PROFIBUS DP integrado. Posee una memoria de trabajo es de 128 KB y tiempos de ejecución de alrededor de 0,1 μ s para operaciones de bits y 3 μ s para aritmética en coma flotante (SIEMENS, 2014).

Debido a la viscosidad de las materias primas y el total de sólidos en suspensión de la mezcla y del ensilado, sumado a que las tuberías de la instalación son de gran diámetro (15,24 cm) y se trabaja a bajas presiones, es recomendable usar válvulas de mariposa (Creus-Solé, 2011). Para accionar las válvulas se propone el uso de actuadores neumáticos ya que se requiere gran fuerza para accionarlas.

Con el fin de realizar el arranque y la parada adecuada de los motores de las bombas y del compresor se propone el uso de arrancadores suaves, específicamente el SIRIUS 3RW44, porque es capaz de manejar las potencias de los motores instalados y se integra fácilmente al sistema de control mediante el bus de campo PROFIBUS DP (SIEMENS, 2010a). Para el control adecuado de los motores de la estera de tabllas, la cinta transportadora, el tren de cuchillas, el molino de viandas y el agitador se propone el empleo de variadores de velocidad, específicamente el MICROMASTER 440, los que permiten regular la velocidad del motor (SIEMENS, 2006).

Todos los instrumentos propuestos cumplen, al menos, con el nivel de seguridad SIL 1, por lo que satisfacen los requisitos de seguridad funcional en la planta.

Programación y configuración del PLC

El software empleado para la realización del proyecto es STEP 7 (SIEMENS, 2010b). Este es el software estándar para configurar y programar los sistemas de automatización SIMATIC. Los lenguajes de programación integrados en STEP 7 cumplen con la norma DIN EN 6.1131-3. El software se ejecuta bajo los sistemas operativos Windows XP Professional, Windows Server 2003 y Windows 7 Business, Ultimate y Enterprise, estando adaptado a su funcionamiento gráfico y orientado a objetos.

Para el diseño del sistema de control se tuvo en cuenta las cuatro secuencias básicas de operación, que tienen en cuenta las posibles condiciones o estados en los que se puede encontrar el sistema de automatización:

1. Secuencia para el arranque (condiciones iniciales).
2. Secuencia para condiciones de trabajo.
3. Secuencia para la parada (condiciones de parada).
4. Secuencia para condiciones anormales.

Sequence for starting: This establishes and verifies the initial conditions of operation. The valves must be closed and the pumps and motors off. It prepares the process to move to working conditions, but if it is not possible, it goes to abnormal conditions. This sequence allows starting the system and preparing it to pass safely to the sequence of normal working conditions or to abnormal conditions in case of error.

Sequence for working conditions: It is performed during the execution of the process under normal operating conditions, guaranteeing the execution of the tasks. Here the sequential logic for the control of the ensiling process is implemented. It monitors the operation indicators and before any anomaly happens to abnormal conditions.

Stop sequence: This stops operations in the process. It establishes and verifies the necessary conditions, but if it is not possible it goes to abnormal conditions.

Sequence for abnormal conditions: In front of a fault, detected in any of the previous sequences, the system execute the sequence for abnormal conditions that performs the necessary operations to bring the process to a stable and safe state. This sequence protects the equipment and operating personnel and indicates that a process failure has occurred.

Design of the Application for Monitoring

The demands that are currently imposed on production processes, in terms of surveillance, make it necessary to implement a system that monitors and / or supervises industrial processes.

A Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system is a system composed of a number of remote terminal units (RTUs), which collect field data and transmit them to a master station (a computer) through a communications system. The master station displays the acquired data and allows the operator to execute control tasks remotely (Bailey and Wright, 2003). It is also called SCADA to the application or set of computer applications installed in the master station that allow displaying the acquired data, performing their processing to assist the operator in making decisions and controlling over the plant. This allows surveillance and continuous monitoring of processes in real time.

SCADA systems are widely used today to monitor and control spatially dispersed hardware components in industrial facilities (Grilo et al., 2014). The software used to design the SCADA application in this project is InTouch (Wonderware Invensys, 2005).

Control and Monitoring Network

An industrial control network is a system of interconnected equipment used to monitor and control physical equipment in industrial environments. These networks differ significantly from traditional enterprise networks because of the specific requirements of their operation (Galloway and Hancke, 2013). When designing the automation system, it is necessary to implement an industrial network in the plant that guarantees

Secuencia para el arranque: En esta se establecen y verifican las condiciones iniciales de operación. Las válvulas deben estar cerradas y las bombas y motores apagados. Prepara el proceso para pasar a condiciones de trabajo, pero si no es posible pasa a condiciones anormales. Esta secuencia permite iniciar el sistema y prepararlo para pasar con seguridad a la secuencia de condiciones normales de trabajo o para las condiciones anormales en caso de error.

Secuencia para condiciones de trabajo: Se realiza durante la ejecución del proceso en condiciones normales de operación, garantizando la ejecución de las tareas. Aquí se implementa la lógica secuencial para el control del proceso de ensilado. Supervisa los indicadores de operación y ante cualquier anomalía pasa a condiciones anormales.

Secuencia para la parada: Esta lleva a cabo la parada o finalización de las operaciones en el proceso. Establece y verifica las condiciones necesarias, pero si no es posible pasa a condiciones anormales.

Secuencia para condiciones anormales: Ante una avería, detectada en alguna de las secuencias anteriores, se pasa a esta secuencia que realiza las operaciones necesarias para llevar al proceso a un estado estable y seguro. Esta secuencia protege al equipamiento y al personal de operación e indica que ha ocurrido un fallo en el proceso.

Diseño de la aplicación para el monitoreo

Las exigencias que se imponen actualmente a los procesos productivos, en cuestión de vigilancia, hacen que sea necesaria la implementación de un sistema que monitoree y/o supervise los procesos industriales.

Un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), en español “Control Supervisorio y Adquisición de Datos”, es un sistema compuesto por un número de unidades terminales remotas, RTU por sus siglas en inglés, que recolectan datos de campo y los transmiten a una estación maestra (un ordenador o computadora personal) mediante un sistema de comunicaciones. La estación maestra muestra los datos adquiridos y permite al operador ejecutar tareas de control de forma remota (Bailey y Wright, 2003). También se denomina SCADA a la aplicación o conjunto de aplicaciones informáticas instaladas en la estación maestra que permiten mostrar los datos adquiridos, realizar el tratamiento de los mismos para auxiliar al operador en la toma de decisiones y realizar el control sobre la planta. Este permite la vigilancia y el monitoreo continuo de los procesos en tiempo real.

Los sistemas SCADA son ampliamente usados actualmente para monitorear y controlar componentes hardware espacialmente dispersos en instalaciones industriales (Grilo *et al.*, 2014). El software empleado para el diseño de la aplicación SCADA en este proyecto es InTouch (Wonderware Invensys, 2005).

Red de control y monitoreo

Una red de control industrial es un sistema de equipos interconectados usados para monitorizar y controlar equipamientos físicos en ambientes industriales. Estas redes difieren significativamente de las tradicionales redes de empresas debido a los requerimientos específicos de su operación (Galloway y Hancke, 2013). Al diseñarse el sistema de automatización se hace necesaria la implementación de una red industrial en la planta que garantice el intercambio de

the rapid, efficient and safe exchange of information between the field devices, the PLC and the SCADA monitoring system. Communication between the SCADA and the PLC is done through Industrial Ethernet. The PLC communicates with the distributed I/O and other field devices via PROFIBUS DP in a bus-like topology.

RESULTS AND DISCUSSION

Proposed Instrumentation

To carry out the measurement of the pH in the production conditions a transmitter sensor that is robust and submersible to measure inside the silos is required. The use of pHix® Compact transmitter sensors from the company MJK was proposed, which have the capacity to measure and transmit pH, redox and temperature. They have a fully submersible compact design (MJK, 2003). Level sensors in tanks and silos used VEGA-PLUS 61 level transmitter sensors, manufactured by VEGA, which are radar sensors (non-contact sensing) for continuous measurement of liquid level. These sensors can be applied in tanks with agitators without affecting their measurement and in tanks in the form of large silos (VEGA, 2014). The most economical way to perform the minimum and maximum level detection (discrete level measurement) in the storage or tablet mat of food is by photo-detectors or optical sensors. SIMATIC PXO400 photoelectric proximity sensors of the manufacturer SIEMENS were used, specifically the PXO400 (form K30) due to its characteristics; it uses infrared radiation so it is not affected by visible light and has a detection zone between 12 m and 5 m, suitable for the application.

The proposed butterfly valves are the ISORIA 10, accompanied by ACTAIR 1000 pneumatic actuators and the AMTRONIC ON-OFF control units of the manufacturer KSB to handle the flows in the plant. The use of pneumatic actuators is proposed to exert the necessary force to actuate the valves. The soft starters used are the SIRIUS 3RW44 and the inverters are the MICROMASTER 440, both of the manufacturer SIEMENS. The first allows start-ups without torque peaks, by limiting the starting current, which protects and lengthens the service life of the installation and of the motor itself, and the latter allow, in addition to these advantages, to regulate the speed of rotation of the motors, which guarantees a proper behavior of the system. The use of these elements offers other advantages such as the protection of the electrical network, by limiting the current consumption at start-up, motor protection by over-voltage / minimum voltage, over-temperature and short-circuit, which are also integrated into the system by means of a module of PROFIBUS DP communication.

For the implementation of the sequential logic control of the process, the CPU 313C-2 DP Compact of the S7-300 series of the mid-range of the family SIMATIC S7 of the manufacturer SIEMENS was proposed. After analyzing the physical layout of raw

información de forma rápida, eficiente y segura entre los dispositivos de campo, el PLC y el sistema de monitorización SCADA. La comunicación entre el SCADA y el PLC se realiza a través de Ethernet Industrial. El PLC se comunica con las periféricas descentralizadas y demás dispositivos de campo mediante el bus de campo PROFIBUS DP, en una topología en forma de bus.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Instrumentación propuesta

Para realizar la medición del pH en las condiciones de producción se requiere un sensor transmisor que sea robusto y sumergible para medir en el interior de los silos. Se propuso el uso de sensores transmisores pHix® Compacto de la compañía MJK, que poseen la capacidad de medir y transmitir pH, redox y temperatura. Este posee un diseño compacto completamente sumergible (MJK, 2003). En la medición de nivel en los tanques y silos se usaron los sensores transmisores de nivel VEGAPLUS 61, del fabricante VEGA, los cuales son sensores de radar (detección sin contacto) para la medida continua de nivel de líquidos. Estos sensores se pueden aplicar en tanques con agitador sin esto afectar su medición y en depósitos en forma de grandes silos (VEGA, 2014). La forma más económica de realizar la detección de nivel mínimo y máximo (medición de nivel de forma discreta) en el depósito o tolva de viandas es mediante foto-detectores o sensores ópticos. Se emplearon detectores fotoeléctricos de proximidad SIMATIC PXO400 de SIEMENS, específicamente el PXO400 (forma K30) por sus características; emplea radiación infrarroja por lo que no se ve afectado por la luz visible y tiene una zona de detección entre 12 m y 15 m, adecuado para la aplicación.

Las válvulas de mariposa propuestas son las ISORIA 10, acompañadas de actuadores neumáticos ACTAIR 1000 y unidades de control ON-OFF AMTRONIC del fabricante KSB para manipular los flujos en la planta. Se propone el uso de actuadores neumáticos para ejercer la fuerza necesaria para accionar las válvulas. Los arrancadores suaves usados son los SIRIUS 3RW44 y los variadores de velocidad son los MICROMASTER 440, ambos del fabricante SIEMENS. Los primeros permiten arranques sin picos de par, al limitar la corriente de arranque, lo que protege y alarga la vida útil de la instalación y del propio motor, y los segundos permiten, además de estas ventajas, regular la velocidad de giro de los motores, lo que garantiza el comportamiento adecuado de los mismos en el sistema. El empleo de estos elementos brinda otras ventajas como la protección de la red eléctrica, al limitar el consumo de corriente en el arranque, protección del motor por sobretensión / tensión mínima, sobre-temperatura y cortocircuito, además que se integran al sistema mediante un módulo de comunicación PROFIBUS DP.

Para la implementación del control lógico secuencial del proceso se propuso la CPU 313C-2 DP Compacta de la serie S7-300 de la gama media de la familia SIMATIC S7 del fabricante SIEMENS. Después de realizar un análisis en el que se tomó en consideración la disposición física de los tanques de materias primas, los silos, las bombas y otros elementos del proceso de ensilado, el alto costo del cableado tradicional 4 a 20 mA y la influencia de la interferencia electromagnética, se determinó

material tanks, silos, pumps and other elements of the ensiling process, the high cost of traditional 4 to 20 mA wiring and the influence of electromagnetic interference, it was determined that it was necessary to use distributed I/O in the automation solution. It was proposed to use two SIMATIC ET 200 distributed I/O system, which have a modular design, with standard SIMATIC S7-300 modules in protection class IP20 for electrical cabinets. Communication with the automation system is via PROFIBUS DP bus.

Programming and Configuring the PLC

For the realization of this project, structured programming was used, in which complex automation functions are divided into smaller tasks to reuse the code, simplify program organization, test the program, and start up. Symbolic programming was also used, where the addresses, parameters and names of the blocks are indicated in the form of symbols and not absolute, which facilitates the readability of the program and the correction of errors.

The language used was KOP, which follows the principles of the language “Ladder Logic” set in DIN EN-61131-3 (SIEMENS, 2000). This is a graphical programming language. Hardware configuration is done in “HW Config”. The “configuration” is understood in STEP 7, the layout of the frames, modules, devices of the distributed I/O and interface sub-modules, in the window of a computer.

Design of the Application for Monitoring

In order to provide the operator with a tool that allows the control, surveillance and monitoring of the plant, a SCADA application was designed. Among the functionalities of the application designed are data acquisition and storage, graphic and animated representation of the process variables, monitoring of these by means of alarms, control acting on the PLC and monitoring of the state of the process by assisting the operator in the decision-making. Figure three shows two screens of the designed application.

que era necesario utilizar periferias descentralizadas en la solución de automatización. Se propuso el uso de dos periferias descentralizadas ET 200M, que poseen un diseño modular, con módulos estándar SIMATIC S7-300 en grado de protección IP20 para armarios eléctricos. La comunicación con el sistema de automatización se realiza mediante bus PROFIBUS DP.

Programación y configuración del PLC

Para la realización de este proyecto se hizo uso de la programación estructurada, en la que las funciones complejas de automatización se dividen en tareas más pequeñas para reutilizar el código, simplificar la organización del programa, el test del mismo, y la puesta en marcha. También se hizo uso de la programación simbólica, en la que las direcciones, los parámetros y los nombres de los bloques se indican en forma de símbolos y no de forma absoluta, lo cual facilita la legibilidad del programa y la corrección de errores.

El lenguaje utilizado fue KOP, el cual sigue los principios del lenguaje “Esquema de contactos” (en inglés Ladder Logic) fijados en la norma DIN EN-61131-3 (SIEMENS, 2000). Este es un lenguaje de programación gráfico. La configuración del hardware se realiza en “HW Config”. Por “configurar” se entiende en STEP 7, la disposición de los bastidores, de los módulos, de los aparatos de la periferia descentralizada y de los sub-módulos interfaz, en la ventana de un equipo.

Diseño de la aplicación para el monitoreo

Con el objetivo de brindarle al operario una herramienta que le permita el control, la vigilancia y el monitoreo de la planta se diseñó una aplicación SCADA. Entre las funcionalidades de la aplicación diseñada se encuentran adquisición y almacenamiento de datos, representación gráfica y animada de las variables del proceso, monitorización de estas por medio de alarmas, control actuando sobre el autómatas y supervisión del estado del proceso asistiendo al operario en la toma de decisiones. En la figura 3 se muestran dos pantallas de la aplicación diseñada.

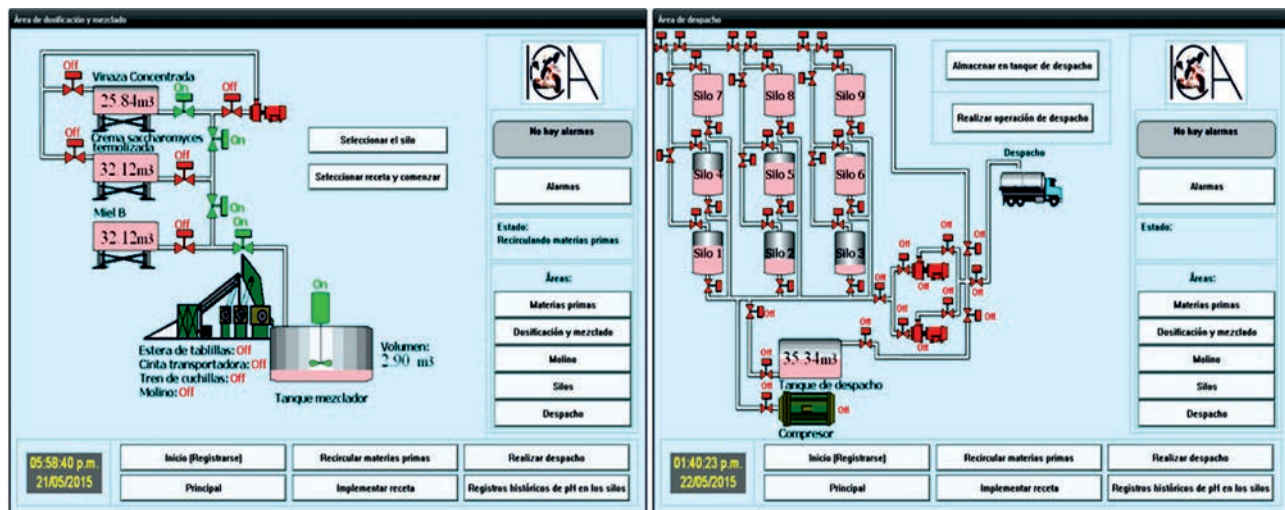


FIGURE 3. SCADA Appearance on Two Screens
 FIGURA 3. Apariencia del SCADA en dos pantallas.

The designed application has the following characteristics:

- Presentation of the process information to the operator in a friendly and understandable way, through diagrams and synoptic.
- Presentation of information, using pH trend graphs in the silos.
- Generation of historical records of pH in the silos, for the analysis of the behavior of this variable with the objective of providing information for further investigations.
- Presentation of the process alarms, in such a way that the presence of the operator is required to recognize the alarm situation.
- Access from any window to the “Alarms” window quickly and easily.
- Implementation of security in the application based on the concept “logging on”, that is, the user has to enter “Username” and “Password” in order to have sufficient privileges to access the system. An administrator account was created, which has the highest privileges, ability to create, modify and delete user accounts, a shift manager account with less privileges than the administrator, but enough to create, modify and delete accounts for the operators of the plant, and accounts for operators, with permission only to manage their own account and access to windows to monitor and control the process.
- Control of the silage process, acting on the PLC.
- Screens with consistent appearance throughout the project, having different areas, such as the information area and the navigation bar.
- The exchange between windows is done in a simple way through buttons located in a navigation bar always in the same position in all windows.
- Use of colors to present the status of the valves, pumps and motors, accompanied by a complementary text. The red color indicates closed or off and green indicates open or on, accompanied by “On” and “Off”, respectively, as complementary texts.

Control and Monitoring Network

Communication between the SCADA and the PLC was implemented through Industrial Ethernet. The PLC communicates with the ET 200M distributed I/O, soft starters and variable speed drives via PROFIBUS DP. Sensors with 4 to 20 mA output are communicated by pairs of twisted conductors type A with the ET 200M. Twisted pair cable was selected as the physical medium for Industrial Ethernet and for PROFIBUS DP the selected transmission medium is RS-485 over shielded twisted pair. A bus topology is used for connecting the elements to PROFIBUS DP. Figure 4 shows the structure and topology of the proposed network.

La aplicación diseñada tiene las siguientes características:

- Presentación, de forma amigable y comprensible, mediante esquemas y sinópticos, de la información del proceso al operario.
- Presentación de información, mediante gráficos de tendencia de pH en los silos.
- Generación de registros históricos de pH en los silos, para el análisis del comportamiento de esta variable con el objetivo de aportar información para posteriores investigaciones.
- Presentación de las alarmas de proceso, de forma tal que se exige la presencia del operador para reconocer la situación de alarma.
- Acceso desde cualquier ventana a la ventana de “Alarmas” de forma rápida y sencilla.
- Implementación de seguridad en la aplicación basada en el concepto “logging on”, es decir, el usuario tiene que introducir “Nombre de usuario” y “Contraseña” para poder tener suficientes privilegios para acceder al sistema. Se creó una cuenta de administrador, que cuenta con los mayores privilegios, capacidad de crear, modificar y eliminar cuentas de usuario, una cuenta de jefe de turno, con menos privilegios que el administrador, pero lo suficiente para crear, modificar y eliminar cuentas para los operadores de la planta, y cuentas para los operadores, con permiso solo para administrar su propia cuenta y el acceso a las ventanas para monitorizar y controlar el proceso.
- Control del proceso de ensilado, actuando sobre el autómatas o PLC.
- Pantallas con apariencia consistente en todo el proyecto, teniendo zonas diferenciadas, como la zona de información y la de la barra de navegación.
- El intercambio entre ventanas se realiza de forma sencilla a través de botones ubicados en una barra de navegación siempre en la misma posición en todas las ventanas.
- Utilización de colores para presentar el estado de las válvulas, bombas y motores, acompañado de un texto complementario. El color rojo indica cerrado o apagado y el verde indica abierto o encendido, acompañado de “On” y “Off” respectivamente como textos complementarios.

Red de control y monitoreo

La comunicación entre el SCADA y el PLC se implementó a través de Ethernet Industrial. El PLC se comunica con las periféricas descentralizadas ET 200M, los arrancadores suaves y los variadores de velocidad, mediante PROFIBUS DP. Los sensores con salida 4 a 20 mA se comunican por pares de conductores trenzados tipo A con la periferia descentralizada. Se seleccionó el cable par trenzado como medio físico para Ethernet Industrial y para PROFIBUS DP el medio de transmisión seleccionado es RS-485 sobre par trenzado apantallado.

Los elementos se conectan a PROFIBUS DP con una topología en bus. En la figura 4 se muestra la estructura y topología de la red propuesta.

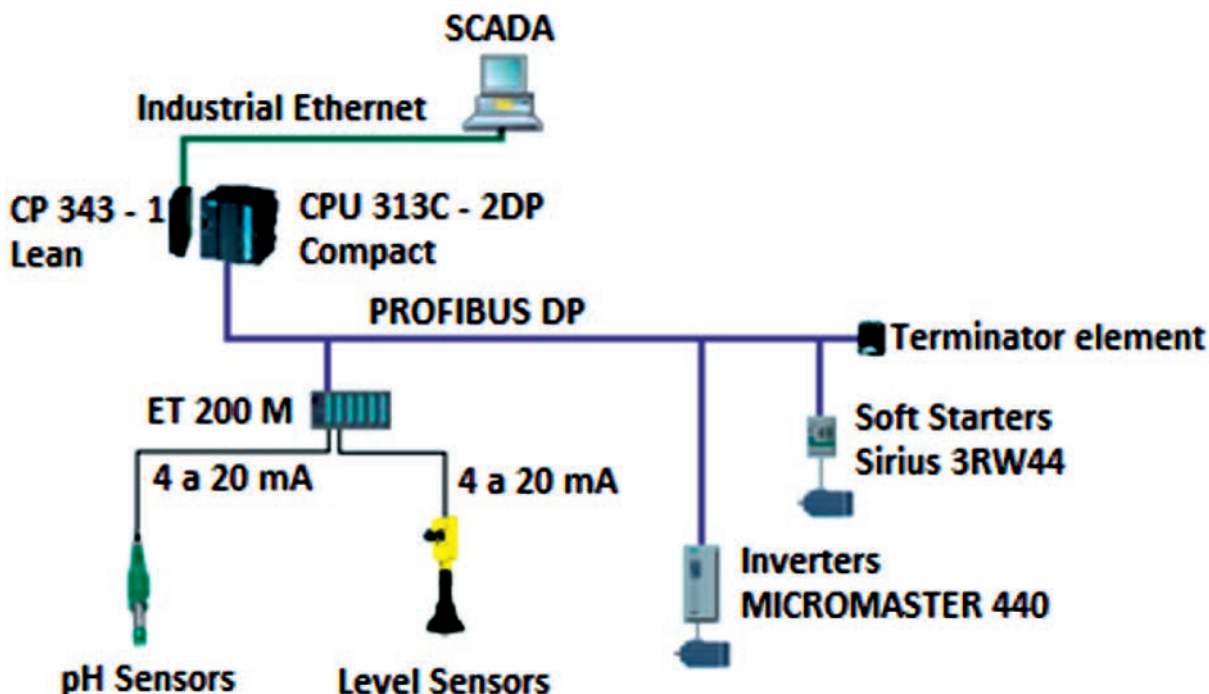


FIGURE 4. Network structure and topology.
 FIGURA 4. Estructura y topología de la red.

CONCLUSIONS

- The design of an automation system for the control of the ensiling process at the “Héctor Molina” plant was obtained, which lacks elements for automatic control. A proposal for instrumentation was developed which includes pH sensors for silage, level sensors (continuous and discrete) for tanks, silos and food depots, soft starters and variable speed drives for motors, valves to manipulate the flow of raw materials and silage and a PLC to carry out the sequential logic control of the process. A SCADA application was also designed to monitor the process that includes elementary supervising and control actions. It provides a friendly and simple interface to the operator of the plant to perform the control and monitoring of the process. In addition, in order to achieve communication between the automation elements, a proposal was made for a control and monitoring network based on the PROFIBUS DP and Industrial Ethernet buses. This design introduces advantages to industrial production, such as increased efficiency and quality of silage, homogeneity in production through the automated implementation of the formula or recipe, reduction of physical effort of plant operators and increase of the functional safety in it.

CONCLUSIONES

- Se obtuvo el diseño de un sistema de automatización para el control del proceso de ensilado en la planta “Héctor Molina” la cual carece de elementos para el control automático. Se elaboró una propuesta de instrumentación que incluye sensores de pH para el ensilado, sensores de nivel (continuo y discreto) para los tanques, silos y el depósito de viandas, arrancadores suaves y variadores de velocidad para los motores, válvulas para manipular el flujo de las materias primas y del ensilado y un PLC para realizar el control lógico secuencial del proceso. También se diseñó una aplicación SCADA para monitorear el proceso que incluye acciones elementales de supervisión y control. Esta le brinda una interfaz amigable y sencilla al operador de la planta para realizar el control y la monitorización del proceso. Además para lograr la comunicación entre los elementos de automatización se realizó la propuesta de una red de control y monitoreo basada en los buses PROFIBUS DP y Ethernet Industrial. Este diseño introduce ventajas a la producción industrial como son el aumento de la eficiencia y calidad del ensilado, la homogeneidad en las producciones por la implementación automatizada de la fórmula o receta, la reducción del esfuerzo físico de los operadores de la planta y el aumento de la seguridad funcional en la misma.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALPHONSUS, E.R.; ABDULLAH, M.O.: “A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs)”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 1185-1205, julio de 2016, ISSN: 13640321, DOI: 10.1016/j.rser.2016.01.025.
- BAILEY, D.; WRIGHT, E.: *Practical SCADA for industry*, [en línea], Ed. Elsevier, Amsterdam; London, 2003, ISBN: 978-0-7506-5805-8, Disponible en: <http://site.ebrary.com/id/10169796>, [Consulta: 17 de enero de 2017].
- CREUS-SOLÉ, A.: *Instrumentación industrial*, Ed. Alfaomega ; Marcombo, México, D.F.; Barcelona, 2011, ISBN: 978-607-707-042-9.

- GALLOWAY, B.; HANCKE, G.P.: "Introduction to Industrial Control Networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(2): 860-880, 2013, ISSN: 1553-877X, DOI: 10.1109/SURV.2012.071812.00124.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, Y.; SOSA, D.; BOUCOURT, R.; SCULL, I.: "Caracterización química de un alimento ensilado para cerdos. Nota técnica", *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(1): 91-92, 2015, ISSN: 2079-3 80.
- GRILO, A.M.; CHEN, J.; DIAZ, M.; GARRIDO, D.; CASACA, A.: "An Integrated WSN and SCADA System for Monitoring a Critical Infrastructure", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(3): 1755-1764, agosto de 2014, ISSN: 1551-3203, 1941-0050, DOI: 10.1109/TII.2014.2322818.
- LASHIN, M.M.: "Different Applications of Programmable Logic Controller (PLC)", *International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology*, 4(1): 27-32, 28 febrero de 2014, ISSN: 2231-3605, 2231-3117, DOI: 10.5121/ijcseit.2014.4103.
- LEZCANO, P.; MARTÍNEZ, M.; VÁZQUEZ, A.; PÉREZ, O.: "Main methods of processing and preserving alternative feeds in tropical areas. Cuban experience", *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(1), 2017, ISSN: 2079-3 80.
- LEZCANO, P.; VAZQUEZ, A.; BOLAÑOS, A.; PILOTO, J.L.; MARTÍNEZ, M.; RODRÍGUEZ, Y.: "Ensilado de alimentos alternativos, de origen cubano, una alternativa técnica, económica y ambiental para la producción de carne de cerdo", *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(1): 65-69, 2015, ISSN: 003 -7485.
- LEZCANO, P.; VAZQUEZ, A.; RODRÍGUEZ, A.; RODRÍGUEZ, Y.; BOUCOURT, R.; SOSA, D.; FRAGA, Y.; PÉREZ, O.: *Procedimiento de obtención de un alimento ensilado para la producción animal*, no. 2013-0122, Resolución 4155/2016, 2016.
- MJK: *Ficha técnica pHix Compacto*, [en línea], 2003, Disponible en: http://pt.mjk.com/fileadmin/downloadcenter/4._Analysers/ph_redox_temperature/pHix_Compact/ES_4.1_pHix_Compact_Datasheet_1003.pdf, [Consulta: 21 de febrero de 2017].
- MUQEET, M.A.: "PLC and SCADA Based Control of Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)", *IJIREICE*, 3(12): 185-189, 15 de diciembre de 2015, ISSN: 23212004, DOI: 10.17148/IJIREICE.2015.31238
- OLSSON, G.; CARLSSON, B.; COMAS, J.; COPP, J.; GERNAEY, K.V.; INGILDSSEN, P.; JEPSSON, U.; KIM, C.; RIEGER, L.; RODRÍGUEZ-RODA, I.; STEYER, J.-P.; TAKÁCS, I.; VANROLLEGHEM, P.A.; VARGAS, A.; YUAN, Z.; ÅMAND, L.: "Instrumentation, control and automation in wastewater – from London 1973 to Narbonne 2013", *Water Science & Technology*, 69(7): 1373, abril de 2014, ISSN: 0273-1223, DOI: 10.2166/wst.2014.057.
- PÉREZ, Y.A.; MAÑALICH, I.; DÍAZ-ARMESTO, A.: "Desarrollo de la Industria Manufacturera Cubana. Desafíos y Propuestas", *Revista Cubana de Ciencias Económicas EKOTEMAS*, 2(2), 2016, ISSN: 2414-4681.
- ROCCA, L.; PINCETI, P.; MAGRO, M.C.: "Can we use IEC 61850 for safety related functions?", *Transactions on Environment and Electrical Engineering*, 1(3), 16 de agosto de 2016, ISSN: 24505730, DOI: 10.22149/tee.v1i3.22, Disponible en: <https://tee.eu/index.php/TEEE/article/view/22>, [Consulta: 21 de febrero de 2017].
- SIEMENS: *Esquema de contactos (KOP) para S7-300/400. Manual de referencia*, [en línea], 2000, Disponible en: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/18654395/KOP_s.pdf, [Consulta: 21 de febrero de 2017].
- SIEMENS: *MICROMASTER 440. Instrucciones de uso*, [en línea], 2006, Disponible en: https://support.industry.siemens.com/cs/.../440_OPI_17142454_1003_78.pdf, [Consulta: 21 de febrero de 2017].
- SIEMENS: *Selección práctica y puesta en marcha rápida de Arrancadores Suaves Sirius 3RW44 de Siemens.*, [en línea], 2010a, Disponible en: <https://sistemamid.com/download.php?a=77440>, [Consulta: 21 de febrero de 2017].
- SIEMENS: *STEP 7 2010 Professional*, (Versión 5.5), Ed. SIEMENS, 2010b.
- SIEMENS: *Product data sheet: SIMATIC S7-300, CPU 313C-2DP COMPACT CPU*, [en línea], 2014, Disponible en: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0e33/0900766b80e33682.pdf>, [Consulta: 21 de febrero de 2017].
- SIEMENS: "SIMATIC S7-300 CPUs - PLCs - Siemens", [en línea], En: 12 de enero de 2017, Disponible en: <http://w3.siemens.com/mcml/programmable-logic-controller/en/advanced-controller/s7-300/cpu/pages/default.aspx>, [Consulta: 21 de febrero de 2017].
- VEGA: *Instrucciones de servicio VEGAPLUS 61*, [en línea], 2014, Disponible en: <https://www.vega.com/DocumentDownloadHandler.ashx?documentContainerId=5547&languageId=6&fileExtension=pdf&documentGroupId=41714>, [Consulta: 21 de febrero de 2017].
- WANG, Y.; RAUSAND, M.: "Reliability analysis of safety-instrumented systems operated in high-demand mode", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 32: 254-264, noviembre de 2014, ISSN: 0950-4230, DOI: 10.1016/j.jlp.2014.09.007.
- WONDERWARE INVENSYS: *InTouch*, (Versión 9.5), Ed. Wonderware Invensys, 2005.

Received: 26/03/2017.

Approved: 11/09/2017.

Lieter Javier Silva-Díaz, Investigador, Instituto de Ciencia Animal, km 47½ de la Carretera Central, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: LIETER@ICA.CO.CU

Ybrain Hernández-López, E-mail: LIETER@ICA.CO.CU

Arelis Vázquez-Peña, E-mail: LIETER@ICA.CO.CU

Osney Gerardo Pérez-Acosta, E-mail: LIETER@ICA.CO.CU

Duniet Pérez-Torres, E-mail: LIETER@ICA.CO.CU

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.