



## AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES

### Proyecto de Automatización en Línea de Tejas

#### *Project of Automation in Tiles Line*

Alejandro Castilla Pérez<sup>1</sup>, Santiago Sotomayor Aguilera<sup>2</sup>

1- Ing. Alejandro Castilla Pérez. Empresa de Automatización Integral CEDAI, Cuba.

E-mail: alejandro@cedai.com.cu

2- Ing. Santiago Sotomayor Aguilera. Empresa de Automatización Integral CEDAI, Cuba.

**Resumen:** De acuerdo a la necesidad planteada por la dirección de la Empresa Perdurit, en particular de la UEB de Fibrocemento Armando Mestre Martínez de la ciudad de Santiago de Cuba, la Empresa de Automatización Integral CEDAI, asume la tarea de la rehabilitación del sistema automático del proceso de Preparación de Pasta de la línea de tejas de fibrocemento perteneciente a esta entidad. El mismo es un sistema con más de 30 años de explotación que posee una tecnología en materia de instrumentación y control completamente obsoleta, lo que trae consigo una serie de deficiencias y averías que influyen negativamente en la producción.

A partir de la tarea técnica entregada por el cliente se procede a la elaboración de una propuesta de automatización que garantice un funcionamiento eficiente y estable del sistema. Para ello se propone el uso de una configuración capaz de medir, controlar y registrar todas las variables del mismo, siendo estas en su mayoría niveles de tanques, posiciones, peso y fallos detectados. Además se realiza el control de todos los motores



que intervienen en el proceso utilizándose en algunos casos variadores de frecuencia, y de electroválvulas para el accionamiento de mecanismos neumáticos. Se incorpora además una interfaz gráfica para la supervisión y control del proceso que asegura que la manipulación de la línea sea mucho más precisa. El sistema diseñado es completamente flexible, adaptándose a las características del proceso para futuras aplicaciones.

***Abstract:** According to the need raised by the management of the Perdurit Company, in particular of the UEB of Fibrocemento Armando Mestre Martínez of the city of Santiago de Cuba, the Integral Automation Company CEDAI, assumes the task of the rehabilitation of the automatic system of the process of Preparation of Paste of the line of tiles of fiber cement belonging to this entity. It is a system with more than 30 years of exploitation that has technology in the field of instrumentation and control obsolete, which brings with it a series of deficiencies and breakdowns that negatively influence production.*

*From the technical task delivered by the client proceeds to the development of an automation proposal to ensure an efficient and stable operation of the system. For this, the use of a configuration capable of measuring, controlling and registering all the variables of the same is proposed, being these mostly tank levels, positions, weight and detected faults. In addition, the control of all the motors involved in the process is carried out, using in some cases frequency variators, and of electrovalves for the activation of pneumatic mechanisms. It also incorporates a graphical interface for the supervision and control of the process that ensures that the manipulation of the line is much more precise. The designed system is completely flexible, adapting to the characteristics of the process for future applications.*

**Palabras Clave:** Instrumentación; Medición; Control; Supervisión.

**Keywords:** Instrumentation; Measurement; Control; Supervision.

## **1. Introducción**

El Grupo Industrial Perdurit, perteneciente al Ministerio de la Construcción, está integrado por cinco Unidades Empresariales de Base distribuidas en todo el país. Esta



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

empresa se dedica a producir y comercializar una amplia gama de productos y sistemas de la construcción basados en fibras y resinas, combinadas con cemento y asfalto, además de elementos de cubiertas ligeras para la construcción, fabricados a partir de fibras naturales. Figuran entre los principales productos, tanques para agua, láminas acanaladas, láminas lisas, polietileno expandido y elementos ornamentales. Estos productos están dirigidos principalmente al programa de ejecución de viviendas, las ventas a través del Ministerio de Comercio Interior, y las reservas empleadas ante afectaciones meteorológicas.

Para los colectivos laborales de esas entidades del Ministerio de la Construcción, la actualización del Modelo Económico ha permitido una mayor organización del trabajo, así como mantenimientos tecnológicos, en la mayoría de sus plantas. Es precisamente en esa labor donde la Empresa de Automatización Integral CEDAI ha tenido una participación significativa, mediante la modernización de sistemas de automatización industrial, la realización de proyectos que permiten soluciones integrales en materia de automática, brindando además, servicios de garantía, soporte técnico y piezas de repuesto. La UEB Fibrocemento Armando Mestre Martínez se encuentra localizada en la carretera de la refinería, Km 2½, provincia Santiago de Cuba. Esta entidad constituye un pilar fundamental para el Grupo Industrial Perdurit, conformando sus principales líneas de producción las de tejas acanaladas de fibrocemento, láminas lisas, tanques de fibrocemento de varios formatos y elementos de polietileno expandido elaborado por mesa de corte. Esta unidad de base no ha permanecido ajena a las relaciones laborales existentes con CEDAI, existiendo una amplia trayectoria de trabajo a través de la UEB de Santiago de Cuba. Es precisamente la ejecución de un proyecto para la modernización tecnológica de la línea de producción de tejas acanaladas de fibrocemento lo que posibilita la realización del presente trabajo.

El alcance de este proyecto contempla el diseño, construcción y montaje de un panel de control con todos los componentes necesarios para la rehabilitación del proceso de preparación de pasta para tejas acanaladas. Para realizar el control se utilizará una configuración gobernada por un autómata programable de la firma Schneider Electric.

Se realizará además el diseño de una interfaz gráfica mediante un panel de operador del fabricante Samkoon que permitirá hacer todas las labores de ajuste, supervisión, registro



y tratamiento de alarmas. Se propone también la incorporación de un sistema de pesaje basado en la utilización de celdas de carga.

## 2. Metodología

### 2.1 Breve Descripción del Proceso Tecnológico.

La línea de producción está compuesta por dos procesos de manera general, el proceso de preparación de pasta y el proceso de conformación de las láminas acanaladas. Es exactamente el primero de estos el abordado durante la ejecución de este proyecto. El proceso de preparación de pasta se encuentra localizado al inicio de la línea de producción, esto es debido a que el objetivo del mismo es realizar un mezclado eficiente de toda la materia prima que se utiliza. Las materias primas fundamentales son asbesto, cemento y celulosa.

Este proceso está formado de manera general por dos molinos, dos máquinas encargadas de desintegrar el material denominadas Hidropulper y Golender, un silo acoplado a una báscula para la dosificación del cemento, una noria para el tratamiento de la celulosa, y una máquina que realiza el mezclado final nombrada Turbopulper (Fig. 1). Los molinos constituyen la primera etapa del proceso y además de ser de características idénticas el sistema permite su funcionamiento de manera independiente posibilitando dos vías de alimentación de asbesto para el proceso. Los molinos descargan hacia las máquinas de desintegración si estas se encuentran disponibles, el Molino 1 hacia el Hidropulper y el Molino 2 hacia el Golender.

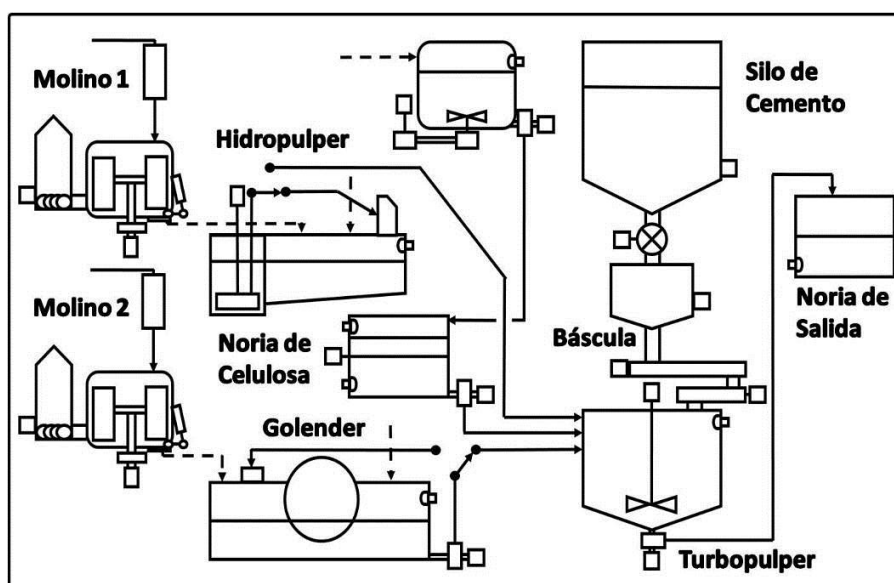


Figura 1. Diagrama General del Proceso de Preparación de Pasta.



**II Convención Científica Internacional 2019**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS**

El proceso comienza cuando el molinero vierte el asbesto en una caseta que posee un sistema de sinfines para trasladar el asbesto al interior del molino. El molino tiene también una entrada de agua a través de un conjunto de inyectores, el fluido proviene de un tanque dosificador que permite ajustar la cantidad de agua en función del tipo de asbesto a utilizar. Después de transcurrir el tiempo de molienda, el molino descarga el material hacia la máquina de desintegración correspondiente a través de una compuerta ubicada en la parte inferior que es accionada neumáticamente mediante un pistón.

En caso de que la desintegración se realice en el Hidropulper se efectúa primero el llenado del mismo actuando sobre una electroválvula que da paso a la entrada de agua y se comprueba el nivel mediante el sensor asociado. Luego por medio de una bomba sumergible se hace recircular el material haciéndolo pasar por un conducto que posee un platillo dentado lo que propicia la desintegración. Esta máquina cuenta con una válvula de dos vías que permite conmutar entre las posiciones de recircular y transferir para una vez desintegrado el material transferirlo a la etapa siguiente accionando sobre la misma bomba.

El Golender es una máquina de características similares al Hidropulper, las diferencias radican en que la bomba que se utiliza para transferir el material y para la desintegración por el sistema de platillo dentado mediante la recirculación no es del tipo sumergible. Además cuenta con un método adicional de desintegración que consiste en una rueda con paletas acoplada mediante un mecanismo reductor a un motor que al girar incide sobre el material.

El material transferido ya sea del Golender o del Hidropulper es depositado en el Turbopulper que es la máquina donde se agregan el resto de las materias primas. La celulosa es añadida manualmente en un tanque abierto donde se mezcla con agua mediante un agitador que posee el tanque en el fondo, luego es bombeada hacia la noria de celulosa donde se le da el tratamiento requerido para posteriormente ser bombeada al Turbopulper. La incorporación del cemento al material se realiza igualmente en el Turbopulper, la salida del silo de cemento es controlada mediante una válvula motorizada que permite el paso del cemento hacia una báscula. Esta báscula posee una compuerta accionada por un pistón de forma neumática para una vez alcanzado el valor de pesaje requerido liberar el cemento en un conducto que lo traslada por medio de dos sinfines hasta



una entrada del Turbopulper. Tanto el silo como la báscula tienen acoplado a su estructura vibradores con el fin de facilitar el flujo del cemento.

El turbopulper cuenta además con un mecanismo agitador accionado por un motor que realiza el mezclado final para la obtención de la pasta resultante y con una bomba que es la encargada de transferirla hasta la noria de salida que constituye el final del proceso de preparación de pasta y el comienzo del proceso de conformación de las láminas acanaladas.

Por otra parte el proceso cuenta con una sala de control que posee en su interior todos los paneles eléctricos de fuerza y control requeridos. Además de un pupitre con todos los elementos de mando necesarios para interactuar con el proceso, así como un esquema representativo general del mismo.

## 2.2 Generalidades de la Tarea Técnica.

Dentro de los requerimientos más relevantes abordados en la tarea técnica entregada por parte del personal técnico de la UEB Fibrocemento Armando Mestre Martínez en su solicitud para la implementación de un nuevo sistema de automatización se destacan los siguientes:

- La noria de salida debe permanecer con un nivel de pasta que asegure el funcionamiento continuo del proceso de conformación de las láminas acanaladas, por lo tanto mediante el chequeo del sensor de nivel instalado en esta noria se debe asegurar una secuencia de funcionamiento del proceso de preparación de pasta que permita que todas las máquinas puedan encontrarse llenas en un momento determinado para lograr una mayor eficiencia en la línea.
- El sistema debe ser capaz de permitir el funcionamiento de las diferentes máquinas tanto en modo manual como en automático de forma independiente, permitiendo además realizar transiciones de un modo a otro en cualquier instante y continuar con la ejecución de la secuencia del proceso sin que se alteren las condiciones previas.
- Durante el funcionamiento en modo automático todas las máquinas del proceso pueden encontrarse de forma independiente en estado de listo, ocupado o en espera y en función de este estado se decide si pueden recibir material de la máquina anterior o si puede transferir o descargar a la máquina que le sucede en el proceso.



- Debe incorporarse al sistema un panel de operador desde donde se puedan ajustar todos los valores de tiempos que intervienen en el proceso. Además de registrarse de forma continua todas las transferencias que se realicen desde el Turbopulper a la noria de salida, acción esta que será almacenada en un contador de revolturas el cual debe ser inmune a las afectaciones del fluido eléctrico.

### 2.3 Propuesta de Automatización.

En la sala de control del proceso además del panel de control existe un panel de fuerza. Con el fin de aprovechar este panel debido a su buen estado, se propone el enlace de este al nuevo panel de control que se incorporara como parte del nuevo sistema de control. Además se llevará a cabo la reparación del esquema representativo del proceso por encontrarse averiado y desactualizado.

#### 2.3.1 Arquitectura del Sistema de Control.

El sistema de control antiguo estaba basado en un autómata Siemens SIMATIC S5 con la CPU 115U y varios módulos de entradas y de salidas digitales (Ver Anexo 2). Debido a la antigüedad de este sistema resultaba imposible el reemplazo de módulos averiados así como de la batería del autómata indispensable para el correcto funcionamiento del programa y el almacenamiento de información. Por otra parte resultaba muy engorroso realizarle modificaciones al programa cuando surgían cambios eléctricos o de instrumentación utilizando las antiguas programadoras concebidas para este fin.

Para dar solución a estas dificultades y cumplir con las exigencias reflejadas en la tarea técnica se utilizó una nueva configuración encabezada por un autómata TM241CE40R de Schneider Electric (Fig. 2), el cual posee las siguientes características [1]:

- 24 entradas digitales (8 entradas rápidas y 16 entradas normales).
- 16 salidas digitales (4 salidas rápidas y 12 salidas de relé de 2A).
- 2 puertos de comunicación de línea serie tipo RJ45 (RS-232 o RS-485), 1 puerto Ethernet, 1 puerto de programación USB mini-B).
- Slot para tarjeta SD.
- Expandible mediante módulos de ampliación TM2, TM3, TM4 y slot para cartuchos.
- Incorpora reloj de tiempo real respaldado por batería.





Figura 2. Automata Programable TM241CE40R de Schneider Electric.

Debido al elevado número de entradas y salidas del proceso se hizo necesario la expansión del autómata utilizándose cinco módulos mixtos de entrada/salida digitales TM3DM24R. Este tipo de modulo posee 16 entradas normales y 8 salidas a relé. Para posibilitar la supervisión, ajustes, registros y brindar un mejor manejo del proceso se incorpora un terminal de operador SK-102AS del fabricante Samkoon y se establece su enlace con el autómata mediante el protocolo de comunicación Modbus sobre Ethernet TCP/IP. El SK-102AS cuenta con un pantalla táctil de 10.2 pulgadas y una resolución de 800x480, que a su vez tiene un grado de protección IP 65.

Figuran entre las principales entradas del sistema las señales digitales provenientes de los pulsadores y selectores ubicados en el pupitre de control, los sensores de nivel instalados en los tanques dosificadores de los molinos, en las máquinas de desintegración y en la noria de salida, también se utilizan sensores de proximidad inductivos que permiten conocer la posición de la compuerta de descarga de los molinos y de la báscula, así como las confirmaciones de marcha de cada uno de los motores del proceso y señales de disparo térmico en los motores con el objetivo de generar alarmas.

En cuanto a las salidas digitales se utilizan relés de 24 V de DC para garantizar el desacople de las mismas, actuando estos relés en su mayoría sobre las bobinas de las electroválvulas utilizadas para accionar los mecanismos neumáticos de las compuertas y las válvulas de dos vías, o sobre las bobinas de los contactores magnéticos que aseguran los arranques directos de los motores de baja potencia. Para realizar el arranque y paro, así como ajustes de velocidad de motores de gran potencia se utilizan variadores de frecuencia de la serie KE-300 del fabricante Micno controlados por el autómata, contribuyendo a la disminución del consumo de energía (Fig. 3).



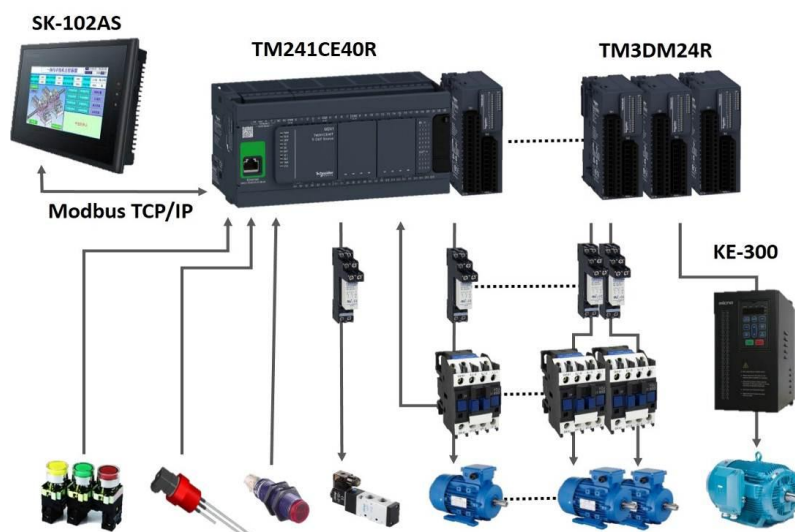


Figura 3. Arquitectura del Sistema de Control.

### 2.3.2 Sistema de Pesaje Propuesto.

La báscula utilizada para el pesaje del cemento en el proceso es del tipo de palanca mecánica, donde el método de funcionamiento implica el uso de un mecanismo de equilibrio de peso y la detección de la fuerza desarrollada por palancas mecánicas transmitida a una aguja que se desplaza sobre una escala graduada. La referencia para determinar cuándo se logra el valor de pesaje deseado es tomada a partir de un sensor inductivo conectado a una entrada digital del autómatas que sensa la posición de la aguja. A pesar de las labores de mantenimiento y calibración llevadas a cabo periódicamente en la entidad, este método de pesaje resulta poco eficaz debido a las características del cemento que facilita su acumulación en las paredes de la báscula, y al no existir la posibilidad de tarar o llevar a cero la báscula sistemáticamente. Además resulta muy complejo variar la dosificación del cemento debido a que es necesario cambiar la posición del sensor inductivo.

Con el objetivo de solucionar los inconvenientes expuestos con anterioridad se propone la instalación de nuevo sistema de pesaje utilizando celdas de carga. Las celdas de carga extensométricas son transductores que convierten la carga que actúa sobre ellas en señales eléctricas. Los propios medidores están unidos a una viga o elemento estructural que se deforma cuando se le aplica un peso. En la mayoría de los casos, se utilizan cuatro medidores de deformación para obtener la máxima sensibilidad y compensación de temperatura. Dos de los medidores están por lo general en tensión, y dos en compresión, y se conectan con ajustes de compensación. Cuando se aplica un peso, la tensión cambia



la resistencia eléctrica de los medidores en proporción a la carga. Usualmente las celdas de carga se fabrican a cuatro o seis hilos y la señal de salida se obtiene en el orden de los mV [2].

Para llevar a cabo la medición a través de las celdas de carga se propone el uso de un transmisor de peso DIP-506 del fabricante ARDETEM, que servirá además como indicador local. La señal de salida del transmisor puede ser configurada a 4-20mA, para su posterior integración a la configuración del autómatas mediante el uso de un módulo de ampliación con entrada analógica como el TM3AI2H o un cartucho de entradas analógicas como el TMC4AI2.

#### 2.4 Interfaz Gráfica Desarrollada.

Para la implementación de la interfaz gráfica se utilizó el software SK WorkShop V5.0.2 proporcionado por Samkoon para el manejo de paneles de operador de este tipo. La interfaz se diseñó partiendo de un menú principal desde el cual se puede acceder a cuatro pestañas diferentes (Fig. 4). La pestaña Supervisión permite la visualización del funcionamiento de todas las máquinas que intervienen en el proceso, proporcionando información detallada de los sensores y actuadores pertenecientes a estas y de los valores de tiempo en transcurso durante la ejecución de una acción determinada. Para lograr un nivel de detalle mayor se dividió el proceso en varias pantallas que pueden ser consultadas una vez que se seleccione la pestaña Supervisión. Desde cualquier pantalla de supervisión se puede visualizar además el valor de la variable denominada contador de revolturas, variable de relevante importancia para el cálculo de los índices de producción. Con el fin de brindar información puntual sobre la etapa de ejecución en la que se encuentran las máquinas según los diferentes estados posibles (listo, ocupado o en espera) se creó la pestaña Estados. La pestaña Ajustes nos permite navegar por varias pantallas desde donde se pueden modificar los valores de tiempo que influyen en el comportamiento de la secuencia de ejecución de todo el proceso. A través de la pestaña Alarmas se puede gestionar todas las opciones relacionadas con el programa de tratamiento de alarmas, tales como: confirmar, silenciar, desactivar y borrar. Existe una tabla donde se registran todas las alarmas que ocurren durante el funcionamiento de la línea, y que además almacena la fecha y hora del evento. Se generarán alarmas en caso de funcionamiento anormal en



cualquiera de los motores es decir: sobrecarga, cortocircuito, falta de excitación o disparo térmico.



Figura 4. Interfaz Gráfica desarrollada para el Proceso de Preparación de Pasta.

### 3. Resultados

#### 3.1 Valoración Económica y Aporte Social.

El importe total del proyecto ascendió a 131 243.41 \$ en moneda total, de ellos 34 343.54 en CUC y 96 899.82 en CUP.

Su ejecución contribuyó a la disminución de los costos por concepto de mantenimientos debido a la disminución de los tiempos de detección de averías, al ahorro de materias primas y portadores energéticos. Se logró incrementar los niveles de producción de forma significativa permitiendo que en el mes de octubre el plan anual ascendente a un millón cien mil metros cuadrados de tejas (555 555 unidades) fuera cumplido, las jornadas de 24 horas de labor reportan hasta el momento otros 185 000 metros cuadrados adicionales, que elevan al 110 % el acumulado.

Se destinó la producción fundamentalmente a resolver afectaciones climatológicas, con un aporte significativo a la recuperación de varias provincias afectadas tras el paso del huracán Irma. Esta labor ha sido realizada mediante niveles de eficiencia que igualmente les permiten materializar sus restantes compromisos con el país.

Se conoce que la entidad ha entregado 177 574 tejas acanaladas para cubiertas de viviendas y centros estatales de Villa Clara (35 320), Ciego de Ávila (23 600), Camagüey (67 354), Las Tunas (13 200) y Holguín (38 100), sin descuidar envíos a Granma, Guantánamo y el territorio santiaguero, que completan las 218 847 unidades priorizadas.



Se destaca como aspecto significativo la eficiencia alcanzada, pues de un índice de consumo establecido de 1,4 toneladas de asbesto para la producción de 1 000 metros cuadrados de tejas, ese monto se logra actualmente con el empleo de solo 1,07, lo cual reporta un ahorro de 391 toneladas de asbesto, equivalentes a 551 701 euros. Respecto al cemento por similar concepto se han ahorrado 4 494 toneladas, representativas de 603 094 pesos.

#### **4. Conclusiones**

La ejecución del proyecto para la rehabilitación automática del Proceso de Preparación de Pasta en la UEB Fibrocemento Armando Mestre Martínez permite arribar a las siguientes conclusiones:

- Se llevó a cabo un estudio detallado de la línea de producción de tejas acanaladas para la selección de un sistema de control y la instrumentación necesaria en correspondencia con las características del proceso.
- Se diseñó e implementó un panel de control con todo el equipamiento necesario para llevar a cabo las funciones de mando y las conexiones de todos los elementos sensores y actuadores del proceso.
- Se realizó la programación del autómata TM241CE40R para la ejecución del control sobre la planta.
- Se diseñó un sistema de pesaje moderno que se ajusta más a las necesidades del proceso en cuanto a precisión y fiabilidad.
- Se diseñó e implementó una interfaz gráfica que posibilita realizar todas las acciones de ajuste y supervisión del sistema mediante un panel de operador.

#### **5. Referencias bibliográficas**

- [1] Schneider Electric Internacional, Catálogo General, 2017.
- [2] Siemens, Guía de sistemas de pesaje y dosificación, 2017.
- [3] Schneider Electric, Catalogue Modicon TM241 Automation Platform, January 2011.