

# **DESARROLLO DE SOFTWARE SCADA PARA PLANTA PILOTO DE CONCRETO SECO CON PROTOCOLO ETHERNET/IP**

***Yolanda Pérez Pimentel***

Universidad Politécnica de Chiapas  
*ypimentel@upchiapas.edu.mx*

***Ismael Osuna Galán***

Universidad Politécnica de Chiapas  
*iosuna@upchiapas.edu.mx*

## **Resumen**

Este trabajo describe el desarrollo e implementación de un sistema SCADA en una planta piloto de producción de concreto seco construida bajo requerimientos específicos en cuanto a tamaño, portabilidad y aplicación. La automatización quedó definida en dos modos: Manual y Automático. Para el control se requiere un PLC, un módulo de E/S remoto y una computadora personal usada como HMI, en una pequeña red que usa el protocolo de comunicación EtherNet/IP. La programación del PLC fue diseñada siguiendo la guía del estudio de modos de paros y marchas, GEMMA. El SCADA fue implementado en LabVIEW, para tener un HMI gráfico y amigable, mediante una máquina de estados que contempla las opciones necesarias de configuración, operación y respaldo de datos. Al momento el sistema SCADA cumple con los requisitos esenciales solicitados, pero es flexible a posibles expansiones.

**Palabras Claves:** Comunicación industrial, EtherNet/IP, SCADA.

## **Abstract**

*This paper describes the development and implementation of a SCADA system in a dry concrete production pilot plant built under specific requirements in terms of size, portability and application. Automation was defined in two modes: Manual and*

*Automatic. A PLC, a remote I / O module and a personal computer used as an HMI are required for control in a small network using the EtherNet / IP communication protocol. The programming of the PLC was designed following the guide of the study of modes of stops and marches, GEMMA. The SCADA was implemented in LabVIEW to have a graphical and friendly HMI through a state machine that provides the necessary configuration, operation and data backup options. At the moment the SCADA system meets the requested essential requirements but is flexible to possible expansions.*

**Keywords:** *EtherNet/IP, Industrials communication, SCADA*

## **1. Introducción**

Para el proyecto registrado con el número PEI2014:218518, aprobado de acuerdo a las reglas de operación de la convocatoria del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2014, se definieron los objetivos de diseñar e implementar una planta piloto dosificadora de concreto seco que permita el desarrollo de las distintas formulaciones en los concretos secos especiales mediante un software hecho a la medida, que garantice los estándares de calidad y control de todos los procesos necesarios para el funcionamiento correcto de la planta piloto.

Dado el tamaño y requerimientos de la planta piloto se propuso el desarrollo de un sistema de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition) para dar solución a las necesidades específicas del proyecto.

De acuerdo a [Rodríguez, 2012], *“se conoce como sistema SCADA a cualquier software que permita el acceso remoto a datos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo. No se trata de un sistema de control sino de una utilidad software de monitorización y supervisión, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión a un nivel superior”*.

Entre los objetivos que lo hacen elegible para la planta piloto en cuestión están: la funcionalidad en sistemas operativos Windows sobre cualquier PC estándar,

arquitectura abierta que permita integraciones con aplicaciones estándar (usando ActiveX, OPC, OLE\_DB, entre otros), instalación sencilla sin grandes requerimientos de hardware, fáciles de usar y con interfaces amigable con el usuario, permitir la integración de herramientas ofimáticas, configurable y escalable, ser independiente del sector y la tecnología, comunicaciones flexibles, transparente al usuario con el equipo de planta (redes locales y de gestión).

Los aspectos más importantes para considerar en la selección de un SCADA son:

- La tecnología de Intercambio Dinámico de Datos (DDE, *Dynamic Data Exchange*), que permite a cualquier aplicación, basada en Windows, intercambiar información con otra diferente a través de una memoria común, utilizando un protocolo que gestiona las funciones de dialogo.
- OPC, siglas de *Ole for Process Control* (OLE para control de procesos) y es una tecnología diseñada para comunicar aplicaciones. Es un estándar abierto que permite acceder a los datos desde aparatos de campo.
- EtherNet/IP, acrónimo de Ethernet Industrial Protocol, su ventaja principal es su universalidad, existen elementos de interconexión de bajo costo y muchos dispositivos industriales integran un punto de conexión a red local Ethernet. Al igual que los demás buses, intenta simplificar el método de transmisión mediante el uso de recursos suficiente para garantizar el funcionamiento del sistema.

Por otro lado, cuando se diseña la automatización de una máquina o proceso industrial con mecanismos de funcionamiento automático o semiautomático, es necesario prever y especificar todos los estados posibles de operación y funcionamiento, de manera que se definan con precisión las condiciones de arranque y paro, de cada proceso y operación que se realizan.

Debido a los múltiples factores que intervienen en la automatización de procesos y la complejidad que conlleva, la guía la guía del estudio de modos de paros y marchas, ofrece un enfoque de diseño estructurado para abordar las tareas de manera parcial. Para un proceso automatizado se reducen a tres módulos: *módulo de seguridad, módulo de modos de marcha y módulo de producción.*

*“La guía GEMMA procede de los trabajos llevados a cabo durante dos años por la ADEPA (Agence nationale pour le Developpement de la Productique Appliquée à l’industrie), agencia nacional francesa para el desarrollo de la producción aplicada a la industria. Las siglas GEMMA (Guide d’Etude des Modes de Marches et d’Arrets) designan guía de estudio de los modos de marcha y paro”, [Ponsa, 2005].*

La guía GEMMA, fue concebida para estar concordancia con las normas de la Unión Europea. Se rige por la norma nacional francesa UTE C 03-191, se aplica en complemento con la representación GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Etape-Transition) y se presenta como una metodología que incluye los modos de marcha y paro de control secuencial, el funcionamiento correcto del proceso controlado, además del funcionamiento ante sucesos anormales, incluyendo situaciones de emergencia, para prevenir daños humanos o materiales. La norma IEC 60848:2002 define al GRAFCET como un lenguaje que permite modelar el comportamiento de la parte secuencial de un sistema automatizado. Los diagramas GRAFCET permiten establecer las reglas o condiciones que se programaron en el controlador lógico programable (PLC), modelando de manera gráfica el software de control de la planta piloto.

El proceso de elaboración de concreto seco consiste en mezclar agregados, cemento y aditivos en proporciones definidas en laboratorio, y empaclar en bultos de 50 kg. La planta piloto automatizada consta de las partes siguientes, que se muestran en la figura 1:

1. Tolva de agregado
2. Tolva de agregado
3. Banda transportadora.
4. Tolva de cemento.
5. Mezcladora de listones.
6. Elevador de canjilones.
7. Tolva de producto terminado.
8. Ensacadora.
9. Remolque

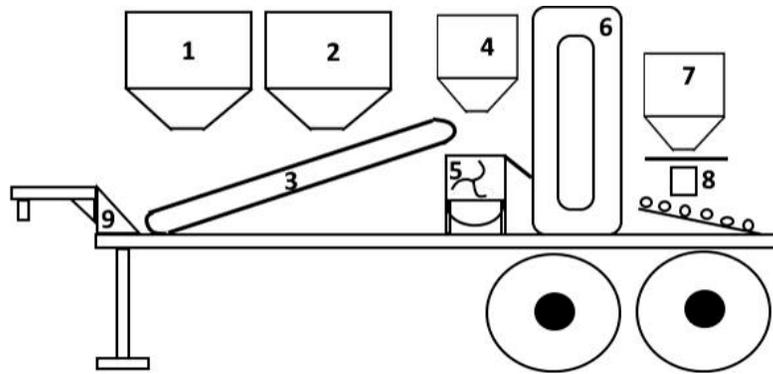


Figura 1 Partes de la Planta Piloto.

Se tienen los siguientes requerimientos para el correcto funcionamiento de la planta:

- Gabinete de control, situado en una caseta de control, máximo a 25 m de la planta piloto.
- El monitoreo de las básculas y del proceso se realizará desde un SCADA desarrollado en LabVIEW.
- Los motores y compuertas podrán accionarse manualmente mediante botones ubicados en el gabinete de control.
- El gabinete de control es de tipo pupitre.
- Botón de paro iluminado (rojo) y botón de arranque iluminado para el control manual de los motores.
- Botón de activación iluminado (verde) para los cilindros de las compuertas.
- Palanca selectora de 3 posiciones para modos de operación: Manual, No-Selección, Automático.
- Botón de confirmación iluminado (ámbar) para confirmación de modo de operación (manual y automático).
- Protocolo de comunicación Ethernet para la comunicación entre: SCADA – Gabinete tipo pupitre – Gabinete de arranque de motores.
- PC (all in one) como parte del Sistema SCADA.
- El gabinete de control gestionará el arranque de cuatro motores.
- El gabinete de control gestionará el accionamiento de cuatro electroválvulas.

- El paro de emergencia podrá accionarse desde tres ubicaciones: gabinete de control tipo pupitre, estación de ensacado y gabinete de arranque de motores.
- El software en la PC permitirá el monitoreo del proceso y la generación de reportes de producción.

El diagrama a bloques en la figura 2, muestra la integración de los distintos elementos que interactúan en la gestión del sistema de control para la planta piloto, incluye la posibilidad de expansión a través de una red Ethernet:

1. Generador. Proporciona la potencia eléctrica.
2. Gabinete de protección. Es el centro de carga principal de la planta.
3. Gabinete de arranque de motores. Contiene los sistemas de arranque suave de los motores a utilizar y la interfaz Ethernet con el gabinete de control.
4. Compresor. Suministra el aire comprimido.
5. Gabinete de control tipo pupitre. Contiene el CPU de control, y la botonera de control de modo manual.

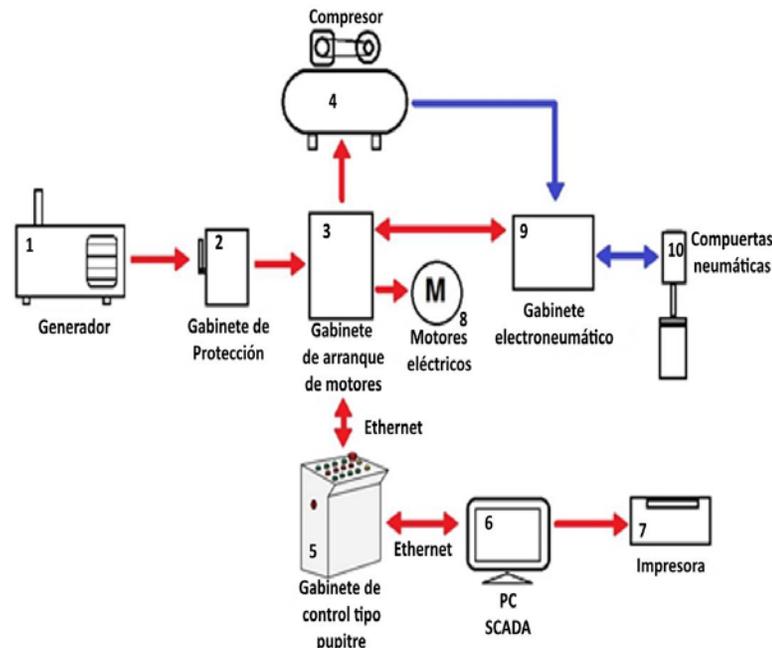


Figura 2 Comunicación de los diferentes elementos.

6. PC-SCADA. Computadora que contiene el software SCADA para el monitoreo de la planta y generación de reportes.
7. Impresora. Para impresión de los reportes generados por el software.
8. Motores eléctricos. Para banda transportadora, mezcladora de listones, elevador de cangilones y compresor de aire.
9. Gabinete electro-neumático. Contiene electroválvulas para activación de compuertas.
10. Compuertas neumáticas. Para la apertura de las tolvas (agregados 1, agregados 2, cemento) y mezcladora.

Partiendo del diagrama a bloques y de la guía GEMMA general se tomaron nueve estados que se muestran en la figura 3, debido a que con ello se cumplen los requerimientos de seguridad necesarios incluyendo futuras ampliaciones al sistema.

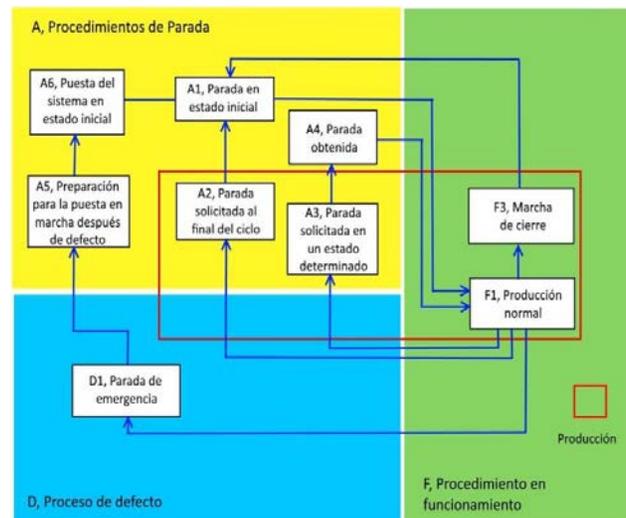


Figura 3 Guía GEMMA de la planta piloto.

Posteriormente se realizaron los diagramas GRAFCET, para establecer las relaciones de causa-efecto entre las acciones de entrada y las acciones de salida deseadas. Estas relaciones, se establecen como secuencias de operación del sistema. Se definieron los diagramas en base a la guía GEMMA propuesta en la figura 3.

La programación del PLC, un CompactLogix 5370, se realizó con el software de programación Studio 5000 con la aplicación RSLinx Classic, considerando que las etiquetas necesarias para el HMI del sistema SCADA deberían quedar establecidas a nivel de controlador, mientras que aquellas que iban a utilizarse únicamente en el modo manual desde gabinete podían quedar a nivel de programa.

## 2. Métodos

Para el sistema SCADA se usó el lenguaje de programación LabVIEW, debido a que presenta una gran flexibilidad para programar interfaces gráficas muy amigables al usuario, permite la comunicación usando el protocolo EtherNet/IP, de manera simple y transparente, guardado de datos en diferentes formatos de archivos estándar y, creación de ejecutables instalables con lo que se puede implementarse el programa resultante en cualquier PC aunque no tenga instalado LabVIEW. De acuerdo a lo implementado en el PLC, el sistema SCADA que se propone corresponde a una máquina de estado como se ve en la figura 4.

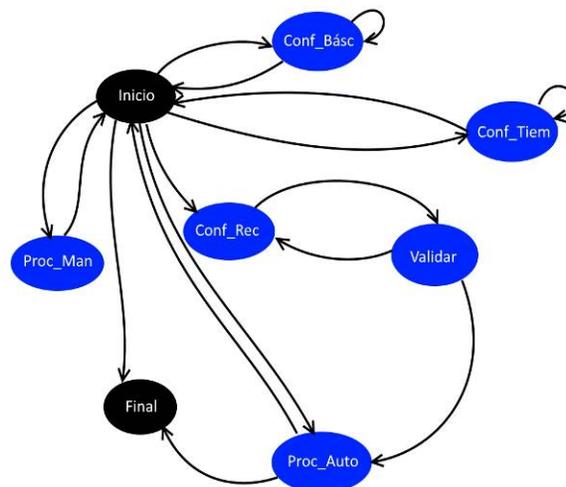


Figura 4 Máquina de Estados del Sistema SCADA.

La programación se realizó siguiendo la máquina de estados propuesta, el HMI presenta diferentes ventanas dependiendo del estado en el que se encuentra, el intercambio de información se hizo a través del módulo de LabVIEW para

EtherNet/IP, recibiendo o enviando información a través de etiquetas (tags) creadas en el PLC a nivel de controlador específicamente para lograr la comunicación con el sistema SCADA. Se crearon ventanas para cada uno de los estados, los cuales se describen a continuación:

- *Inicio*: Primer estado que se ejecuta al arrancar el sistema SCADA, figura 5. El mensaje inicial refleja el estado del PLC: *Seleccionar Modo, Modo Manual, Modo Automático o Paro de Emergencia*. Si el mensaje es “Paro de emergencia”, no podrá realizar ninguna acción, excepto *cancelar* que lo llevará al estado final donde se puede detener el sistema. En otro caso, podrá realizar cualquiera de las acciones.



Figura 5 Ventana Inicial del HMI.

- *Conf\_Básc*: En este estado, figura 6, se realiza la calibración de las celdas de carga de las tolvas de agregados 1, agregados 2 y cemento de manera secuencial. Cuando se da por finalizada la calibración regresa a la ventana correspondiente al estado inicial.

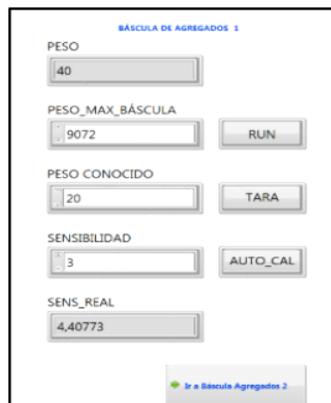


Figura 6 Configuración de Báscula.

- *Conf\_Tiem*: En éste estado se determinan tiempos de arranque de los diversos elementos, apertura de válvulas, activación de banda transportadora, mezcladora, elevador de cangilones, previamente obtenidos de manera experimental para el modo de producción automático, figura 7.

TIEMPO MEZCLADO	TIEMPO ARRANQUE MEZCLADORA	TIEMPO VACIADO MEZCLADORA
45	10	80
TIEMPO APERTURA AGREGADOS 1	TIEMPO APERTURA AGREGADOS 2	TIEMPO APERTURA CEMENTO
5	10	15
TIEMPO VACIADO BANDA	TIEMPO ARRANQUE BANDA	
25	10	
TIEMPO VACIADO ELEVADOR	GUARDAR TIEMPOS	TIEMPO ARRANQUE ELEVADOR
15		10
	STOP	

Figura 7 Ventana de configuración de tiempos.

- *Conf\_Rec*: Pueden ingresarse datos relevantes para el reporte, seleccionar la modalidad de producción (por lotes o continuo), seleccionar la receta desde un archivo Excel que contiene los datos previamente creado, y en base a la cantidad calcula la cantidad total a utilizar para la producción solicitada, figura 8.

1. Ingrese los datos solicitados en los campos marcados con (\*)

\* Nombre del Cliente:

\* Cantidad:  \* Capacidad de Mezcladora:

\* Directorio de Excel para las recetas:

\* Modalidad:  LOTES  CONTINUO

2. Presione el botón "Obtener Datos".

3. Si los datos mostrados son correctos, presione "Validar".

CANTIDAD REQUERIDA POR M3			
Agregado 1	Agregado 2	Cemento	Aditivo
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
CANTIDAD TOTAL REQUERIDA			
Agregado 1	Agregado 2	Cemento	Aditivo
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Número de Lotes: <input type="text" value="0"/>	Aditivo Requerido: <input type="text" value="0"/>		
CANTIDAD REQUERIDA POR LOTE			
Agregado 1	Agregado 2	Cemento	Aditivo
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
		Aditivo Requerido: <input type="text" value="0"/>	

Figura 8 Ventana de Configuración para la receta de producción.

- **Validar:** En el estado validar se buscan dos cosas: que dé un breve resumen de la producción y verificar que de acuerdo a los datos enviados desde la configuración de la receta, las tolvas contengan material suficiente para realizar al menos el primer lote (si se trabaja en modalidad por lotes) o carga completa (en modalidad continua), figura 9.

Resumen de Producción

CANTIDAD TOTAL REQUERIDA

Nombre del Cliente: Erwin

Remisión: 578    Cantidad: 1

Resumen para Validar:

Agregado1: 15    Agregado2: 15    Cemento: 5    No. de Lotes: 1

Cantidad de Aditivo: 0

Esperar a que tiempo máximo diferente de cero.

REGRESAR A RECETA    CONTINUAR

Figura 9 Ventana de validación de los parámetros de producción.

- **Proc\_Man:** Este estado fue solicitado para operar desde la botonera física, por lo cual el HMI refleja la información de las básculas como se muestra en la figura 10. Puede también pulsar *regresar a inicio* para cambiar al modo de producción automático o *finalizar* para detener el sistema al terminar la producción.

ESTADO 2

Cantidad en Tolva 1: 0    Cantidad en Tolva 2: 0    Cantidad en Tolva 3: 0

Cantidad Dispensada 1: 0    Cantidad Dispensada 2: 0    Cantidad Dispensada 3: 0

Cliente: [ ]

Cantidad a Producir: [ ]

Lotes a Realizar: [ ]

Resistencia: [ ]

Tipo: [ ]

IR A INICIO    PARO DE EMERGENCIA    FINALIZAR

Guardar Datos: Guardar Datos, Restablecer Datos

Figura 10 Ventana de monitoreo en modo manual.

- *Proc\_Auto*: Este estado muestra en tiempo real la información de las básculas, qué actuadores están activos, la información de la producción y el estado del PLC. Si ocurre un Paro de emergencia, el indicador correspondiente se enciende, la información se guarda y el programa pasa al estado finalizar para poder detener el sistema, figura 11.

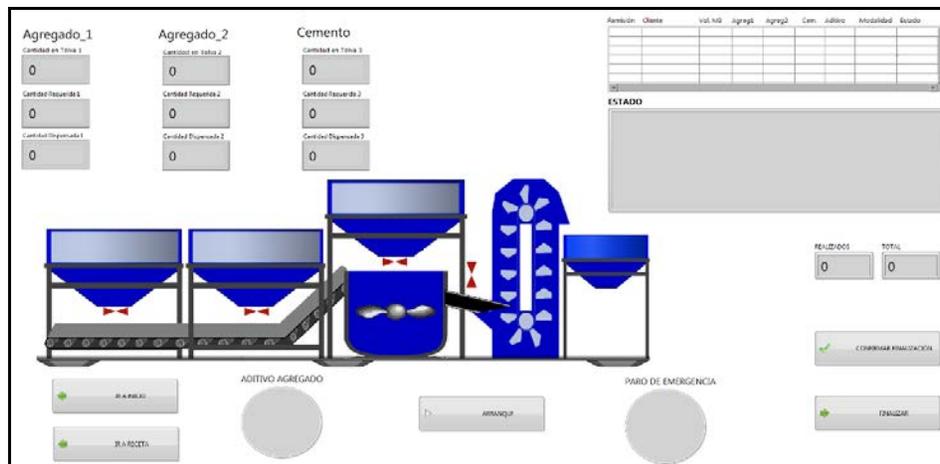


Figura 11 Monitoreo del proceso en modo automático.

- *Final*: Este estado es para detener el sistema, y se muestra cuando desde cualquier estado se pulsa finalizar o cancelar. Al pulsar Detener Sistema, se confirma que se desea terminar la producción y todos los datos de esta se guardan en un archivo con extensión \*.lvm, propio de LabVIEW, en el que se irán los datos crudos de la producción día a día y del cual se podrán generar reportes, figura 12.



Figura 12 Ventana final de confirmación para detener sistema.

La segunda aplicación, llamada Reporte, tiene una interfaz sencilla que se muestra en la figura 13, en la que se puede generar el reporte con unos pocos datos que ingresar al momento.

Figura 13 Interfaz para generar el reporte de producción.

Para realizar la comunicación con el PLC, LabVIEW provee el módulo EtherNet/IP, que ofrece una interfaz para comunicar directamente en una red Ethernet con dispositivos compatibles. El módulo tiene mecanismos para mensajes explícitos de Entrada/Salida, para compartir datos con una variedad de PLCs, [EtherNet/IP, 2017].

Se dispone de iconos para leer y escribir mensajes, usando etiquetas para registrar archivos. Para que una etiqueta pueda ser accedida desde LabVIEW debe estar definida en la programación a nivel “controlador”. El nombre de la etiqueta (**Tag Name**) se conecta mediante una constante (o control) de tipo cadena (*string*). Tanto el nombre de la etiqueta como la dirección de red (**Network Path**), son datos requeridos de conectar como se muestra en la figura 14a. En el caso de escritura, se requieren también los datos (**Data**), que se envían mediante un arreglo (array), figura 14b.

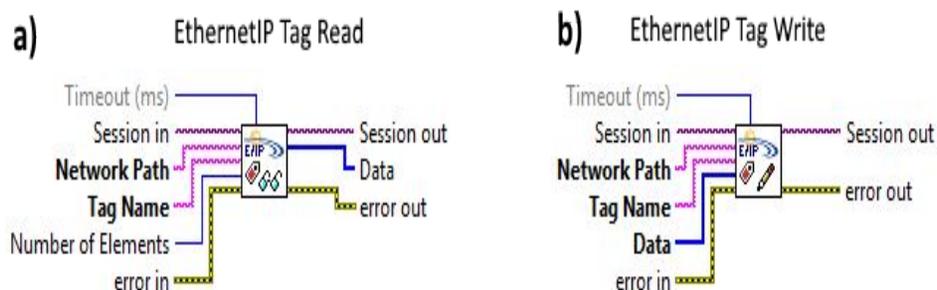


Figura 14 Iconos para lectura y escritura al PLC.

### 3. Resultados

Una vez realizadas las pruebas completas de funcionamiento, desde la calibración de básculas, configuración de tiempos, operación en estado manual y automáticos, modalidad por lotes y continuos, así como los paros de emergencia y guardado de datos, desde el HMI del sistema SCADA, se pudo validar que la planta piloto, mostrada en la figura 15, funciona correctamente y todos los requerimientos solicitados fueron implementados de manera satisfactoria.

Pero lo más importante del desarrollo del sistema SCADA es que más allá de cumplir con los requisitos, la visualización del HMI se enfocó en proporcionar a los usuarios información relevante de la manera más sencilla basándose en su propia experiencia, lo que se logró en una estrecha comunicación no sólo del equipo de trabajo sino con los operarios potenciales de la planta.



Figura 15 Planta Piloto de concreto seco.

Derivado de ello, ante la inquietud del posible cambio de PC del sistema SCADA se construyó un instalador, con el fin de que si en algún momento se requiere cambiar la PC, no será necesario instalar LabVIEW, debido a que éste integra todos los requerimientos para la ejecución del SCADA. Independientemente de ello, se consideró que el reporte se ejecutara en una aplicación diferente al HMI. Por lo tanto, se instalan dos aplicaciones:

- **SCADA:** Esta aplicación abre el HMI del usuario, dependiendo de lo que se requiera hacer, ofrece diferentes botones para ir a otras ventanas, es decir, es el producto de la máquina de estados presentada en la sección anterior.

Guarda los datos crudos de la producción del día en un archivo .lvm cuando se detiene el sistema.

- *Reporte:* Esta aplicación le permite al administrador de la planta recuperar los datos que se han guardado de la producción y generar un archivo tipo Excel para la administración de la planta.

Ambas aplicaciones se visualizan y encuentran como cualquier otra instalada en la PC, y de igual manera pueden anclarse a menú inicio o barra de tareas. Al pulsar sobre ellos se ejecuta de forma inmediata estableciendo la conexión con el gabinete de control y queda listo para trabajar, figura 16.



Figura 16 Cabina de control, botonera para control manual y HMI SCADA desarrollado.

Finalmente se grabó un disco que contiene, el instalador de Software SCADA v1.0, instalador de RSLinx Classic (necesario para el enlace con el PLC) y Manual de Usuario, con instrucciones detalladas para instalación desde cero, configuración de la red y funcionamiento del sistema SCADA.

#### 4. Discusión

La automatización de la planta piloto de cemento seco se realizó por etapas, siendo el desarrollo del sistema SCADA la etapa final, debido a que debía realizarse la integración mecánica, eléctrica y de control en primera instancia, posteriormente la programación del PLC con lo que ya funcionaba de manera manual desde gabinete sin interfaz de usuario. Sin embargo, se requirió de toda la información generada en ambas etapas para desarrollar un HMI que respondiera a las necesidades específicas de la planta piloto.

## **5. Conclusiones**

La planta piloto se encuentra totalmente funcional, de acuerdo a los requerimientos solicitados, con lo que el proyecto ha sido terminado de manera satisfactoria. A futuro se prevén modificaciones y/o expansiones de esta, para lo cual se realizó un software escalable que pueda adecuarse a los nuevos requerimientos. Además, se ha pensado en aumentar la eficiencia del SCADA con un módulo que aportaría información de corrección de recetas en la producción, tomando en cuenta la ubicación de la planta y las condiciones climáticas.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] EtherNet/IP: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209676>, Agosto de 2017.
- [2] Ponsa Asensio P., Vilanova Arbós R., Automatización de procesos mediante la guía GEMMA, Edicions UPC, Catalunya, Páginas 37-39, 2005.
- [3] Rodríguez Penin A., Sistemas SCADA, 3ª Edición, Marcombo SA Barcelona, Cap 1 (e-Book), 2012.