

# Modernización del sistema SCADA de la etapa de formación de pasta para la fabricación de placas de fibrocemento en la planta de Eternit Ecuatoriana S.A.

Chiguano Lasso Henry Paúl

Escuela Politécnica Nacional  
E-mail: hpcl\_1990@hotmail.com

**Resumen**—El presente documento describe la implementación del proyecto de titulación denominado “Modernización del sistema SCADA de la etapa de formación de pasta para la fabricación de placas de fibrocemento en la planta de Eternit Ecuatoriana S.A.”, el mismo que ha ayudado a tener un sistema SCADA amigable y de fácil acceso para los usuarios, reduciendo al mínimo los errores por mala operación; además genera información en tiempo real, que brinda soporte al personal técnico-administrativo de la empresa. De esta manera se ha demostrado una mejora notable en el proceso de preparación de pasta de Eternit Ecuatoriana S.A.

## I. INTRODUCCIÓN

LA fabricación de placas de fibrocemento en la empresa Eternit Ecuatoriana S.A, requiere de varios procesos, los cuales se observan en la Fig. 1. Uno de los procesos es el de preparación de pasta, dentro del cual, mediante este proyecto, se ha realizado la modernización de su sistema SCADA, incorporando equipos e instrumentos nuevos del proceso y brindando reportes útiles con información ordenada y clasificada al personal técnico – administrativo de la empresa.

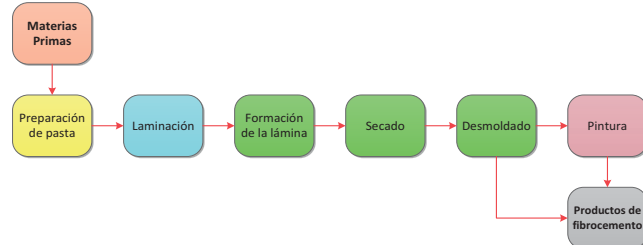


Fig. 1 Etapas del proceso de fabricación de productos de fibrocemento

## II. PROCESO DE PREPARACIÓN DE PASTA

La etapa de preparación de pasta está conformada de varios subprocesos, los cuales se muestran en la Fig. 2 cuenta con un sistema de control maestro realizado mediante un PLC de la familia Premium de Schneider Electric, la lógica de programación está desarrollada en el software Unity Pro L.

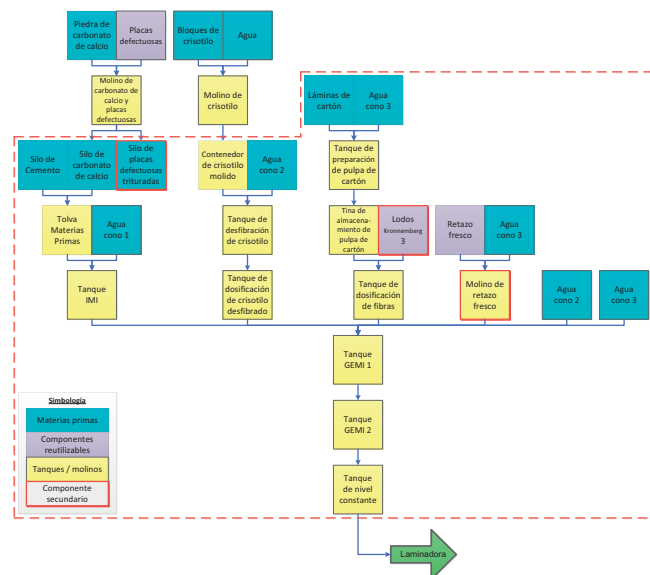


Fig. 2 Layout proceso de preparación de pasta

### A. Control del proceso de preparación de pasta

Haciendo referencia a la Fig. 2, se describen los procesos en simultáneo que se realizan en la preparación de la pasta, se inicia con la selección de la receta, la misma que contiene datos de las cantidades en peso de cemento, carbonato, recuperado seco, crisolito, pulpa de cartón, retazo fresco, tiempos de dosificación de agua; estos valores son definidos por personas del área de calidad, que mediante estudios y análisis llegaron a determinar las proporciones de los componentes para tener una pasta de gran calidad.

Luego de seleccionar la receta con la que se trabajará, los subprocesos empiezan simultáneamente: desde los silos ingresa el cemento, carbonato y recuperado seco hacia la tolva de materias primas, simultáneamente se descarga agua del cono 1 al tanque denominado IMI, una vez que ya se ha llegado al valor de peso de materias primas indicado en la

receta se descarga al IMI, esta mezcla se agita hasta que lo solicite el tanque denominado GEMI 1.

Al mismo tiempo, en el tanque de desfibración de crisotilo (desfibraser) se realiza la mezcla de agua con el crisotilo desmenuzado, las cantidades de crisotilo y agua están predefinidas en la receta. Este producto es enviado al taque de dosificación de crisotilo, aquí reposa hasta que el tanque GEMI 1 lo solicite.

De la misma forma que en los dos casos anteriores, tenemos otro subproceso a la par, en el tanque de dosificación de fibras la pulpa de cartón de la tina de almacenamiento de pulpa de cartón se mezcla con agua del tanque kronnemberg 3; este producto reposa hasta que lo solicite el taque GEMI 1.

Una vez que se tienen todos los productos listos, el tanque GEMI 1 solicita la descarga de los tanques: IMI, dosificador de crisotilo desfibrado, dosificador de fibras y agua de los conos 2 y 3, y como componente secundario se ingresa producto del molino de retazo fresco. La agitación de todos estos productos se realiza por un tiempo determinado en la receta.

Posteriormente esta mezcla se descarga al tanque GEMI 2, de donde se alimenta continuamente la pasta al tanque de nivel constante (TNC), el mismo que cuenta con un agitador que de manera continua bate la mezcla para mantenerla homogénea. Además, este tanque es de tipo rebose, todo lo que sobra se realimenta al tanque GEMI 2.

#### B. Sistema SCADA anterior

Anteriormente, el sistema SCADA de preparación de pasta estaba desarrollado en INTOUCH V9.5, contaba con una licencia de 1000 tags, los cuales estaban ocupados aproximadamente en un 95%. A continuación se mencionan los problemas del sistema SCADA de preparación de pasta anterior:

- Capacidad del Intouch ocupada en un 95% en el proceso de preparación de pasta, esto limitó la implementación de los SCADA del resto de áreas de la planta.
- Debido a la modernización de la planta la instrumentación ha cambiado, instrumentos que a pesar que ya no existen físicamente, seguían constando en las pantallas del SCADA, provocando confusión, visualización saturada e incluso mala operación del sistema.
- Base de datos desactualizada, se continuaba guardando información de elementos inexistentes y en otros casos no se guardaba información del proceso para realimentación y realización de correcciones al proceso en marcha.
- Falta de visualización de reportes en el sistema SCADA.
- No todas las personas involucradas en el proceso tenían acceso al archivo de reportes del SCADA.

Las soluciones a los problemas mencionados anteriormente se describen a continuación:

- Debido a la limitación para realizar los SCADA del resto de áreas de la planta en Intouch, la empresa adquirió un nuevo software para realizar el SCADA:

Vijeo Citect 7.2, cuenta con una licencia lo suficientemente amplia para la implementación de los SCADA de toda la planta, este proyecto abarca el proceso de preparación de pasta.

- Levantamiento de información de la instrumentación del proceso de preparación de pasta, con esta información se realizó una correcta implementación de las pantallas del proceso.
- Depuración de información del proceso para la creación de una nueva base de datos.
- Creación de reportes en sistema SCADA, para operadores en cabina y para personal de producción y calidad que realizan análisis de los datos

### III. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA

SCADA, acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un sistema que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Proveen de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención, [11].

Para dotar de un SCADA a un proceso industrial se requiere a más del software específico trabajar en interacción con una base de datos y una hoja electrónica, herramientas que ayudan a contar con un sistema completo, que ayuda a adquirir los datos del proceso y organizarlos para brindar información útil a los diferentes usuarios del sistema. A continuación se describen las herramientas que se utilizaron en este proyecto.

#### A. Vijeo Citect 7.2

Si bien existen varios proveedores de software para sistemas SCADA, en este trabajo se utilizó Vijeo Citect 7.2, por ser un software que fue adquirido por la empresa a finales del 2011, con la visión de desarrollar y estandarizar los sistemas SCADA de las diferentes áreas de la planta, para lo cual se cuenta con una licencia de 5000 tags, se entiende como tag a toda variable intercambiable entre el computador y el PLC, por ejemplo, una señal de accionamiento de un motor, un valor de lectura de una balanza, la señal de un relé térmico etc.

Es importante definir lo que es un objeto ActiveX, de manera general los objetos ActiveX son programas que permiten intercambiar información entre diferentes aplicaciones, dentro de Vijeo Citect el comportamiento, funcionalidad, fiabilidad y adecuación de un objeto de ActiveX, por ejemplo el de una cámara, está determinado principalmente por el software propio de la cámara.

Los operadores visualizarán en Vijeo Citect los reportes con información clasificada y detallada mediante un objeto ActiveX denominado controlador de intercambio de base de datos, para la extracción de información desde SQL Server (base de datos) se debe realizar la configuración de la cadena de conexión hacia la base de datos requerida.

### B. SQL Server

SQL Server es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de Microsoft que está diseñado para el ambiente empresarial. SQL Server se ejecuta en T-SQL (Transacciones - SQL), un conjunto de programas de extensiones de Sybase y Microsoft que agrega varias características para un SQL estándar, incluyendo control de transacciones, excepciones y el tratamiento de errores, procesamiento fila, y declaración de variables, [12].

Una base de datos se puede definir como un conjunto de información agrupada para su uso posterior. La base de datos sirve como almacén de información del Sistema SCADA, por ejemplo, nombre de la receta, número de batch, peso de las balanzas, tiempos del proceso, estados del sistema, nombre del usuario, en fin.

ODBC (Open Data Base Connection) conectividad abierta de base de datos, es un estándar de acceso a las bases de datos, actúa como intermediario entre la base de datos (SQL Server) y las aplicaciones (Vijeo Citect y Excel), su función es permitir enviar y recibir información entre estos dos, que no hablan el mismo idioma y que gestionan sus recursos de forma diferente.

### C. Microsoft Excel

Excel es un software que permite crear tablas, y calcular y analizar datos. Este tipo de software se denomina software de hoja de cálculo. Excel permite crear tablas que calculan de forma automática los totales de los valores numéricos que especifica, imprimir tablas con diseños cuidados, y crear gráficos simples, [13].

Para el desarrollo del proyecto Microsoft Excel se utilizó para que el personal técnico - administrativo visualice los reportes en sus oficinas.

En la Fig. 3 se muestra la forma de interacción entre Vijeo Citect, SQL Server y Microsoft Excel, mediante ODBC Vijeo Citect envía y recibe datos de SQL Server, mientras que Microsoft Excel únicamente recibe datos de SQL Server a través de ODBC.

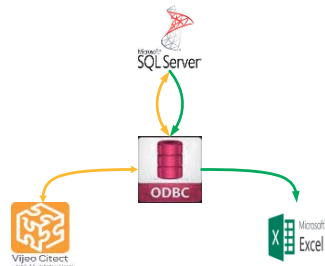


Fig. 3 Interacción de los programas a utilizar

### D. Criterios para el diseño

El diseño del sistema SCADA comprende varios puntos, mencionando algunos se tiene: comunicaciones, nomenclatura de los tags de variable, colores de los elementos de las páginas gráficas, niveles de jerarquía de usuarios, selección de datos para almacenar en la base de datos, en fin.

1) *Comunicaciones*: Uno de los puntos más críticos dentro del diseño es como va a comunicarse el SCADA con los dispositivos (PLC's), para lo cual se requiere la conexión física entre ellos y el software con los protocolos correspondientes. Físicamente la conexión entre el SCADA y los PLC's se realizó mediante la red Ethernet que está distribuida por toda la planta utilizando el protocolo Modbus TCP/IP. Luego de tener definido físicamente la comunicación entre Vijeo Citect y los PLC's el siguiente paso es la configuración a nivel de software, para esto en Vijeo Citect se necesita definir un servidor de entradas y salidas por medio del cual se logra comunicar con los dispositivos de entrada / salida, los pasos a seguir son:

- Crear un servidor de E/S
- Crear un dispositivo de E/S
- Seleccionar el tipo de dispositivo y el protocolo
- Definir el tipo de tarjeta de interface
- Finalmente, configurar los puertos de comunicaciones

El asistente de comunicaciones rápido de Vijeo Citect facilita el proceso de creación de un dispositivo de E/S, un diagrama esquemático se presenta en la Fig. 4. Al finalizar la configuración de todos los Dispositivos de E/S, Vijeo Citect está listo para interactuar con los PLC's, enviará y recibirá información sin ningún problema.

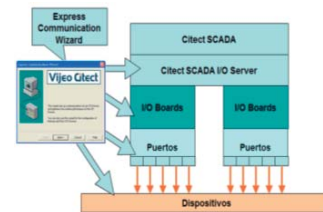


Fig. 4 Configuración de las comunicaciones en Vijeo Citect

2) *Nomenclatura de los tags de variable*: Mediante un convenio con el Departamento de Proyectos de Eternit Ecuatoriana S.A se llegó a la consigna de la nomenclatura de los tags, se utilizó un prefijo que está relacionado con el área al que está asociada la variable, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Prefijo de las áreas de Eternit Ecuatoriana S.A

Áreas de Eternit Ecuatoriana S.A		
Proceso que controla el PLC	Nomenclatura del PLC dentro de la planta	Prefijo
Preparación de la pulpa de cartón	Celulosa	Celu
Preparación de floculante	Floculante	Floc
Preparación de pasta	Preparación	Prep
Molino de retazo fresco	Disolutor	Diso

3) *Usuarios y niveles de jerarquía*: Para acceder a ejecutar diferentes órdenes o comandos dentro del SCADA es necesario crear niveles de privilegio, por lo tanto, se debe crear jerarquías y claves para los usuarios. Vijeo Citect proporciona ocho privilegios jerárquicos: el privilegio 1 es el más bajo y el 8 el más alto; por ejemplo, un usuario con

privilegio 3 también tiene privilegio 2 y 1. Para una operación óptima del sistema SCADA, se decidió contar con los usuarios y privilegios descritos en la Tabla 2.

Tabla 2. Usuarios y niveles de jerarquía

Usuarios y niveles de jerarquía		
Usuario	Privilegio	Descripción
Operador	1	Control de maquinaria y creación de órdenes de producción
Supervisor	2	Cambio de proceso de modo automático a manual
Jefe	3	Creación, edición y almacenamiento de recetas
Programador	8	Control total del proceso

4) *Componentes de las páginas gráficas:* Para el diseño de las páginas del Sistema SCADA se tomó en cuenta aspectos como: qué se mostrará en cada página, colores de representación del estado de los componentes, simbolización de los componentes del proceso, etc. Este diseño inicia con el detalle del contenido de cada una de ellas, en la Fig. 5 se muestran los elementos constitutivos y ubicación de los mismos dentro de cada pantalla. A continuación se describen dichos elementos:

1. **Panel de navegación:** sirve para navegar por todas las páginas del SCADA.
2. **Área:** permite visualizar el nombre del área y modo de operación en que se encuentra trabajando la misma (manual / automático / emergencia).
3. **Cuadro de visualización de los estados del sistema:** permite visualizar el estado del proceso, nombre de usuario, estado de comunicación con el PLC y base de datos, nombre de la receta, órdenes de producción.
4. **Cuadro de variables de revisión continua:** contiene datos que los usuarios necesitan revisar continuamente: pesos de balanzas, número de batches, tiempos de proceso, etc.
5. **Representación del proceso:** es donde se visualiza el comportamiento en tiempo real de los componentes del proceso (agitadores, bombas, válvulas, balanzas, etc.).

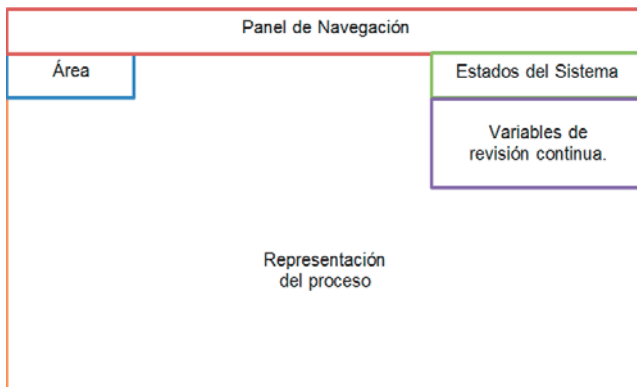


Fig. 5 Descripción macro de los componentes de la página

5) *Colores representativos:* Los colores que simbolizarán los estados de los componentes del proceso se detallan en la Tabla 3.

Tabla. 3 Colores y su representación dentro del sistema SCADA

Color	Representación
Gris	Componente en reposo
Verde	Componente en operación normal
Amarillo parpadeante	Componente con falla térmico y/o sin confirmación
Rojo	Componente bloqueado
Azul	Tubería con agua
Naranja	Tubería con producto procesado

6) *Alarmas:* Las alarmas en Vijeo Citect supervisan constantemente los equipos y alerta a los operadores de cualquier error o situación de falla en los equipos.

1. **Alarmas de hardware:** Vijeo Citect ejecuta continuamente rutinas de diagnóstico para verificar los dispositivos (PLC's). Todas las fallas son notificadas automáticamente al operador. Esta facilidad es propia de Vijeo Citect, es decir, no se necesita de ninguna configuración.
2. **Alarmas configuradas:** A diferencia de las alarmas de hardware, se debe configurar las alarmas que reportan condiciones de falla en la planta, por ejemplo, sobrecarga de un motor, desborde de una balanza, etc. Se tiene una notificación de alarma configuradas cuando:
  - ✓ Existe una sobrecarga en los motores.
  - ✓ Cuando los procesos están en modo emergencia (paro de emergencia activado).
  - ✓ Existe falla en la conexión de Vijeo Citect con cualquiera de los 4 PLC's.
  - ✓ Existe falla en la conexión de Vijeo Citect con el servidor de la base de datos.

7) *Selección de información para el almacenamiento:* De acuerdo a los requerimientos del personal técnico - administrativo y con proyección al diseño de los reportes, se desarrolló las tablas en SQL server, descritas en la Tabla 4.

Tabla. 4 Tablas desarrolladas en SQL Server

Tablas desarrolladas en SQL Server	
Nombre	Contenido
Batch	Información sobre valores teóricos y reales de la receta tomados en cada batch.
Batch completo	Información sobre estados del proceso, números de batch, tiempos de remojo, valores de agua y pasta, tiempos de agitación, etc.
Fórmula	Información sobre los valores de peso de la receta: cemento, carbonato, crisotilo, agua, etc.
Fórmula tiempos	Información de tiempos de dosificación de agua de los conos para el proceso.
Órdenes de producción	Información sobre las órdenes y subórdenes de producción creadas, número total de batch, receta usada, etc.



Set Points	Información sobre valores de set points del proceso: tiempos de agitación, tiempos de verificación de motores, tiempos de corte de balanzas, etc.
Recetas	Información sobre valores de formulación de cada componente de las recetas.

7) *Reportes*: Se decidió crear en SQL server vistas de las tablas, con la finalidad de poder filtrar toda la información contenida en una sola tabla, por ejemplo de una misma tabla se pueden realizar distintas vistas con diferente tipo de filtrado: columnas a mostrar, campos de ordenamiento, todo esto sin afectar la tabla principal.

Contando con el buen diseño de la base de datos el diseño de reportes se simplifica. Se diseñó dos tipos de reportes: uno para los operadores en cabina mediante objetos ActiveX en Vijeo Citect y otro para análisis del personal técnico - administrativo en Microsoft Excel.

1. **Reportes en Vijeo Citect:** El proceso de visualización de reportes en Vijeo Citect se describe en el diagrama de bloques mostrado en la Fig. 6.

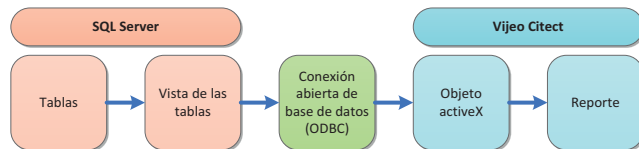


Fig. 6 Diagrama de bloques de creación de reportes en Vijeo Citect

2. **Reportes en Excel:** El proceso de visualización de reportes en Excel se describe en el diagrama de bloques mostrado en la Fig. 7.

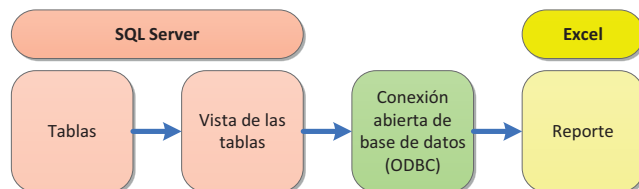


Fig. 7 Diagrama de bloques de creación de reportes en Excel

#### E. Arquitectura del sistema SCADA a utilizar

La arquitectura del sistema SCADA implementado se muestra en la Fig. 8, físicamente el medio de comunicación entre todos los componentes del sistema es a través de la red Ethernet de la empresa.

Los PLC's se encuentran ubicados en el área del proceso que comandan, los PLC's de preparación de pasta, preparación de floculante y molino de retazo fresco se comunican de manera directa con el SCADA.

El PLC de preparación de la pulpa de cartón no cuenta con interfaz Ethernet propia, pero está acompañado de una pasarela de Modbus/RTU (RS-485) a Modbus/TCP (Ethernet), a pesar de ya contar con la interfaz Ethernet la comunicación directa no fue satisfactoria, la solución fue realizar una arquitectura maestro-esclavo, configurando como maestro al PLC de preparación.

El computador que trabaja como servidor del sistema SCADA se encuentra en la cabina de control del proceso de preparación dentro de una consola de control con el objetivo

de evitar el polvo y la humedad, dicho computador está conectado a una UPS (sistema de alimentación de energía ininterrumpida), para que en el caso de falla en el suministro de energía principal trabaje con la UPS por un tiempo determinado, hasta tener disponible nuevamente la energía principal o a su vez energía de los generadores de la planta.

El computador que actúa como servidor de la base de datos se encuentra dentro de un cuarto exclusivo y con acceso restringido dentro del área de sistemas de Eternit Ecuatoriana S.A. Al tratarse de un servidor este trabaja ininterrumpidamente las 24 horas al día y los 365 días del año, ya que aquí se almacena toda la información proveniente del SCADA. Al igual que el servidor del sistema SCADA, este computador también se encuentra conectado a una UPS.

Como se observa en la Fig. 8 cada uno de los elementos del sistema SCADA cuenta con una dirección IP fija, estas direcciones han sido asignadas por el departamento de Sistemas de Eternit Ecuatoriana S.A.

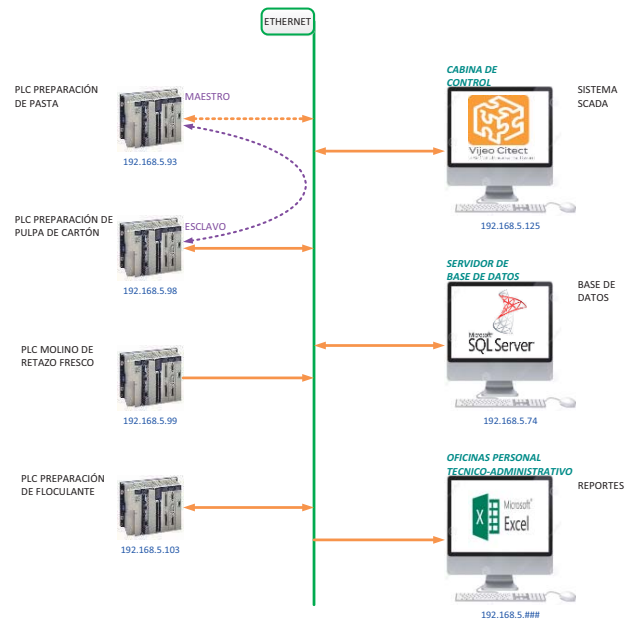


Fig. 8 Arquitectura del sistema SCADA implementado

#### IV. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA

Luego de realizar el diseño de cada componente del proyecto, tener un amplio conocimiento de la forma de operación del proceso y de realizar reuniones con las áreas de producción, calidad y mantenimiento, el siguiente paso en el desarrollo del proyecto es la implementación del mismo.

##### A. Pantallas implementadas

A continuación se presentan las páginas del sistema SCADA implementado, cabe recalcar que la nomenclatura empleada en la implementación de las pantallas ha sido acorde a la terminología que el personal de Eternit Ecuatoriana S.A usa para referirse a los componentes del proceso (tanques, motores, torillos sin fin, tolvas, válvulas), así como al nombre de los procesos que abarca la preparación de la pasta.

1) *Preparación de pasta principal:* La pantalla principal de preparación de pasta se visualiza en la Fig. 9, esta pantalla es la más importante del sistema SCADA ya que los operadores controlan el proceso basándose en el estado de los componentes (motores, balanzas, tiempos, niveles) de esta pantalla. Cada uno de los tanques, tolvas y conos están identificados con su respectivo nombre.



Fig. 9 Pantalla principal de preparación de pasta

2) *Dosificación de cemento, carbonato de calcio y placa triturada:* Esta pantalla muestra el subproceso de dosificación de cemento, carbonato de calcio y placa triturada, en el cuadro de variables de revisión continua se puede realizar la selección de los silos de trabajo, visualizar la lectura de la balanza y número de batch de la tolva de materias primas, además se cuenta con una página emergente asociada a cada uno de los motores de los tornillos sin fin. Cada tolva está identificada con su respectivo nombre, esta pantalla se muestra en la Fig. 10.

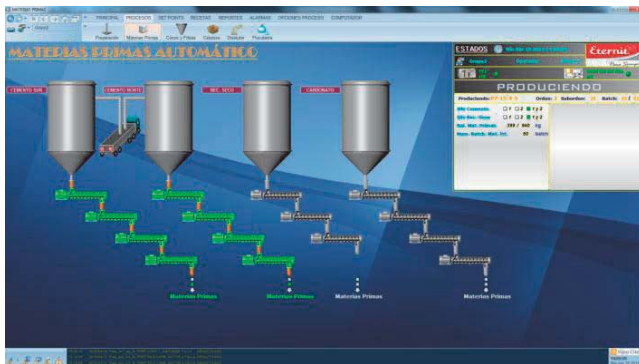


Fig. 10 Pantalla de dosificación de cemento, carbonato de calcio y placa triturada

3) *Dosificación de agua y fibras:* Esta pantalla muestra dos subprocesos: la dosificación de agua y la dosificación de fibras, en el cuadro de variables de revisión continua se visualiza los tiempos de dosificación de los conos, lectura de la balanza de fibras y número de batch de los tanques. Las válvulas, motores y agitadores cuentan con una página emergente asociada, de la misma manera cada tanque tiene su identificación, esta pantalla se muestra en la Fig. 11.

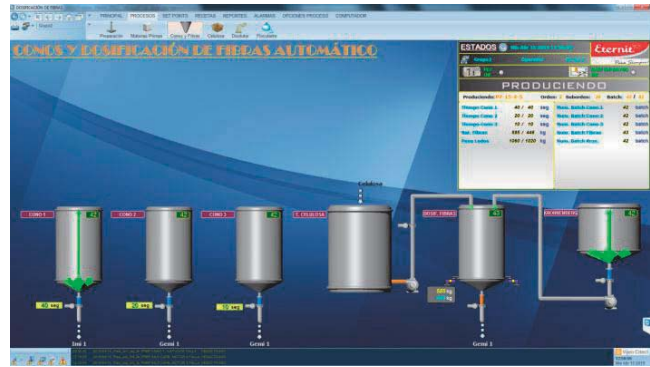


Fig. 11 Pantalla de dosificación de agua y fibras

4) *Preparación de la pulpa de cartón:* En esta pantalla se visualiza el proceso de preparación de la pulpa de cartón, se puede ajustar los tiempos de remojo, agitación, pulpado recirculación y envío, esta pantalla se muestra en la Fig. 12.



Fig. 12 Pantalla de preparación de la pulpa de cartón

5) *Molino de retazo fresco:* En esta pantalla se visualiza el proceso de molida de retazo fresco, en el cuadro de variables de revisión continua se visualiza las distintas opciones de dosificación de agua y retazo, así como la opción con la que se está trabajando. Además se puede visualizar el set point de peso de agua y el de retazo, peso de la balanza y número de batch. El tanque tiene su identificación como en los casos anteriores, esta pantalla se muestra en la Fig. 13.

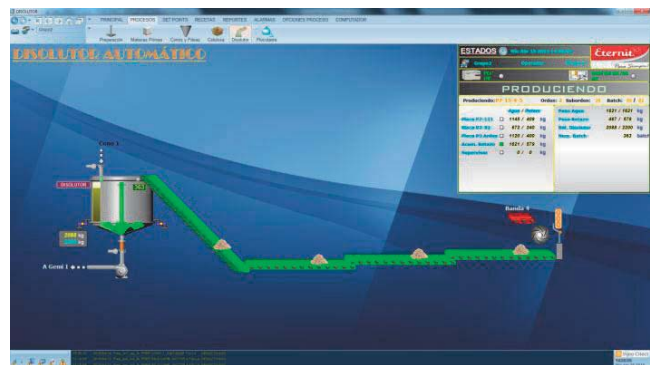


Fig. 13 Pantalla de molino de retazo fresco

6) *Preparación de floculante:* En esta pantalla se visualiza el proceso de preparación de floculante, en el cuadro de variables de revisión continua se puede ajustar el tiempo de

agitación del agua junto con el floculante, número de ciclos del sin fin y el peso total de floculante granulado. Tanto los tanques como la tolva están identificados con su nombre característico. Además se presentará un mensaje de aviso en el caso que la tolva de floculante granulado este vacía, esta pantalla se muestra en la Fig. 14.

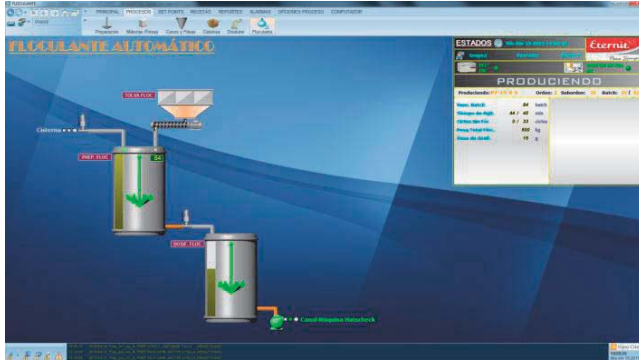


Fig. 14 Pantalla de preparación de floculante

7) *Ajuste de Set Points*: La pantalla de ajuste de set points se observa en la Fig. 15, como se puede observar esta pantalla tiene una imagen de fondo que da un aspecto diferente al resto de páginas y que hace notar que se está en una página donde se debe realizar un chequeo de valores.

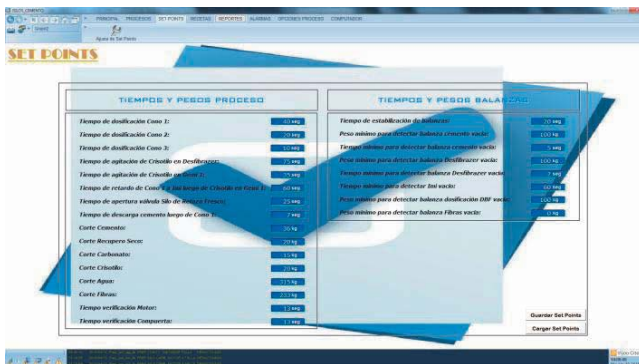


Fig. 15 Pantalla de ajuste de set points

8) *Recetas*: En la pantalla de recetas se crea, consulta, edita y guarda los valores de dosificación de las materias primas, estos valores ingresados no se envían directamente al PLC, únicamente se almacenan en la base de datos y están listos para ser utilizados de acuerdo a la orden de producción que se realice. Internamente se realizan cálculos como por ejemplo el cálculo de los porcentajes de cada tipo de crisolito, peso total de la receta.

La pantalla de recetas se observa en la Fig. 16, como se puede visualizar al igual que la página de ajuste de set points, esta página también tiene una imagen de fondo con características de ingreso o chequeo de valores.



Fig. 16 Pantalla de recetas

9) *Reportes*: Los reportes brindan información en tiempo real de valores que necesitan ser analizados por el personal técnico – administrativo.

Los reportes en Vijeo Citect han sido implementados en formato de tabla mediante el objeto ActiveX denominado DatabaseExchange.DataManager, el mismo que tiene características que permiten un manejo simple, entre las más relevantes se tiene: barra de desplazamiento horizontal y vertical para navegar por toda la información, opciones de filtrado, opción de impresión, etc. la información esta ordenada por fecha de forma descendente, es decir, el último batch siempre aparecerá en primer lugar.

El reporte de batch diario se observa en la Fig. 17, adicionalmente a este reporte se han creado otros: órdenes de producción, recetas, numero de batch, preparación de pulpa de cartón, preparación de floculante y molino de retazo fresco; todos estos tienen las mismas bondades descritas anteriormente.

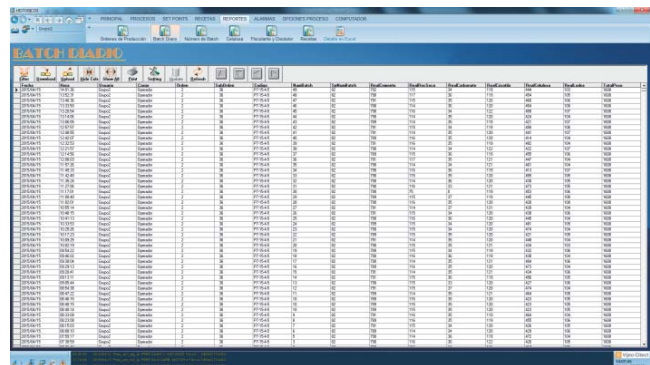


Fig. 17 Pantalla de reporte de batch diario

En Microsoft Excel se tiene el mismo número de reportes que en Vijeo Citect, y bajo el mismo formato de tabla, de la misma forma para extraer los datos de SQL Server se deben realizar configuraciones de los parámetros similares a los configurados en el ODBC.

Para navegar entre los reportes se debe elegir el que se desee visualizar en el menú de selección de hojas ubicado en la parte inferior de la hoja de cálculo, como se observa en el rectángulo resaltado en la Fig. 18.



Menú de navegación por los reportes

Fig. 18 Reportes implementados en Microsoft Excel

Los reportes mencionados anteriormente reciben información desde las vistas de las tablas desarrolladas en SQL Server, en la Fig. 19 se muestra un ejemplo de tabla desarrollada.

Fig. 19 Vista de la tabla de batch diario en SQL Server

10) **Alarmas:** Las notificaciones de algún fallo en el sistema se muestran en las páginas de alarmas, se tienen 4 pantallas de alarmas: alarmas activas, alarmas desactivadas, alarmas de hardware e historial de alarmas, como ejemplo en la Fig. 20 se muestra la pantalla de historial de alarmas.

Fig. 20 Pantalla de historial de alarmas

11) **Menú de usuario:** El área de acceso al menú de usuario se observa en la Fig. 21, se desplegará todas las opciones de este menú que viene por defecto dentro de Vijeo Citect.

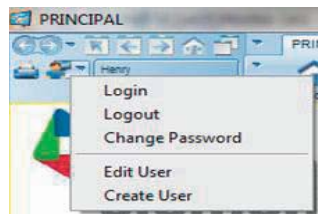


Fig. 21 Menú de usuario

Las funcionalidades del menú de usuario son:

- Inicio de sesión (Login)
- Cerrar sesión (Logout)
- Cambiar clave (Change Password)
- Editar usuario (Edit User)
- Crear usuario (Create User)

V. PRUEBAS Y RESULTADOS

Luego de realizar la implementación completa del sistema SCADA el siguiente paso es realizar las pruebas correspondientes de cada una de las etapas del proyecto, a continuación se describen cada una de estas:

A. Comunicación entre PLC's y Vijeo Citect

La configuración de la comunicación en Vijeo Citect para cada uno de los PLC's, se realizó como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5.**

Tabla. 5 Pruebas de comunicación PLC's - Vijeo Citect

Áreas de Eternit Ecuatoriana S.A		
Proceso que controla el PLC	Nomenclatura del PLC dentro de la planta	Descripción de la comunicación
Preparación de la pulpa de cartón	Celulosa	Maestro - esclavo
Preparación de floculante	Floculante	Directa
Preparación de pasta	Preparación	Directa
Molino de retazo fresco	Disolutor	Directa

La comunicación con el PLC de preparación de pulpa de cartón de forma directa no fue satisfactoria, la solución fue realizar una comunicación maestro – esclavo, tomando como maestro el PLC premium de preparación de pasta, con esto se logró obtener resultados satisfactorios.

La comprobación de la comunicación entre el computador donde se implementó el sistema SCADA y los PLC's involucrados se la hizo mediante el MS-DOS de Windows enviando un comando ping a cada uno de los PLC's, con esto se comprueba que todos los dispositivos se encuentran conectados a la red de la empresa, los resultados se muestran en la Fig. 22.

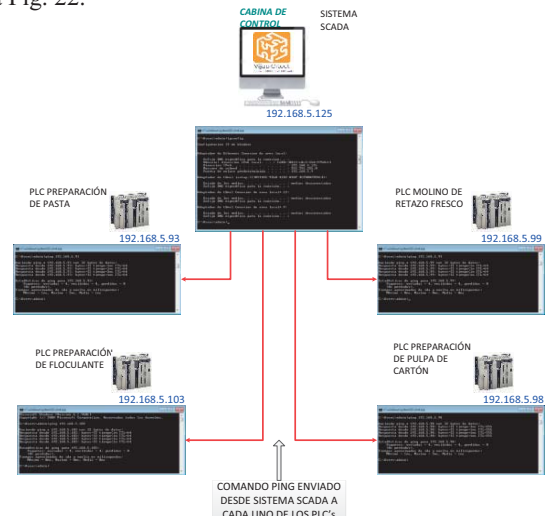


Fig. 22 Comando ping enviado desde el sistema SCADA a cada PLC



B. Lectura y escritura de variables desde y hacia los PLC's

La prueba de la lectura y la escritura de variables entre los PLC's y el SCADA se realizó enviando señales desde el SCADA hacia los PLC's, a manera de demostración, en la parte superior de la Fig. 23; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el envío de la señal digital de bloqueo del agitador del tanque Gemi 2, en la parte inferior se observa la recepción de la señal en el PLC premium de preparación de pasta. Mediante el mismo método se probó la lectura y escritura de variables analógicas (lectura de balanzas, ajuste de setpoints, etc.), una a una todas las señales de cada PLC fueron probadas, obteniendo resultados satisfactorios en esta prueba.

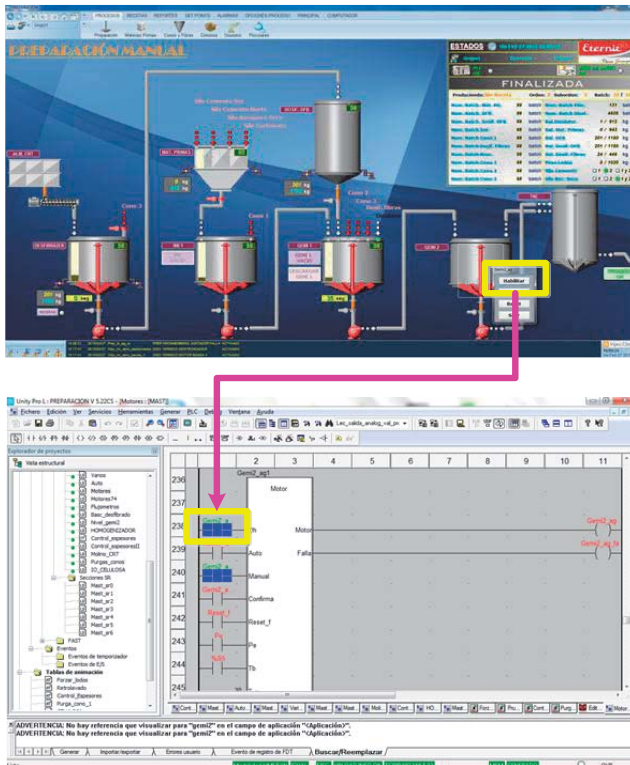


Fig. 23 Comprobación de lectura / escritura de señales entre el SCADA y el PLC

C. Pruebas de la base de datos

Esta prueba se realizó utilizando la pantalla de ajuste de set points, luego de ingresar los valores, presionando el botón **Guardar Set Points** se los almacenó en la base de datos, de la misma manera, presionando el botón **Cargar Set Points** se leyó los últimos valores almacenados en la base de datos, esta prueba de la visualiza en la Fig. 24, en la parte superior se muestra la pantalla de ajuste de setpoints del SCADA y en la parte inferior se muestra los datos almacenados en SQL Server.

De la misma manera se probó el almacenamiento de los valores de: recetas, valores de materias primas en cada batch, órdenes de producción; obteniendo en cada uno de ellos resultados satisfactorios.

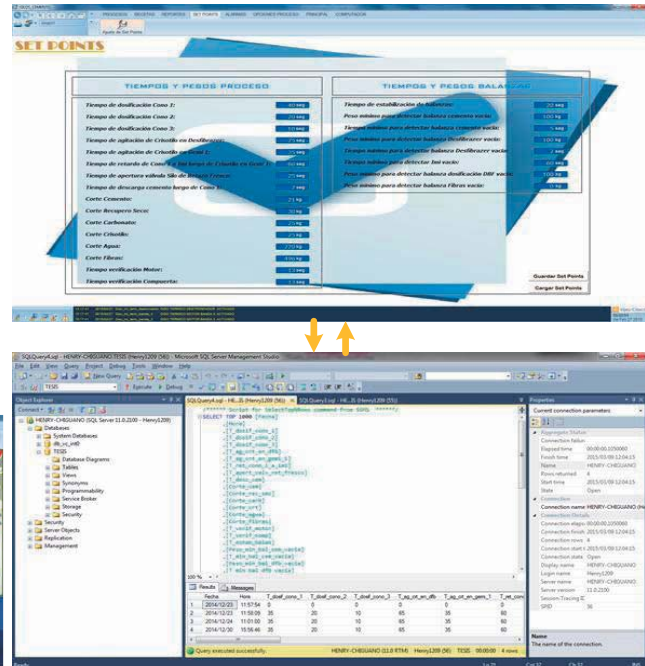


Fig. 24 Prueba de almacenamiento y lectura de valores en la base de datos

D. Pruebas del Sistema SCADA

1) *Modo Manual:* Las pruebas en modo manual se las realizaron cuando la planta estaba en mantenimiento, es decir sin producción, en este modo se realizaron las pruebas de los literales A, B y C, además como parte de esta prueba el personal operativo del SCADA recibió indicaciones sobre el nuevo sistema, características y lógica de funcionamiento. Luego de esto, de manera asistida los operadores empezaron a trabajar únicamente en modo manual, realizando arranques de los agitadores, bombas, apertura y cierre de válvulas, lectura de las balanzas, consulta de fórmulas, reconocimiento de alarmas, cambio de modo manual a automático y viceversa, y manejo de los reportes.

2) *Modo Automático:* Luego de haber realizado las pruebas en modo manual el siguiente paso es probar el sistema en modo automático, esta prueba se realizó cuando la planta empezaba la producción, de acuerdo a las indicaciones impartidas a los operadores se realizó el arranque del proceso de preparación de pasta, observando que se tenían algunas falencias en el sistema en modo automático se realizaron cambios en ese momento y se realizó un nuevo arranque obteniendo resultados satisfactorios.

Con el proceso de preparación de pasta en modo automático ya se pudo comprobar el almacenamiento de los valores en la base de datos, de la misma manera se detectaron algunos errores en la forma de almacenamiento, se realizaron correcciones en los scripts y se obtuvieron resultados satisfactorios.

Con este conjunto de pruebas realizadas se validaron los objetivos de migrar el sistema SCADA a un nuevo software, incorporando un HMI amigable y de fácil acceso para los usuarios, además de construir una base de datos que permita acceder con facilidad a las variables del proceso.

E. Pruebas de generación de reportes

Luego de tener resultados satisfactorios en el almacenamiento y lectura de valores en la base de datos, el paso final es probar la generación de reportes, a continuación se describe estas pruebas.

1) *Reportes en Vijeo Citect*: En la Fig. 25 se muestra el reporte de los valores de batch diario generado en el proceso de preparación de pasta, como se puede observar el reporte está en formato de tabla y cada fila contiene información sobre valores generados en cada batch en el proceso de preparación de pasta, estos son: fecha, hora, usuario, cargo, orden, suborden, código de la receta, numero de batch actual, set point del número de batch; pesos reales de: cemento, placa triturada, carbonato de calcio, crisotilo, pulpa de cartón, lodos y agua.

En esta prueba se comprobó que los valores mostrados en la tabla de Vijeo Citect sean los mismos que están almacenados en la base de datos, mediante el panel de navegación se puede ver cada uno de los reportes generados, se obtuvieron resultados satisfactorios para cada uno de los reportes.

Fig. 25 Reporte de batch diario generado en Vijeo Citect

2) *Reportes en Microsoft Excel*: La prueba de reportes en Microsoft Excel se la realizó de manera similar a la anterior, se corroboró que los valores de la base de datos sean los mismos que se muestran en los reportes en Microsoft Excel, al igual que los reportes en Vijeo Citect, los reportes en Excel contienen la misma información en cada fila de la tabla, en la Fig. 26 se muestra en el reporte de batch diario generado en el proceso de preparación de pasta.

Se ha navegando por cada una de las pestañas del libro y se comprobando la correcta generación de reportes en cada una de estas, cabe mencionar que los alcances solicitados por la gerencia de Eternit Ecuatoriana S.A en cuanto a este punto fue crear reportes en formato de tablas en Microsoft Excel, el interés de gerencia está orientado a tener una base de datos depurada con todos los valores necesarios para posteriormente implementar un sistema de reportes mucho más exhaustivo con la finalidad de generar reportes con varios tipos de filtros de información, gráficos de tendencia, etc.

Luego de realizar estas dos pruebas sobre los reportes se cumple el objetivo de crear reportes del proceso para ayudar a las áreas técnicas y administrativas de acuerdo a sus requerimientos como se mencionó anteriormente.

Fecha	Hora	Usuario	Codigo	NumBatch	SpNumBatch	RealCemento	RealResSeco	RealCarbonato	RealCrisotilo	RealCalulosa
2015/04/22	17:20:22	Grupo1	P7-15-4-5	59	99	790	114	35	124	480
2015/04/22	14:39:19	Grupo1	P7-15-4-5	58	99	790	117	34	122	452
2015/04/22	14:32:32	Grupo1	P7-15-4-5	57	99	791	114	36	125	449
2015/04/22	14:25:57	Grupo1	P7-15-4-5	56	99	788	116	35	123	441
2015/04/22	14:19:12	Grupo1	P7-15-4-5	55	99	790	115	35	123	412
2015/04/22	14:13:00	Grupo1	P7-15-4-5	54	99	789	114	34	123	484
2015/04/22	14:06:14	Grupo1	P7-15-4-5	53	99	792	115	34	123	421
2015/04/22	13:55:43	Grupo1	P7-15-4-5	52	99	790	115	35	123	446
2015/04/22	13:48:48	Grupo1	P7-15-4-5	51	99	790	116	37	124	466
2015/04/22	13:41:57	Grupo1	P7-15-4-5	50	99	790	115	35	122	452
2015/04/22	13:31:31	Grupo1	P7-15-4-5	49	99	790	114	34	122	417
2015/04/22	13:21:45	Grupo1	P7-15-4-5	48	99	790	116	35	123	450
2015/04/22	13:13:43	Grupo1	P7-15-4-5	47	99	791	114	35	123	470
2015/04/22	13:06:21	Grupo1	P7-15-4-5	46	99	789	114	36	122	416
2015/04/22	12:58:36	Grupo1	P7-15-4-5	45	99	790	114	34	124	419
2015/04/22	12:51:58	Grupo1	P7-15-4-5	44	99	790	116	35	123	462
2015/04/22	12:45:31	Grupo1	P7-15-4-5	43	99	792	113	35	123	417
2015/04/22	12:38:11	Grupo1	P7-15-4-5	42	99	790	118	36	124	491
2015/04/22	12:30:19	Grupo1	P7-15-4-5	41	99	789	116	35	122	420
2015/04/22	12:23:05	Grupo1	P7-15-4-5	40	99	791	114	35	122	460
2015/04/22	12:10:11	Grupo1	P7-15-4-5	39	99	789	114	35	122	435

Fig. 26 Reporte de batch diario generado en Microsoft Excel

VI. CONCLUSIONES

- ✓ La implementación del sistema SCADA en la etapa de preparación de pasta para la fabricación de placas de fibrocemento ha culminado con éxito, se ha realizado una depuración completa de la instrumentación del proceso, el sistema es amigable y de fácil acceso para los usuarios, además genera información que brinda soporte al personal técnico y administrativo de la empresa, mediante esto se ha cumplido con los objetivos planteados.
- ✓ Con el proyecto implementado el operador en cabina puede tener información en tiempo real de las variables de los procesos involucrados, estos son: preparación de pasta, molino de retazo fresco, preparación de pulpa de cartón y preparación de floculante.
- ✓ Se implementó una base de datos constituida de varias tablas para el almacenamiento de valores del proceso de preparación de pasta, la información ha sido clasificada y almacenada en dichas tablas con datos afines.
- ✓ Se crearon reportes del proceso en tiempo real, tanto para los operadores en cabina como para el personal técnico - administrativo de la empresa. Con estos reportes realizan seguimientos del proceso en tiempo real y en el caso que amerite se realizan cambios en ese instante, esto anteriormente no se podía realizar ya que en algunos casos no existía almacenamiento de dicha información y en otros casos la información almacenada no estaba clasificada adecuadamente.
- ✓ La implementación de este proyecto sirve como referencia para la estandarización de los sistemas SCADA del resto de procesos de Eternit Ecuatoriana S.A, ya que se han dado pautas en cuanto a nomenclatura de las áreas, colores de representación, en fin. La licencia de Vijeo Citect es suficientemente amplia para realizar dicha estandarización.
- ✓ El uso de niveles de jerarquía para los usuarios del sistema brinda al sistema SCADA una seguridad máxima en cuanto a acceso a funciones del sistema, los usuarios de tipo operador (privilegio 1) no podrán realizar cambios en los valores de receta, ni cambiar el sistema de modo automático a modo manual; con esta función se tiene un SCADA sumamente seguro en cuanto a operatividad del proceso.

- ✓ La programación modular es la adecuada cuando se tiene un solo programa muy extenso y que debe realizar varias acciones, mediante este tipo de programación se divide al programa en subprogramas con la finalidad de hacerlo más comprensible y manejable. Mediante este tipo de programación se basó la implementación de los scripts del sistema SCADA desarrollado.
- ✓ El desarrollo de la cadena de conexión de SQL desde Vijeo Citect se la implementa en un script exclusivo y de fácil configuración, con visión a la implementación del sistema SCADA del resto de procesos de la planta, ya que para realizar una nueva cadena de conexión para cualquiera de los procesos bastará con copiar el script y reemplazar los campos requeridos.
- ✓ El uso de un servidor es primordial para tener un sistema SCADA sumamente confiable, ya que este servidor está diseñado para trabajar 24 horas los 365 días del año, permitiendo así tener tranquilidad en el tratamiento de datos generados por el sistema SCADA.
- ✓ La configuración del ODBC (conectividad abierta de base de datos) es muy importante para tener un intercambio de información correcto entre SQL Server, Vijeo Citect y Microsoft Excel, hay que configurar con los mismos parámetros configurados en ODBC las cadenas de conexión en los scripts de Vijeo Citect, así como en el DSN (nombre del origen de datos) en los reportes de Microsoft Excel.



**Henry Chiguano**, nació en Quito el 8 de Octubre de 1990. Realizó sus estudios primarios en la Escuela Fiscal Mixta José Mejía Lequerica, fue designado Primer Escolta del Pabellón Nacional, sus estudios secundarios los realizó en el Colegio Experimental “Juan Montalvo”, fue miembro del Consejo Estudiantil en el 2007, fue designado Primer escolta del Estandarte de la Ciudad, obtuvo su título de Bachiller en Físico- Matemático. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en agosto del 2015. Ha obtenido la suficiencia del idioma Inglés en el Centro de Educación Continua de la EPN. Ha realizado cursos complementarios de LabVIEW, AutoCAD, SolidWorks, Vijeo Citect, Intouch y SQL, además asistió a las XXIV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la EPN. Actualmente está en la fase de entrenamiento para Técnico Especialista de equipos Tetra Pak en la Corporación Ecuatoriana de Alimentos y Bebidas CORPABE S.A. Áreas de interés: Automatización y control industrial, sistemas SCADA, bases de datos, robótica, domótica, electrónica de potencia, instrumentación y microcontroladores. (hpcl\_1990@hotmail.com)

## VII. RECONOCIMIENTOS

El autor agradece la colaboración prestada al Ingeniero Pablo Angulo por revisión de este documento, así como a la empresa Eternit Ecuatoriana S.A por el auspicio brindado para la realización de este proyecto.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] Schneider Electric - Centro de Competencia Técnica, “Lectura / escritura de bases de datos SQL Server 2005 desde Vijeo Citect 7.1 (funciones básicas)”, Junio 17, 2011.
- [2] Schneider Electric, “Manual de formación de Configuración de Vijeo Citect”, Junio, 2009.
- [3] Schneider Electric - SCADA & MES Global Support, “Citect v.s Wonderware”, [En línea]. Disponible: <http://www.citect.schneider-electric.com/forum/showthread.php?t=15382>
- [4] www.plc-hmi-scadas.com, “Registrando datos en CitectScada”, [En línea]. Disponible: <http://plc-hmi-scadas.com/042.php>
- [5] Schneider Electric, “TwidoSuite V2.3 – Guía de programación”, Junio, 2011
- [6] Schneider Electric – Instituto Schneider Electric de Formación, “Manual de formación TwidoSuite Version 2.1”, Julio 23, 2008.
- [7] CitectSCADA, “Quickstart Tutorial V7.20”.
- [8] CitectSCADA, “Knowledgebase”, Septiembre 10, 2010.
- [9] CitectSCADA, “Cicode Reference Guide”, October, 2010.
- [10] Schneider Electric, “Descripción técnica Software SCADA Vijeo Citect”.
- [11] SCADA, [En línea]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/SCADA>
- [12] Tech Target, “SQL Server”, [En línea]. Disponible: <http://searchsqlserver.techtarget.com/definition/SQL-Server>
- [13] “Microsoft Excel”, [En línea]. Disponible: <https://support.office.microsoft.com>