



*II CAIM 2010  
Segundo Congreso Argentino  
de Ingeniería Mecánica  
San Juan - Noviembre 2010*

## **Diseño, desarrollo e implementación del sistema de trazabilidad de una línea de montaje de motores de combustión interna**

Juan Giró <sup>(1,3)</sup>, Raúl Perrotat <sup>(2)</sup> y Alejandro Brewer <sup>(1)</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Estructuras - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Universidad Nacional de Córdoba - Av. Velez Sarsfield 1600 – Córdoba - Argentina  
E-mail: juanfiro@gmail.com*

<sup>2</sup> *Comau Argentina AS - Ruta 9 Km. 695, X5925XAD - Ferreyra - Córdoba - Argentina  
E-mail: raul.perrotat@comauargentina.com.ar*

<sup>3</sup> *Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información - Facultad Regional Córdoba  
Univ. Tec. Nacional - Maestro López esq. Cruz Roja Argentina - Córdoba - Argentina*

### **RESUMEN**

Los sistemas de trazabilidad desempeñan un papel central en las líneas de montaje de productos complejos, tanto en el aseguramiento de la calidad como en el soporte de las políticas de garantía. Por ello los sistemas de trazabilidad están adquiriendo especial importancia en la industria metalmeccánica y en particular durante el montaje de motores de combustión interna, tema abordado en el presente artículo. En este caso el sistema de trazabilidad involucra la identificación de los responsables de las sucesivas operaciones, los resultados obtenidos en la utilización de los equipos de montaje y la identificación de componentes o subconjuntos singulares por su importancia y/o complejidad. A esto debe sumarse la necesidad de asegurar en todos los casos la selección de la pieza correcta, entre varias similares, la estricta precedencia en el orden en que las operaciones son realizadas y la verificación final de que el montaje fue exitoso.

En este trabajo se presenta una experiencia concreta en el diseño, implementación y puesta en servicio de un sistema de trazabilidad de una planta de motores perteneciente a una empresa líder del sector automotriz ubicada en la Provincia de Córdoba. Cabe acotar que en esa planta se montan completamente los motores, desde el marcado de identificación del block hasta su completa finalización, incluyendo armado de las tapas de cilindros y ensayos en bancos de rodaje. Además, la línea está destinada a montar dos tipos principales de motores y numerosas variantes de cada uno.

Se describen los requerimientos que sirvieron de base para definir el sistema, los criterios de diseño adoptados y aspectos particulares de su implementación. Además, se hace especial referencia a las características técnicas del equipamiento seleccionado que permitió la puesta en servicio de un sistema que demostró ser altamente confiable en los dos años que lleva en servicio desde su habilitación.

**Palabras Claves:** Industria Metalmeccánica, Montaje de Motores, Trazabilidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de trazabilidad han adquirido mucha importancia en la industria metalmeccánica y en particular en el montaje de motores de combustión interna. El concepto de trazabilidad, originalmente desarrollado en la industria farmacéutica y alimenticia, se difundió y afianzó en otros ámbitos industriales a través de las prácticas exigidas por los estándares de mediciones. La trazabilidad es definida como el conjunto de procedimientos preestablecidos que permiten conocer la historia, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de un proceso industrial en un momento dado. Estrictamente hablando, la palabra "trazabilidad" no existe en el idioma castellano y más apropiado sería hablar de "rastreo" de productos.

Desde el punto de vista técnico es necesario reconocer que bajo el concepto de trazabilidad se cubren dos enfoques bien diferenciados: *i*) La traza que deja un producto en todos los procesos internos que lo afectan, incluyendo composición, personal involucrado, manipulaciones, maquinaria utilizada y resultados de procesos, denominado "Trazabilidad Interna" y *ii*) la continuación de la traza del producto a partir del momento de su expedición, que incluye información sobre transporte, intermediación, almacenaje, uso, mantenimiento, fallas, reparaciones, etc., que es denominada "Trazabilidad Externa".

En ambos casos los Sistemas de Trazabilidad tienen a su vez dos funciones esenciales, que son las siguientes: *i*) posibilitar y asegurar la captura y almacenamiento de información específica de cada producto y *ii*) a partir de esa información posibilitar consultas a lo largo del ciclo de vida de los productos, vinculando acciones desde su nacimiento hasta su fin, en ambos sentidos. Cabe acotar que en la industria metalmeccánica el concepto de trazabilidad está asociado a productos y procesos productivos que se caracterizan por alguno o una combinación de los siguientes tres factores: calidad, valor y criticidad.

Debe reconocerse que la tecnología es un aliado indispensable a la hora de implementar estos conceptos en la industria [1], [2]. En efecto, las bases de datos, las diversas técnicas de identificación y medición, el acceso inalámbrico, las redes de comunicaciones internas y las redes externas (Internet), entre otros, permiten hacer realidad la idea de un seguimiento detallado de un producto tanto dentro de la planta industrial como afuera de ella, detectando la circunstancia y momento exacto en que se produce cada evento significativo y sus resultados [3].

Las bases de datos, mencionadas en el párrafo anterior, son uno de los recursos centrales de la informática industrial moderna y hacen posible la integración de todo el proceso productivo en torno a información completa, consistente, actualizada y segura. Las bases de datos permiten almacenar la información y ponerla selectivamente a disposición de toda la organización a través técnicas sofisticadas de búsqueda y un sistema de permisos que regulan el acceso a los diferentes tipos de datos.

El otro recurso mencionado está vinculado a las mediciones, que son las que permiten tomar contacto con la realidad. Al hablar de mediciones en la actividad productiva se hace referencia a la identificación de elementos, determinación de cantidades, obtención de datos de procesos y verificación dimensional. Para la identificación de elementos se utilizan lectores de códigos de barras, sensores de radio frecuencia (RFID) y cámaras de video. Para determinar cantidades se utilizan sensores de presencia, barreras infrarrojas, balanzas contadoras, caudalímetros y cámaras de video. Para obtener datos de procesos se utilizan balanzas electrónicas, medidores de torque, termómetros y manómetros, entre otros. Por último la verificación dimensional está a cargo de centros de mediciones 2D o 3D y calibres electrónicos. Toda la información obtenida con estos dispositivos, a la que debe agregarse la que corresponde a la identidad de los operarios involucrados en cada operación, debe ser ordenada y reunida en la base de datos.

Finalmente, los sistemas de comunicaciones son los que permiten vincular la realidad del "piso de planta" con los centros de almacenamiento de información, procesamiento y atención de consultas.

Sobre la base de esos recursos tecnológicos se construyen los sistemas de trazabilidad interna, como el que se presenta en este trabajo. Estos sistemas involucran la identificación de los responsables de las sucesivas operaciones, los resultados obtenidos en la utilización de los equipos de montaje y la identificación de componentes o subconjuntos singulares por su importancia y/o complejidad. A esto se agrega la necesidad de asegurar en todos los casos la selección de la pieza correcta, entre varias similares, la estricta precedencia en el orden en que las operaciones son realizadas y la verificación final de que el montaje fue exitoso.

En este trabajo se presenta una experiencia concreta en el diseño, implementación y puesta en servicio de un sistema de trazabilidad de una planta de motores de una empresa líder del sector automotriz ubicada en la Provincia de Córdoba. Cabe acotar que en la línea de ensamblaje estudiada se montan completamente motores de combustión interna, desde el marcado de identificación del block hasta su completa finalización, incluyendo el armado de dos subconjuntos (tapas de cilindros superior e inferior) y el ensayo de cada motor terminado en banco de rodaje. El montaje corresponde a dos tipos principales de motores y numerosas variantes de cada uno.

El resto de este trabajo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2 se describen las características de la línea de montaje y se resumen los requerimientos planteados cuando se encargó el diseño del sistema de trazabilidad. Luego, en la Sección 3 se describe la solución propuesta, en la Sección 4 los recursos tecnológicos seleccionados y la forma en que estos fueron implementados y finalmente en la Sección 5 se hace referencia al funcionamiento del sistema de trazabilidad y los resultados obtenidos.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.1 Características de la línea de montaje**

Como ya fue anticipado, la línea de montaje comienza con el ingreso e identificación del block y termina con el motor terminado, incluido un ensayo de rodaje en banco. El proceso de montaje de un motor completo involucra un total de 60 operaciones de diferente naturaleza, que en una primera instancia pueden ser agrupadas según se describe a continuación:

- a) Puesto de ingreso del block a la línea de montaje, donde se realizan las siguientes acciones: reconocimiento del código que tipifica las dimensiones de los cilindros, asignación del número de serie del block y grabado de este número mediante un cabezal de micropercusión.
- b) Puestos de operaciones intermedias, que incluyen variadas acciones de diferente nivel de complejidad y criticidad tales como las siguientes:
  - Puntos de control, donde se realizan operaciones manuales y solamente se registra el paso del motor.
  - Montajes de piezas críticas, con comprobación previa de su correcta selección.
  - Almacenes, en los que se debe indicar la secuencia con la que las piezas deben ser retiradas y comprobar el orden en que efectivamente se lo realiza, con alarma en caso de selección errónea.
  - Controles de estanqueidad, que es realizado a través de dispositivos específicos que emiten una señal de aprobación o rechazo.
  - Ayudas visuales con el fin de orientar al operador sobre secuencias correctas de montaje.
  - Equipos torqueadores electrónicos (un husillo o múltiples husillos) que transmiten resultados de los aprietes (valores de torques y ángulos) por la interfaz de comunicaciones.
  - Equipo de carga de aceite, con volúmenes diferentes para cada tipo de motor.
  - Controlador de mazos de cables, con mensaje de aceptación o causa de falla transmitidos vía interfaz de comunicaciones.

- c) Puestos de control de conformidad (dos), uno previo al ensayo en banco de rodaje y el otro al final de la línea de montaje.
- d) Banco de rodaje en el que es realizado el ciclo de ensayo en forma automática.

## **2.2 Condiciones establecidas para el sistema de trazabilidad**

Los requerimientos que fueron establecidos por la empresa automotriz para el sistema de trazabilidad están referidos a las operaciones de la línea de montaje y a la gestión del sistema, según se describe a continuación.

### **2.1.1 Trazabilidad de operaciones**

Los requerimientos relacionados con las operaciones de montaje pueden reunirse en tres grupos: a) identificación y adquisición de datos, b) señalización y c) verificación y control.

- a) Identificación y adquisición de datos
  - Identificación del operador, número de serie del motor, hora en que la operación es iniciada y duración.
  - Lectura y almacenamiento de datos de identificación de piezas incorporadas (número de pieza, lote o serie).
  - Lectura y almacenamiento de resultados específicos de operaciones realizadas (diagnósticos de aprobación o rechazo, tolerancias, valores de torques, etc.).
- b) Señalización
  - Representación de la condición de operación iniciada (semáforo verde intermitente) y su resultado final (semáforo verde o rojo permanente).
  - Ayuda visual para guiar al operador sobre el tipo o secuencia de piezas a ser montadas mediante representaciones en pantalla gráfica.
  - Identificación luminosa en almacén sobre la secuencias de piezas a ser seleccionadas.
- c) Verificación y control
  - Operación anterior correctamente cumplida según el esquema de precedencias.
  - Validación de piezas previo a su montaje.
  - Selección correcta de piezas de almacén.
  - Recepción de cantidad de datos correcta.
  - Tiempo máximo demandado por la operación.
  - Resultado de la operación realizada en equipo de montaje.
  - Resultados del ensayo en banco.
  - Aprobación final en puesto de control de conformidad.

### **2.1.2 Gestión del sistema de trazabilidad**

Los requerimientos vinculados a la gestión del sistema fueron los siguientes:

#### **a) Seguimiento**

Acceso a toda la información referida al estado actual de la línea de montaje en un momento determinado, incluyendo la condición de cada puesto y la historia de la actividad cumplida por cada puesto desde el inicio de la jornada. Indicación clara de las eventuales condiciones de falla detectadas.

#### **b) Consultas históricas**

Posibilidad de recuperar información histórica con los siguientes criterios:

- Número de serie del motor: Detalle de las operaciones cumplidas, datos específicos y resultados.
- Fecha y número de operación: Detalle de motores operados, datos específicos y resultados.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

La solución propuesta para el problema planteado se basó en la adopción de ciertos criterios, que luego condujeron a seleccionar los recursos tecnológicos necesarios y al diseño del sistema, todo lo cual es expuesto a continuación.

#### 3.1 Criterios generales adoptados

Los criterios adoptados para implementar el sistema de trazabilidad fueron los siguientes:

- a) Asegurar un sistema robusto y confiable a través de una concepción simple y recursos de programación ampliamente probados.
- b) Disponer de la máxima flexibilidad para incorporar, eliminar, cambiar de posición o reconvertir cualquier puesto de trabajo a partir de opciones de configuración contenidas en tablas, haciendo innecesario para este fin la modificación del código de los programas.
- c) Gestionar toda las entradas/salidas digitales de recepción de condiciones, señalización y comandos a través de PLC's.
- d) Apoyar la conectividad central del sistema sobre una red Ethernet.
- e) Implementar una red de conectividad secundaria bajo la norma RS-232C para vincular los dispositivos auxiliares que disponen de interfases de comunicaciones. Con este tipo de comunicación se dispone de máxima compatibilidad con diferentes tipos de equipos, muchos de ellos existentes.
- f) Posibilitar la completa configuración de los vínculos con todos los dispositivos auxiliares desde el servidor del sistema, incluyendo tipo de equipo, protocolo y parámetros de comunicaciones (baudios, bits de datos, bits de parada y paridad).
- g) Evitar cables de comunicaciones en el área de trabajo de la línea de montaje.

#### 3.2 Recursos tecnológicos seleccionados

A partir de estos criterios se seleccionaron los siguientes recursos:

- a) Servidor con plataforma Windows, destinado a soportar el sistema principal, atención de redes de comunicaciones e interfaz con los PLC.
- b) Puestos autónomos sobre computadores (PC) Pentium IV con Sistema Operativo Windows XP y sus módulos de aplicaciones programados en lenguaje visual orientado a objetos de última generación.
- c) Equipos PLC marca Siemens modelos Simatic S7300, Simatic S7200 y ET200 para la gestión de señales digitales de entrada y salida.
- d) Vínculo entre servidor y PLC a través de un dialogo cliente-servidor bajo Standard OPC [4] implementado sobre plataforma Simatic WinCC [5] de Siemens.
- e) Módulos marca Quatech modelo QSE-100D [6] de cuatro puertas seriales para disponer de interfases de comunicaciones RS-232 distribuidas a lo largo del área del sistema.
- f) Lectores de códigos de barras con interfaz inalámbrica marca Symbol modelo LS4278 [7], a bases con capacidad para soportar tres lectores cada uno e interfaz RS-232.

#### 3.3 Diseño del sistema

En base a los criterios adoptados y los recursos seleccionados se diseñó un sistema que está dotado de un modulo principal (servidor) y diversos módulos auxiliares, que operan en forma autónoma y están vinculados entre sí a través de las tablas de datos que comparten. De esta manera se procuró reducir al máximo el impacto que la falla de uno cualquiera de esos módulos auxiliares tendría sobre la operatividad del resto del sistema. Los módulos previstos y sus principales características se describen a continuación.

### 3.3.1 Servidor

El módulo servidor cumple cuatro funciones principales, que son: *i*) controlar la operación de los puestos generales de montaje, *ii*) gestionar 48 puertas de comunicaciones RS-232C, *iii*) soportar el diálogo con los PLC y *iv*) gestionar el acceso a las tablas de datos para su consulta y actualización. Además, tiene previstas funciones auxiliares de verificación y soporte.

Para controlar las operaciones de los puestos generales se implementó un componente que incluye una máquina de estados que se activa cada vez que se inicia una operación sobre la línea de montaje. De esta manera el servidor soporta, en un instante dado, numerosas máquinas de estados activas (hasta sesenta) que operan en forma independiente una de las otras. La operación es iniciada con la lectura del código del puesto, seguida por la lectura del código del motor, y donde la secuencia de acciones esperadas a continuación depende del tipo de operación. Simultáneamente, se da al PLC la orden de iniciar también una máquina de estados paralela que controla la señalización y reconoce las entradas proveniente de acciones del operador (barreras luminosas, pulsadores, etc.). Ambas máquinas de estados (servidor y PLC) operan en forma sincronizada hasta completar el ciclo propio de cada operación, se presente una condición de error o se haya excedido el tiempo máximo previsto (time out).

Para la gestión de los puestos de comunicaciones se desarrolló un módulo específico en el servidor. Se trata de puertas "virtuales" que son implementadas en el equipo del servidor y representan las puertas reales que se encuentran en los módulos adaptadores conectados a la red Ethernet. El servidor opera sobre puertas "COM3" a "COM50" como si fueran puertas de comunicaciones convencionales, cuando en realidad son puertas que se encuentran sobre la red Ethernet/RS-232 a grandes distancias. Cabe aquí acotar que no se pudo disponer de antecedentes previos sobre la gestión de tan elevada cantidad de puertas seriales y esto no dejó de ser motivo de preocupación hasta la implementación y puesta en servicio del sistema.

El vínculo con los PLC se resolvió implementando un "cliente" OPC en el servidor, destinado a dialogar con un "servidor" OPC soportado por WinCC con vínculo directo sobre los PLC's. En el diseño del sistema se incorporó un registro histórico del diálogo servidor-PLC que demostró ser muy útil tanto en la puesta en marcha del sistema como en su mantenimiento, facilitando la identificación de las causas de fallas.

En cuanto a la gestión de tablas de datos se optó por un esquema propietario basado en un enfoque de indexación y accesos directos a los archivos. Esta solución permitió alcanzar una rapidez compatible con la necesidad de atender hasta sesenta operadores simultáneamente sin interferencias ni demoras apreciables.

Por último, se incorporaron al servidor funciones auxiliares destinadas a verificar y asegurar la consistencia de la información actualizada y brindar al usuario indicadores de actividad y rendimiento.

### 3.3.2 Puestos autónomos

Los puestos generales disponen de lectores de código de barras, señalización luminosa y los equipos de montaje. Como ya se dijo, son atendidos directamente por el servidor. Además de esos puestos generales, se debieron prever otros puestos destinados a atender ciertas operaciones especiales o complejas que requerían de ayuda visual al operador o la representación de información específica.

Para esos casos se concibió una aplicación autónoma que tiene una base común en lo referido a acceso a tablas de datos y otras funcionalidades, y que despliega diversos tipos de pantallas y secuencias operativas según haya sido configurado. Esta solución, donde un mismo módulo (programa ejecutable) desempeña diferentes funciones según ciertos parámetros de arranque, tuvo por finalidad reducir sensiblemente el esfuerzo de desarrollo y facilitar el mantenimiento del sistema.

Los puestos autónomos previstos fueron los siguientes: *i*) Ingreso a línea y marcado del block, *ii*) selección de pistones según clasificación del block, *iii*) montaje de conjunto bielas-pistones sobre block, *iv*) selección de cojinetes de cigüeñal para bielas y bancadas, *v*) conformidad previa al ensayo en banco de rodaje, *vi*) reparación del motor y *vii*) conformidad final a la salida de línea.

### **3.3.3 Puestos de supervisión**

Los operadores y supervisores necesitan información general y específica sobre la actividad de la línea de montaje, con este fin se concibió una aplicación de supervisión. Esta aplicación incluye una representación resumida de la última actividad cumplida en todos los puestos de la línea de montaje y la posibilidad de obtener mayor información a partir de la selección de una operación específica. Además, el módulo de supervisión permite alterar el esquema de precedencias y el resultado final de una operación, en estos casos requiriendo la autorización correspondiente y dejando un registro de los cambios realizados.

La línea de montaje tiene un largo de 150 metros, lo que hizo aconsejable que el sistema admita la operación simultánea de varios puestos de supervisión. Esto trae aparejado la necesaria coordinación para impedir eventuales acciones concurrentes que desde diferentes puestos de supervisión introduzcan cambios incompatibles sobre los mismos datos.

### **3.3.4 Bancos de rodaje**

El ensayo en banco tiene por finalidad la primera puesta en marcha del motor y el control de algunos indicadores, como son la presión de aceite, presión de blow-by, temperatura de aceite y temperatura del agua de refrigeración. El motor es llevado a sucesivas condiciones de velocidad y los valores de los parámetros recién mencionados son controlados para ver si están dentro de los límites establecidos. Cada motor ensayado es previamente identificado y los valores registrados son incorporados al sistema de trazabilidad.

## **3.4 Esquema general del sistema**

En la Figura 1 se presenta un esquema general y resumido del Sistema de Trazabilidad, en el que se han representado a la izquierda los módulos y a la derecha las tablas de datos, todos ellos vinculados entre si a través de la red Ethernet. En el módulo del servidor (izquierda, abajo) se muestran los vínculos con los PLC y la atención de las puertas RS-232, también a través de la red Ethernet.

## **3.5 Interpretación de mensajes recibidos por puerta serial**

Como ya fue anticipado, el servidor gestiona 48 puertas de comunicaciones RS-232 cuyos mensajes provenientes de los distintos tipos de equipos que deben ser reconocidos e interpretados. Ante la recepción de un nuevo mensaje el módulo de comunicaciones debe realizar un procedimiento que identifica su procedencia y darle luego un tratamiento compatible con el tipo de equipo, que puede ser específico o tratarse de uno de los lectores de códigos de barras. El esquema de la interpretación de mensajes es representado en la Figura 2.

Los mensajes provenientes de lectores de códigos de barras (LCB) son objeto de un tratamiento especial, que es representado en el esquema de la Figura 3. Aquí es necesario aclarar que se reciben dos tipos de mensajes de LCB: *i*) datos correspondientes a la operación de puestos generales, que son atendidos directamente por el servidor iniciando las máquinas de estados y *ii*) datos provenientes de operaciones de puestos autónomos, que deben ser redireccionados a los equipos de destino. Esto ocurre porque, para dar mayor flexibilidad al sistema, se habilitaron LCB inalámbricos en los puestos autónomos.

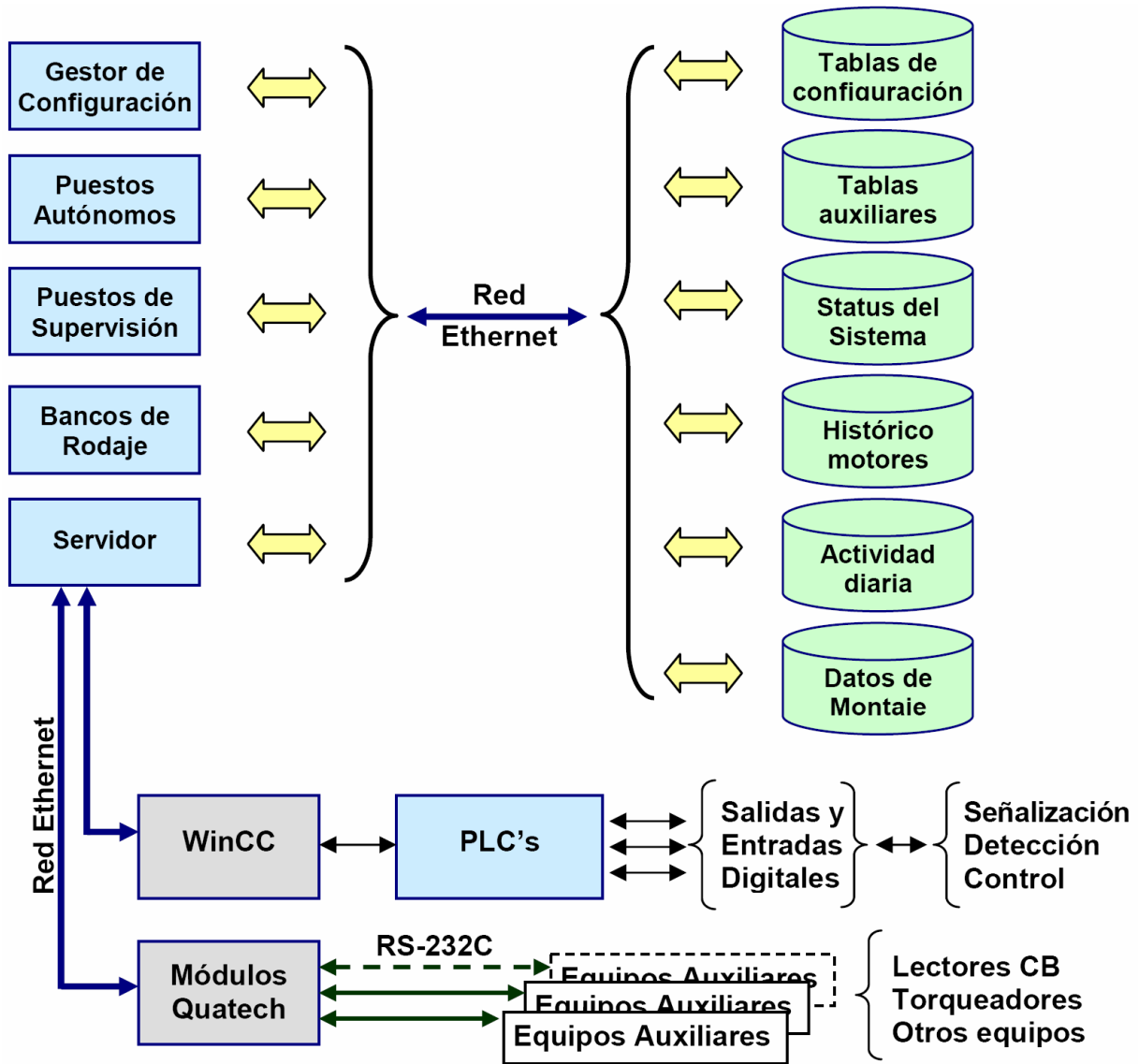


Figura 1: Esquema general de los módulos y tablas de datos del sistema de trazabilidad

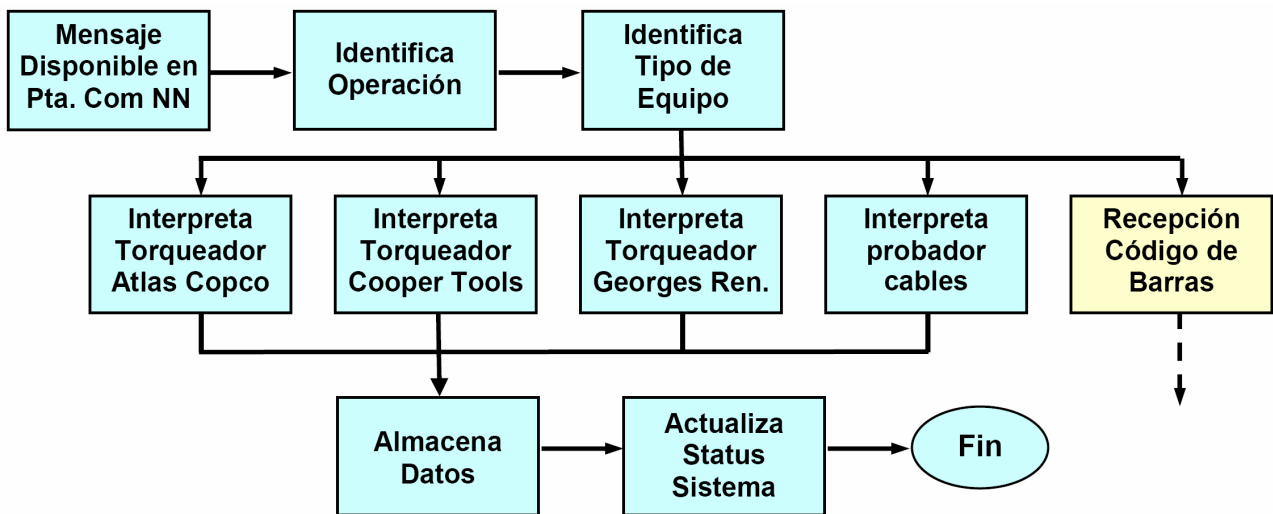


Figura 2: Recepción de mensajes por puertos seriales

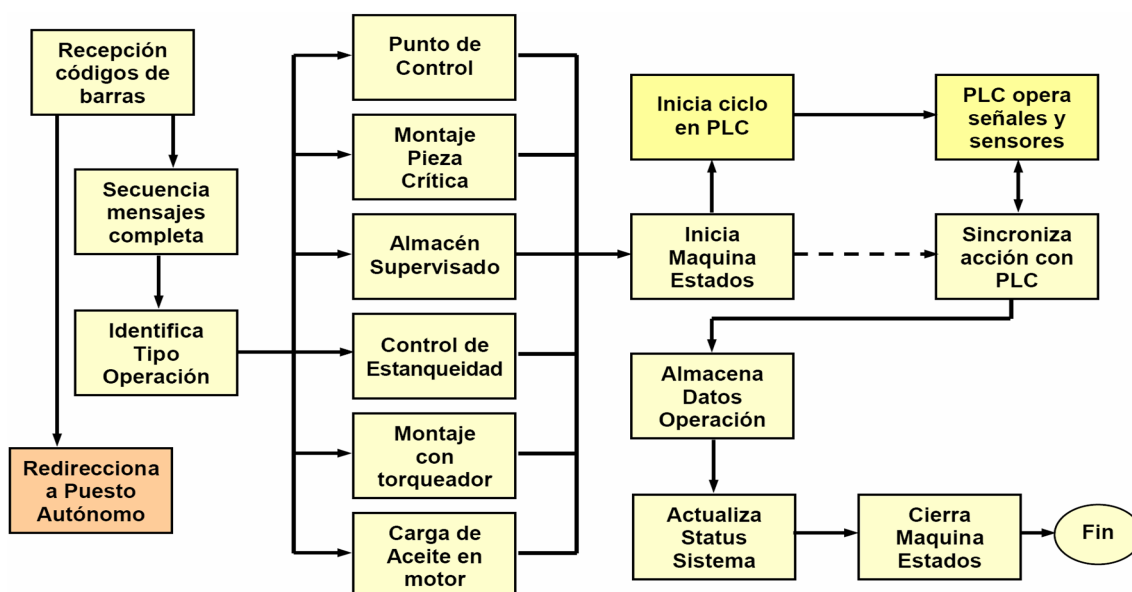


Figura 3: Interpretación de mensajes provenientes de Lectores de Códigos de Barras

## 4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

### 4.1 Composición

Con el fin de destacar la dimensión y complejidad del sistema de trazabilidad, en la Tabla 1 se muestran las cantidades de los principales componentes involucrados.

Tabla 1: Cantidad de componentes del Sistema de Trazabilidad

Componente del Sistema	Cant	Componente del Sistema	Cant
Servidor del sistema	1	Aplicaciones activas concurrentes	16
Puestos de supervisión del sistema	3	Dimensiones de programas (LOC)	10000
Total de puestos de trabajo	60	Lectores de códigos de barras	28
Puestos autónomos con ayuda visual	7	Módulos Quatech con 4 puertas RS232C	13
Puestos controlados desde servidor	53	Puertas RS-232C atendidas en servidor	48
Tipos de puestos diferentes (servidor)	6	Diferentes protocolos reconocidos	9
Bancos de prueba dobles de motores	5	Indicadores luminosos de señalización	160
Controladores Lógicos Programables (PLC)	3	Sensores (switches y barreras ópticas)	100

### 4.2 Instalación y puesta a punto

La implementación del sistema demandó cuatro meses de trabajo, incluyendo la instalación de equipos, tendido de redes, montajes de señalización y sensores, cableados, conexiones e instalación de software. Luego, desde la puesta en servicio inicial del sistema hasta su operación en régimen transcurrieron otros seis meses, período durante el cual se fueron incorporando al sistema los puestos de montaje en forma progresiva, a la vez que se capacitaba al personal y se introducían ajustes o mejoras a partir de los resultados de las primeras pruebas realizadas. Durante la implementación del software hubo algunas dificultades, propias de todo sistema complejo, que fueron resueltas sin llegar a poner en riesgo su habilitación.

Las dos principales dificultades tuvieron que ver con la operación simultánea de una gran cantidad de puertos seriales desde un mismo equipo (48) y con el "cliente OPC" destinado a dialogar con el servidor del WinCC. La primera dificultad se originó en la necesidad de superar una limitación propia de Windows para atender una puerta serial por encima de "Com9", hasta ese momento desconocida, y la otra se debió a particularidades del protocolo de comunicaciones abierto OPC. Aquí cabe destacar que la totalidad del software fue de desarrollo propio, utilizándose directamente los recursos del sistema operativo (API) sin haber recurrido a librerías, componentes o productos de terceros.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

El Sistema de trazabilidad está en servicio y operando normalmente desde febrero de 2008. Desde entonces ha habido períodos de varios meses en que la línea de montaje alcanzó una producción de 250 motores en cada turno de 9 hs de trabajo, lo que implicó 28 motores por hora o una cadencia de un motor cada 2 minutos. Considerando los 60 puestos de la línea y un promedio de 3,5 lecturas de códigos de barras por puesto, se llegó a una carga media de comunicaciones por puertos seriales de un mensaje recibido y procesado cada 0,6". A esto deben sumarse los flujos de datos provenientes de los equipos torqueadores, que en el caso extremo del apriete de la tapa de cilindros inferior tiene un tamaño medio de 6800 bytes.

Si bien lo mencionado no parece ser una carga de comunicaciones muy elevada, debe considerarse que:

- i) hay una secuencialidad en las operaciones sobre los motores, pero ninguna sincronización en la actividad de los puestos, que son independientes. Esto abrió la posibilidad de una gran concentración de tráfico de comunicaciones en breves periodos, con picos que en muchos casos fue del orden de un mensaje cada 0,05".
- ii) La recepción de cada uno de los mensajes de comunicaciones generan en todo el sistema una importante carga de trabajo. En promedio, una vez cada 2,3" se inició una operación sobre un motor, lo que implicó las validaciones del caso mediante accesos a las tablas de datos, la activación de una máquina de estados en el servidor y la transmisión al PLC para que haga lo propio y active la señalización luminosa.
- iii) También, en promedio cada 2,3" alguna máquina de estados completaba su actividad en forma sincronizada con los PLC, se almacenaban los datos correspondientes y actualizaban los registros de status.

Para dar lugar a toda esta actividad simultánea fueron necesarios más de sesenta operarios trabajando con lectores de códigos de barras y equipos de montaje, los vínculos inalámbricos, los PLC operando señales de entrada/salida y numerosas computadoras procesando en forma concurrente sobre las mismas tablas de datos, lo que describe un escenario variado, de actividad continua y altamente complejo.

Mientras toda esta actividad se cumple, los puestos de supervisión disponen de información actualizada sobre el estado general de la línea de montaje, que es mostrada a través de una pantalla grafica, y tienen la posibilidad de atender consultas específicas. Paralelamente, en los dos puestos de conformidad se consulta el historial de cada motor recién llegado, se verifican eventuales mensajes de advertencia y se registran novedades. Ocasionalmente, algún motor es enviado a reparación. El sistema de trazabilidad cumple así su función principal que es la de llevar un registro de toda la actividad productiva y posibilitar su consulta.

En las figuras siguientes se presentan algunas imágenes del sistema. En la Figura 4 se muestra el ingreso del block a la línea de montaje y una ventana con el detalle del dialogo con el quipo que realiza el marcado del block a través de micropercusión. Atrás, con fondo azul, un listado de los motores ingresados con anterioridad.

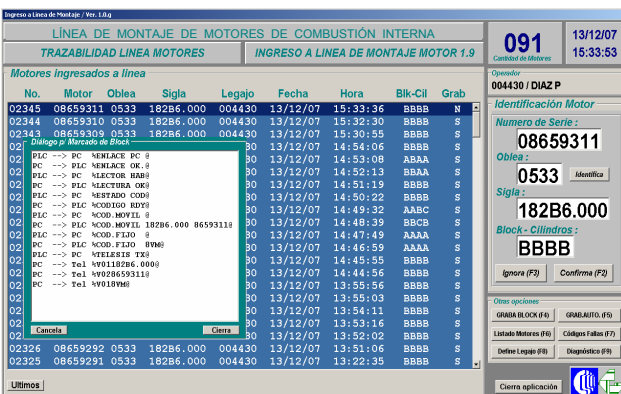


Figura 4: Puesto de ingreso y marcación de block

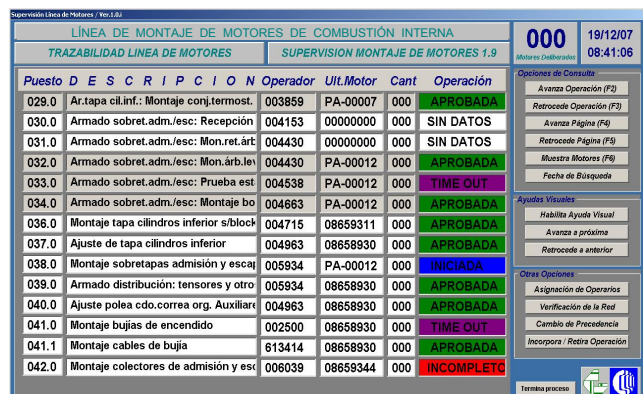


Figura 5: Pantalla de supervisión mostrando una página

En la Figura 5 se presenta la pantalla de un puesto de supervisión mostrando una página que despliega información referida a la última actividad en los puestos 28 a 42, que es actualizada con un atraso no mayor a un segundo. El operador puede avanzar o retroceder de una página a otra, recorriendo todos los puestos de la línea. Como puede observarse, se utilizan diferentes colores para hacer claramente visible la condición en la que se encuentra cada puesto, que puede tener una operación iniciada o ya cumplida.

La Figura 6 muestra la pantalla de ayuda visual del puesto de montaje del conjunto bielas-pistones, que incluye la identificación de los pistones de acuerdo al código de mecanizado del block y donde los pistones son retirados de un almacén que dispone de señalización y barreras luminosas para asegurar su correcta selección.

En la Figura 7 se puede apreciar el proceso de montaje, con las ventanas del almacén supervisado (a la izquierda) y la pantalla de ayuda visual (al centro) frente del operario.

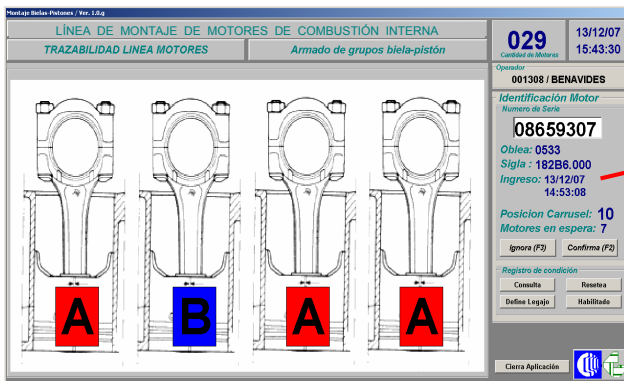


Figura 6: Puesto de montaje conjunto biela-pistón



Figura 7: Montaje a partir de la información visual

En la Figura 8 se presenta la pantalla de ayuda visual para la selección de los cojinetes, que depende del mecanizado del cigüeñal y de las bancadas del block. Para hacer las selecciones se identifican estas características mediante la lectura de códigos de barras, y luego el operador es guiado durante el montaje de cada uno de los cojinetes. Primero los de bancadas y luego los de las bielas. Para ello los cojinetes deben ser retirados de un almacén que es señalizado y controlado con barreras luminosas para evitar errores.

En la Figura 9 puede verse un operador haciendo una selección con el LCB, teniendo al frente la pantalla de ayuda visual y a ambos lados las ventanas del almacén con los diferentes cojinetes. En cada una de las ventanas del almacén se aprecian los puntos reflexivos de las barreras luminosas.

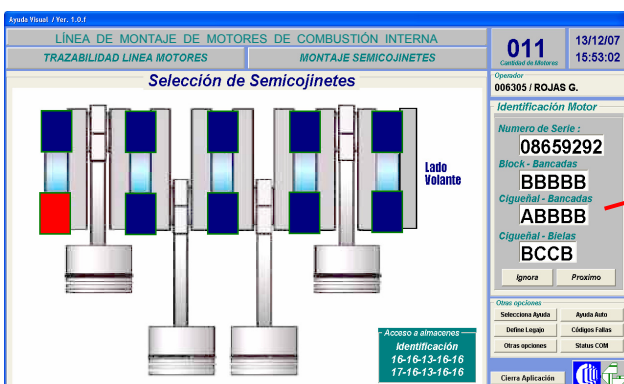


Figura 8: Puesto de selección y montaje de cojinetes

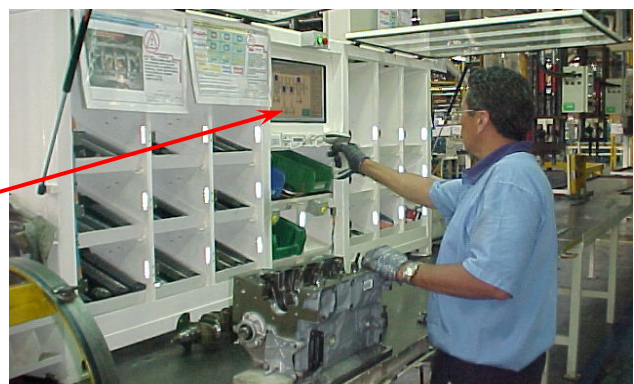


Figura 9: Identificando el motor para montar cojinetes

La Figura 10 corresponde a un puesto de control de conformidad, que muestra una página con el listado de los últimos motores salidos de la línea. La selección de uno de ellos es resaltada en color azul y a la derecha se presentan sus principales datos de identificación, fechas / horas de entrada-salida y condición final.

Todas las operaciones realizadas sobre el motor seleccionado son presentadas en un listado con fondo azul que se muestra en la Figura 11. Allí se ha seleccionado una operación (línea celeste) y sobre un recuadro gris se muestra el detalle de una de ellas. En este caso pueden verse los torques del montaje de un volante.

Figura 10: Control conformidad previo banco de prueba

Figura 11: Operaciones sobre un motor y detalle

## 6. CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema de trazabilidad especialmente diseñado e implementado en respuesta a los requerimientos planteados por una industria del sector automotriz. Se trata de un sistema complejo que sigue el montaje de un motor de combustión interna y soporta la actividad que corresponde a una secuencia de numerosas operaciones de diverso tipo, que incluyen un ensayo a la salida de línea.

El sistema de trazabilidad resulta indispensable para la operación de la línea de montaje, lo que significa que si el sistema no está disponible la línea de montaje no trabaja, con el consiguiente perjuicio para la empresa. Por ello el sistema de trazabilidad quedó encuadrado como un sistema crítico, donde no se admiten fallas ni condiciones de indisponibilidad.

Para responder a estos requerimientos se estableció un cuidadoso equilibrio entre la adopción de soluciones simples, ampliamente probadas, y el mejor aprovechamiento posible de los modernos recursos tecnológicos disponibles. El desarrollo, implementación y puesta en servicio del sistema no estuvo libre de dificultades, pero todas ellas fueron superadas exitosamente.

El sistema implementado cubrió ampliamente los requerimientos y expectativas formulados, habiendo operado con normalidad por más de dos años. Más aún, el sistema demostró su aptitud para atender condiciones de trabajo muy exigentes que se presentaron en ese lapso.

## 7. REFERENCIAS

- [1] K. Murthy and C. Robson, *A Model-based Comparative Study of Traceability Systems*, IBM Almaden Research Center, Proceedings of the International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain (ILS), Madison, Wisconsin, May 2008.
- [2] M. Jansen-Vullers, C. van Dorp and A. Beulens, Managing Traceability Information in Manufacture, *International Journal of Information Management*, vol. 23, p. 395-413, 2003.
- [3] M. Khabbazi, M. Yusof Ismail and N. Ismail, A. Mousavi, Modeling of Traceability Information System for Material Flow Control Data, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 4, n. 2, 208-216, 2010.
- [4] OPC Server Interface, Siemens AG, *Document Number C79000-G7076-C225-01*, 1999.
- [5] *Simatic HMI WinCC Users' Manual*, Siemens AG, Document Number 6AV6691-1AB01-2AB0, 2007.
- [6] *Serial Device Server User's Manual*, Quatech Inc., Document Number: 940-0183-152, 2005.
- [7] *Symbol LS4278 Product Referente Guide*, Symbol Technologies, Inc. Document Number 72E-69834-02, Rev. A, 2006.