

Sistema de trazabilidad para una línea de montaje de motores en una industria automotriz

Juan Giró^{1,2}, Julio Massa² y José Stuardi²

¹Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, Córdoba

²Departamento de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Velez Sarsfield 1611, X 5016 GCA Córdoba

Resumen. Se presenta una experiencia concreta en el diseño, implementación y puesta en servicio de un sistema de trazabilidad de una línea de montaje de motores perteneciente a una empresa líder del sector automotriz. En esa línea se montan completamente dos tipos de 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. Se describen los requerimientos que sirvieron de base para la definición del 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 a partir de su habilitación demostró ser altamente confiable.

Palabras Clave: Industria Metalmecánica, Montaje de Motores, Trazabilidad.

1 Introducción

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. Es así que los sistemas de trazabilidad han llegado a desempeñar 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. Cabe acotar que 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. La incorporación de la palabra “trazabilidad” al idioma castellano es muy reciente, por lo que es más frecuente hablar de “rastreo” de productos.

La industria metalmecánica no es ajena a la creciente difusión de la trazabilidad y estos sistemas están adquiriendo progresiva importancia, alcanzando al montaje de motores de combustión interna que es el tema abordado en el presente trabajo.

En el caso aludido 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.

Bajo el concepto de trazabilidad se cubren, desde el punto de vista técnico, tres aspectos: *i)* Los antecedentes trazables de los insumos, ya sean subconjuntos o materiales, llamada “Trazabilidad Ascendente”, *ii)* La traza que deja un producto en todos los procesos internos donde participa, incluyendo composición, personal involucrado, manipulaciones, maquinaria utilizada y resultados de procesos, denominado “Trazabilidad Interna” y *iii)* la continuación de la traza del producto a partir del momento de su expedición, que incluye información sobre transporte, intermediación, almacenaje, uso, mantenimiento, fallas y reparaciones, que es denominada “Trazabilidad Externa”. A su vez los sistemas de trazabilidad tienen dos funciones esenciales: *i)* posibilitar y asegurar la captura y almacenamiento de información específica de cada producto y *ii)* permitir consultas a lo largo de su ciclo de vida, vinculando acciones desde su nacimiento hasta su fin, en ambos sentidos. En la industria mecánica el concepto de trazabilidad está justificado a partir de productos y procesos de manufactura que se caracterizan por alguno o una combinación de tres factores principales: 1) calidad, 2) valor y/o 3) criticidad.

Debe reconocerse que la tecnología es un aliado indispensable a la hora de implementar estos conceptos en la industria [1], [2], [3]. 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 [4], [5].

Las bases de datos, mencionadas en el párrafo anterior, son uno de los recursos centrales de la informática industrial moderna y hacen posible materializar el concepto de *CIM* (Computer Integrated Manufacturing), es decir 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 y están abarcadas por el concepto de *SCADA* (Supervisory Control and Data Acquisition). 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 las tablas de la base de datos.

Finalmente, los sistemas de comunicaciones permiten vincular la realidad de la planta con centros de almacenamiento de información, procesamiento y atención de consultas originadas en los diferentes niveles jerárquicos de dirección y producción, brindando datos actualizados y consistentes.

Sobre la base de esos recursos tecnológicos se construyen los sistemas de trazabilidad interna, como el que se presenta en este trabajo, que describe 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. 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 en la Sección 5 se hace referencia al funcionamiento del sistema de trazabilidad y los resultados obtenidos. Por último en la Sección 6 se presentan las conclusiones y la proyección futura de la experiencia realizada.

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.* Es donde comienza a ser armado cada motor y para ello se realizan las siguientes acciones: 1) reconocimiento del código que tipifica las dimensiones de los cilindros, 2) asignación del número de serie del block, 3) alta del nuevo motor en las tablas correspondientes de la base de datos y 4) grabado de este número mediante un cabezal de micropercusión.
- b) *Puestos de operaciones intermedias.* Están destinadas a soportar 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 y la identidad de los operarios involucrados.
 - Montajes de piezas críticas, con comprobación previa de su correcta selección.
 - Ayudas visuales para orientar al operador sobre secuencias correctas de montaje en casos complejos.
 - Controles de 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.
 - 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.

Las operaciones indicadas están distribuidas sobre una línea de montaje principal de unos 200 mts de largo y dos líneas auxiliares que convergen a la anterior y que están destinadas al montaje de subconjuntos, en este caso tapas de cilindros superior e inferior.

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.

2.2.1 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.

2.2.2 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:

- A partir del número de serie del motor: detalle de las operaciones cumplidas, datos y resultados.
- A partir de una fecha y un número de operación: detalle de motores operados, datos 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, todos los cuales son expuestos a continuación.

3.1 Criterios Generales Adoptados

Los criterios generales para el diseño del sistema de trazabilidad fueron:

- Asegurar un sistema robusto y confiable a través de una concepción simple y el uso de recursos de programación ampliamente probados.
- 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, sin necesidad de modificar el código de los programas.
- Gestionar toda las entradas/salidas digitales de reconocimiento de condiciones, señalización y comandos a través de PLC's.
- Apoyar la conectividad central del sistema sobre una red Ethernet.
- Implementar una red de conectividad secundaria bajo la norma RS-232C para vincular los dispositivos auxiliares que disponen de interfases de comunicaciones. Se opta por este tipo de comunicación con el fin de disponer de la máxima compatibilidad con diferentes tipos de equipos, muchos de ellos existentes.
- 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).
- 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 destinado a soportar el sistema principal, base de datos, atención de redes de comunicaciones e interfaz con los PLC.
- b) Puestos autónomos sobre computadores (PC) Pentium IV.
- c) Sistema Operativo Windows, por considerarse que no era necesario un SO de Tiempo Real tipo QNX o RTLinux y priorizarse la compatibilidad con otras aplicaciones.
- d) Lenguaje visual Delphi de programación orientado a objetos de última generación.
- e) Equipos PLC marca Siemens modelos Simatic S7300, Simatic S7200 y ET200 para la gestión de señales digitales de entrada y salida.
- f) Vínculo entre servidor y PLC a través de un dialogo cliente-servidor bajo Standard OPC [6] implementado sobre plataforma Simatic WinCC [7] de Siemens.
- g) Módulos de comunicaciones marca Quatech modelo QSE-100D [8] de cuatro puertos seriales para disponer de interfaces RS-232 en cantidad suficiente, distribuidas a lo largo del área cubierta por la línea de montaje.
- h) Lectores de códigos de barras con interfaz inalámbrica marca Symbol modelo LS4278 [9] con vínculos "Bluetooth" y bases con capacidad para soportar tres lectores cada uno e interfaz RS-232 con el sistema central.

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 concurrente, 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. A continuación se describe la solución prevista y sus características.

3.3.1 Gestión de datos

Al definirse la estructura de almacenamiento de datos se tuvo en cuenta la necesidad de una muy rápida respuesta en condiciones de actividad intensa y altamente concurrente, optándose por una solución que se apoya en cuatro tablas principales que a continuación se describen:

- a) *Actividad diaria*: Almacena en orden cronológico los motores ingresados diariamente a la línea de montaje, conteniendo datos de identificación, información auxiliar y vínculos con las demás tablas.
- b) *Histórico de motores*: Contiene un registro por cada motor. Cada registro a su vez contiene información referida al paso del motor por cada uno de los puestos de montaje de la línea y punteros a registros de la tabla de almacenamiento de datos. Para asegurar la máxima rapidez de acceso a esta tabla se implementó un esquema "hash" basado en el número de serie del motor.
- c) *Tabla de Datos*: Esta destinada a almacenar los datos provenientes de los puestos de montaje y se accede a ellos en forma directa a partir de la tabla anterior.

d) *Tabla de status*: Contiene el estado en que se encuentra cada uno de los puestos de la línea, la identidad del último motor operado, la condición de la operación (en ejecución o finalizado), el resultado de la operación (aprobada o rechazada) e información destinada a permitir acciones concurrentes sobre las demás tablas en ausencia de colisiones.

La solución propuesta respondió a un diseño completamente original con un esquema propietario basado en un enfoque de indexación Hash y accesos directos a las tablas. Fue concebido especialmente para esta aplicación y cubrió las expectativas en lo que hace a rapidez de acceso, robustez y consistencia de la información almacenada. Sin embargo, se reconoce que la implementación de un esquema de este tipo, habiendo en la actualidad una amplia disponibilidad de productos comerciales, es un tema polémico que seguramente da lugar a posiciones encontradas.

3.3.2 *Servidor*

El módulo servidor cumple cinco funciones principales, que son: *i*) controlar la operación de los puestos generales de montaje, *ii*) gestionar la red ethernet que vincula a todos los principales recursos del sistema, *iii*) gestionar 48 puertas de comunicaciones RS-232C, *iv*) soportar el diálogo con los PLC y *v*) 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 en cada puesto con la lectura del código de la operación, 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 simultánea 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 (Open Process Control) 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.

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.

3.3.3 *Puestos generales*

Los puestos generales son controlados directamente por el servidor e indirectamente a través de los PLC, operando secuencialmente según las previsiones de las ya mencionadas máquinas de estados. Estos puestos disponen de lectores de código de barras y accesorios de señalización luminosa, no necesitando de ningún otro equipamiento ajeno a las tareas específicas de montaje.

3.3.4 *Puestos autónomos*

Además de esos puestos generales ya descritos, 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.

3.3.5 *Puestos de supervisión*

Los operadores y supervisores necesitan información general y específica sobre la actividad de la línea de montaje. Para ello se concibió una aplicación de supervisión que 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.

Debido a la extensión de la línea de montaje se hizo la previsión de que el sistema admita la operación simultánea de varios puestos de supervisión. Para ello fue necesario coordinarlos para impedir eventuales acciones concurrentes que iniciadas desde diferentes puestos introduzcan cambios contradictorios sobre los mismos datos.

3.3.6 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.

Estos Bancos de Ensayos son puestos que operan integrados al sistema de trazabilidad pero que cumplen su ciclo de ensayo en forma autónoma. Para ello disponen de un módulo de adquisición de datos que recibe señales de los sensores y de un actuador electromecánico que permite accionar el acelerador a partir de una señal eléctrica de control, en este caso un tren de pulsos. Se trata de bancos dobles, es decir que cada puesto puede ensayar dos motores en forma simultánea e independiente, disponiéndose de cinco de estos bancos.

Para comenzar el ensayo el motor es identificado a través de un lector de códigos de barras y al finalizar los resultados de la prueba son cargados en las tablas correspondientes.

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.

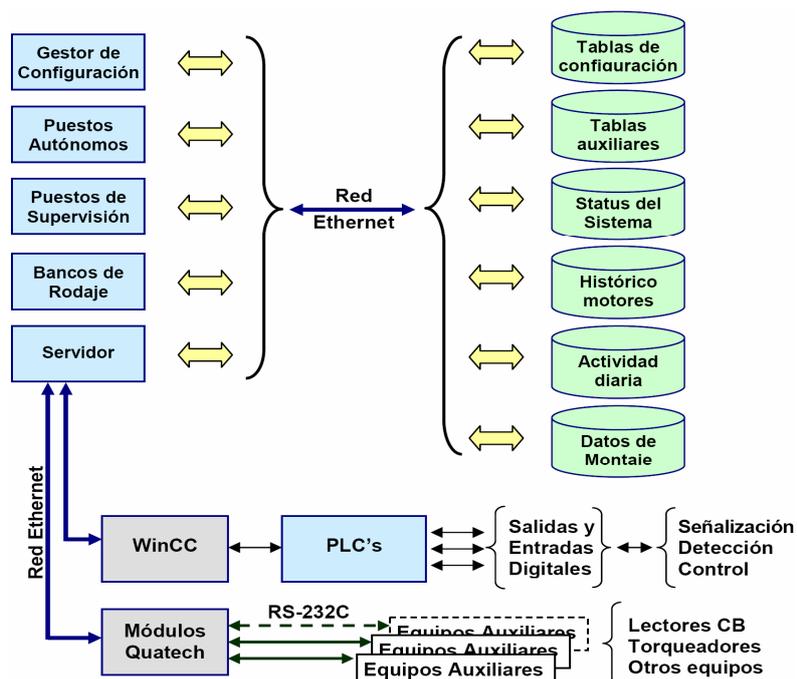


Figura 1: Esquema general de los módulos y tablas de datos del sistema de trazabilidad

3.5 Interpretación de Mensajes Recibidos por Puerta Serial

Como ya fue anticipado, el servidor gestiona 48 puertos 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 para identificar su procedencia y darle luego un tratamiento compatible con el tipo de equipo de origen, que puede ser específico o tratarse de uno de los lectores de códigos de barras. El esquema de la lógica de interpretación de mensajes es representado en la Figura 2.

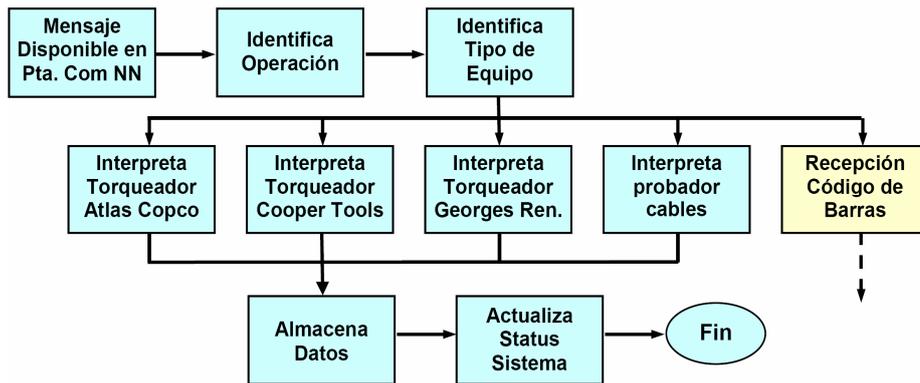


Figura 2: Recepción de mensajes por puertas seriales

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.

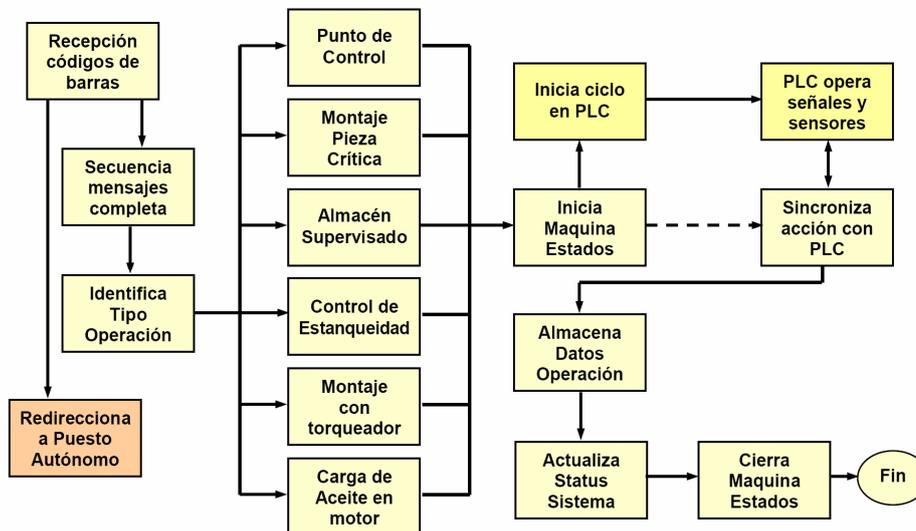


Figura 3: Interpretación de mensajes provenientes de Lectores de Códigos de Barras

Aquí es necesario aclarar que se reciben dos tipos de mensajes provenientes de lectores de códigos de barras (LCB): *i*) datos correspondientes a la operación de puestos generales, que son atendidos directamente por el servidor y sirven de entrada a 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.

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 autónomos diferentes	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

Para el desarrollo del sistema se emplearon alrededor de seis meses de trabajo, debiendo aquí acotarse que previamente se disponía de componentes y librerías por haberse desarrollado con anterioridad sistemas afines. Por su parte, la implementación demandó cuatro meses adicionales 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 se presentaron 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: *i*) la operación simultánea de una gran cantidad de puertas seriales desde un mismo equipo (48) y *ii*) la implementación de un “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, hasta ese momento desconocida, para atender una puerta serial por encima de “Com9”. Afortunadamente el problema tiene numerosos antecedentes y existe un procedimiento alternativo que debió ser implementado.

La segunda dificultad estuvo referida a la implementación del protocolo de comunicaciones abierto OPC, cuyas pruebas y habilitación definitiva demndaron más tiempo que el originalmente previsto.

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 estuvo en servicio y operando normalmente desde febrero de 2008 hasta finales del 2010, en que la línea de montaje cesó su actividad. Durante ese período hubo numerosos meses en que la línea de montaje alcanzó una producción de 500 motores diarios en dos turnos 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 puertas 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 montaje de la tapa de cilindros inferior tiene un tamaño medio de 6800 bytes.

Si bien la mencionada 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 necesarias validaciones 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 con vínculos inalámbricos, la actividad de los equipos de montaje, 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 se cumplía toda esta actividad, los puestos de supervisión disponían de información actualizada sobre el estado general de la línea de montaje, que era mostrada a través de pantallas graficas con la posibilidad de atender consultas específicas sobre la actividad de cada puesto de montaje, las operaciones cumplidas y sus resultados. Paralelamente, en los dos puestos de conformidad se consultaba el historial de cada motor recién llegado, se verificaban eventuales mensajes de advertencia y se registraban

novedades. Ocasionalmente, algún motor era enviado a reparación. El sistema de trazabilidad cumplió así su función principal que era la de llevar un registro de toda la actividad productiva y posibilitar variadas consultas.

Sin embargo, una de las consecuencias del mundo globalizado y de la muy alta competencia que se presenta en la industria lleva a circunstancias como esta, en que un sistema complejo ha completado su ciclo de vida en tan solo algo más de cuatro años. Es así que en tan breve plazo se pueden correlacionar los requerimientos originalmente planteados, los criterios de diseño adoptados, la solución final implementada y los resultados finales obtenidos. Se trató de una poco frecuente y muy valiosa oportunidad que permite hacer un balance y sacar conclusiones que, en otras épocas o en sistemas de ciclos de vida que puedan considerarse normales, demandarían varias décadas.

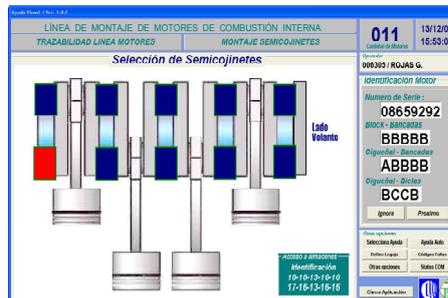
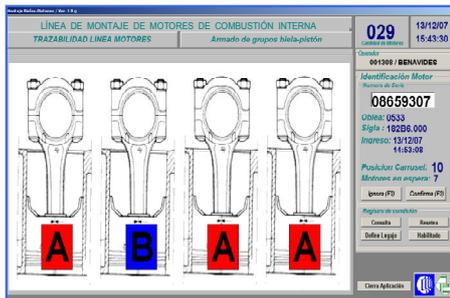
Si en un primer análisis se quisiera identificar las dos decisiones mas acertadas, y dejando de lado los recursos tecnológicos que son coyunturales, sin lugar a dudas serian: 1) haber implementado en todos los puestos autónomos (ver 3.3.4) un mismo modulo de software ejecutable para operar estaciones en apariencia muy diferentes, que adquirirían su identidad específica en tiempo de ejecución a partir de opciones de configuración y 2) haber llevado un registro “log”, accesible al usuario, de todas las causas que provocaban que algún puesto no iniciara una operación, rechazara un motor o tuviese un final anómalo. Lo primero fue de enorme importancia tanto en la implementación como en el mantenimiento del sistema y lo segundo de gran ayuda durante el periodo de entrenamiento del personal y aun con el sistema en régimen, permitiendo que el propio usuario (mas de 120 personas diferentes) entendieran el motivo de una condición de falla, que de otra manera hubiesen sido atribuida al mal funcionamiento del sistema y requerido asistencia de personal de soporte técnico.

Para completar este trabajo y a título ilustrativo se presentan algunas imágenes del sistema. En la Figura 4 se muestra el ingreso del block a la línea de montaje y una ventana que detalla el dialogo con el quipo que realiza el marcado del block por micropercusión. Atrás, un listado de los motores ingresados con anterioridad.

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 referirse a una operación iniciada o cumplida.



Figuras 4 - 5: Puesto de ingreso del block y pantalla de supervisión



Figuras 6 – 7: Puestos de montaje de biela-pistón y de selección / montaje de cojinetes

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 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, el sistema selecciona los tipos de cojinetes apropiados y luego el operador es guiado durante el montaje de cada uno de ellos, 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.



Figuras 8 – 9: Control de conformidad y detalle de operaciones sobre un motor

La Figura 8 corresponde a un puesto de control de conformidad, que muestra una página con el listado de los últimos motores salidos de la línea, donde la selección de uno de ellos es resaltada con un contraste de color, y a la derecha se presentan sus principales datos de identificación, fechas / horas de entrada-salida y condición final.

Luego, todas las operaciones realizadas sobre el motor seleccionado son presentadas en un listado que se muestra en la Figura 9. Allí se ha seleccionado una operación (línea con contraste) y sobre un recuadro gris se muestra el detalle de una de ellas. En este caso pueden verse los valores de torques del montaje de un volante.

Como pudo observarse, y a excepción de la pantalla de supervisión, a todas las pantallas de los diferentes puestos se les dio una fisonomía similar a efectos de facilitar la tarea del operador, que frecuentemente es rotado por diferentes estaciones.

6 Conclusiones

Se desarrolló, diseñó e implementó un sistema de trazabilidad para dar respuesta a los requerimientos específicos planteados por una empresa del sector automotriz. Se trata de un sistema complejo destinado a seguir el montaje de un motor de combustión interna y a soportar la actividad que corresponde a una secuencia de numerosas operaciones de diverso tipo, que incluyen ensayos a la salida de línea.

Un sistema de trazabilidad de este tipo fue considerado indispensable para la operación de la línea de montaje, lo que significó que si el sistema no estaba disponible la línea de montaje no trabajaba, con el consiguiente perjuicio para la empresa. Por ello el sistema de trazabilidad quedó encuadrado como un sistema crítico, donde no se tolerarían 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 cerca de tres años. Más aún, el sistema demostró su aptitud para atender las condiciones de trabajo más exigentes que se presentaron en ese lapso.

El breve ciclo de vida de este sistema brindó una excelente oportunidad para correlacionar las previsiones y sus resultados, así como suministrar enseñanzas sobre la solución del problema de la trazabilidad. Esto último será de utilidad para otros tipos de industrias, incluyendo a la industria del software.

Referencias

1. Tang, X., Yun, H., Data Model for Quality in Product Lifecycle, *Computers in industry*, 59 (2-3): 167-179 (2008).
2. Murthy, K., Robson, C., 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 (2008).
3. Robson, C., Watanabe, Y., Numao, M., Parts Traceability for Manufacturers, Proceedings of the 3rd International Conference on Data Engineering, ICDE '07 (2007).
4. Jansen-Vullers, M., van Dorp, C., Beulens, A., Managing Traceability Information in Manufacture, *International Journal of Information Management*, 23, 395-413 (2003).
5. Khabbazi, M., Yusof Ismail, M., Ismail, N., Mousavi, A., Modeling of Traceability Information System for Material Flow Control Data, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(2), 208-216 (2010).
6. OPC Server Interface, Siemens AG, Document Number C79000-G7076-C225-01, 1999.
7. Simatic HMI WinCC Users' Manual, Siemens AG, Document Number 6AV6691-1AB01-2AB0 (2007).
8. Serial Device Server User's Manual, Quatech Inc., Document Number: 940-0183-152 (2005).
9. Symbol LS4278 Product Ref. Guide, Symbol Technologies, Inc., DN 72E-69834-02 (2006).