

## MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES AUTOMATIZADAS

Arturo Rojas Moreno, Ph.D.

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Sección de Post Grado.

### RESUMEN

*Este artículo resalta la presencia de una apreciable cantidad de dispositivos y equipamiento involucrados en las tareas de medición, de control y de generación de energías auxiliares dentro de una instalación automatizada. También presenta y discute pautas y recomendaciones encaminadas a la elaboración de un plan de mantenimiento, en donde los recursos humanos y tecnológicos tienen que ser cuidadosamente seleccionados con el propósito de asegurar el éxito de la aplicación de dicho plan. Asimismo, se analizan los costos de mantenimiento en instalaciones convenientemente automatizadas, llegándose a la conclusión de que tales costos disminuyen en gran medida. Un caso real es discutido con el propósito de convalidar los conceptos anteriores.*

### ABSTRACT

*This paper remarks the presence of a great amount of devices and equipment employed in automated processes and power supply plants for measurement and control tasks. Relevant recommendations related with the selection of adequate and convenient human and technological resources, in order to elaborate a maintenance plan that assures its successful application, are also presented and discussed. Further, maintenance costs in automated processes are analyzed and discussed. The conclusion is that such costs tend to be smaller. An application case is discussed in order to validate the recommendations given above.*

### TAREAS Y ESTRUCTURAS DE AUTOMATIZACION

En la actualidad, el mercado es el impulsor principal de la industria moderna, ya que crea la necesidad de obtener productos terminados que cumplan los requerimientos de calidad exigidos, y de producirlos en cantidad suficiente para que el precio de comercialización sea competitivo.

En este escenario, una industria para ser moderna y competitiva debe poseer instalaciones, procesos y métodos de producción con determinados grados de automatización. Es por todos conocido que en las últimas décadas las técnicas de automatización han influido notablemente en la operación y en el diseño de procesos técnicos. De acuerdo al transporte de material, de energía o de información, los procesos técnicos pueden ser divididos como sigue: Procesos Continuos, en donde la información fluye en forma continua como en las refinerías, oleoductos, plantas de generación de potencia, entre otras; Procesos

Paquetes ("batch processes"), en donde el flujo es interrumpido, como por ejemplo en plantas químicas, de vulcanizado, de secado, etc.; Procesos de Transporte de "piezas", como es el caso de los procesos de manufactura y de transporte.

La estructura o combinación de estructuras de automatización a implementarse, y que luego describiremos, depende del tamaño (pequeño, medio o grande) del o de los procesos que comprende la instalación, indicado por el número de las variables a medir, a controlar y a procesar.

Procesos pequeños son entre otros: sistemas de calefacción, hornos industriales, actuadores eléctricos, máquinas herramientas. Como procesos medios se puede citar a las plantas de neutralización y sistemas de aire acondicionado. Ejemplos de procesos grandes son las redes eléctricas, refinerías, plantas de generación, siderúrgicas, etc. Cabe mencionar que muchas industrias cuentan dentro de sus instalaciones con procesos de varios tamaños y con diversas estructuras de automatización. Las tareas de

automatización son de naturaleza variada. máquinas y procesos de producción; control y medición de las variables en juego. monitoreo, supervisión y señalización de variables para evitar exceder límites permisibles; protección para evitar accidentes; documentación vía el almacenamiento y procesamiento de los datos del proceso; optimización, para conseguir una operación económica y con máxima eficiencia; coordinación entre los subsistemas que componen una estructura determinada; procesamiento de datos, para ayudar en la toma de decisiones con el fin de chequear permanentemente que se tiendan a cumplir las metas establecidas.

Las tareas de automatización se distribuyen normalmente en diferentes niveles [1] tal como se muestra en la Fig. 1. Podemos observar que en el nivel procesos se encuentran precisamente los procesos por automatizar. En el nivel bajo tenemos los dispositivos para control, monitoreo y protección de los procesos, mientras que en el nivel medio encontramos las tareas de optimización y documentación. En el nivel más alto, el nivel gerencial y de coordinación, se pueden ejecutar todas las tareas relacionadas con el manejo total de la empresa; por ejemplo, toma de decisiones en base a los datos procesados.

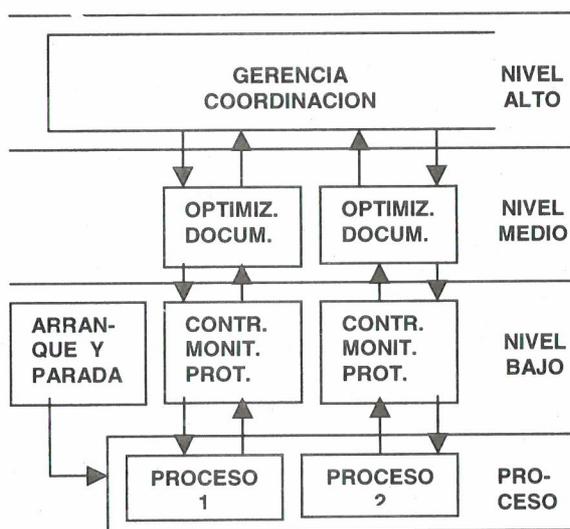


Fig. 1 Automatización en diferentes niveles.

La automatización de procesos se puede realizar empleando varias estructuras (Fig. 2). En la estructura totalmente descentralizada, (Fig. 2a), cada tarea se lleva a cabo con un dispositivo particular (controlador, registrador, interruptor para señalización, instrumento de indicación, etc.).

Podemos citar las siguientes: arranque y parada de La implementación de esta estructura requiere de mucho trabajo de planificación, altos costos de cableado, y como producto se obtiene una instalación inflexible, que sólo permite la ejecución de las tareas de automatización en el nivel más bajo. La aparición de las computadoras de procesos y gracias a su desarrollo, tuvo gran influencia a partir del año 1965, provocando que los procesos se automatizaran usando una estructura centralizada (Fig. 2 b). Las computadoras de procesos podían desempeñarse sin problemas hasta el nivel medio (Fig.1).

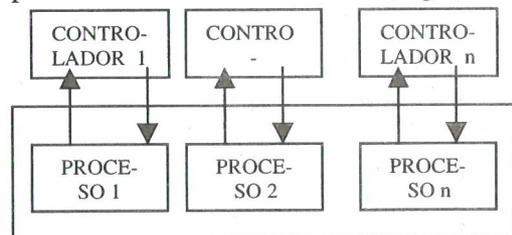


FIG. 2 a

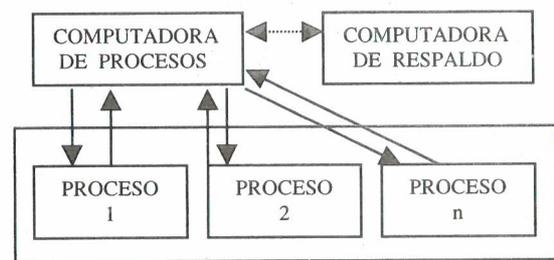


FIG. 2 b

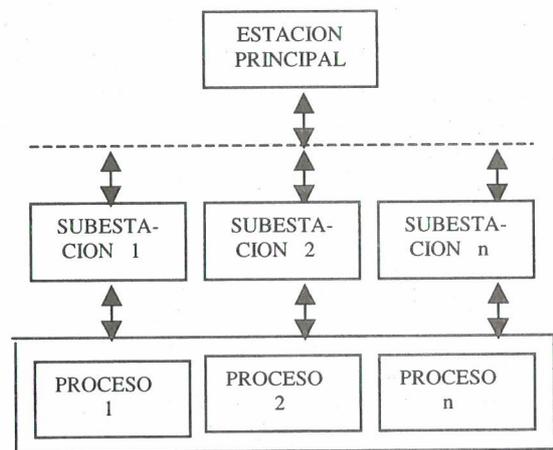


FIG. 2 c

Fig. 2 Estructuras de automatización de procesos. Fig.2a: Descentralizada; Fig. 2b: Centralizada con computadora de procesos; Fig. 2c: Distribuida con microcomputadoras.

Tareas como control digital directo, monitoreo y supervisión se habían constituido un estándar en los 70's. En las dos últimas décadas el avance de las microcomputadoras ha sido vertiginoso y ha dado lugar a que los procesos se puedan automatizar usando una estructura centralizada/descentralizada, que es comúnmente conocida como distribuida. Una estructura de este tipo (de las cuales existen varias) se muestra en la Fig. 2b. Actualmente sistemas distribuidos son ofrecidos por varios fabricantes, y por cierto, cada uno de ellos sostiene poseer la mejor estructura. Todas las tareas de automatización se pueden llevar a cabo con estructuras distribuidas. Principales características de tales estructuras son su flexibilidad y su adaptabilidad, que los hacen más transparente, confiables, fácil de instalar, de programar y de desarrollar tareas de entrenamiento. Los buses de comunicación serie y paralelo que poseen dichos sistemas permiten la conexión de equipamiento externo (lo que no ocurre con los sistemas centralizados y descentralizados). De esta manera se evitan grandes costos de cableado.

**PRESENCIA DE LOS DISPOSITIVOS Y EQUIPOS DE AUTOMATIZACION**

Una instalación o planta automatizada requiere de la numerosa presencia de: dispositivos de medición (sensores, transductores, convertidores), de control (actuadores, elementos de control final, controladores, programadores), de equipos para la generación de energía auxiliar (tales como aire, vapor, gas inerte, electricidad), y de equipos informáticos para el apoyo de la producción y la gestión. Para ilustrar dicha presencia, considere los sistemas de control a lazo cerrado (SCLC) de flujo (Fig. 3a) y de temperatura (Fig. 3b), y el diagrama de bloques común para ambas configuraciones (Fig. 3c). La Fig. 3c muestra que un SCLC (llamado también sistema de control realimentado o circuito de regulación) comprende: el controlador, que empleando un algoritmo de control, procesa el error que existe entre la señal de referencia R y la señal controlada Y con el fin de crear la fuerza de control U; el actuador, que recibe la señal de control normalizada U, llamada también variable manipulable, y la transforma en una señal de potencia que pueda ejercer el control requerido por el proceso y de acuerdo a

especificaciones de diseño; el control final, que actúa directamente sobre la variable que se desea controlar y la modifica; el proceso, denominado también planta o tramo de regulación, que modifica su señal de salida Y de modo tal que el error  $E = R - Y$  sea mínimo; el bloque de medición, que comprende el elemento primario de medición o sensor y el transductor. Este último convierte la señal sensada en una señal normalizada.

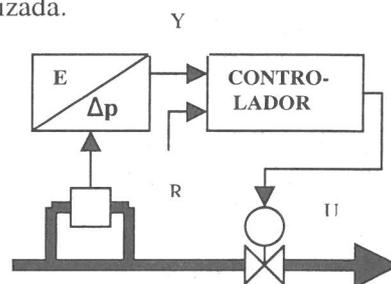


Fig. 3a

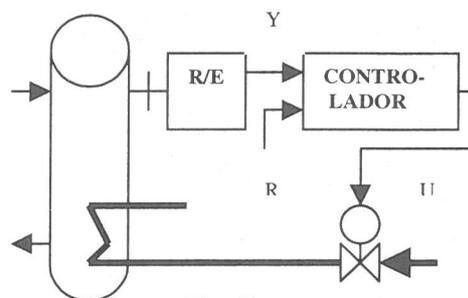


Fig. 3b

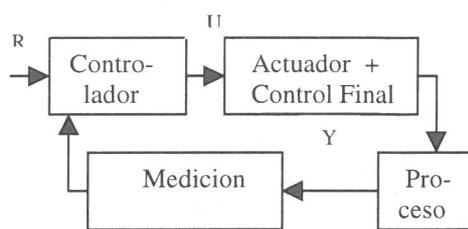


Fig. 3c

Fig.3 Sistemas de control a lazo cerrado (SCLC's). Fig. 3a: SCLC de flujo; Fig. 3b: SCLC de temperatura; Fig. 3c: Diagrama de bloques de un SCLC.

Cabe anotar que un SCLC puede necesitar la presencia de convertidores de señal entre el controlador y el actuador; por ejemplo, para convertir la señal eléctrica normalizada de 4 a 20 mA en otra señal neumática normalizada de 3 a 15

psi (o de 0.2 a 1 bar). En el SCLC de flujo de la Fig. 3a, el sensor de diferencia de presión  $\Delta P$  es una placa de orificio. Un transductor transforma  $\Delta P$  en una señal eléctrica E (de 4 a 20 mA). La señal de control U (también de 4 a 20 mA) tiene que ser convertida a una señal de 3 a 15 psi, ya que se está usando una válvula con actuador neumático. El elemento de control final (aquí, el cono del cuerpo de la válvula) actúa modificando la magnitud del flujo que pasa por la tubería. En este caso, el tramo de regulación está constituido por el flujo que circula a través del tramo de tubería. Debemos mencionar que el sensor de  $\Delta P$  en conjunto con el convertidor  $\Delta P/E$  pueden formar un solo instrumento que comúnmente se denomina transmisor de flujo. En la Fig. 3b podemos hacer un análisis similar al de la Fig. 3a. El sensor primario es una termoresistencia. La resistencia R sensada (cuyo valor es proporcional a la temperatura) se debe convertir en una señal eléctrica normalizada de 4 a 20 mA, requerida por el controlador electrónico (cada vez se usan menos los anteriormente populares controladores neumáticos). Podemos observar que la válvula usada es motórica; por tanto, posee un motor D.C. (de corriente continua) como actuador, el cual desplaza longitudinalmente al eje de la válvula, consiguientemente al cono (o vástago), con el propósito de hacer variar el agua de calefacción de acuerdo a la señal U, para hacer que la temperatura T del tanque siga a la temperatura de referencia R.

Instalaciones automatizadas no solo poseen numerosos SCLC's de flujo y de temperatura, sino también los hay de presión, diferencia de presión, nivel, pH, redox, densidad, viscosidad, velocidad, corriente, tensión, frecuencia, concentración, etc.

Es necesario también mencionar que SCLC's para una misma variable, por ejemplo flujo, pueden ser distintos con respecto a los componentes que lo conforman. Así, un SCLC de flujo de vapor es muy distinto a un SCLC de flujo másico (granos). Debemos también recalcar que los SCLC's mostrados en la Fig. 3 son los más simples, ya que muchas veces es necesario emplear otras estrategias de control (relación de control, cascada, control de tres componentes, control anticipativo, control selectivo, control de rango compartido, etc.[2]) a fin de conseguir el objetivo de control (que Y siga a R), lo que trae consigo el

incremento del número de dispositivos de medición y de control.

En una instalación automatizada también podemos encontrar numerosos sistemas de control a lazo abierto (SCLA's, denominados también no realimentados). Los ejemplos siguientes, entre muchos otros, ilustran dichos sistemas: arranque y parada programada de motores, bombas, compresores, válvulas, contactores, cilindros, etc.; mando programado de procesos de dosificación; mando programado del transporte, empaque y pesado de materiales y productos terminados.

Tanto los SCLA's como los SCLC's requieren de la adición de dispositivos de alarma y señalización tales como: relés, lámparas, presostatos, termostatos, fines de carrera (ópticos, inductivos, capacitivos, mecánicos), válvulas de seguridad, interruptores, etc., etc., lo cual incrementa la complejidad de tales sistemas. Por otra parte, también debemos tener en cuenta a los sistemas de adquisición de datos (SAD's), los cuales emplean buen número de mediciones remotas, que luego se procesan convenientemente mediante software. Por ejemplo, puede existir un SAD para el chequeo de energías. Los SAD's pueden usar los datos de los SCLC's y de los SCLA's, pero no son parte de tales sistemas. Los datos procesados también pueden estar disponibles en tiempo real.

## EL PLAN DE MANTENIMIENTO

Antes de entrar de lleno al problema del mantenimiento, es necesario definir el escenario: una instalación automatizada con sus procesos operando. Quiere decir que la instalación fue previamente automatizada de acuerdo a una o varias estructuras, las cuales fueron seleccionadas atendiendo al tamaño de las instalaciones, a las tareas de automatización por implementarse y a otros factores no menos importantes, tales como: reposición de repuestos garantizados (al menos para los próximos 10 años), permanente asesoría técnica, planes de entrenamiento, menor tiempo posible para la recuperación de la inversión inicial, etc.

Los medios informáticos constituyen hoy en día una herramienta fundamental para la gestión del mantenimiento. Tales medios permiten que el mantenimiento y su gestión sean parte de un

sistema integrado de control total de la producción, en donde un proceso productivo requiere la sincronización gerencial de las operaciones de producción, mantenimiento, manejo de materiales, calidad, y recursos humanos [3]. Naturalmente que un manejo eficiente de materiales, repuestos y equipos requiere de un buen sistema de codificación, de almacenaje y de inventario [4]. Es importante evitar que materiales y artículos permanezcan almacenados por mucho tiempo, ya que es dinero invertido que no trabaja. El manejo de materiales y artículos en general debe ser global y servir tanto para las tareas de producción como para las de mantenimiento. La gestión del mantenimiento comienza desde la concepción de su organigrama de funcionamiento, el cual debe estar integrado a un sistema mayor de gestión de la producción. Por tanto, los detalles de dicho organigrama dependen directamente de la instalación industrial en cuestión. Algunas ideas al respecto se pueden encontrar en [5]. Todos los componentes del organigrama deben participar del plan de mantenimiento.

Por otra parte, un sistema o plan de mantenimiento en la mayoría de los casos, requiere del uso ponderado de estrategias de mantenimiento básicas: mantenimiento reactivo (cuando se permite que un equipo funcione hasta que se malogre para poder reemplazarlo), preventivo (cuando se interviene el equipo periódicamente), predictivo (cuando se identifica la condición del equipo a través de los síntomas que emite al exterior) y proactivo (cuyo objetivo es detectar y corregir la raíz de las causas que generan las fallas en el equipo). Tres aspectos fundamentales relacionados con el plan de mantenimiento de instalaciones automatizadas están relacionados con los recursos humanos, tecnológicos y financieros. Por tener importancia relevante, cada recurso será examinado y discutido en las próximas secciones de este trabajo.

## RECURSOS HUMANOS

Todo buen sistema de mantenimiento debe contar con los recursos tecnológicos, humanos y financieros necesarios y adecuados, los cuales deben estar especificados en su organigrama de funcionamiento. El recurso humano debe ser

capaz de aplicar con eficiencia las estrategias de funcionamiento mencionadas en la sección anterior. Hasta aquí ya hemos adquirido una visión general de la cantidad de equipos y dispositivos involucrados en las instalaciones automatizadas, y sabemos que tal equipamiento responde a una inversión inicial grande pero recuperable en el mediano plazo. La interrogante por discutir y resolver es acerca de los conocimientos y habilidades que debe reunir el personal dedicado al mantenimiento de instalaciones automatizadas. Tal personal no solo tiene que enfrentar los problemas que se presenten con los diversos dispositivos y equipamiento que intervienen en los sistemas de control (mantenimiento, reparaciones, calibraciones, modificaciones), sino que también deben adquirir familiaridad con los medios informáticos. Algunas consideraciones con respecto al campo de aplicación del equipamiento son:

- Los dispositivos de medición y control son en su mayoría electrónicos o con buen agregado de tecnología electrónica. Por propia naturaleza, equipos electrónicos están sujetos a cambios tecnológicos en cortos períodos de tiempo.
- Los actuadores pueden ser mecánicos (válvulas de control, cilindros, bombas), eléctricos (motores, contactores de fuerza), electrónicos (dispositivos de estado sólido como los tiristores) o híbridos (una válvula motórica por ejemplo). Tales dispositivos están sujetos a cambios tecnológicos en largos períodos de tiempo en comparación con los dispositivos de medición y control.
- El hardware de los SCLA's y SAD's es electrónico, pero tienen agregado de software.
- El equipamiento informático es una combinación de hardware electrónico con software.
- Plantas de generación de energías auxiliares (aire, vapor, nitrógeno, electricidad, agua desmineralizada, etc.) están constituidas por equipamiento mecánico especializado (calderas, turbinas, compresores), equipamiento eléctrico especializado (generadores, transformadores, plantas de distribución).
- Los talleres poseen equipamiento especializado de acuerdo a su especialidad: talleres mecánicos, de instrumentación, eléctrico, electrónico).

productivo, conviene que sea elaborado por un equipo de la empresa con la finalidad de que sus miembros ganen la experiencia del caso. Si fuera necesario, este equipo puede ser asesorado por firmas especializadas. Actualmente se disponen de herramientas informáticas de gran potencial (por ejemplo, bases de datos distribuidas) que no son difíciles de programar y adecuar, en cierta medida, a las necesidades de una determinada empresa.

### CASO APLICATIVO

La firma BAYER A.G. de Alemania produce miles de productos químicos y farmacéuticos en sus cientos de fábricas ubicadas en el globo terráqueo, la mayoría de las cuales están en las ciudades alemanas de Leverkusen, Ürdingen y Dormagen. Desde hace dos décadas se ha intensificado la introducción de sistemas de control distribuido en la mayoría de tales fábricas para el control, supervisión y monitoreo de los procesos que intervienen en la producción. El sistema de producción en una fábrica considera dos grupos técnicos principales: el grupo de producción (encargada de obtener una producción óptima) y el grupo de ingeniería, encargada del mantenimiento. Para cumplir con sus funciones, el grupo de ingeniería cuenta con talleres (que pueden dar servicio a varias fábricas) con personal especializado y con personal de planta que previamente han recibido una formación multidisciplinaria suficiente como para afrontar con éxito los problemas de reparación y mantenimiento. Los planes de mantenimiento y de producción son informatizados y forman parte de un plan gerencial de la producción. A su vez, los planes gerenciales de las diversas fábricas responden a un nivel mayor de gerencia administrativa.

Como Bayer A.G. desarrolla sus propios productos y procesos de producción, entonces es muy común ver que a los grupos de producción y de ingeniería se les unen grupos de investigación y desarrollo para realizar tareas ad-hoc. Todos los grupos de trabajo comparten almacenes informatizados, en donde los equipos y dispositivos están estandarizados. Cuando un nuevo producto ha pasado la etapa de desarrollo y va a entrar a la etapa de producción, entonces, simultáneamente con la habilitación de una fábrica, se capacita a todo el personal involucrado

en la nueva fábrica, manteniendo los lineamientos mencionados en el párrafo anterior. Lamentablemente, cuando la producción de un producto ya no es rentable, entonces la fábrica se cierra para ser modificada o cambiada (desmontada), de acuerdo a las exigencias del nuevo producto a producir.

### CONCLUSIONES

El mercado es el impulsor principal de la industria moderna. Sin embargo, para que una industria sea moderna y competitiva requiere poseer en sus instalaciones, procesos y métodos de producción con ciertos grados de automatización.

Las tareas de automatización en una industria moderna son de naturaleza variada (control, medición, supervisión, monitoreo, señalización, documentación, coordinación, etc.) y se distribuyen en diferentes niveles, tal como se muestra en la Fig. 1.

Los sistemas de control y de adquisición de datos de las instalaciones automatizadas requieren de una numerosa presencia de dispositivos de medición, de control, de equipos para la generación de energía auxiliar, y de equipos informáticos. Cabe remarcar que los medios informáticos actuales permiten que el mantenimiento y su gestión sean parte de un sistema integrado del control total de la producción, en donde un proceso productivo requiere la sincronización gerencial de las operaciones de producción, mantenimiento, manejo de materiales, calidad y recursos humanos.

Con respecto a los recursos humanos requeridos para la gestión del mantenimiento de instalaciones automatizadas, podemos evacuar las recomendaciones siguientes. Por una parte, los talleres, por su naturaleza, requieren de personal especializado, mientras que las tareas de planta (mantenimiento de sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos) pueden ser asignadas, previo entrenamiento y en la mayoría de los casos, a especialistas en medición y control. Por otra parte, un equipo multidisciplinario de ingenieros bilingües (es preferible leer la información técnica en el idioma de origen) debe tener la tarea de elaborar (si es necesario con asesoría de firmas

especializadas) y de llevar a cabo el plan de mantenimiento, y proporcionar el entrenamiento del caso a todo el personal involucrado.

Finalmente podemos mencionar que los principales recursos tecnológicos para la gestión del mantenimiento son: su sistema informático, la disponibilidad de la información técnica referida al equipamiento y operación de los procesos, y la contratación de terceros debido a su incidencia en la reducción de costos.

### REFERENCIAS

1. Isermann R., "Digital Control systems", Volumen 1, Second Revised Edition, Springer -Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, 1989..
2. Creus A., "Instrumentación Industrial", Alfaomega marcombo, 5ª edición, 1993.
3. Gramsch E., "Un Sistema Integrado de Control Total de Producción", 7mo Congreso Iberoamericano de Mantenimiento, Anales tomo 1, págs. B27-B40, realizado del 7 al 10 de Noviembre de 1993 en la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
4. Pacheco J., "Racionalización y Catalogación de Repuestos, Materiales y Elementos de Uso", 7mo Congreso Iberoamericano de Mantenimiento, Anales tomo 1, págs. A137-A144, realizado del 7 al 10 de Noviembre de 1993 en la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
5. Rosell J., "Gestión, Organización y Control del Mantenimiento", 7mo Congreso Iberoamericano de Mantenimiento, Anales tomo 1, págs. B63-B74, realizado del 7 al 10 de Noviembre de 1993 en la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
6. Raj Heber R., "Los Recursos Humanos para el Area del Mantenimiento Industrial con Miras al Año 2000", 7mo Congreso Iberoamericano de Mantenimiento, Anales tomo 1, págs. B111-B123, realizado del 7 al 10 de Noviembre de 1993 en la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
7. Aguilar L. Y Morales J., "Sistema de Adquisición de Datos de Parámetros Eléctricos Integrada a la Gestión del Mantenimiento", 6to Congreso Peruano de Mantenimiento, Resúmen de Trabajos Técnicos, págs. 193 al 204, realizado del 18 al 20 de Setiembre de 1996 en Lima-Perú.

