

La tecnología del diagnóstico técnico (I^{ra} parte).

J. Rodríguez Matienzo.

Departamento Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería Mecánica,
ISPJAE, La Habana, Cuba, CP 19 390.
E-mail: matienzo@mecanica.cujae.edu.cu

(Recibido el 8 de Diciembre de 2004, aceptado el 21 de Febrero de 2005)

Resumen.

Se muestra una vista general de los principios de diagnóstico técnico. También, se dan condiciones importantes y definiciones. Las dos posibles maneras: experimental y funcional son discutidas y descritas, mostrándose los modelos físicos y matemáticos. El algoritmo de diagnóstico y sus componentes se discuten y el concepto de ensayo elemental se introduce.

Palabras claves: Diagnostico técnico, algoritmo de diagnostico, puntos de control.

1. Introducción.

El diagnóstico técnico se ha convertido en una de las herramientas más usadas por los ingenieros de planta desde hace ya bastante tiempo. Sea a los efectos del control o dentro de sistemas de mantenimiento, diferentes especialidades dentro de la ingeniería necesitan hacer uso del mismo para su trabajo. Sin embargo, si bien existe actualmente una amplia bibliografía sobre herramientas de diagnóstico, empleando parámetros que van desde una simple temperatura o presión, hasta otros más complejos que engloban varios descriptores; el uso de estos normalmente se limita a la detección de ciertos y determinados defectos en las máquinas o alguno de sus componentes (árboles, cojinetes, etc.) (1).

¿Bastará con eso al gerente de producción o de mantenimiento para satisfacer sus necesidades en estos momentos? ¿O será necesario algo más? ¿Interesaría, además de conocer la existencia o no de un defecto, *calificar* el estado de una máquina?

En muchas ocasiones, se pagan significativas sumas instalando sensores, softwares, etc. con el fin de detectar diversas fallas. ¿Y que hacer con esa información? ¿Se debe parar siempre un proceso de producción de cientos o miles por existir un fallo localizado?

Para intentar responder estas y otras preguntas es conveniente adentrarse en la Tecnología del Diagnóstico Técnico. Con éste, el primero de una serie de trabajos sobre el tema se pretende ayudar en este objetivo.

2. Algunas definiciones.

La palabra "diagnóstico" viene del término griego *diagnosis* y significa *conocimiento, determinación*. El objeto cuyo estado se trata de determinar se denomina **OBJETO DE DIAGNÓSTICO** (*en lo adelante objeto*, mas adelante se retoma esta definición). La operación del diagnóstico encierra en si misma una investigación y su terminación es el **RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO**, o sea la conclusión sobre el estado del objeto. Ejemplos de respuesta pueden ser: el estado del objeto *es satisfactorio*, *es no satisfactorio*, tiene el defecto tal, etc. En todos los casos referidos a objetos de naturaleza técnica se puede hablar del **DIAGNÓSTICO TÉCNICO (DT)**.

Existen tres tareas básicas en el diagnóstico (2):

- **DIAGNÓSTICO:** determinación del estado actual del objeto.
- **PRONÓSTICO:** determinación del comportamiento futuro. Se trata de predecir el posible plazo de servicio o la periodicidad de las futuras operaciones de mantenimiento.
- **GENÉTICA:** determinación del estado del objeto en un momento dado del pasado. Se realiza cuando ocurre una avería y se quiere conocer sus causas, o cuando ha habido un cambio en el estado actual que o es el esperado.
- **DIAGNÓSTICO TÉCNICO:** Se define como la esfera del conocimiento que comprende la teoría y los métodos de organización del proceso de diagnóstico, así como los principios de elaboración de los medios de diagnóstico y su uso. (2)

En general un objeto puede ser sometido durante su vida útil a las comprobaciones siguientes (2, 3):

- Comprobación de la ausencia de defectos (o comprobación del estado satisfactorio).
El objeto no posee ni un solo defecto, se realiza en su etapa de elaboración o después de su reparación general.
- Comprobación de la capacidad de trabajo.
Se comprueba si el objeto satisface su algoritmo de funcionamiento, es menos profunda que la anterior, o sea, pueden existir algunos defectos, pero estos no impiden lo señalado. Se realiza durante la explotación y generalmente es una operación del mantenimiento.
- Comprobación del funcionamiento del objeto.
Se comprueba la no existencia de defectos que impiden el trabajo normal del objeto en un régimen determinado, es aún menos profunda que la anterior. Pueden existir defectos en otros regímenes que sí impidan el trabajo en los mismos.
- Búsqueda de defectos o fallos.
Es una de las más empleadas en el diagnóstico. En esta se señalan los lugares de los defectos y si es posible se determinan los mismos. Es imprescindible para realizar la sustitución de componentes defectuosos, eliminar problemas de montaje, determinar futuras intervenciones, etc. Se puede realizar en cualquier etapa de la vida útil del objeto.

Para las tres primeras comprobaciones las diferencias están como se observa en la profundidad de su realización y en los objetivos que se persiguen. Si bien en ellas no se buscan fallos en específico, esto no quiere decir que alguna operación de este tipo no pueda ser incluida.

A los efectos de la organización del trabajo de diagnóstico, se pueden realizar las comprobaciones en distintos niveles de extensión dentro del equipamiento en un área de trabajo dada. Es decir, se pueden aplicar para líneas de trabajo, equipos, sistemas o grupos de piezas. En este sentido puede ser útil la clasificación del activo productivo en un lugar determinado según: (2):

Pieza Todo y cualquier elemento físico no divisible de un mecanismo. Es la parte del equipo donde, de una manera general, serán desarrollados los cambios y eventualmente, en casos más específicos, las reparaciones.

Componente Ingeniería esencial para el funcionamiento de una actividad mecánica, eléctrica o de otra naturaleza física, que, conjugado a otro(s) crea(n) el potencial de realizar un trabajo.

Equipo Conjunto de Componentes interconectados con que se realiza materialmente una actividad de una instalación.

Sistema Operacional Conjunto de equipos para ejecutar una función de una instalación.

Unidad de Proceso o Servicio Conjunto de Sistemas Operacionales para la generación de un producto o servicio.

Las tres primeras comprobaciones se dirigen fundamentalmente a los grupos desde **equipo** a **Unidad**. La búsqueda de fallos generalmente se orienta a **piezas** y **componentes**, aunque también para defectos más generales, se puede dirigir hacia el resto.

Hay también situaciones en las que la búsqueda de fallos pierde importancia frente a las comprobaciones, como puede ser en los sistemas de diagnóstico a bordo de naves marítimas, en los que las posibilidades de reparación son limitadas y es más importante seguir atentamente la evaluación del estado de equipos y componentes.(4)

Algunos autores prefieren la clasificación según clases, donde se define la **Clase** como *Importancia del equipo en el proceso (o servicio)*, dividiéndose en:

- **Clase A** - Equipo cuya parada interrumpe el proceso (o servicio), llevando a la facturación cesante;
- **Clase B** - Equipo que participa del proceso (o servicio) pero que su parada por algún tiempo no interrumpe la producción;
- **Clase C** - Equipo que no participa del proceso (o servicio).

En este caso se señala que las operaciones de diagnóstico se deben dirigir a los equipos *Clase A* y a algunos *Clase B* (2).

Otra visión es la organización del trabajo a partir de la definición de niveles dentro de una entidad dada, normalmente no más de tres, donde el nivel más bajo lo ocupan las piezas (nivel 3), arriba los componentes (nivel 2) y el más alto el equipo (nivel 1). Tal es el caso de los motores de combustión interna, donde se definen parámetros de diagnóstico para el motor (1), luego para los sistemas por separado (2) (de alimentación, de enfriamiento, etc.) y finalmente para conjuntos de piezas (3) (grupo cilindro-pistón, cojinetes, etc.).

En la figura 1 se ilustran las operaciones de comprobación citadas.

El círculo representa el *estado técnico satisfactorio (ETS)* y las cruces, los *no satisfactorios*. Cada óvalo representa el conjunto de los posibles *estados técnicos (E)* del objeto.

Las tres primeras comprobaciones enunciadas dividen el conjunto de estados en dos subconjuntos (a, b, c, en el mismo orden). El resultado de la búsqueda de defectos se muestra en las últimas tres representaciones (d, e, f).

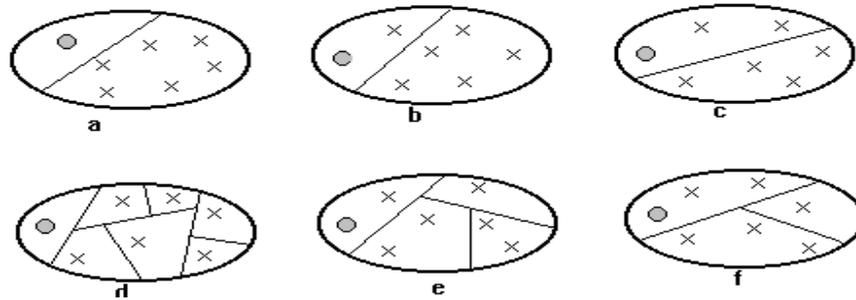


Figura I.1

Nótese que la cantidad de subconjuntos para esta última varía en cada caso, lo que quiere decir que se definen distintas **CLASES** de estados. Así sea la cantidad de clases en que se decide clasificar un objeto, será la **PROFUNDIDAD** con que se realiza la búsqueda de defectos, o la propia profundidad del diagnóstico.

El diagnóstico de un objeto se realiza mediante el empleo de **MEDIOS DE DIAGNÓSTICO**. A la relación que se establece entre el objeto y los medios de diagnóstico se le denomina **SISTEMA DE DIAGNÓSTICO**. El proceso que se establece en un sistema de diagnóstico en general se reduce a la aplicación sobre el objeto de **acciones** definidas (señales de entrada), y la medición y análisis de las **respuestas** (señales de salida) del objeto a estas acciones. Vale señalar que estas acciones son tanto de tipo técnico como humano.

Las acciones pueden ser ejercidas por los medios de diagnóstico o ser de carácter externo (con relación al sistema de diagnóstico), determinadas por el algoritmo de trabajo del objeto. La medición y el análisis de las respuestas siempre se realizan por los medios de diagnóstico y la participación en última instancia de ser humano (operador).

Se define el **SISTEMA DE DIAGNÓSTICO EXPERIMENTAL (SDE)**, el cual se caracteriza por la aplicación sobre el objeto de **acciones especialmente organizadas provenientes de los medios de diagnóstico**, a diferencia del llamado **SISTEMA DE DIAGNÓSTICO FUNCIONAL (SDF)**, que se caracteriza por la existencia solamente de acciones sobre el objeto *propias de su algoritmo de trabajo*. Este es el más utilizado en la práctica. La aplicación de uno u otro sistema depende de las condiciones y objetivos perseguidos.(2)

Se debe señalar que el uso de instalaciones experimentales en las que el objeto reproduce su algoritmo de trabajo (bancos de pruebas) generalmente se incluye en el segundo caso, aunque frecuentemente se pueden aplicar acciones propias del SDE siempre que no interfieran con dicho algoritmo.

El proceso de diagnóstico se compone de diferentes partes, en cada una de las *cuales se aplican al objeto acciones y se recogen respuestas*. A estas partes se les denominan **PRUEBAS ELEMENTALES (PE)**, y a la respuesta obtenida **RESULTADO DE LA PRUEBA ELEMENTAL (RPE)**. Entonces a la descripción formal del proceso de diagnóstico, se le nombra **ALGORITMO DE DIAGNÓSTICO**. Este representa una sucesión, condicional o no, de pruebas elementales así como el conjunto de reglas de análisis de los resultados de estas. Una prueba elemental puede ser tan sencilla como la medición de una temperatura o presión bajo ciertas condiciones, o llegar a la medición de varios parámetros simultáneos de diferente carácter en condiciones determinadas.

Uno de los problemas fundamentales a resolver en el proceso de diagnóstico es la optimización del algoritmo de diagnóstico, lo cual siempre es posible porque el número de pruebas elementales necesario para una tarea del diagnóstico dada como regla es menor que el número de pruebas elementales posibles a realizar en el objeto, además, siempre es posible cambiar el orden de las pruebas.

En muchas ocasiones el algoritmo se configura intuitivamente, en base a la experiencia. Para trabajos sencillos esto puede bastar. Sin embargo, los métodos intuitivos de construcción del algoritmo no pueden garantizar siempre la obtención de un resultado objetivo, y además pueden contener pruebas repetidas o que no aportan nada, órdenes de ejecución alejados del óptimo, etc., lo cual encarece todo el proceso de diagnóstico. De aquí surge la necesidad de la elaboración de *métodos formales* de elaboración del algoritmo, lo cual es especialmente válido para los objetos complejos y facilita la automatización del proceso.

Es muy importante antes de enfrentar la tarea de la construcción de un algoritmo, el contar con suficientes datos estadísticos sobre el comportamiento del objeto, tales como: índices de fiabilidad, fallos más probables, características de estos fallos, gastos en reparación de

uno u otro fallo, gastos en la búsqueda de defectos, parámetros de diagnóstico necesarios, etc.

Por último, es de señalar que lamentablemente en las etapas de diseño de las máquinas y mecanismos frecuentemente no se tiene en cuenta que en algún momento de la vida útil los mismos deberán ser reparados y diagnosticados, lo cual es una dificultad adicional a resolver durante la construcción de cualquier algoritmo de diagnóstico. Lo anterior se pasa por alto muchas veces y trae consecuencias lamentables a la hora de implementar en la práctica un sistema. En muchas ocasiones es necesario alterar de alguna forma la integridad física del objeto y esto se recibe con resistencia tanto por el personal ajeno al diagnóstico como por el personal encargado de la ejecución del trabajo, que se ve obligado a labores muchas veces delicadas que no entienden o no le aportan nada personalmente.

3. Tarea fundamental del Diagnóstico Técnico.

La tarea fundamental del DT es la organización efectiva de los procesos de determinación del estado técnico de los distintos objetos, en especial para los de naturaleza más compleja.

Se pueden enunciar como tareas del diagnóstico las siguientes (2, 7):

- el estudio de las propiedades físicas del objeto, su algoritmo de trabajo y sus defectos
- la elaboración de los modelos matemáticos del objeto y los modelos de sus defectos
- el análisis de los modelos del objeto para obtener los datos necesarios para la elaboración del Algoritmo de diagnóstico
- la elaboración de los principios de construcción de los Medios de Diagnóstico, su comprobación experimental y su comprobación final en condiciones industriales.

4. Sistemas de diagnóstico técnico

En un sistema de diagnóstico experimental (SDE) las acciones se pueden ejercer sobre el objeto tanto por los canales fundamentales de entrada, que son propios, vienen con el objeto; como por canales adicionales creados al efecto, o sea hechos para ejecutar el análisis, muy frecuente en el SDE.

Por otro lado en un sistema de diagnóstico funcional (SDF) las acciones se ejercen por los canales fundamentales del objeto y corresponden con las propias de su algoritmo de trabajo (no dependen del algoritmo de diagnóstico), y lo mismo se puede decir para las respuestas.

En la figura II.2 las líneas pueden representar más de un canal físico en cada caso.

A los canales para la obtención de las respuestas se les denomina **PUNTOS DE CONTROL**. Pueden ser propios del objeto o creados con este objetivo.

El objetivo del análisis de los resultados de las pruebas elementales es la obtención del **RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO**, o sea la determinación de *en que estado técnico* se encuentra el objeto. Este resultado se expresa por el conjunto de valores de las señales en los puntos de control, y se representa en la forma más cómoda para su utilización práctica. Además, se necesita analizar estos resultados, lo cual en la forma más simple se reduce frecuentemente a la comparación de los mismos con *valores de referencia*. Esta tarea puede ser suficientemente engorrosa si no se cuenta con medios automatizados para ello y en los casos de un insuficiente nivel de automatización recae enteramente sobre el hombre.

Al conjunto de aparatos de los medios de diagnóstico que adquiere, manipula, analiza y/o conserva información sobre el comportamiento del objeto se le denomina modelo físico del objeto. Un ejemplo de ello lo es el conjunto de los valores de referencia de las señales respuesta en estado satisfactorio, el cual es el modelo físico del objeto en buen estado. Para un estado diferente se tendrán por supuesto otros modelos físicos.



Figura.II.2

5. Objeto del diagnóstico

Para la elaboración del modelo matemático del objeto durante la elaboración del sistema de diagnóstico es esencial conocer sus propiedades físicas y las características del objeto. Un lugar importante lo ocupa el estudio de los posibles fallos y los parámetros que caracterizan los estados satisfactorios y no satisfactorios del mismo, lo cual en sí implica la *propia definición de esos estados*.

Para esto es útil su clasificación según principio de acción, uso, complejidad, características energéticas, etc. Es necesario además clasificar los fallos por su tipo (de producción, de explotación, progresivos, catastróficos, etc.) determinar su probabilidad y frecuencia, analizar las causas de surgimiento y el mecanismo de su crecimiento, seleccionar los síntomas o parámetros de diagnóstico adecuados, elaborar los métodos de determinación de los síntomas, sistemas de medición, parámetros a medir, exactitud necesaria, etc.

El trabajo durante la investigación de los parámetros del objeto incluye en sí mismo la elaboración de los métodos de establecimiento de los límites así como la determinación de las relaciones de control entre parámetros aislados durante el diagnóstico, determinación de las leyes de variación en el tiempo, etc. Gran importancia tiene la organización previa de la forma de manipulación de los datos estadísticos, principalmente según la probabilidad de surgimiento de fallos y los gastos en su eliminación.

Algunos de los aspectos tratados anteriormente han sido y son estudiados en la literatura especializada, tales como cuestiones relacionadas con la medición de ciertos parámetros, fiabilidad de las máquinas, etc. Además se encuentra abundante material relacionado con determinadas clases de objetos, tales como motores eléctricos, de combustión interna, rodamientos, turbinas, y maquinaria de diversos usos. El presente trabajo está orientado hacia las propiedades más generales de los objetos de diagnóstico y sus defectos. Son necesarias en este momento algunas definiciones generales.

OBJETO DE DIAGNÓSTICO puede ser cualquier *equipo, aparato o sistema*, con relación al cual tiene sentido plantear y resolver la cuestión de la comprobación de su estado satisfactorio, su capacidad de trabajo, su funcionamiento o la búsqueda de fallos.

El objeto se encuentra en **ESTADO SATISFACTORIO** si satisface todas las exigencias tecnológicas que se le establecen en un periodo de tiempo dado de su vida útil. En caso contrario, el objeto se encuentra en un **ESTADO NO SATISFACTORIO**. Ambos tipos de estados se unen en el término **ESTADO TÉCNICO**.

A la consecuencia de cualquier fenómeno o acción que cambia al objeto hacia algún estado no satisfactorio

se le denomina **DEFECTO O FALLO FÍSICO** del objeto.

El objeto puede estar constituido por partes diferenciadas por un criterio constructivo o funcional, denominadas **COMPONENTES**. El conjunto de componentes del objeto, los vínculos entre ellos (vínculos internos) y los vínculos con el medio exterior (vínculos externos) se denomina **ESTRUCTURA DEL OBJETO**. Los conceptos de estado satisfactorio o no satisfactorio, y fallo físico, se aplican tanto a los componentes como a los vínculos internos o externos del objeto.

El objeto posee entradas y salidas que pueden ser fundamentales o no, la información circula por las mismas en la forma de *señales*, que se caracterizan por los parámetros de aquellas magnitudes físicas con la ayuda de las cuales se transmiten.

Estos son los **PARÁMETROS DE ENTRADA Y SALIDA** del objeto. Frecuentemente aparecen también **PARÁMETROS INTERNOS**, que son característicos de los vínculos entre componentes del objeto. Generalmente los parámetros de entrada y salida son medibles, no así los de carácter interno.

El grupo o sucesión de posibles valores de los parámetros de entrada conforma el conjunto de posibles **ACCIONES** sobre el objeto. Análogamente, el conjunto de **RESPUESTAS** del objeto se determina por el grupo o sucesión de valores de sus parámetros de salida. En muchos casos concretos se tiene que los conjuntos de acciones o respuestas del objeto se conforman solo por parte de los posibles parámetros de entrada o salida, lo que simplifica el sistema de diagnóstico.

La **prueba elemental** representa un experimento físico sobre el objeto y se define por el valor de las acciones suministradas al objeto y las respuestas del objeto a estas acciones.

El valor de las respuestas constituye el **RESULTADO DE LA PRUEBA ELEMENTAL**. Esta claro que un objeto, que puede estar en diferentes estados técnicos entregará diferentes resultados a la misma prueba elemental en dependencia del estado técnico en cuestión. El concepto de prueba elemental es aplicable también a los componentes del objeto, siempre que se pueda acceder a las entradas y salidas del componente, lo cual requiere frecuentemente de entradas y salidas adicionales.

En cada momento del tiempo, dada una relación de salidas (o **puntos de control**) del objeto, las pruebas elementales se pueden diferenciar solo por el valor de las acciones (p.e. se miden diferentes magnitudes físicas en distintas condiciones de trabajo del objeto). Y por el contrario se pueden diferenciar solo por la relación de puntos de control si esta fijo el conjunto de acciones sobre el objeto (p.e. se mide una única magnitud física en un mismo régimen en diferentes puntos de control).

En el primer caso la tarea de la construcción del algoritmo de diagnóstico se reduce a la selección de la sucesión (o grupos) de valores de las acciones, y en el segundo se reduce a la selección de la relación de puntos de control del objeto. La primera es característica de la elaboración de un sistema de diagnóstico experimental y la segunda de un sistema de diagnóstico funcional. En general se tiene la posibilidad de seleccionar tanto los valores de las acciones como los puntos de control.

6. Modelos matemáticos de los objetos de diagnóstico

Los métodos formales de construcción del algoritmo de diagnóstico suponen la existencia de una descripción formal del objeto y su comportamiento en estado satisfactorio o no satisfactorio. A esta descripción formal (en forma de tabla, analítica, vectorial, gráfica, etc.) se le denomina *modelo matemático del objeto de diagnóstico*.

El modelo matemático se expresa en forma *explícita* si se tiene un grupo de descripciones formales del objeto en estado satisfactorio y de todas sus modificaciones como no satisfactorio. La forma *implícita* contiene cualquier descripción formal del objeto, el modelo matemático de sus defectos y las reglas para la obtención con estos datos de todas las posibles descripciones que nos interesen. Frecuentemente la descripción formal corresponde a la del estado satisfactorio. La exigencia general para los modelos del objeto es que describan tanto al objeto como a sus defectos con la exactitud requerida.

Los objetos cuyas coordenadas pueden tomar valores de un conjunto continuo de valores posibles, pertenecen a la clase de **OBJETOS CONTINUOS**. Como ejemplo se tiene a la gran mayoría de los objetos de naturaleza mecánica y algunos de naturaleza electrónica analógica (p.e. resistencias). Aquellos objetos cuyas coordenadas toman valores de conjuntos finitos de posibles valores, y en los que el tiempo tiene un carácter discreto, pertenecen a la clase de **OBJETOS DISCRETOS**, ejemplo de estos son algunos componentes electrónicos (p.e. diodos o interruptores). Pueden existir **OBJETOS HÍBRIDOS** que combinan simultáneamente ambas características.

Los objetos se denominan **COMBINADOS O SIN MEMORIA** si los valores de sus coordenadas de salida se definen unívocamente solo por los valores de las coordenadas de entrada (p.e. la resistencia ya citada); y se denominan **CONSECUTIVOS O CON MEMORIA** si además existe una dependencia respecto al tiempo (p.e. sistemas analógicos de regulación).

Frecuentemente a las coordenadas de entrada e internas del objetos se les denomina **VARIABLES DE ENTRADA E INTERNAS** respectivamente, y a las coordenadas de salida, **FUNCIONES DE SALIDA**; se

recuerda que tanto las variables de entrada como las funciones de salida pueden estar en las salidas o entradas fundamentales del objeto así como en las auxiliares o suplementarias.

Sea \mathbf{X} el vector n-simo, cuyos componentes son los valores de las n variables de entrada x_1, x_2, \dots, x_n . Análogamente \mathbf{Y} es el vector m-simo de los valores de las m variables internas y_1, y_2, \dots, y_m . \mathbf{Z} es el vector k-simo de los valores de las k funciones de salida z_1, z_2, \dots, z_k . Entonces:

$$\mathbf{Z} = \Psi(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_{ini}, t) \quad (1)$$

que se puede analizar como una forma de representación del sistema de funciones de transferencia del objeto satisfactorio, sea esta de forma analítica, gráfica, vectorial, etc. y que representa las dependencias de las funciones \mathbf{Z} realizadas por el objeto de sus variables de entrada \mathbf{X} , valores iniciales de sus variables internas \mathbf{Y}_{ini} y del tiempo t .

El sistema 1.1 es el modelo matemático del objeto en el estado satisfactorio.

El examen del conjunto finito de los posibles fallos del objeto permite clasificar a los fallos en **SIMPLES** o **COMBINADOS**. Como simples se tienen a los fallos cuya representación no puede ser realizada por otros fallos mas "sencillos", y los combinados son grupos de dos o mas fallos simples simultáneos. Se define el conjunto \mathbf{S} de todos los fallos examinados (no siempre todos los posibles) tanto simples como combinados, y el conjunto \mathbf{O} de todos los fallos simples. Evidentemente, $\mathbf{O} \subseteq \mathbf{S}$.

En presencia de un fallo $s_i \in \mathbf{S}$, $i = 1, 2, \dots, [\mathbf{S}]$, (o $o_i \in \mathbf{O}$, $i = 1, 2, \dots, [\mathbf{O}]$), el objeto se encontrará en el estado no satisfactorio i-ésimo. En este estado el sistema de funciones de transferencia seria entonces:

$$\mathbf{Z}^i = \Psi^i(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_{ini}^i, t) \quad (2)$$

en este caso, \mathbf{Y}_{ini}^i no tiene porque coincidir con \mathbf{Y}_{ini} . Este será el modelo matemático del objeto en el estado no satisfactorio i , en el que las funciones \mathbf{Z}^i están influenciadas por la presencia del defecto s_i o o_i . Se puede generalizar el modelo matemático de la forma

$$\mathbf{Z}^* = \Psi^*(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_{ini}^*, t) \quad (3)$$

El sistema 1.1 y el grupo de sistemas 1.2 para todos los $s_i \in \mathbf{S}$, conforman el modelo explicito del OD. Este modelo se puede expresar como $(\Psi, \{\Psi^i\})$. El modelo implícito sería:

$$\left(\Psi, \mathbf{S}, \Psi \xrightarrow{s_i} \Psi^i \right) \quad (4)$$

Si se conoce el modelo de los fallos para todo $s_i \in S$, entonces con la transformación

$$\Psi \xrightarrow{s_i} \Psi^i \quad (5)$$

se pueden obtener todas las dependencias 1.2 y con el modelo $(\Psi, S, \Psi \xrightarrow{s_i} \Psi^i)$ obtener el modelo explícito $(\Psi, \{\Psi^i\})$.

Si el modelo de alguno o de todos los fallos no se conoce, entonces 1.2 se puede obtener como resultado de experimentos físicos sobre el objeto cuando en este existe un fallo, esto es, obtener las funciones directamente en el objeto, mediante un experimento. También se obtiene el mismo resultado si en 1.1 se introducen las modificaciones necesarias para que se refleje realmente la existencia de fallos, lo cual será posible con más exactitud en la medida en que el modelo refleje más fielmente la naturaleza del objeto.

Un concepto fundamental empleado en la solución de la problemática de la construcción y realización del algoritmo de diagnóstico, es el de *prueba elemental del objeto*. Se puede dar el modelo del objeto en términos de pruebas elementales del objeto y sus resultados.

Sea Π el conjunto de todas las posibles pruebas elementales $\Pi_j, j = 1, 2, \dots, |\Pi|$ del objeto, o sea aquellas pruebas que físicamente y en condiciones concretas se le realizan al objeto. Cada prueba se caracteriza por el valor de una acción sobre el objeto y una respuesta a esta acción. El valor t_j de la acción en la prueba elemental $\pi_j \in \Pi$ se determina por la composición de los parámetros de entrada y la sucesión en el tiempo t de sus valores x_j y además por los valores de las variables internas. La respuesta del OD a π_j se caracteriza por una composición $\{\gamma\}_j$ de los puntos de control y el valor (resultado de π_j) R_j^i que depende del estado técnico (satisfactorio, no satisfactorio, con el defecto i , etc.)

De esta forma el resultado R_j^i de la prueba elemental se representa de forma general por una sucesión $\{\{\gamma_j\}\}$ -simos vectores y es función del valor α_j de la acción:

$$R_j^i = \Psi^i(\alpha_j, \{\gamma\}_j) \quad (6)$$

mas brevemente,

$$R_j = \Psi(\pi_j) \text{ satisfactorio} \quad (7)$$

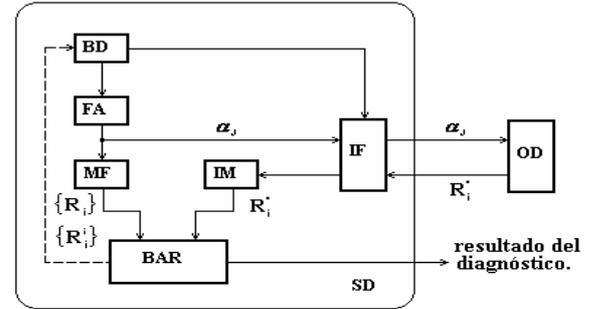
$$R_j^i = \Psi^i(\pi_j) \text{ con el defecto } i \quad (8)$$

en general;

$$R_j^* = \Psi^*(\pi_j) \quad (9)$$

7. Esquemas funcionales de los sistemas de diagnóstico experimental y funcional.

Sistema de diagnóstico experimental.



El algoritmo de diagnóstico contiene un conjunto de pruebas elementales $T \subseteq \Pi$. Por orden del **Bloque de Dirección (BD)** que conserva el algoritmo, la **Fuente de Acciones (FA)** libera una acción α_j de las pruebas elementales $t_j \in T$ en correspondencia con el algoritmo, la cual se ejerce a través de la **interfase (IF)** sobre el OD y además, si es necesario sobre el **modelo físico (MF)**. En general la IF puede conmutar canales de enlace si lo orienta BD.

Si se hace la prueba para saber si el objeto es satisfactorio, entonces la realización del modelo físico conduce a la función

$$R_j = \Psi(t_j) \quad \text{para todas las } t \in T$$

en este caso en la salida del MF esta el conjunto de señales $\{R_j\}$.

Para la búsqueda de defectos en el objeto son posibles distintas variantes de organización. Si no se conoce si el objeto esta defectuoso o no, junto con lo anterior a la salida del modelo se representa también

$$R_j^i = \Psi^i(t_j) \quad \text{para todos } s_j \in S, t_j \in T$$

o sea el conjunto de señales de salida del MF se forma por $\{R_j^i\}$ y $\{R_j\}$.

Frecuentemente se realizan dos etapas: se hacen primero las pruebas para el estado satisfactorio y solo en caso de encontrar un estado "defectuoso" se buscan entonces los fallos, mediante el algoritmo establecido para ello en el sistema de diagnóstico.

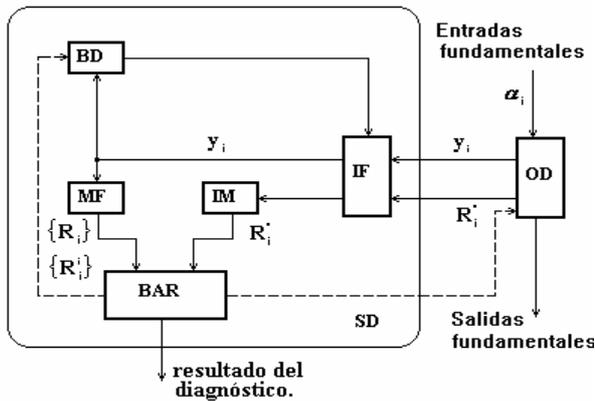
De esta forma el MF da información sobre los posibles estados técnicos del OD, $\{R_j^i\}$ o $\{R_j\}$ según las pruebas T . Esta información se introduce en el **Bloque de Análisis de Resultados (BAR)**. La respuesta del OD a la acción α_j es un resultado real R_j^*

a la prueba α_j . Este resultado a través de la IF cae en BAR, aquí se compara R_j^* con R_j^i o R_j y se obtiene el resultado del diagnóstico. A veces, según la línea discontinua, el resultado influye en el propio desarrollo del algoritmo de diagnóstico.

Hay casos en que algunos de los bloques representados son asumidos por el operador, o sea se trabaja manualmente, y hay otros en que una computadora asume todas las funciones, o sea, se ha automatizado el proceso. Generalmente existe una combinación de estas dos formas de trabajo.

8. Sistema de diagnóstico funcional

En el diagnóstico funcional esta ausente la fuente de acciones, pues el objeto se encuentra desarrollando su algoritmo de trabajo o lo imita (bancos de prueba, etc).



Del objeto se toman primeramente las señales de dirección y_i de los medios de diagnóstico y además señales R_j^* respuestas del objeto a las acciones α_j que el propio algoritmo de trabajo ejerce sobre el objeto. Las señales y_i son necesarias cuando se controla el modelo físico y el bloque de dirección según el régimen de trabajo del objeto. El bloque de dirección, según y_i , y es posible que según lo que llegue del bloque de análisis de resultados, puede conectar canales en la interfase y enviar comandos para la dirección del objeto, lo cual es una situación frecuente en los bancos de pruebas.

Como en el diagnóstico experimental, el bloque de análisis de resultados asume la comparación de los resultados R_j^* de las pruebas elementales con los posibles resultados $\{R_j^i\}$ o $\{R_j\}$, según las mismas reglas que en el caso anterior.

Como ya se señaló, hay acciones de las citadas que a veces son ejecutadas por el hombre y otras por una computadora, y lo más frecuente es una combinación de ambos.

Ejemplo de sistemas de diagnóstico funcional son los sistemas de control centralizados, en los cuales se juzga el estado técnico del objeto por los resultados de la comparación de sus parámetros con valores límites superiores o inferiores. En este caso el modelo físico es la aparatara que conserva y entrega los valores límites de control de los parámetros.

Se señala que no siempre es necesario ni posible ejecutar el diagnóstico hasta una profundidad tal que requiera investigar la presencia de cada defecto $s_i \in S$ (p.e. basta con saber que un componente tiene un defecto, no importa cual sea). A veces se llega a conclusiones antes de realizar todas las pruebas T y se interrumpe entonces el algoritmo de diagnóstico.

9. Referencias

1. Carl Schenck Ag, Applied Predictive Maintenance, Alemania, 1989.
2. Lourival T. A.; Administración Moderna Del Mantenimiento. Datastream, E-Book. 2000
3. Möek E.; Strickert H.; Diagnóstico Técnico De Máquinas Y Mecanismos Navales, Sudoestronie, Leningrado, Urss, 1986.
4. Mozgalevskii A.; Kaliabin B.; Sistemas De Diagnóstico De La Maquinaria Naval, Sudoestronie, Leningrado, Urss, 1982.
5. Nikitin E. Et. Al.; Diagnostico De Los Motores Diesel, Machinoestronie, Moscú, Urss, 1987.
6. Parjomienko P.; Fundamentos Del Diagnóstico Técnico, T I, Energuia, Moscú, Urss, 1976.
7. Rodríguez Matienzo J.; Sistemas De Diagnóstico Técnico Para Motores Diesel De Gran Potencia, Tesis Doct, Cujae, 1997.

The technology of the technical diagnosis (1st part).

Abstract.

A general view on the fundamentals of technical diagnosis is done. Also, important terms and definitions are given. The two possible ways: experimental and functional are described and discussed, and the physical and mathematical models are shown. The diagnostic algorithm and its components is discussed and the concept of elementary test is introduced.

Key words: Technical diagnoses, diagnose algorithm, control points.