

UN MODERNO DIAGNÓSTICO DE VÁLVULAS Y METODO DE EVALUACIÓN

P. KRADEPOHL

Con el diagnóstico de válvulas y método de evaluación aquí presentado se dispone de herramientas para optimizar aún más el servicio de una central. Con ADAM® se cuenta con una concepción completa de servicios para el mantenimiento de válvulas orientado al estado. Incluye tanto sistemas eficientes de prueba y diagnóstico para su empleo en línea y fuera de línea, como también los correspondientes procedimientos y prestaciones de ingeniería para la evaluación del estado. Los conocimientos detallados recopilados sobre el comportamiento funcional de válvulas y actuadores conducen a una seguridad y disponibilidad claramente mayores y al mismo tiempo con una reducción de gastos en mantenimiento.

With the valve monitoring and evaluation method presented here tools are available to optimise the operation of power plants furthermore. With ADAM® a self-contained service conception for condition oriented maintenance of valves and actuators is at the operator's disposal. It includes efficient test and diagnosis systems for online and offline use as well as the affiliated engineering procedures and the contribution to the condition evaluating process. Gathered knowledge about the functional behaviour of valves and actuators in detail leads to remarkably increased safety and availability combined with a lucrative reduction of maintenance efforts.

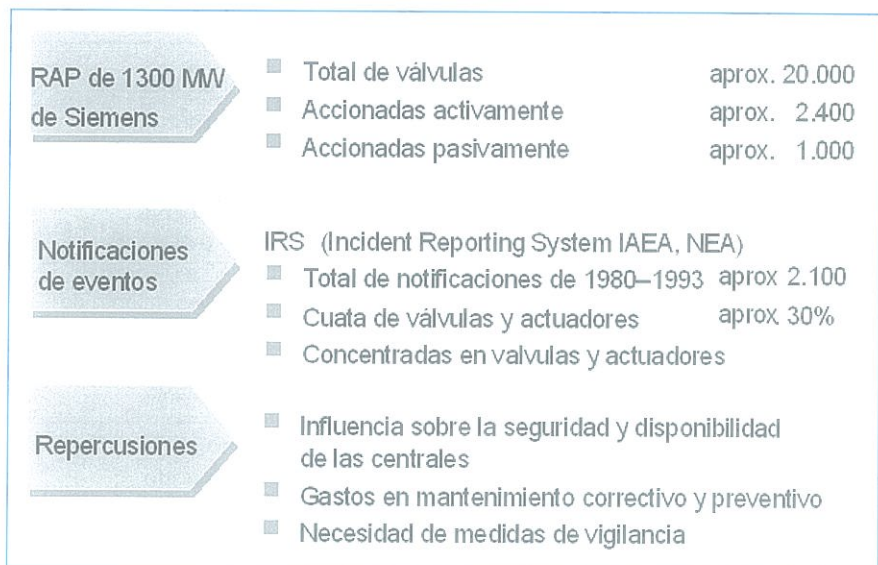


Figura 1. Válvulas en centrales nucleares: notificaciones de eventos y repercusiones.

VÁLVULAS Y MÁS VÁLVULAS

La importancia de las válvulas, por ejemplo, en las centrales nucleares queda plasmada en la figura 1. De las 20.000 válvulas empleadas en una sola central nuclear, alrededor de 2.400 se accionan activamente con actuadores eléctricos o por vía electromagnética. Entre las aproximadamente 1.000 accionadas pasivamente están las de seguridad y las de retención.

En los eventos de notificación obligatoria las válvulas y actuadores tienen una incidencia de aprox. el 30%: un indicio más de su importancia para el servicio seguro y económico de las centrales nucleares. Muy tempranamente se pensó, por tanto, en sistemas

efectivos de vigilancia del funcionamiento de tales componentes, lo que llevó a Framatome ANP a un procedimiento, luego patentado, de comprobación de la disposición de funcionamiento de las válvulas.

Por su importancia intrínseca, para las válvulas con actuadores eléctricos hay dos objetivos interrelacionados a lograr en el servicio de centrales nucleares. El primero se denomina disposición de funcionamiento, es decir: las válvulas y sus actuadores deben presentar siempre, incluso bajo las influencias del servicio, un comportamiento conforme al diseño del componente completo y, además, con suficiente margen de seguridad. Mientras no haya en el servicio diver-

gencias inadmisibles respecto al estado requerido, dicho comportamiento permanece, por ejemplo, predecible incluso en condiciones de accidente. El segundo objetivo comprende un mantenimiento correctivo y preventivo óptimo, para lograr la mayor seguridad funcional posible, con un gasto asumible.

FUNCIÓN: DEFINICIÓN Y COMPROBACIÓN

La figura 2 muestra una válvula con actuador, como componente accionado activamente, en un sistema completo que a su vez debe cumplir su función. Están aquí indicadas las

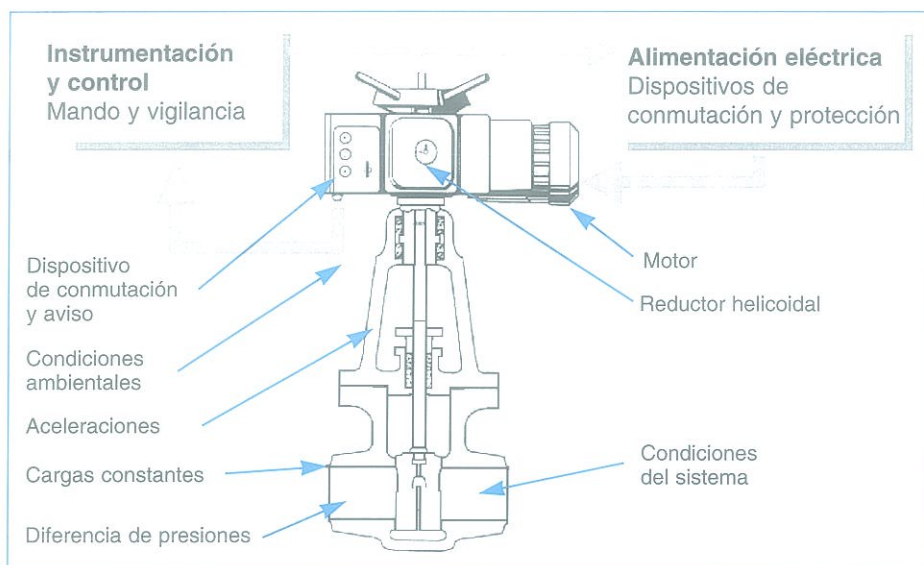


Figura 2. Válvula con actuador: componente de un sistema completo.

Figura 3. Concepción integral de una válvula. Procedimiento comprobante de la función de válvulas accionadas activamente.

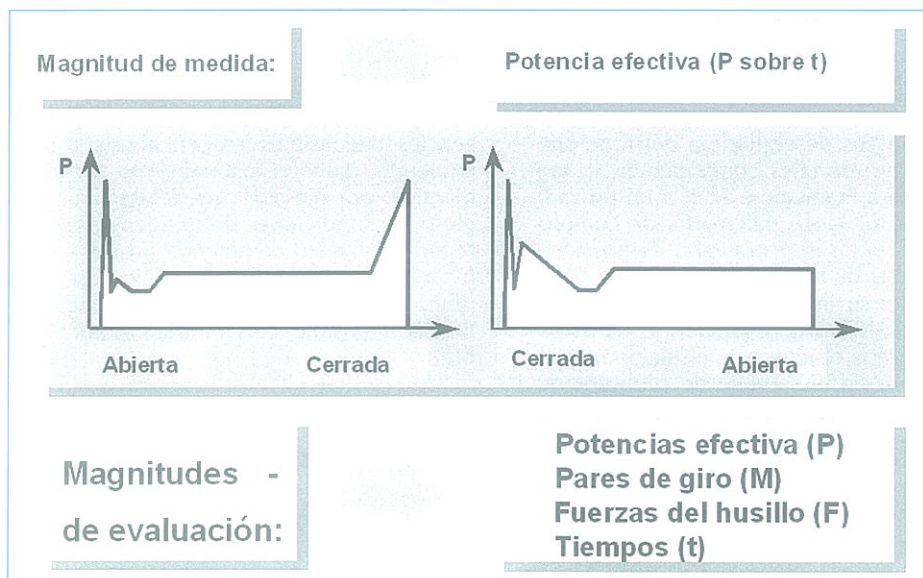
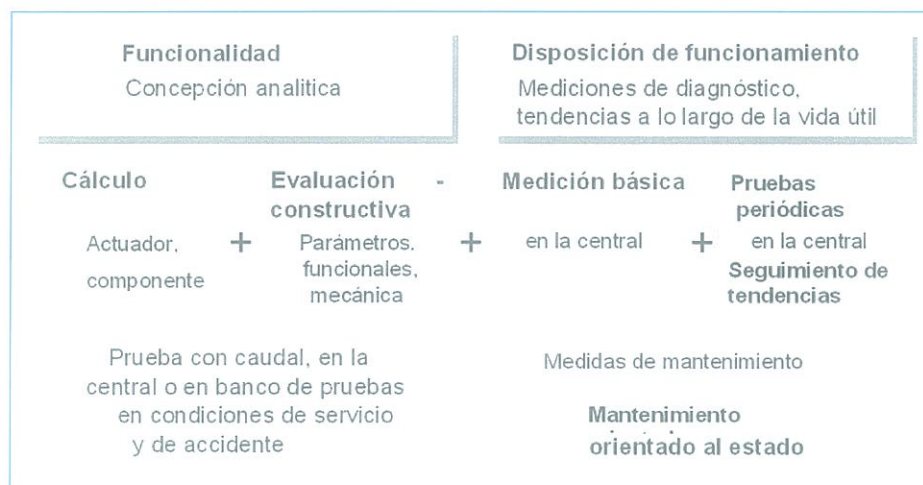


Figura 4. Vigilancia del funcionamiento mediante medición de la potencia efectiva.

condiciones de contorno del sistema en su calidad de cometido funcional; deben ser la base de la comprobación de la funcionalidad. Se entiende que se han de incluir aquí las condiciones de servicio normales, al igual que las condiciones de contorno reinantes en un accidente.

El actuador, destinado a accionar la válvula correspondiente en esas condiciones de contorno, está por su parte integrado en el sistema y depende de la alimentación eléctrica, con sus funciones de conmutación y dispositivos de protección, así como de la instrumentación y control, con su función de control y vigilancia. En la comprobación de la función de una válvula siempre hay que considerar por tanto el sistema completo.

La figura 3 ofrece una visión del procedimiento concebido para comprobar la función de las válvulas accionadas activamente. Aquí se diferencian las comprobaciones en dos partes independientes: en cuanto a la funcionalidad se procede analíticamente y, para las características estructurales de la válvula, se demuestra una sola vez que cumplen el cometido del sistema en condiciones de servicio y de accidente. Para ello se han definido modelos funcionales y comprobado experimentalmente en las centrales o en bancos de pruebas específicos; sirven al cálculo de fuerzas y momentos requeridos en el diseño de actuadores. Así la definición de modelos de carga por cálculos de resistencia permite demostrar que los respectivos componentes de la válvula soportan las cargas aparecidas al accionarla. De la evaluación constructiva de una válvula comparada con otra probadamente eficaz se deduce hasta qué punto son válidos para la construcción a calificar los modelos mecánicos en que está basada. Así también es previsible su comportamiento funcional en condiciones de accidente.

Por otra parte, se comprueba mediante pruebas periódicas en el servicio la disposición de funcionamiento de cada válvula instalada. Aquí, mediante la llamada medición básica, que se efectúa normalmente durante la fase de puesta en servicio, queda demostrado para todas las válvulas que su comportamiento funcional concuerda con los modelos constructivos. Mediciones de diagnóstico efectuadas durante el servicio ponen entonces de manifiesto eventuales variaciones a lo largo de la vida útil. El seguimiento de tendencias de características funcionales significativas posibilita el mantenimiento orientado al estado. Medidas de mantenimiento derivadas específicamente del

comportamiento funcional hacen que el sistema completo de accionamiento de la válvula actúe siempre dentro de los márgenes de trabajo admisibles conforme al diseño.

VIGILANCIA DEL FUNCIONAMIENTO MEDIANTE MEDICIÓN DE LA POTENCIA EFECTIVA

En los últimos años, la medición de la potencia efectiva desde la instalación de maniobra ha demostrado ser el método más apropiado para la vigilancia del funcionamiento de válvulas con actuador eléctrico, ya que permite la vigilancia centralizada de todas las válvulas y actuadores en base a una señal de medición que refleja las características de la cadena completa – mando, aparatos de conmutación, actuador y válvula – influyentes sobre el funcionamiento.

Sirve de magnitud de medida la potencia efectiva registrada del motor de accionamiento durante el funcionamiento de la válvula en dirección de apertura y de cierre (figura 4). Se valoran en puntos significantes del decurso de la señal, además de la potencia efectiva P , el par de actuación M que de ella se deriva, las fuerzas del husillo F finalmente alcanzadas y, por desempeñar un papel tan relevante en el funcionamiento de válvulas, también los coeficientes de rozamiento en la rosca del mecanismo del husillo de las válvulas correspondientes. Este diagnóstico de válvulas y método de evaluación, desarrollado por Framatome ANP, lleva la denominación de marca ADAM®.

En la figura 5 se ve la relación entre la potencia efectiva registrada P del motor de accionamiento y el par de accionamiento entregado M . Son proporcionales si el motor opera dentro de un campo de valores lineales de la relación velocidad/par y el rendimiento del accionamiento en la gama de pares correspondiente es lineal. Las mediciones efectuadas en muchas centrales demuestran que se dan los requisitos en el marco de la precisión de medida.

En la figura 6 se ve la relación entre el decurso registrado de la potencia efectiva y las fuerzas del husillo resultantes. Del análisis del apriete en la posición final se desprende que las fuerzas que se establecen en el husillo son proporcionales al aumento de la potencia efectiva registrada y a su grado alcanzado en la posición final. Aquí la precisión alcanzable depende del conocimiento exacto de la rigidez de la

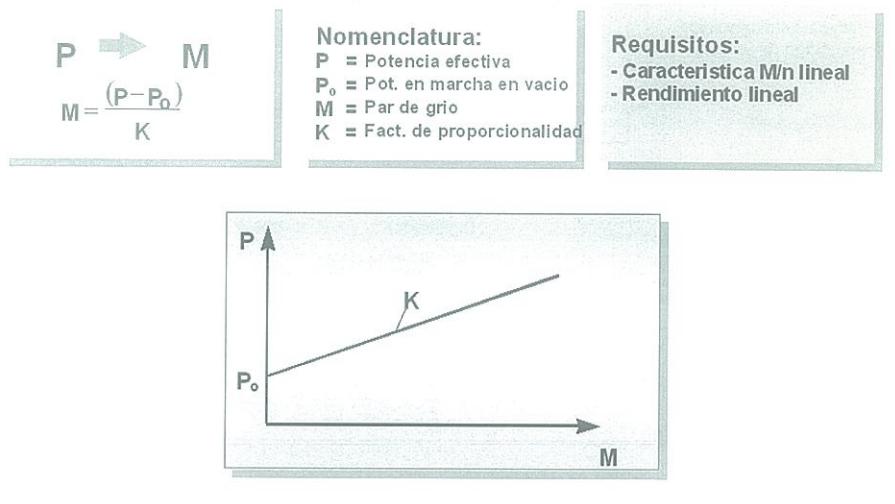


Figura 5. Determinación del par por medición de la potencia efectiva.

Figura 6. Determinación de la fuerza del husillo por medición de la potencia efectiva.

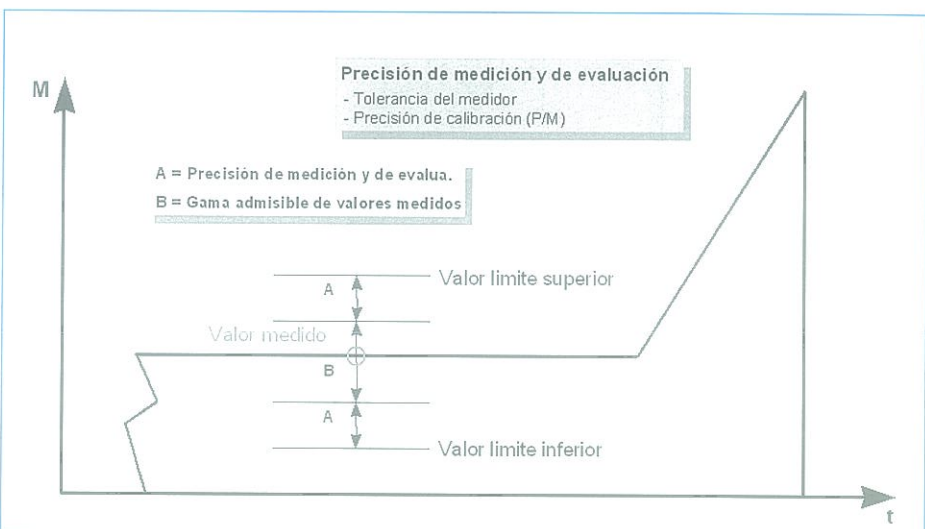
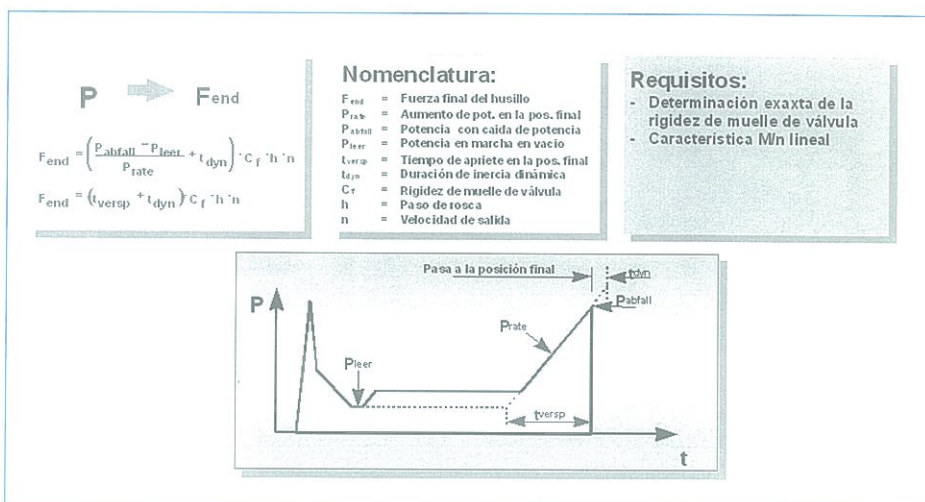


Figura 7. Deducción de los valores límite a partir de los de dimensionamiento del par de marcha mínimo requerido y el máximo admisible.

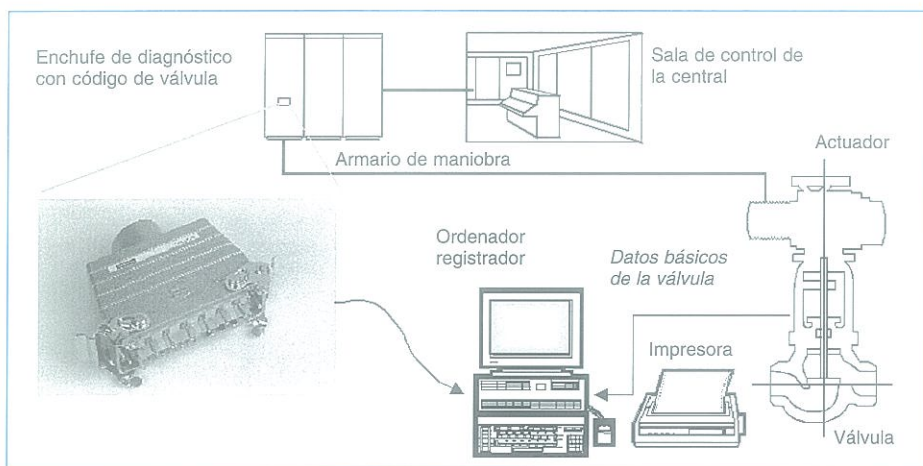


Figura 8.1. Sinopsis del sistema de aparatos.

Figura 8.2. Utilización de un módulo enchufable de diagnóstico.

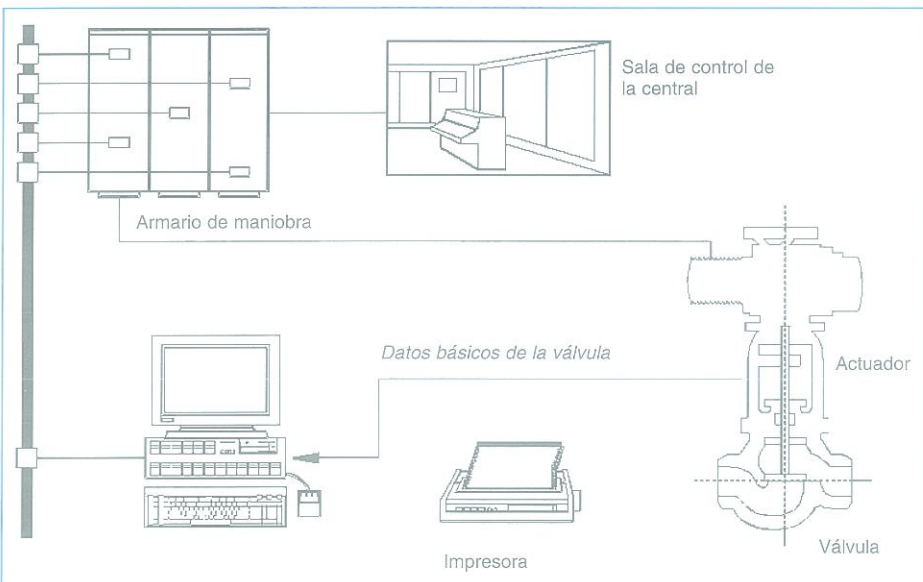
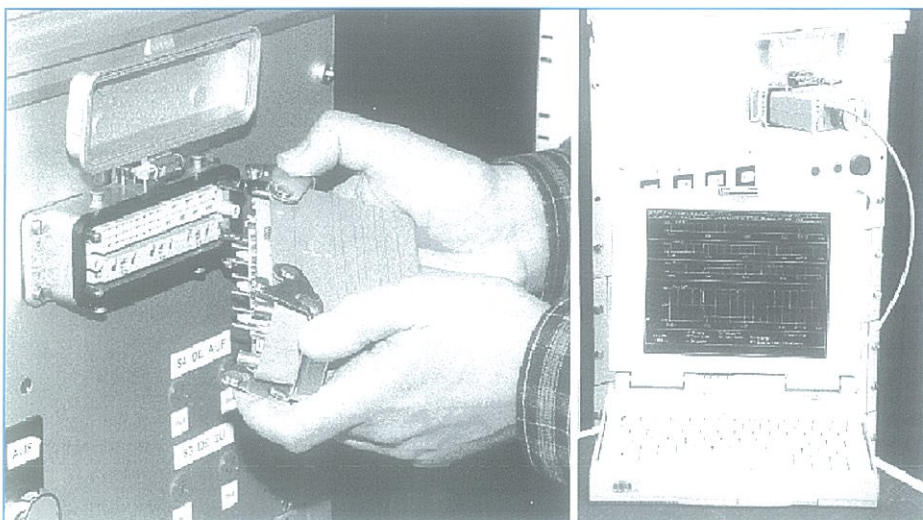


Figura 9. Variante en línea de la vigilancia del funcionamiento por medición de la potencia efectiva.

posición final de la válvula, que se determina analítica o experimentalmente.

Por el ejemplo de la potencia media de marcha durante el accionamiento de una válvula en dirección de apertura o cierre se ve en la figura 7 que los valores límite se derivan de los del dimensionamiento del par de marcha mínimo requerido y el máximo admisible. La precisión de vigilancia válida para el respectivo punto de evaluación está definida y se considera en la valoración.

DIAGNÓSTICO DE VÁLVULAS Y MÉTODO DE EVALUACIÓN EN TRES ETAPAS

La concepción de diagnóstico aquí presentada está configurada en tres etapas (figura 8), distinguiéndose entre mediciones para la vigilancia del funcionamiento, para el análisis de fallos y para el ajuste y calibración del actuador. La figura 8.1 ofrece una visión del sistema de aparatos de vigilancia; consta de dos transformadores de intensidad integrados en los módulos de las instalaciones de maniobra, así como de un módulo enchufable de diagnóstico sin efectos retroactivos. Este último dispone de su propia toma de corriente y sirve para captar la señal de corriente, medir la tensión y determinar y registrar la potencia efectiva. Dicho módulo de diagnóstico, integrado en una caja de enchufe (figura 8.2), fue introducido por Framatome ANP con la marca SIPLUG®. Con ello se posibilita el diagnóstico en el servicio de potencia sin necesidad de medidas de desconexión, discontinuamente, cuando se da la necesidad u ocasión.

La figura 9 muestra la modalidad en línea de este sistema de aparatos; permite la vigilancia continua del funcionamiento de válvulas, como quien dice "desde el escritorio del responsable de componentes", si los módulos de diagnóstico integrados en la instalación de maniobra están conectados con el ordenador de evaluación y los responsables pueden acceder a ellos desde su propio ordenador por la red informática local.

En la figura 10 está esquematizado el método de diagnóstico empleado in situ en válvulas, que sirve al análisis causal de discrepancias inexplicables respecto al estado requerido o de fallos en el comportamiento funcional. Con él pueden registrarse, además de la potencia efectiva, todos los parámetros de proceso necesarios para aclarar eventuales anomalías como, por ejemplo, fuerzas del husillo, pares de giro, presiones y demás.

Independientemente de la vigilancia de la válvulas, el funcionamiento de los actuadores y de su desconexión de par se controlan discontinuamente en un banco de pruebas de frenos (figura 11), solíéndose hacer esto en el taller eléctrico en combinación de trabajos pendientes de inspección y mantenimiento. Naturalmente, puede efectuarse también tal revisión, con bancos móviles de pruebas de pares, en el lugar de instalación de las válvulas. Además del ajuste de los pares de desconexión, se controlan, con gradientes de frenado próximos a los reales de las válvulas, los pares entregados. Al mismo tiempo se registra la curva de potencia/par, que sirve de curva de calibración en la evaluación de mediciones de potencia efectiva.

Con el sistema aquí esbozado de diagnóstico en tres etapas y el diagnóstico y método de evaluación desarrollado expresamente para todo tipo de válvulas dotadas de actuador eléctrico se ha creado una concepción sofisticada de la vigilancia, que les abre a los explotadores de centrales nucleares la vía al mantenimiento orientado al estado de las válvulas con actuadores eléctricos.

DOS EJEMPLOS PRÁCTICOS

Mediante dos ejemplos tomados de la práctica se muestra, por un lado, cómo se pueden reconocer con mediciones de vigilancia las divergencias inadmisibles, determinar su causa con mediciones analíticas y deducir medidas eficientes de mejora. Por otro lado, se muestra cómo del registro estadístico de parámetros funcionales significativos y del seguimiento de su tendencia pueden derivarse también medidas para el mantenimiento óptimo.

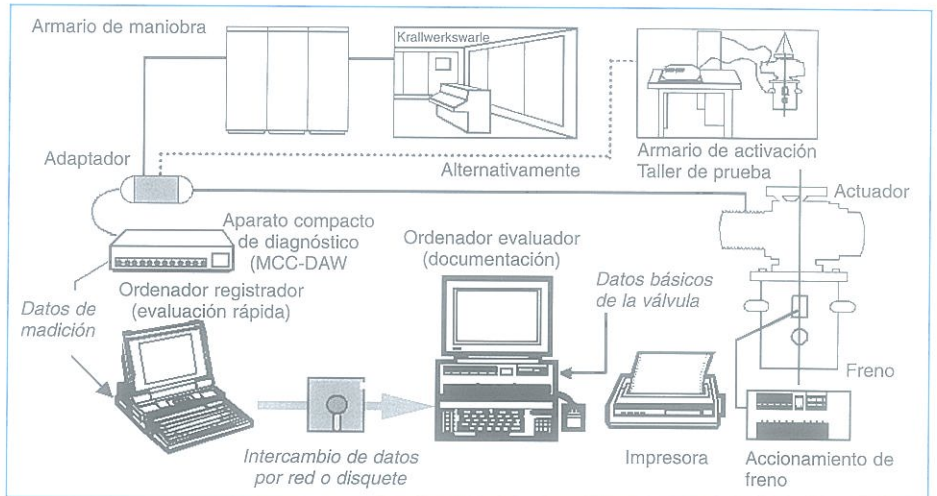
Reconocimiento de fallos, análisis de causas y solución

En la figura 12 se ve la señal de potencia efectiva de una válvula de retención bloqueable, que se acciona en ambas direcciones dependiendo del par. Tal válvula muestra en la dirección de cierre una absorción excesiva de potencia efectiva y, tal como permite suponer la evaluación, una fuerza del husillo asimismo excesiva. De este modo, el aumento de potencia efectiva no discurre linealmente y poco antes de la desconexión se vuelve notablemente más acentuado. También al salir de la posición de cierre se da un curso no lineal de la potencia efectiva. Como en esta válvula los valores límite prescritos por el diseño se rebasaron ampliamente



Figura 10. Análisis de fallos mediante medición de diagnóstico in situ.

Figura 11.1. Ajuste y calibración de actuadores in situ o en taller. Esquema sinóptico del sistema de aparatos



te y se dio igualmente un comportamiento funcional similar en válvulas del mismo tipo, se efectuaron in situ mediciones apropiadas para el análisis del fallo, incluyendo en ellas la fuerza del husillo.

De este modo, la medición de las fuerzas del husillo (figura 13) confirmó entonces las fuerzas deducidas de la medición de la potencia efectiva, claramente excesivas, así como el incremento desproporcionado de las mismas poco antes de la desconexión. Por razón de ello, se consideró como causa la posición

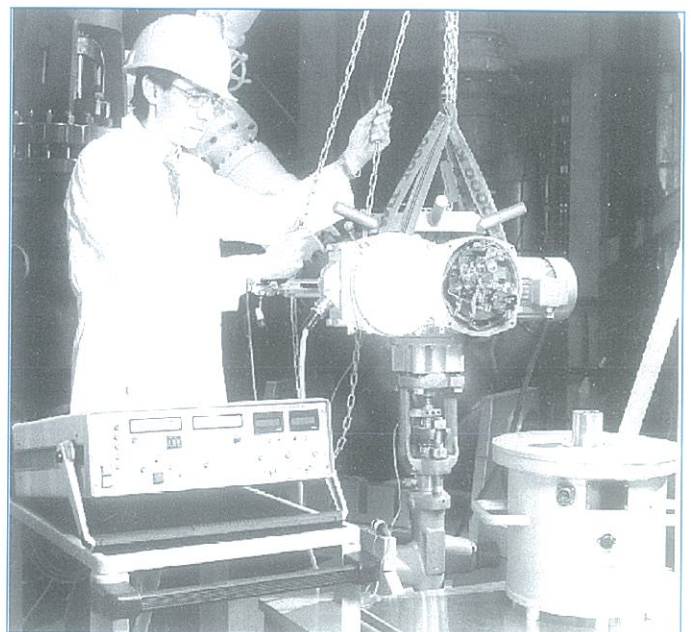


Figura 11.2. Ajuste y calibración de actuadores in situ o en taller. Utilización de un banco móvil de pruebas de pares.

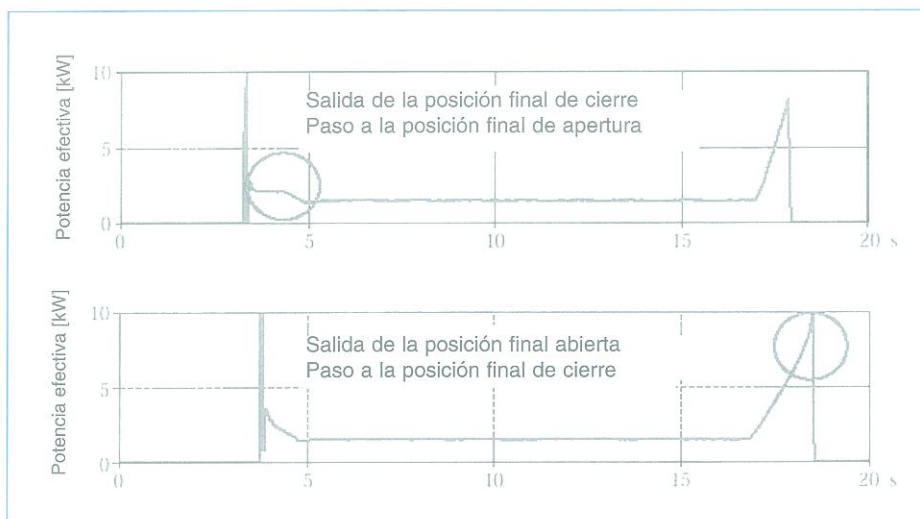


Figura 12. Señal de potencia efectiva de una válvula de retención bloqueable que se acciona en ambas direcciones en función del par.

Figura 13. La medición de la fuerza del husillo in situ confirma la de la potencia efectiva en fig. 12.

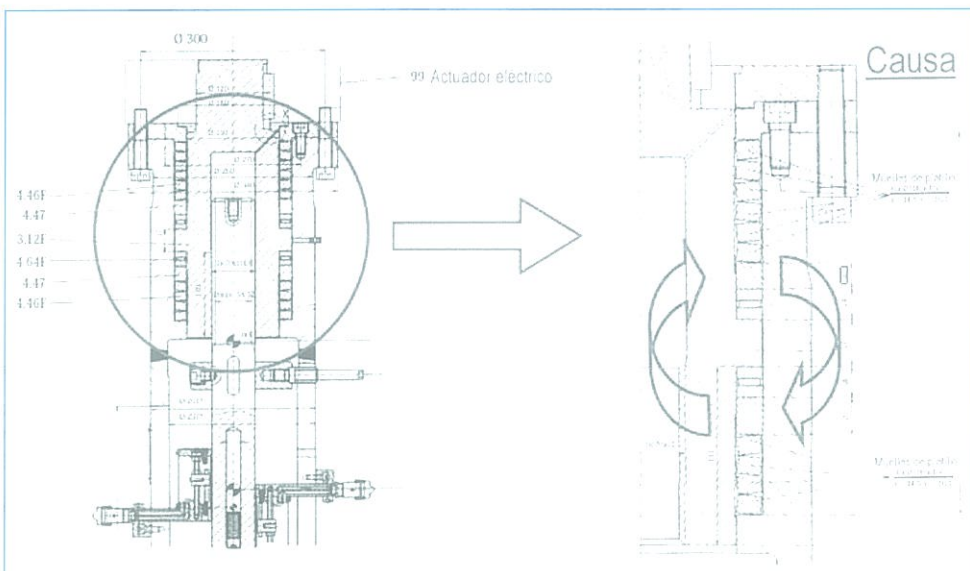
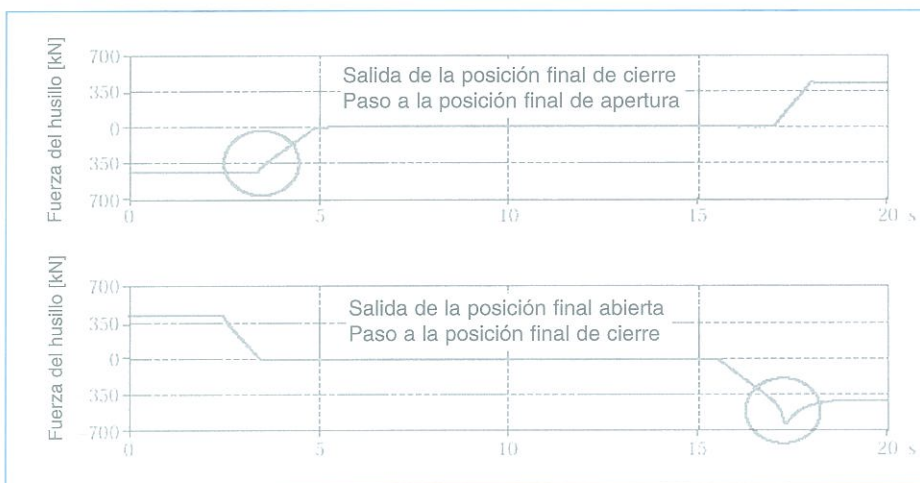


Figura 14. Parte superior del yugo de una válvula con el husillo y su tuerca (izquierda) y error de montaje causante de mal funcionamiento (derecha).

del bloque de muelles de platillo a consecuencia de las fuerzas del husillo excesivas debido a la mengua inesperadamente marcada del coeficiente de rozamiento en la rosca del husillo, que era tan bajo que no se dio el efecto autotrenante de la rosca trapezoidal, circunstancia que era reconocible después de la caída de la fuerza del husillo tras surtir efecto la anulación del par del actuador. Se trataba por tanto no sólo de mal funcionamiento, sino que por las grandes fuerzas del husillo había que partir al mismo tiempo del supuesto de una sollicitación excesiva de las partes de la válvula situadas en el flujo de fuerza.

En el lado izquierdo de la figura 14 se reconoce la parte superior del yugo de la válvula con el husillo y su tuerca, apoyada ésta a través de muelles de platillo. Los muelles de platillo incorporados sirven para aumentar la elasticidad de la válvula en el apriete en la posición de apertura o cierre. En el apriete correspondiente en la posición final cede la tuerca del husillo, según las fuerzas que se den en éste, hacia arriba o abajo, para lo que el eje extremo del actuador está dotado de una ranura para el desplazamiento de la chaveta de unión. Según el plano de diseño, los rodamientos de rodillos de la tuerca del husillo se apoyan sobre los muelles de platillo por intermedio de respectivos anillos de igual altura.

Como seguidamente se determinó en el desmontaje e inspección de las cajas de mecanismo de posicionamiento de la de válvula, el fabricante, contrariamente a su intención original de pretensar los paquetes de muelles de platillo, había rebajado tanto uno de los anillos que los muelles de platillo después del ensamble ya no presentaban pretensión alguna, para facilitar el montaje de la tapa de la caja de mecanismo de posicionamiento. En el primer lote de válvulas se encontraba el anillo rebajado todavía en la posición correcta debajo del collar de la tuerca del husillo, pero los anillos, de distinta configuración, llevaron en el montaje de válvulas de lotes posteriores a una confusión, de modo que los anillos, como se expone en el lado derecho de la figura 14, estaban montados de modo distinto, concretamente el anillo alto por debajo y el bajo por encima del collar de la tuerca del husillo.

Esto asimismo llevó finalmente a que la tuerca del husillo, montada entonces demasiado alta respecto al actuador, en su excursión de la posición final de cierre golpeará contra el eje extremo del actuador, con lo que aparecía el exceso de fuerza

detectado del husillo. Las grandes fuerzas del husillo en la posición de cierre aceleraron el efecto de adaptación observable en tales válvulas, de tal modo que al poco tiempo el coeficiente de rozamiento en la rosca del husillo había menguado mucho y se percibía una pérdida de autofrenado. En base a este detallado análisis causal se logró una solución específica y duradera.

Para constatar la eficacia de las medidas de mejora efectuadas, se repitió la medición de la fuerza del husillo (figura 15); el decurso de la señal y la magnitud alcanzada de la fuerza del husillo resultaron acordes al diseño. También los resultados de la medición de potencia efectiva efectuada tras esta mejora (figura 16) mostraron en cuanto al decurso de la señal y a la magnitud absoluta que la potencia efectiva absorbida por el motor del actuador era acorde al diseño.

Tendencia y estadística ayudan a evitar medidas de mantenimiento innecesarias

Los resultados de medición reproducidos en la figura 17 se refieren a las fuerzas del husillo alcanzadas en la posición final de cierre de 16 válvulas de un tipo usual en la prueba del sistema JMU. Todos los resultados quedan dentro de los valores límite admisibles; la media aritmética de los resultados individuales está aprox. un 15 % por debajo del valor requerido, la dispersión es <2 s. Meramente el resultado de la válvula JMU 01 AA 034 diverge claramente hacia arriba respecto a los de las demás válvulas. Si bien la fuerza del husillo todavía queda por debajo del valor límite máximo admisible, de la representación estadística pudiera derivarse para la válvula afectada una medida de mantenimiento necesaria.

En lugar de ello, el explotador de la central nuclear efectuó en esta válvula pasado cierto tiempo una medición repetida. Como muestra la figura 18, en la fuerza del husillo aumentada detectada se trataba obviamente de una divergencia única. Accionando repetidamente la válvula se estableció una fuerza del husillo que coincidía con la de válvulas comparables. De ese modo, una medida de mantenimiento - por lo general entonces una inspección sin hallazgos - pudo evitarse.

RESUMEN

La reducción de costes es probablemente el acicate más frecuente a la innovación. En vista de la liberalización del mercado eléctrico, este aspecto

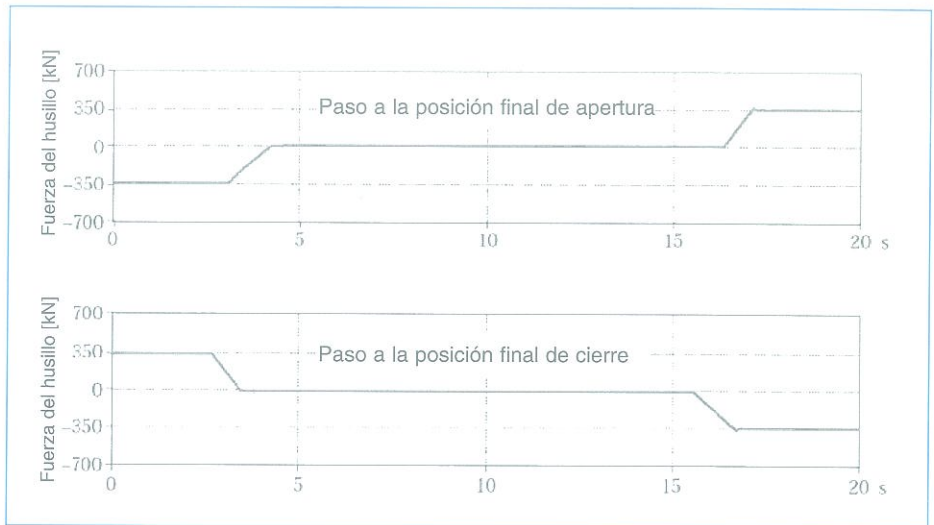


Figura 15. Una nueva medición de la fuerza del husillo confirma la medida de mejora para subsanar el mal funcionamiento según la figura 14.

Figura 16. Una nueva medición de la potencia efectiva confirma la medida de mejora para subsanar el mal funcionamiento según la figura 14.

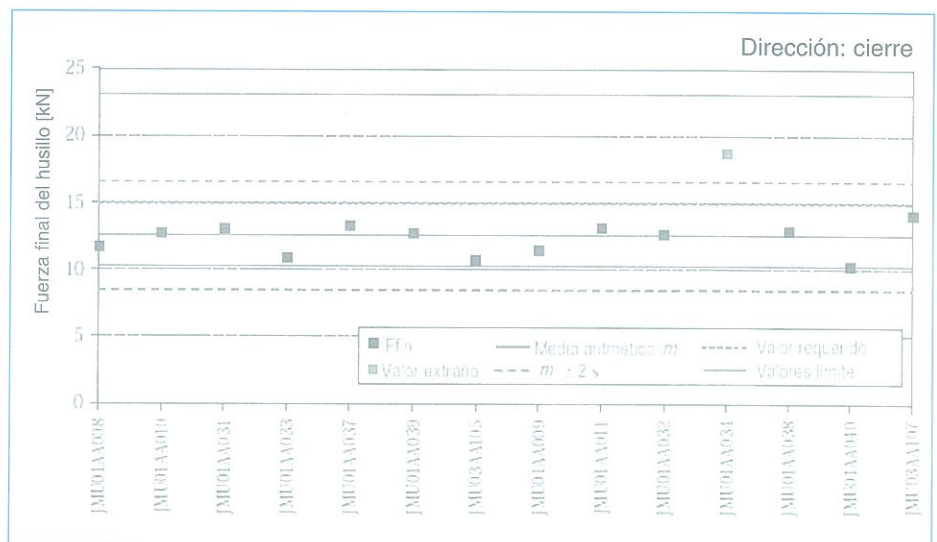
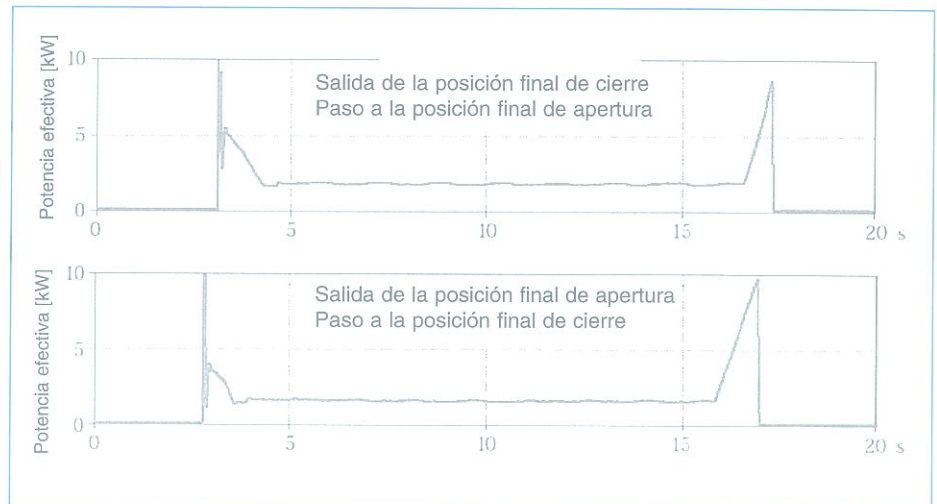


Figura 17. Estadística de las fuerzas del husillo de 16 válvulas de un tipo usual.