

INIS-mf-- 4287

ES 7800197

1

Reunión sobre "El efecto en los sistemas de Instrumentación  
y Control de los requerimientos en Centrales Nucleares de -  
Generación de Energía."

Normativa sobre :

PRUEBAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

AUTORES :

JUAN GRAU NAVARRO

Ingeniero Industrial

TECNICAS REUNIDAS, S. A.

EPTISA-GHESA-TRSA-EMPRESARIOS AGRUPADOS

Departamento de Instrumentación y Control

JOSE MARIA NAVARRO PALANCA

Ingeniero de Minas

GIBBS & HILL ESPAÑOLA, S. A.

EPTISA-GHESA-TRSA-EMPRESARIOS AGRUPADOS

Jefe Departamento de Instrumentación y Control

MADRID, SEPTIEMBRE DE 1.977

2

INDICE

	<u>PAG.</u>
1. INTRODUCCION ... ..	1
2. 10CFR 50 APENDICE "A" 3.D.C. 20 y 21 . ... ..	2
3. IEEE Std. 279 y 308 ... ..	5
4. IEEE Std. 338 , 1.971 y 1.975 .. ... ..	12
5. U.S. REGULATORY GUIDE 1.22 y 1.118 . ... ..	20
6. CONCLUSION ... ..	23

## 1.- INTRODUCCION

Trataremos únicamente en esta exposición de los requerimientos sobre pruebas o "testing" de los sistemas de control y equipos controlados por ellos, tal como son en U.S.A. y no en otros países; por tanto la normativa en que vamos a basar este trabajo es exclusivamente la existente en U.S.A.

Haciendo una breve historia de cómo han ido desarrollándose estos requerimientos hasta el momento actual, podemos decir que fue la necesidad de poder comprobar la operabilidad de los equipos de salvaguardias y sus sistemas de control, necesidad que se materializa en el Criterio 21 del CFR ("Code of Federal Regulations") 50, Apéndice A, la que originó que el IEEE (Institute of electrical and electronic engineers), tratara este tema en su "standard" 279 y después en su 338 (este último más concreto), ambos publicados en 1.971.

La oficialidad que dio a estos trabajos y, particularmente al IEEE - Std. 279-1.971, la publicación por la NRC de su "Regulatory Guide" 1.22. en 1.972, así como la extensión en que se trataba el tema, fueron en parte causa de que el IEEE publicara una revisión a su "standard" 338 en 1.975, y que lo tratara también para los sistemas eléctricos clase 1E, en su "Standard" 308 publicado en 1.974. Finalmente la NRC publicó en 1.976 la "Regulatory Guide" 1.118 comentando y matizando el "Standard" IEEE 338-1.975.

A continuación intentaremos realizar una discusión de la normativa mencionada, para buscar finalmente una "Conclusión" que ilumine sobre los diversos problemas que se encuentran en el diseño, al introducir en el mismo los requerimientos sobre estas "Pruebas" o "Testing"

2.- 10 CFR 50 Apéndice A G.D.C. 20 y 21

Dada la brevedad de estos Criterios ("General Design Criteria" 20 y 21) vamos a traducirlos a continuación:

Criterio 20: "Funciones de los Sistemas de Protección".

Los sistemas de protección serán diseñados para (1) Iniciar automáticamente la operación de los sistemas apropiados, incluyendo los sistemas de control de reactividad, para asegurar que no se exceden los límites de diseño del combustible especificados aceptables, como resultado de acontecimientos operacionales que se prevean, y (2) Para captar condiciones de accidente e iniciar la operación de sistemas y componentes importantes para la seguridad.

Criterio 21: "Fiabilidad (Reliability) y Comprobabilidad (Testability) de los Sistemas de Protección".

Los Sistemas de Protección se diseñarán de manera que tengan una alta fiabilidad funcional y comprobabilidad en servicio adecuadas a las funciones de seguridad que han de realizar. La redundancia e independencia con que se diseñe el Sistema de Protección serán suficientes para que quede asegurado que: (1) No existe fallo único que resulte en pérdida de la función de protección, y (2) La puesta fuera de servicio de cualquier componente o canal no resulta en pérdida de la mínima redundancia requerida, a menos que la fiabilidad aceptable de operación del sistema de protección pueda demostrarse de otra manera. El sistema de protección se diseñará de manera que permita la comprobación periódica de su funcionamiento cuando el

.../...

... / ...

reactor está en operación, incluyendo la capacidad de probar las cadenas independientemente para determinar fallos y pérdidas de redundancia que - hayan podido ocurrir.

De estos dos criterios, a simple vista tan sencillos, se originará toda la normativa sobre los requisitos que deben cumplir los sistemas de protección del reactor que estudiaremos en los apartados 3, 4 y 5.

En cuanto al impacto de los criterios en sí, considerados aisladamente y especialmente el Criterio 21, podemos decir que, como todos los Criterios Generales de Diseño ("GDC"), aportan una idea general, sujeta además a diversas interpretaciones. En otras palabras, podríamos decir que en lo que a comprobabilidad ("Testability") se refiere, del G.D.C. 21 se obtienen las ideas de:

- 1.- Redundancia del Sistema de Protección aún cuando un canal este fuera de servicio.
- 2.- Necesidad de que el Sistema de Protección sea susceptible de ser probado en operación para detectar posibles fallos, sin perder por ello la redundancia en el Sistema de Protección.

A primera vista puede constatarse que estos Criterios (Especialmente el Criterio 21) han influido en los diseños de los sistemas de Protección, si nos fijamos en el hecho de que los diseñadores de los mismos han establecido un mínimo de cuatro canales de instrumentación independientes.

... / ...

.../...

No vamos a hacer más consideraciones sobre estos criterios ya que ellas corresponden al I.E.E.E. y a la N.R.C. como veremos a continuación. Nuestra intención al nombrarlos no es otra que dar a conocer el punto de partida del resto de la normativa por el método de partir de lo General para llegar a lo Particular.

3.- IEEE Std. 279 y 308

3.1 IEEE Std. 279-1.971 (ANSI N42.7-1.972) "Criterios para los Sistemas de Protección en Centrales Nucleares de Generación de Energía."

Como se deduce por el título, este "Standard" no es todavía específico del tema, esto es, trata de todos los requisitos en general que han de cumplir los Sistemas de Protección, uno de los cuales es la Comprobabilidad ("Testability"). Vamos a considerar no obstante este aspecto del Standard ya que constituirá uno de los puntos de partida de la normativa específica sobre Comprobabilidad ("Testability") como pueden ser la U.S. Regulatory Guide 1.22 y el "Standard" IEEE 338.

En el párrafo 4.9 del IEEE Std. 279-1.971 "capacidad de prueba de Sensores", se establece la necesidad de probar los sensores proporcionan entradas a los canales de instrumentación y se recomiendan tres soluciones aceptables para llevar a cabo esta prueba.

En el párrafo 4.10: "Capacidad de prueba y Calibración" se exige capacidad de prueba durante la operación para los canales y la lógica asociada, en aquellos casos en que el intervalo necesario de prueba sea inferior al intervalo normal de parada de la central para mantenimiento y recarga de combustible.

También es digno de tener en cuenta el requisito del párrafo 4.11 "By-pass o puesta fuera de servicio de Canales", que obliga a observar el criterio de simple fallo aún cuando se encuentre un canal fuera de servicio a efectos de prueba, calibrado o mantenimiento, excepción hecha de casos

.../...

.../...

particulares que utilicen la lógica "Uno de dos" (One-out-of-two).

Finalmente, en el párrafo 4.18 "Acceso a ajuste de puntos de consigna, Calibración y puntos de Prueba", se apunta la necesidad de tener acceso a los puntos de calibración y ajuste mediante procedimientos administrativos.

De este "Standard" se desprenden ya dos conclusiones importantes que tienen un impacto considerable en el diseño del Sistema de Protección. La primera es la necesidad de establecer una prueba a nivel del sensor; es decir, no basta con cerciorarse de que el resto del canal e incluso la lógica subsiguiente funciona correctamente, sino que es necesario cubrir el posible fallo o deterioro del elemento sensor y también el posible desajuste o desplazamiento de puntos de consigna, etc. hacia valores fuera de los límites de seguridad.

La segunda es la necesidad de mantener la redundancia y en consecuencia la seguridad del Sistema de Protección cuando un canal se encuentra fuera de servicio a efectos de prueba; esto es, al probar un determinado canal quedando éste fuera de servicio, ni debe producirse el disparo del Sistema de Protección ni debe degradarse la redundancia del mismo. Se exige pues, Operabilidad y Seguridad al Sistema de Protección.

Desde el punto de vista de diseño los problemas que se plantean son también de dos tipos.

- 1.- El tener que probar a nivel del sensor lleva consigo problemas de accesibilidad. Por ejemplo no siempre es posible actuar sobre la varia



.../...

ble medida sin producir un trastorno en el proceso (por ejemplo: flujo de neutrones, caudal de una bomba, presión y/o la temperatura del Pozo Seco etc.). Tampoco pueda resultar fácil o siquiera realizable el introducir en el sensor una variable de naturaleza similar a la variable medida como recomienda el "Standard" en el párrafo 4.9.

En estos casos hay que recurrir a la tercera posibilidad que se apunta en el citado párrafo, de utilizar referencias cruzadas entre canales que tengan una relación conocida y que tengan indicadores disponibles.

- 2.- El segundo problema que se plantea en el diseño es el de mantener la redundancia de la protección con un canal fuera de servicio. Esto implica un estudio cuidadoso para no encarecer ni complicar en exceso la lógica del Sistema de Protección. Este punto es muy importante a la hora de considerar el tipo de lógica a utilizar.

Concretamente en el apartado 4.11 se hace una excepción limitada para el tipo de lógica "Uno de dos"; esta excepción admite que durante la prueba o calibración de un canal se viole el criterio de simple fallo, siempre y cuando se demuestre que el intervalo de prueba sea lo suficientemente corto para que la probabilidad de fallo del canal activo durante dicho intervalo, sea comparable a la probabilidad de fallo del sistema "Uno de dos" durante el intervalo normal entre dos pruebas. Observese que la concesión que hace el "Standard" es bastante restrictiva y que no siempre se dará el paralelismo de probabilidades.

.../...

3.2 IEEE Std. 308-1.974 (ANSI N41.12-1.975) "Criterios para sistemas Eléctricos de Potencia clase 1E en Centrales Nucleares de Generación de Energía."

El objeto del "Standard" tal como se desprende de su título, es tratar sobre los requerimientos que aplican a los Sistemas Eléctricos de Potencia clase 1E, extendiéndose desde las alimentaciones normales ("Preferred Power Supply") y de emergencia ("Standby Power supply") a las barras de Salvaguardias, hasta las fuentes de alimentación de circuitos de control (c.a. y c.c.) y de instrumentación vital.

Al igual que el anterior "Standard", tampoco éste es específico sobre pruebas. Se trata como el anterior de uno de los puntos de partida del IEEE Std. 338 de 1.975, que amplía y desarrolla los párrafos del presente "Standard" relacionados con las pruebas ("Testing").

En los cinco primeros apartados se hace hincapié en la necesidad de vigilar permanentemente mediante indicadores y/o alarmas el estado de cada uno de los sistemas citados.

Quizás el párrafo más concreto de estos 5 primeros en lo que se refiere a "pruebas" es el 5.2.6 que se refiere a los Generadores Diesel, señalando la conveniencia de realizar pruebas de arranque y entrada en carga durante la operación de la central.

El párrafo 6 "Requerimientos de Vigilancia" está dedicado íntegramente a pruebas. Es de destacar el párrafo 6.3: "Pruebas Periódicas de Equipos" donde se establece la necesidad de realizar pruebas periódicas de los equipos de clase 1E con objeto de:

.../...

.../...

- a- Detectar el deterioro del equipo a una condición inaceptable.
- b- Demostrar que aquellos equipos ("Standby Power Equipment") de los que no se requiere su funcionamiento durante la operación normal de la central, están en condiciones de operar.

Es interesante observar que aunque no se mencione explícitamente que las pruebas deban realizarse durante el funcionamiento normal de la central (se habla siempre de "pruebas periódicas"), ello está implícito en determinados párrafos; así al final del citado párrafo 6.3 se indica que de debe mantenerse la redundancia durante la realización de la prueba (que no sería necesaria si la prueba se realizara con la central parada), y también en el párrafo 6.5 "Pruebas Específicas y Frecuencia" se indica que ambas dependen de los componentes, de su función y de su entorno, de lo cual se deduce que habrá algunos equipos y/o sistemas cuyo intervalo de prueba será inferior al de parada para recarga y mantenimiento, y que deberán ser sometidos a la misma durante la operación normal de la central.

La conclusión inmediata que se desprende de lo anterior, es la preocupación evidente del IEEE por garantizar la disponibilidad de los equipos y sistemas clase 1E, y la importancia que empieza a otorgar a las "pruebas", pues le dedica integralmente uno de los ocho apartados de que consta la norma.

Desde el punto de vista de proyecto, es interesante observar que se distingue entre equipos o sistemas activos y equipos o sistemas pasivos.

.../...

.../...

- a.- Por equipos o sistemas activos, entendemos aquellos equipos o sistemas cuyo funcionamiento se requiere en mayor o menor grado durante la operación normal de la central, por ejemplo las baterías de c.c. los sistemas de distribución de control y de potencia, etc.
- b.- Por equipos o sistemas pasivos, entendemos aquellos equipos o sistemas cuyo funcionamiento sólo se requiere en condiciones anormales de la central; el ejemplo más explicativo es tal vez el generador Diesel..

Como se puede comprobar, la norma exige distintos requisitos en ambos casos. Así en el caso a es menos exigente que en el caso b. Quiere ello decir que es más fácil detectar el fallo de un equipo o sistema que está funcionando permanentemente, que el de otro que está previsto para que funcione esporádicamente y respondiendo a situaciones anómalas de la central.

En el primer caso, la simple vigilancia de una o varias variables (intensidad, tensión, etc.) y/o una alarma (disparo interruptor, mínima tensión, etc.), son suficientes para enterar al operador de la anomalía producida en el sistema. Ello no es aplicable al segundo caso, puesto que el posible fallo de un equipo o sistema que está pensado para corregir los efectos de una situación anómala, debe ser detectado antes de que ésta se produzca. La única solución viable es recurrir a las pruebas. El intervalo de prueba, y por lo tanto el hecho de que deba realizarse la misma durante la operación normal de la central o puedan aprovecharse los intervalos de parada, dependerá de la probabilidad de fallo de cada equipo o sistema.

.../...

.../...

El caso particular de los Generadores Diesel es tal vez el más característico. Es a la vez un sistema de potencia clase 1E, y un sistema de protección. Se trata sin duda de un equipo al que aplican simultáneamente los "Standards" IEEE 279 y 308; de ahí que se le exija un alto grado de comprobabilidad ("Testability") durante la operación normal de la Central.

4.- IEEE Std. 338-1.971 & 1.975

4.1 IEEE Std. 338-1.971 (ANSI N41.3) Criterios para las Pruebas Periódicas de los Sistemas de Protección en Centrales Nucleares de Generación de Energía.

Tal como se dijo en el apartado 3 y como se puede deducir del título, se trata ya de un "Standard" específico sobre el tema que tratamos, y fundamentalmente se dedica a desarrollar y ampliar los puntos 4.9 "Capacidad de Prueba de Sensores" y 4.10 "Capacidad de Prueba y Calibración" del IEEE Std. 279-1.971.

Vamos a limitarnos a considerar los aspectos del Standard que incidan en el diseño de los Sistemas de Protección, dejando a un lado, en lo posible, los procedimientos administrativos por entender que se salen fuera del alcance del presente estudio.

Parte del "Standard" está dedicado a la definición de los términos empleados, al establecimiento de las bases de las pruebas (Reliability Goals, Test Considerations), determinación de la frecuencia las mismas y a los procedimientos escritos o formatos para una realización sistemática y ordenada de ellas

Desde el punto de vista de este estudio, los párrafos más significativos son del 5.3.2 al 5.3.6 que vamos a analizar en detalle a continuación.

El párrafo 5.3.2 establece que las señales de entrada ("Test input") debe introducirse lo más cerca posible del sensor, e indica tres soluciones que son una ampliación de las que cita el IEEE Std. 279-1.971 en el párrafo 4.9.

.../...

La primera de ellas consiste en provocar cambios o fluctuaciones en la variable medida por el sensor. Este es evidentemente el método más ortodoxo y más fiable para cerciorarse del correcto funcionamiento del sensor, pero en muchos casos puede resultar impracticable.

La segunda consiste en sustituir la variable original por otra de naturaleza similar y actuar sobre ella; por ejemplo manejando la válvula de igualación de presión en células de medida de presión diferencial etc. En este caso debe cumplirse una de las siguientes condiciones :

- a- Que el canal que está siendo sometido a prueba continúe siendo operativo durante la misma; esto es, que una demanda real anule la prueba y se realice la función de protección correspondiente.
- b- Si por el contrario el canal en cuestión queda inoperativo durante la prueba, esta situación debe indicarse y el resto del sistema debe seguir cumpliendo con el criterio de simple fallo. También aquí hace excepción para la lógica "Uno de dos" con los mismos condicionantes que los descritos en el párrafo 4.9 del IEEE Std. 279-1.971.

La tercera solución que apunta consiste en introducir una señal analógica simulada y variarla (por ejemplo: tensión, corriente, resistencia), para la prueba parcial de un canal, cuando no es posible realizar la prueba completa del mismo incluyendo el sensor.

En caso de recurrir a esta solución es necesario cumplir también con una de las condiciones a ó b (incluida la excepción) descritas anteriormente.

.../...

Los párrafos 5.3.3 y 5.3.4 tratan de la amplitud de la señal introducida y la velocidad de cambio de esta señal hasta alcanzar el punto de actuación. Ambas deben ser las apropiadas para confirmar que la acción de protección se llevará a cabo para los valores extremos esperados de la variable.

El párrafo 5.3.5 complementa la tercera solución del párrafo 5.3.2. Cuando una parte de un canal no se incluye en la prueba, su operabilidad podrá ser verificada comparando lecturas entre canales que tengan una relación conocida entre sí, por ejemplo temperatura y potencia, y que tengan indicadores disponibles. Cuando una parte del circuito de protección se prueba al mismo tiempo, o cuando se incluyen en el circuito de prueba referencias cruzadas, deberá existir un solape apropiado de los puntos de inserción y lectura con objeto de verificar la operabilidad del circuito.

Finalmente el párrafo 5.3.6 establece que la ausencia de fallos se indique de forma positiva y directa, por ejemplo mediante una luz que se encienda o por un relé desenergizado que se energice. El objeto de esta recomendación no es otro que el evitar que un fallo de la tensión auxiliar e incluso del propio circuito de comprobación pueda confundirse con la indicación de operabilidad del canal de instrumentación en prueba.

Desde el punto de vista de diseño los problemas planteados por el IECIE Std. 279-1.971, se replantean otra vez en esta norma matizando y ampliando determinados aspectos.

En primer lugar puntualiza la capacidad del sistema de prueba para dar una amplitud de señal suficiente que cubra los casos más desfavorables, en cuanto a los valores extremos esperados de la variable de proceso. Lo

.../...



.../....

mismo aplica en lo que se refiere a la manera en que se efectúe la variación de la señal de prueba. Esta debe ser tal que cubra todas las alteraciones de la variable de proceso en las situaciones que se requiera la acción de protección.

En cuanto a la introducción de la señal de prueba, se indica que ha de mantenerse la redundancia del sistema de protección proponiéndose dos alternativas para ello. La primera consiste en prever la duplicidad del canal en prueba, y la segunda en establecer una lógica que anule la prueba cuando aparezca una situación real de actuación. No se puede determinar "a priori" cual de ellas es preferible ya que en cada caso hay que estudiar el aspecto económico.

El problema de inaccesibilidad de determinados sensores para introducir la señal de prueba también está contemplado. Desde el punto de vista de diseño obliga por una parte a prever dispositivos de prueba (bornas, cajas, etc.) lo más cercanos posible al elemento sensor con objeto de poder introducir con facilidad la señal analógica equivalente; por otra parte obliga a un estudio más minucioso del sistema de prueba para cerciorarse, mediante referencias cruzadas con otros canales, de la operabilidad del elemento que no se ha probado. Tanto en este caso, como si la prueba del canal se realiza por partes, hay que estudiar el circuito de manera que exista un solape entre las pruebas parciales con objeto de que no quede sin probar ninguna parte del canal.

Finalmente es importante tener en cuenta la indicación positiva de la operabilidad del canal por las razones que hemos expuesto antes.

4.2 IEEE Std. 338-1.975 Criterios para las Pruebas Periódicas de los Sistemas de Protección y de los Sistemas Eléctricos de Potencia clase 1E en Centrales Nucleares de Generación de Energía.

Este reciente "Standard" es el más extenso y específico de los que nos ocupan en este estudio. Por su extensión no vamos a desarrollarlo ni tampoco a repetir aquellos temas que se han tratado en "Standards" anteriores.

Antes que nada hay que hacer notar que además de ampliar el contenido del IEEE Std. 338-1.971, incorpora la parte correspondiente al IEEE Std. 308; es decir incluye explícitamente a los Sistemas Eléctricos de Potencia Clase 1E.

La primera innovación respecto de las anteriores es la exigencia de una capacidad funcional de prueba completa, incluyendo los elementos de actuación y los equipos actuados. También aquí da varias soluciones para llevar a cabo las pruebas.

Aparecen en este "Standard" consideraciones acerca de la comunicación entre el operador y las estaciones remotas de prueba, pruebas automáticas, coordinación entre las pruebas eléctricas y mecánicas, y también acerca de la necesidad de que la condición de "by-pass" a efectos de prueba no afecta a equipos redundantes.

Las consideraciones generales pueden determinarse de lo que indica el párrafo 6.1 "Programa de Pruebas. Consideraciones Generales":

- a- Verificación independiente de la operabilidad de cada canal o grupo de cargas redundantes durante la operación del reactor.

.../...

- b- Verificación de la operabilidad de los canales o grupos de carga desde el elemento sensor hasta el actuador durante la operación del reactor sin afectar ni a la Seguridad ni al funcionamiento normal de la planta. Cuando esto no es posible se permite realizar pruebas parciales con suficiente solape.
  
- c- Realización de la prueba en condiciones reales o simuladas lo más cercanas a las condiciones reales de funcionamiento, incluyendo secuencia de operaciones P. ej. secuencia de carga de los Generadores Diesel.

Con respecto a los tipos de prueba, es interesante mencionar que en las pruebas de verificación de calibrado se requiere incluir la linealidad y la histeresis, en casos en que se requiera mucha precisión.

Adicionalmente se requiere verificar del tiempo de respuesta de aquellos sensores en los que este parámetro sea crítico para la seguridad y de aquellos en los que el mismo sea parte significativa del tiempo de respuesta total del sistema y sea susceptible de degradación.

Finalmente es de tener en cuenta que el párrafo 6.4: "Programa de Pruebas. Métodos de Prueba", indica que:

- a- Hay que realizar la prueba del canal o grupo de carga en su totalidad (desde el sensor hasta el elemento de actuación).
  
- b- Es necesario comprobar no sólo la operabilidad de cada canal o grupo de cargas sino también la independencia de los mismos.

La implicación de este "Standard" en el diseño es muy considerable.

.../...

En lo que hemos desarrollado hasta ahora la consideración crítica era la prueba del sensor, principalmente en cuanto a la accesibilidad del mismo y a la dificultad de actuar sobre la variable medida. Este "Standard" añade de una consideración adicional: el elemento actuador y el equipo actuado.

El problema es fácilmente resoluble en equipos redundantes inoperativos durante el funcionamiento normal de la central y que no interfieran en el mismo si se someten a prueba. Cuando no se da este caso es preciso recurrir a otras soluciones como las que apunta la norma en el capítulo 5, que en definitiva consisten en impedir el funcionamiento del equipo actuado durante la prueba y realizar pruebas parciales. En estos casos hay que recurrir a una demostración de probabilidades de fallo y además realizar la prueba completa con la planta parada. Esta solución, por lo tanto, únicamente conviene emplearla en los casos más críticos ya que, entre otras cosas, la exigencia de alta improbabilidad de fallo encarece el equipo. En los demás casos entendemos que se requiere un estudio minucioso del proceso para que pueda llevarse a cabo la prueba hasta el equipo actuado, sin afectar al funcionamiento normal de la planta ni, por supuesto, a la seguridad.

Con respecto a los equipos o sistemas eléctricos clase 1E es de notar el requerimiento de realizar la prueba durante la operación normal de la central simulando las situaciones de emergencia para las que han sido diseñados incluyendo la secuencia de operaciones. Por ejemplo (este ejemplo es el que cita el "Standard"): La prueba de la secuencia de cargas de los Generadores Diesel durante operación normal, implica una considerable complicación en el control de los mismos. Si además exigimos que una "bona fide signal" anule la prueba y sitúe el generador Diesel en posición de emergencia, (disparo alimentaciones normales, posición del regulador de tensión, entrada del Secuenciador, etc.) todavía se complica más el circuito; como

.../...

contrapartida hay que tener en cuenta que al aumentar la complejidad un circuito disminuye su fiabilidad. Es pues una importante papeleta a resolver en el diseño, el conjugar todos estos factores; ello implica una compleja labor de ingeniería y unas exigencias más sofisticadas para los equipos.

Es importante resaltar las ventajas de los sistemas lógicos en estado sólido, mediante los cuales sin perjuicio de la fiabilidad es posible conseguir un mayor número de funciones en comparación con las que se consiguen con los sistemas lógicos convencionales de relés electromagnéticos.

Es un hecho muy significativo que los fabricantes de los sistemas de protección del reactor hayan transformado o estén transformando estos sistemas a estado sólido. Asimismo la tendencia actual es la de aplicar este mismo criterio a la parte convencional.

5.- U.S. Regulatory Guides 1.22 y 1.118

5.1 U.S. Regulatory Guide 1.22. (Safety Guide 22): Pruebas periódicas de las Funciones de Actuación del Sistema de Protección.

Esta norma se publicó en el año 1.972 y representa la postura de la NRC (Nuclear Regulatory Commission) sobre el tema objeto de este estudio. Gran parte de su contenido ha sido recogido por el IEEE Std. 338-1.975; no obstante, dada su brevedad y concisión vamos a resumir su contenido.

La posición de la ERC se resume en 4 puntos muy concisos:

- 1.- El sistema de protección se diseñará para permitir pruebas periódicas desde el elemento sensor hasta el equipo actuado, simulando en la mayor extensión posible la función de protección y de manera que la prueba sea realizable durante la operación del reactor.
- 2.- Como métodos aceptables cita:
  - a- Probar simultáneamente los equipos actuados y los elementos de actuación.
  - b- Probar los equipos actuados y los elementos de actuación individualmente o en grupos.
  - c- Impedir la actuación de ciertos equipos durante la prueba de sus actuadores.
  - d- Diseñar el equipo actuado con más de un actuador y probarlos

.../...

.../...

individualmente.

Estos métodos quedan sujetos a los condicionantes de los párrafos 3 y 4 descritos a continuación.

3.- Cuando se produce un "by-pass" a efectos de prueba debe tenerse en cuenta lo siguiente:

a- Debe impedirse que esta condición se propague a los sistemas redundantes.

b- Debe indicarse automáticamente en sala de control para conocimiento del operador.

4.- Cuando el equipo actuado no se prueba durante la operación del reactor debe demostrarse lo siguiente:

a- Que no hay forma posible de llevar a cabo la prueba de operación de dicho equipo sin afectar a la operabilidad o a la seguridad.

b- Que la probabilidad de fallo del sistema de protección, es y puede mantenerse aceptablemente baja sin que se pruebe dicho equipo durante la operación del reactor.

c- Que el equipo actuado se prueba como rutina durante la parada de la central.

Como se desprende de lo anterior esta norma abarca todos los elementos

.../...

## 6.- CONCLUSION

Para resumir lo expuesto en este estudio, podemos decir que todo sistema de seguridad, ya sea de protección o de potencia Clase 1E, debe ser diseñado de tal manera que sea posible realizar pruebas funcionales completas durante el funcionamiento normal de la planta y sin perjuicio de la seguridad ni de la operabilidad de la misma. Desde el punto de vista de diseño esto plantea dos problemas muy amplios:

- 1- La prueba del canal (incluyendo el sensor) o grupo de cargas.
- 2- La prueba del elemento de actuación y del equipo actuado.

Con respecto a la prueba del sensor, en el diseño hay que considerar, a veces profundamente, factores tales como la situación en la planta del instrumento sensor, recorridos de las líneas de impulsión, accesorios adicionales en las mismas necesarios para estas pruebas, duplicidad de instrumentos etc. etc.

Hay que tener en cuenta también que el canal no acaba en el sensor. Las funciones analógicas asociadas están sujetas a los requisitos de prueba, complicándose a menudo el diseño como tal y requiriéndose elementos específicos para este fin..

Otro punto a considerar es la influencia de las pruebas en la lógica de actuación, especialmente la necesidad de mantener la redundancia durante las mismas. Esto obliga a un diseño cuidadoso que conjugue la capacidad de prueba que se exige, con la simplicidad y fiabilidad del circuito.

En cuanto a la prueba del actuador y del equipo actuado, hay que considerar la vinculación existente con el proceso. Puede resultar conveniente a veces, modificar el diseño original del proceso para hacer posible la



desde el principio hasta el final, pasando por los intermedios, del sistema de protección. Es especialmente exigente en lo que se refiere al equipo actuado. Esta postura sigue defendiéndola muy claramente la NRC como prueba ineludible para garantizar el funcionamiento del sistema de protección.

Así encontramos que la "Branch Technical Position EIGSB 22" Guía para aplicación de la R.G. 1.22, publicada en Mayo de 1.976, en el apartado B establece: Todo aquellos equipos actuados que no se sometan a prueba durante la operación del reactor, debe ser identificados, y la manera de como cada uno de ellos cumple los requerimientos del párrafo D.4 de la R.G. 1.22 debe ser sometida a discusión.

No vamos a repetir las consideraciones que sobre el tema hemos hecho al hablar del IEEE Std. 338-1.971, pero sí es de remarcar el énfasis que la NRC pone en el mismo, y la importancia que tiene un diseño adecuado desde el punto de vista de la licenciabilidad de la planta.

#### 5.2 U.S. Regulatory Guide 1.118: Pruebas Periódicas de los Sistemas Eléctricos de Potencia y de los Sistemas de Protección.

Esta norma ha sido publicada por la NRC en el año 1.976, y fundamentalmente incorpora el contenido del IEEE Std. 338-1.975 matizando el significado el alcance de determinados párrafos. Por ello y por no alargar excesivamente este estudio, no vamos a desarrollar esta norma.

prueba de operación de determinados equipos. Como ejemplo podemos citar la adición de válvulas de aislamiento y líneas de recirculación para poder operar una bomba sin que el resto del proceso se vea afectado.

Otras soluciones pueden afectar más directamente a los propios equipos. (por ejemplo la duplicación de actuadores).

En cualquier caso no hay que olvidar que la prueba del equipo actuado es uno de los puntos críticos, y que si resulta impracticable, hay que demostrar esta imposibilidad según se establece en la normativa.

Las consideraciones anteriores no son las únicas a realizar como hemos visto a lo largo de este estudio. Cada caso deberá ser estudiado aisladamente para llegar a la realización de un diseño correcto, ajustado a la normativa, homogéneo y económico.

Especial consideración merece la utilización de la lógica de estado sólido que permite no sólo la vigilancia continua de circuitos (cortocircuitos, circuitos abiertos etc. etc.), sino también la centralización cómoda de instrumentos y señalizaciones necesarios para las pruebas.

Rematamos este estudio con una consideración final, tan importante a nuestro entender, como el conjunto de las consideraciones hasta aquí realizadas: El diseño debe considerar todo lo anteriormente expuesto, pero no debe ser tal que resulte en un procedimiento complicado de pruebas. Este procedimiento debe ser seguido por los operadores, sujetos, como toda persona humana, a errores y tensiones, y que merecen todo esfuerzo que se realice para simplificar su labor. Por ello entendemos que un buen diseño del sistema de pruebas, ha resultar en un procedimiento de realización de las mismas sencillo, metódico y rápido, siendo este último, como se ha visto, un factor decisivo para la seguridad de la Planta.