

CAPITULO 1

Introducción

1.1 Introducción y objetivos del proyecto

Este Proyecto Fin de Carrera tiene como objetivo el control y supervisión, mediante un SCADA, del análisis y muestreo del líquido BOP de una central nuclear. Para ello programaremos todas las aplicaciones necesarias para el correcto funcionamiento de la planta, ya sean válvulas, secuencias, muestra de señales digitales o analógicas, lazos de control, motores,... así como todo el conjunto de herramientas que nos servirán para monitorizar el proceso a controlar como alarmas, históricos, tendencias, etc.

Dicho proyecto ha sido desarrollado en colaboración con la empresa Telvent (Grupo Abengoa) y, como se ha comentado en el párrafo anterior, tiene como objetivo el control y supervisión del líquido BOP de una central de energía nuclear. Exactamente de dos reactores del tipo BWR que conformarán la unidad 1 y 2, respectivamente. La central está ubicada en Yenliao (Taiwán) y posee una capacidad de 1350 Mwe.

La empresa Inabensa es la encargada de suministrar los equipos para el muestreo y análisis de líquido BOP para las unidades 1 y 2 de la planta de energía nuclear Lungmen. Dicho suministro comprende 50 paneles para ocho sistemas de muestreos de vapor y agua (cuatro para la unidad 1 y cuatro para la unidad 2) distribuidos así:

- Sistema de Muestreo de Turbina: Para el muestreo continuo en varios sistemas de la central y obtención de vapor representativas. Debido a las largas distancias

entre los puntos de muestra y los paneles de estos sistemas, es necesario colocar equipos que condensen muestras de vapor en el lugar de toma para facilitar su transporte. Está formado por los paneles de Análisis, de Acondicionamiento de muestras, de Control y de registro, Enfriadores y de Enfriamiento de Muestra remota.

- Sistema de Limpieza por condensado de muestra: Para el muestreo continuo del sistema Limpieza por condensado de Muestra de la central, formado por los paneles de Análisis, de Acondicionamiento de muestras, de Control y de registro y Enfriadores.
- Sistema de Muestreo de la Caldera Auxiliar: Para muestreo continuo del vapor y entrada de agua de caldera auxiliar de la central, formado por los paneles de Análisis, de Acondicionamiento de muestras, de Control y Registro.
- Sistema de Muestreo del Condensador: Para muestreo continuo en los tubos de condensado y para el análisis de conductividad en los pozos calientes de condensado de la central. Este sistema está integrado por los paneles de Análisis, de Acondicionamiento de muestras, de Control y Registro.

La función principal de los paneles es permitir la recolección de muestras representativas, desde todos los puntos del sistema, para la realización de un análisis continuo o eventual.

Mi misión principal ha sido desarrollar el código referente al SCADA (motores, válvulas, secuencias, históricos, alarmas, etc) así como todo aquello relacionado con los controladores y periféricos (PLC, módulos de comunicaciones, entradas y salidas, redes, etc). Como tarea secundaria me he encargado de gestionar la documentación. Debido a las características especiales de nuestro cliente (TPC- Taiwan Power Company) y de nuestro proyecto (una central nuclear) la documentación debía seguir un protocolo muy estricto, además, teníamos en torno a 250 documentos lo que implicaba un gran volumen de información. Como ejemplo, indicar que cada modificación tenía que ser notificada a nuestro cliente. Esto implicaba hacer 12 copias en papel, 2 copias en formato electrónico (CD) y, la realización de una carta numerada explicando el motivo de la modificación. Este paquete de información tenía que viajar hasta Taipei, con el tiempo que implica. Posteriormente, esperar a que TPC respondiera. Y según la respuesta actuar en consecuencia. Todo este proceso daba lugar a una gran cantidad de correspondencia que era archivada y ordenada, además, de una lentitud en la ejecución del proyecto.

Como muestra, mostramos un fragmento del documento Master Document Schedule o MDS, el cual recoge la información necesaria para organizar el intercambio de información.

TELVENT Taiwan Power Company Lungmen Nuclear Power Project Units 1 and 2 Contract No. S: Status 1: Work can proceed 2: Revise and resubmit. Work can proceed subject to incorporation of comments 3: Revise and resubmit. Work can not proceed. 4: For information, no review required.										
Index List of Technical Documents / Drawings			Date : 03/14/2006			Doc. Nº 04360.MS039. 8-08001 rev 08				
Row#	Plant Unit No.	Document title	Project Document No.	Rev No	S	TPC Reply Date	TPC Reply Letter	Telvent Submit Date	Telvent Submit Letter	Remarks
		INDEX								NOTES:
0		1. General								PN = planned to be issued by Telvent
16		2. QA Program & Surveillance								RE = in review process by TPC
54		3. Test and Inspection								Action: pending action by TPC or Telvent
94		4. Technical Calculations and Reports								Planned / Due date: planned date to issue the document by Telvent or due date of comments/approval by TPC
156		5. Mechanical								N/A = not applicable
423		6. Electrical								
555		7. Instrumentation and Control								
712		8. Arrangement and Interface								
773		9. P&IDs								
852		10. Equipment Lists and Data Sheets								
963		11. Transportation, Storage and Installation								

971		12. Operation and Maintenance								
998		13. Manufacturer's Instructions and Technical Information								
0		1. General								
1	Unit 1/2	Index List of Technical Documents / Drawings Unit 1 and Unit 2	04360.MS039. 8-08001	0	2	11/04/02	SWT-SAI-0015	10/23/02	SAI-SWT-0004	
2			04360.MS039. 8-08001	1	4			01/17/03	email	
3			04360.MS039. 8-08001	2	4			04/04/03	email	
4			04360.MS039. 8-08001	3	4			12/10/04	SAI-SWT-0328	
5			04360.MS039. 8-08001	4	4	06/09/05	SWT-SAI-0256	05/06/05	SAI-SWT-0349	The rev 4 (Summary) has been sent to TPC/S&W attached in document 04360.MS039. 7-08600 rev 0
6			04360.MS039. 8-08001	5	4			08/17/05	email	
7			04360.MS039. 8-08001	6	4	12/16/05	SWT-SAI-0278	10/24/05	SAI-SWT-0370	The rev 6 (Summary) has been sent to TPC/S&W attached in document 04360.MS039. 7-08600 rev 1
8			04360.MS039. 8-08001	7	4			03/03/06	N/A	The rev 7 was reviewed during Factory Acceptance Tests
9			04360.MS039. 8-08001	8	4			03/24/06	SAI-SWT-0390	The rev 8 (Summary) has been sent to TPC/S&W attached in document 04360.MS039. 7-08600 rev 2
10										
11	Unit 1/2	Project Schedule	04360.MS039. 8-08002	0	2	11/25/02	SWT-SAI-0019	11/06/02	SAI-SWT-0007	
12			04360.MS039. 8-08002	1	1	01/02/03	SWT-SAI-0023	11/28/02	SAI-SWT-0010	
13										
14	Unit 1/2	Final List of Documents for Remote Sampling Cooler Panels and Analyzer Panels for Units 1 and 2	04360.MS039. 8-08010	0	4					Included in QA Record Package of First Delivery of panels
15										
16		2. QA Program & Surveillance								

17	Unit 1/2	Quality Assurance Program	04360.MS039. 4-00001	0	2	11/12/02 11/20/02	SWT-SAI-0016 SWT-SAI-0018	09/20/02	SAI-TPC-0008	
18			04360.MS039. 4-00001	1	1	02/26/03	SWT-SAI-0029	02/04/03	SAI-TPC-0025	
19			04360.MS039. 4-00001	2	1	05/26/03	SWT-SAI-0057	05/14/03 06/10/03	SAI-TPC-0029 SAI-TPC-0031	
20										
21	Unit 1/2	Quality Management Manual	SA-ED-4360-MGC-01	0	2	11/12/02 11/20/02 02/26/03	SWT-SAI-0016 SWT-SAI-0018 SWT-SAI-0029	10/17/02 11/14/02 02/04/03	SAI-TPC-0014 SAI-SWT-0009 SAI-TPC-0025	
22			SA-ED-4360-MGC-01	1	1	05/26/03	SWT-SAI-0057	05/14/03 06/10/03	SAI-TPC-0029 SAI-TPC-0031	

TABLA 1.1

En lo referente de este proyecto no haremos distinción entre la unidad 1 y 2 ya que son idénticas, en aquellos casos en que sea necesario hacerla se indicará adecuadamente. Cada unidad cuenta con 231 señales entrada/salida entre analógicas y digitales.

Gracias a la realización de este proyecto intentamos alcanzar los siguientes objetivos, que resumimos a continuación:

- Adquirir conocimientos sobre sistemas SCADA's existentes en el mercado, con el propósito de completar un vacío en mi formación como Ingeniero de Telecomunicación, especialidad Telecontrol y Robótica.
- Enfrentarse a los problemas que surgen en el mundo laboral, especialmente en el campo de la ingeniería.
- Aplicación a un caso real de los conocimientos adquiridos durante la carrera, así como de los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del proyecto.
- Desarrollo de un proyecto entero de ingeniería incluyendo no solo la programación sino, además, temas como la documentación exigida por el cliente, pruebas (FAT y SAT), etc.

1.2 Breve introducción a la energía nuclear

¿Qué es un Reactor Nuclear?

Es una instalación física donde se produce, mantiene y controla una reacción nuclear en cadena. Por lo tanto, en un reactor nuclear se utiliza un combustible adecuado que permita asegurar la normal producción de energía generada por las sucesivas fisiones. Algunos reactores pueden disipar el calor obtenido de las fisiones, otros, sin embargo, utilizan el calor para producir energía eléctrica.

El primer reactor construido en el mundo fue realizado en 1942, en dependencias de la Universidad de Chicago (USA), bajo la atenta dirección del famoso investigador Enrico Fermi. De ahí el nombre de "Pila de Fermi", como posteriormente se denominó a este reactor. Su estructura y composición eran básicas si se le compara con los reactores actuales existentes en el mundo, basando su confinamiento y seguridad en sólidas paredes de ladrillos de grafito.

Elementos de un Reactor Nuclear

El Combustible:

Material fisionable utilizado en cantidades específicas y dispuesto en forma tal, que permite extraer con rapidez y facilidad la energía generada. El combustible en un reactor se encuentra en forma sólida, siendo el más utilizado el Uranio bajo su forma isotópica de U-235. Sin embargo, hay elementos igualmente fisionables, como por ejemplo el Plutonio que es un subproducto de la fisión del Uranio.

En la naturaleza existe poca cantidad de Uranio fisionable, es alrededor del 0,7%, por lo que en la mayoría de los reactores se emplea combustible "enriquecido", es decir, combustible donde se aumenta la cantidad de Uranio 235.

Barras de Combustible:

Son el lugar físico donde se confina el Combustible Nuclear. Algunas Barras de Combustible contienen el Uranio mezclado en Aluminio bajo la forma de láminas planas separadas por una cierta distancia que permite la circulación de fluido para disipar el calor generado. Las láminas se ubican en una especie de caja que les sirve de soporte.

Núcleo del Reactor:

Está constituido por las Barras de Combustible. El núcleo posee una forma geométrica que le es característica, refrigerado por un fluido, generalmente agua. En algunos reactores el núcleo se ubica en el interior de una piscina con agua, a unos 10 a 12 metros de profundidad, o bien al interior de una vasija de presión construida en acero.

Barras de Control:

Todo reactor posee un sistema que permite iniciar o detener las fisiones nucleares en cadena. Este sistema lo constituyen las Barras de Control, capaces de capturar los neutrones que se encuentran en el medio circundante. La captura neutrónica evita que se produzcan nuevas fisiones de núcleos atómicos del Uranio. Generalmente, las Barras de Control se fabrican de Cadmio o Boro.

Moderador:

Los neutrones obtenidos de la fisión nuclear emergen con velocidades muy altas (neutrones rápidos). Para asegurar continuidad de la reacción en cadena, es decir, procurar que los "nuevos neutrones" sigan colisionando con los núcleos atómicos del combustible, es necesario disminuir la velocidad de estas partículas (neutrones lentos). Se disminuye la energía cinética de los neutrones rápidos mediante choques con átomos de otro material adecuado, llamado Moderador.

Se utiliza como Moderador el agua natural (agua ligera), el agua pesada (deuterada), el Carbono (grafito), etc.

Refrigerante:

El calor generado por las fisiones se debe extraer del núcleo del reactor. Para lograr este proceso se utilizan fluidos en los cuales se sumerge el núcleo. El fluido no debe ser corrosivo, debe poseer gran poder de absorción calorífico y tener pocas impurezas. Se puede utilizar de refrigerante el agua ligera, el agua pesada, el anhídrido carbónico, etc...

Blindaje:

En un reactor se produce gran cantidad de todo tipo de radiaciones, las cuales se distribuyen en todas direcciones. Para evitar que los operarios del reactor y el medio externo sean sometidos indebidamente a tales radiaciones, se utiliza un adecuado "Blindaje Biológico" que rodea al reactor. Los materiales más usados en la construcción

de blindajes para un reactor son el agua, el plomo y el hormigón de alta densidad, con a los menos 1,5 metros de espesor.

ESQUEMA DE UN REACTOR BWR

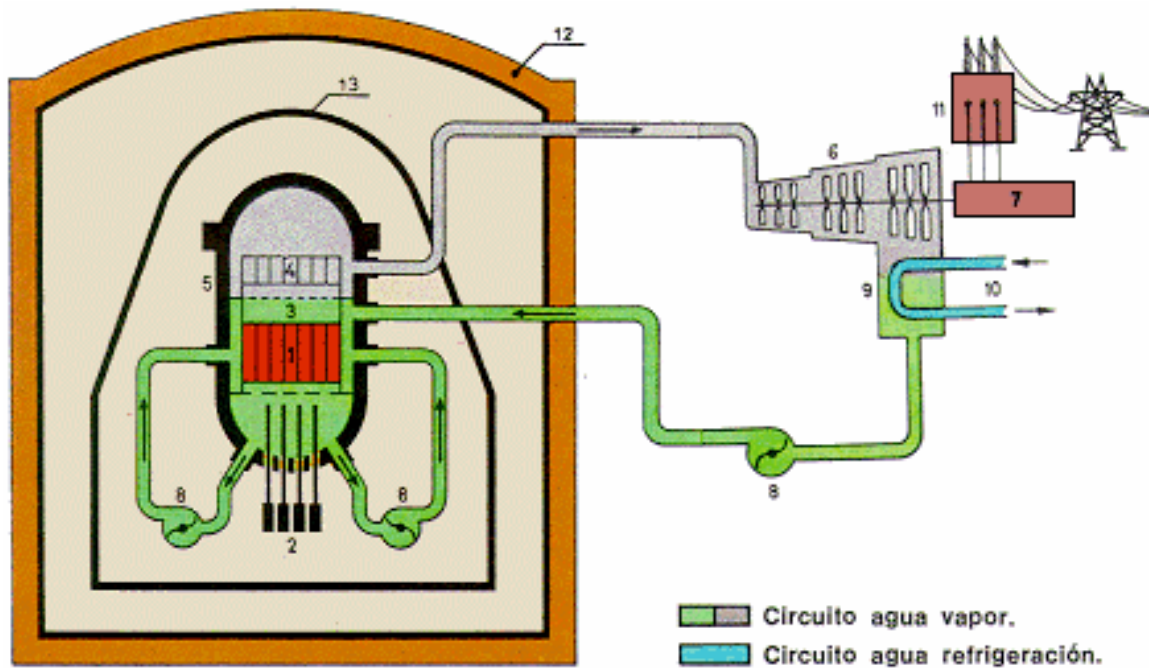


FIGURA 1.1

1. Núcleo del reactor.	4. Presionador.	7. Alternador.	10. Agua de refrigeración.	13. Contención primaria de acero
2. Barras de control.	5. Vasija.	8. Bomba	11. Transformador.	
3. Cambiador de calor (generador de vapor).	6. Turbina.	9. Condensador.	12. Recinto de contención de hormigón armado.	

TABLA 1.2

Tipos de reactores:

PWR:

Los reactores nucleares más utilizados en el mundo (alrededor de las tres cuartas partes) son del tipo PWR. El combustible utilizado es uranio enriquecido, y se emplea agua normal tanto para el moderador como para el refrigerante.

En una cuba con agua a alta presión se introduce el núcleo del reactor, que consta de dos placas metálicas donde se sujeta el soporte del combustible, consistente en varios cientos de varillas metálicas en cuyo interior se encuentra el uranio. Estas varillas son insertadas mediante unos motores por la parte superior. Todo el conjunto, incluido intercambiadores de calor y sistemas de control, se encuentra protegido por una cúpula de hormigón de notable grosor.

El agua del núcleo puede llegar a alcanzar 300 grados centígrados, por ese motivo se le mantiene a gran presión para evitar que se transforme en vapor de agua. Donde sí se forma vapor de agua es en el intercambiador de calor, por donde pasa el agua calentada, que posteriormente moverán las turbinas.

Los problemas más relevantes de estas centrales están referidos al cambio de combustible y el sistema del refrigerante. Reemplazar el combustible implica parar la central durante varias semanas, al ser necesario sustituir todo el bloque a la vez. Por su parte, el sistema de refrigerante precisa unos controles de seguridad muy importantes ante cualquier posible fuga de del líquido. Hay que tener en cuenta que una fuga del agua refrigerante, que se encuentra a alta presión, produciría su transformación en vapor

de agua en muy pocos segundos, y el núcleo se calentaría peligrosamente al perder refrigeración. Además, aunque el reactor se detendría al perder moderador (el agua refrigerante también actúa como tal), no impediría que siguiera calentándose. Como medida de seguridad en el caso de que se produjese una fuga, se dota al reactor de unos depósitos de agua complementarios, que inundarían el núcleo en el momento en que se produjera.

BWR:

Otro tipo de reactor muy similar al PWR es el BWR, que utiliza un sistema que genera un mayor rendimiento, aunque en su defecto existe también un mayor riesgo.

En los reactores BMR, el combustible es introducido en el tanque por su parte inferior, al contrario que en los PWR. Asimismo, y como elemento más significativo, en este tipo de centrales el refrigerante sí se convierte en vapor, con lo cual es innecesario utilizar intercambiadores de calor, generándose más rendimiento (los intercambiadores de calor siempre sufren pérdidas), además de que el agua puede trabajar a menor presión. El riesgo estriba en que ese vapor, que se encuentra altamente contaminado, se utiliza para mover directamente las palas de las turbinas, y por tanto a mayor cantidad de circuitos por donde circula, mayor riesgo de que se produzcan fugas.

Otro punto de atención en lo que respecta a seguridad, es el balance de agua y vapor de agua que debe mantener el reactor; existe un factor crítico que debe ser controlado para evitar un sobrecalentamiento. Recordemos que el refrigerante utilizado es agua, por tanto si aumenta el vapor de agua será a costa de reducirse el nivel del líquido, lo cual acarrearía un sobrecalentamiento del núcleo del reactor que podría

destruirlo. Para mantener el equilibrio se dispone dos cubas de agua; una bajo el reactor, la cual facilita que el vapor se condense; y otra sobre él que permitiría, en caso de necesidad, soltar agua en grandes cantidades.

AGR:

Las centrales con reactores nucleares tipo AGR son de diseño totalmente distinto a las PWR y BWR. Cuentan teóricamente con mejores características de seguridad.

Aunque el combustible utilizado es uranio enriquecido, se emplea sin embargo dióxido de carbono a alta presión como refrigerante, y grafito como moderador. Las varillas de combustible van insertadas en trescientos agujeros practicados en un gran bloque de grafito, lo cual implica que el moderador no pueda ser retirado como en otros tipos de reactor; este hecho es quizá el punto negativo de este tipo de central, pues si es necesario detener la reacción hay que extraer las varillas de combustible del núcleo. El dióxido de carbono utilizado como gas refrigerante, se mantiene a presión en el bloque de grafito, el cual absorbe el calor producido en la reacción.

Todo el conjunto descrito se encuentra protegido por una gran envoltura de hormigón totalmente hermética, de grosor muy superior al de otras centrales, lo que minimiza las posibilidades de fugas radiactivas. De todas formas, en el supuesto de producirse una pérdida de refrigerante, la gruesa estructura de hormigón es capaz de absorber el calor durante el tiempo suficiente para que los sistemas de control detengan la reacción.

Aunque el reactor suele ser parado para efectuar la sustitución de combustible, en realidad esta central posee la ventaja de que las varillas de combustible podrían ser extraídas e insertadas en el núcleo de forma individual, permitiendo mantener el reactor en funcionamiento.

CANDU:

Las centrales dotadas de reactores CANDU (de desarrollo canadiense), han competido con éxito con las centrales PWR y BWR.

La estructura de estas centrales consta de un tambor de acero denominado *calandria*, el cual acoge el moderador que consiste en agua pesada a baja presión. Todo este conjunto generador de energía se encuentra alojado dentro de una bóveda de hormigón.

Al igual que el moderador, el líquido refrigerante es agua pesada, que se le hace circular a través de unos tubos que atraviesan horizontalmente la *calandria*. Asimismo, dentro de los tubos se sitúan las varillas de combustible (uranio enriquecido). El líquido refrigerante que circula por el interior de los tubos, se encuentra sometida a una gran presión para evitar que se transforme en vapor de agua, incluso a temperaturas elevadas.

En el tambor se encuentran también otro tipo de conductos, mediante los cuales se pueden introducir varillas de control que absorben neutrones (los frenan), permitiendo actuar sobre la reacción en el supuesto de que se produjese una pérdida de líquido refrigerante. Al igual que en las centrales AGR, en este tipo de reactor la pérdida

de refrigerante no implica pérdida de moderador, por lo que el mantenimiento de la reacción llegaría a sobrecalentar el núcleo finalizando con su destrucción, motivo por el que se disponen las varillas de control de emergencia.

La gran ventaja de este tipo de central radica en el rendimiento útil que proporcionan (hasta un 78%), mejorando las de su mayor competidora, las de tipo PWR, que sólo llegan a un 75%.

Reactores de enriquecimiento:

Un reactor de enriquecimiento no se utiliza básicamente para generar energía con destino al consumo. El objetivo principal es el de producir combustible que pueda ser utilizado en otros reactores.

El combustible utilizado en estos reactores es uranio 238. Se trata de un isótopo del uranio no fisionable, al contrario del uranio 235 que sí se utiliza en los reactores convencionales.

El plutonio 239 es un material fisionable. Se obtiene bombardeando el átomo de uranio 238 con un neutrón, que al descomponerse (debido a su inestabilidad) se desprende de un electrón, transformándose en plutonio 239. A su vez, una parte del plutonio generado se fisiona al recibir el impacto de un neutrón, que a su vez origina otros tres neutrones. Una cantidad de ese plutonio es conservado como combustible para su utilización por otras centrales nucleares.

Estructuralmente, la central posee un núcleo de uranio y plutonio enriquecidos, que generan los neutrones para bombardear los átomos de uranio 238. Éste último se encuentra situado alrededor del núcleo del reactor en forma de varillas, y es el material que se enriquecerá absorbiendo neutrones, para posteriormente convertirse en el combustible útil.

Este tipo de reactores se denominan de *neutrones rápidos*, debido a que no disponen de moderador. Los neutrones a alta velocidad tienen mayor dificultad para producir fisiones, por este motivo es necesario concentrar mucha más cantidad de material para que se produzca la reacción, sin embargo tienen la ventaja de incrementar la producción de plutonio 239, que es la razón de funcionamiento de este tipo de reactores.

Un reactor de enriquecimiento produce temperaturas de funcionamiento de unos 500 grados centígrados, muy superior al de otras centrales nucleares, por ello precisa disponer de un sistema de absorción del calor, que a su vez no absorba neutrones, con objeto de no actuar como moderador (del que no dispone). Para ello se emplea sodio, que es sólido a temperatura ambiente, pero que se torna líquido a la temperatura de trabajo. En un tanque de sodio actuando como refrigerante se halla sumergido todo el bloque; el sodio cede su calor a un intercambiador de calor que también contiene sodio (el motivo de aislarlos es que el sodio explota con el agua) y de ahí se transfiere finalmente a un circuito de vapor de agua para su aprovechamiento.