

GENERADORES DE VAPOR SIEMENS

R. BOUECKE

DAÑOS DE LOS GENERADORES DE VAPOR EN EL MUNDO Y SUS CAUSAS

Tipos y causas de daños en Generadores de Vapor encontrados más frecuentemente en el mundo.

El uso del material INCONEL 600 ha producido considerables problemas de corrosión. Su susceptibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión por

agua del primario (primary water stress corrosion cracking PWSCC) es bien conocida. En el secundario la corrosión es debida en todos los casos a la presencia de productos de corrosión e impurezas salinas no volátiles que entran en el generador de vapor con el agua de alimentación y se depositan en las placas tubulares, los soportes de los haces de tubos y en los tubos mismos. Las sales, de las que siempre hay trazas en el agua de alimentación, pueden

F I Causas principales de daño en generadores de vapor en todo el mundo. Cuando el daño es serio, es necesaria la sustitución del generador para asegurar la continuidad económica de operación de la planta.

Problem	Aparición	Causas	Remedios	Caract. de KWU
SCC 	En todo el mundo No en K-PWR	• Altas tensiones residuales • Inconel 600	• Cambio de aleació (1) • Tto. térmico de alivio de tensiones (2)	I-800 modificado
Fretting 	En todo el mundo	• Vibración inducida por el flujo • Ataque por frotamiento en tubos/TSP	• Supresión de vibraciones en tubos (2) • Mejora del diseño	Diseño mejorado para TSP y AVB
Denting IGA IGSCC 	En todo el mundo No en K-PWR	• Chapas taladradas • TSP ferrítica • Condiciones químicas corrosivas	• Material resistente a la corrosión TSP (1) • Mejora de la química del agua (2)	Soportes ovales TSP AVT modificado (KWU)
Wastage, Pitting 	En todo el mundo	• Zonas de flujo lento • Acumulación de impurezas	• PO4-AVT (1) + (2) o • Reducción de la concentr. de PO4 • Limpieza anual de tubos	AVT modificado (KWU)
SCC IGA 	En algunos generadores No en K-PWR	• Hendiduras profundas • Acumulación de impurezas	• Mejora de la química del agua (1) + (2) • Evitación de hendiduras profundas	No hay hendiduras profundas AVT modificado (KWU)
PWSCC Ni content 	En todo el mundo KWU: en los antiguos GV de Obrigheim	• Susceptibilidad del Inconel 600	• Cambio de aleación (1) • Martillado (peening) y/o Tmto. térmico de alivio de tensiones (2)	I-800 modificado

SCC: Stress Corrosion Cracking; Agrietamiento por Corrosión Bajo Tensión.

IGSCC: Intergranular Stress Corrosion Cracking; Agrietamiento por Corrosión Intergranular Bajo Tensión.

PWSCC: Primary Water Stress Corrosion Cracking; Agrietamiento por Corrosión Bajo Tensión por Agua del Primario.

concentrarse y formar estos depósitos. Dependiendo de las condiciones del agua de partida y la región afectada del generador de vapor, pueden aparecer varios mecanismos de corrosión:

- Agrietamiento por corrosión bajo tensión. (Stress corrosion cracking SCC)
- Ataque intergranular. (Intergranular Attack IGA)
- Indentado (denting) (reducción del diámetro de los tubos del generador en los soportes y baffles)
- Picaduras
- Reducción o desgaste (corrosión uniforme en el seno de los depósitos que contienen fosfatos)

ESTOS PROBLEMAS SON DESCONOCIDOS PARA LOS GENERADORES DE VAPOR DE SIEMENS.

Al final de 1993 había 19 centrales nucleares Siemens PWR en operación comercial en todo el mundo con un total de 65 generadores de vapor Siemens instalados en dichas centrales. Esto representa aproximadamente 250.000 tubos de generadores y un

tiempo acumulado de operación de unos 707 años..

Siemens diseña sus generadores con gran cuidado y recomienda los adecuados procedimientos de operación. Hemos analizado los daños en los generadores ocurridos en todo el mundo y hemos tenido en cuenta los resultados en nuestro diseño. (Figura II)

Características de los generadores de vapor Siemens

Basados en la evaluación de extensas pruebas de laboratorio y de la experiencia operativa, los principios aplicados en el diseño de Siemens aseguran una operación continua libre de problemas y un fácil mantenimiento e inspección.

QUÉ HA HECHO SIEMENS PARA COMBATIR ESTOS PROBLEMAS

A principios de los años 60, seleccionamos el material Inconel 600 para los tubos de los generadores de la Central Nuclear de Obrigheim por sus excelentes características de transmisión de calor.

En 1968, sin embargo, cuando se identificaron los primeros signos de PWSCC en generadores hechos con tubos de Inconel 600, Siemens decidió usar un material diferente para los tubos de sus generadores.

Se eligió el Incoloy 800 por su resistencia tanto al agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC) inducida por cloruros como a la PWSCC.

Siemens ha optimizado este material para su uso en generadores de vapor, incrementando incluso más su resistencia a la corrosión. Este material optimizado ha sido probado en laboratorio en maquetas de generadores bajo condiciones cambiantes de agua y por un período de varios años en generadores de centrales de agua a presión.

La resistencia a la corrosión de este material ha resultado excelente en todos los casos. No ha habido casos de ataque de corrosión intergranular, corrosión bajo tensión por agua del primario o cualquier otra forma de corrosión bajo tensión.

Siemens dedica gran atención a evitar la corrosión en el diseño de, por ejemplo, la región de recirculación del secundario. Las zonas de estancamiento de flujo y de depósitos se minimizan mediante

F II

VENTAJA

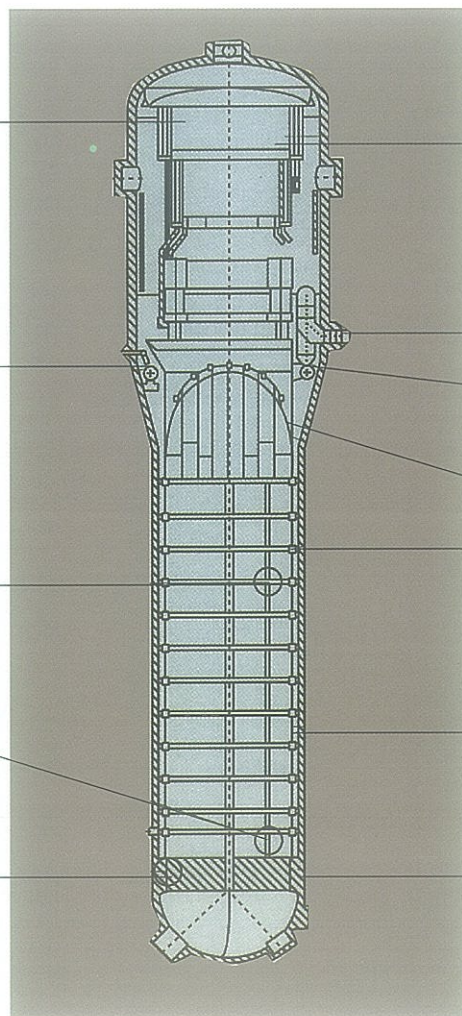
Sin humedad en el vapor

Sin secado
Sin golpes de ariete
Sin erosión
Sin corrosión

Sin depósitos en los soportes
Sin frotamiento (fretting)
Sin indentación (denting)

Sin corrosión bajo tensión
Sin ataque intergranular

Sin hendiduras de corrosión
Sin ataque intergranular



CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

El sistema de separación es verificado experimentalmente por experiencias en campo a largo plazo

Agua de alimentación
• Protección contra estratificación térmica

Anillo de agua de alimentación con tubos en J

Sistema soporte de tubos
• Minimización de resistencia al flujo

Tubos de Aleación Mod 800 (Alternativa 690 TT)

Soldadura tubo-placa
• Soldadura de conexión en el primario
• Expansión hidráulica en el lado del recargue (cladding)
• Dos exámenes mecánicos en campo

extensos y detallados estudios de distribución de flujo en esta zona.

Nuestra elección del material para los soportes de los haces de tubos difiere considerablemente de los usados por otras compañías. Basados en los resultados de las investigaciones de laboratorio, empleamos acero inoxidable de alta aleación para todas las partes que están en contacto con los tubos de los generadores y, haciendo esto, se elimina la posibilidad de daños inducidos como el denting. Esto ha sido confirmado por nuestra experiencia de operación de muchos años.

Las precauciones contra el agrietamiento por corrosión bajo tensión se toman durante la fabricación de los tubos minimizando las tensiones residuales en el material. Los requisitos relativos al diseño, fabricación y operación se coordinan cuidadosamente.

Detalles de diseño y fabricación de los Generadores de Vapor Siemens

Los generadores de vapor Siemens se caracterizan por un diseño que cumple todos los requisitos, hasta el más mínimo detalle, y por una fabricación de muy alta calidad.

A continuación se facilita información de algunos detalles de nuestros generadores de vapor.

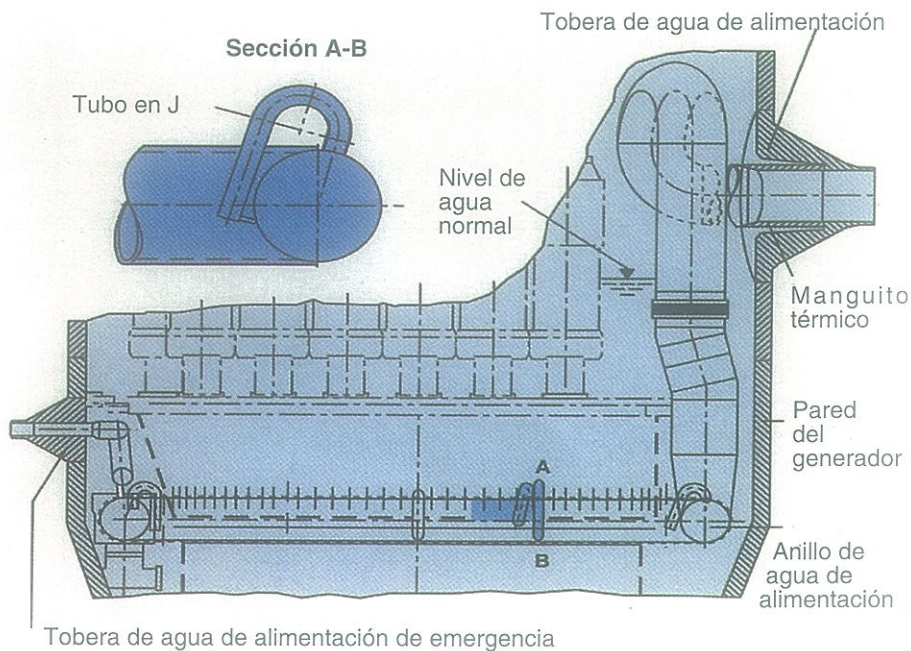
Entrada de agua de alimentación y sistema de distribución

En la versión standard de los generadores de vapor Siemens, el agua de alimentación entra por la parte superior de la sección de bajada (down comer) (Fig III) La tobera de agua de alimentación está protegida por un manguito térmico. Se minimizan por tanto las tensiones térmicas que aparecen en la tobera durante la admisión del agua de alimentación fría de emergencia. Una curva en la parte superior de la entrada de agua de alimentación evita la estratificación térmica en la zona de la tobera. El agua de alimentación sale finalmente por el rociador y por sus tubos en J soldados por debajo del nivel de agua al colector de bajada del generador de vapor. Este diseño asegura una distribución uniforme del agua de alimentación en la totalidad del anillo del colector de bajada (downcomer)

La excelente experiencia de operación conseguida hasta la fecha con este tipo de sistema de entrada de agua de alimentación confirma su fiabilidad.

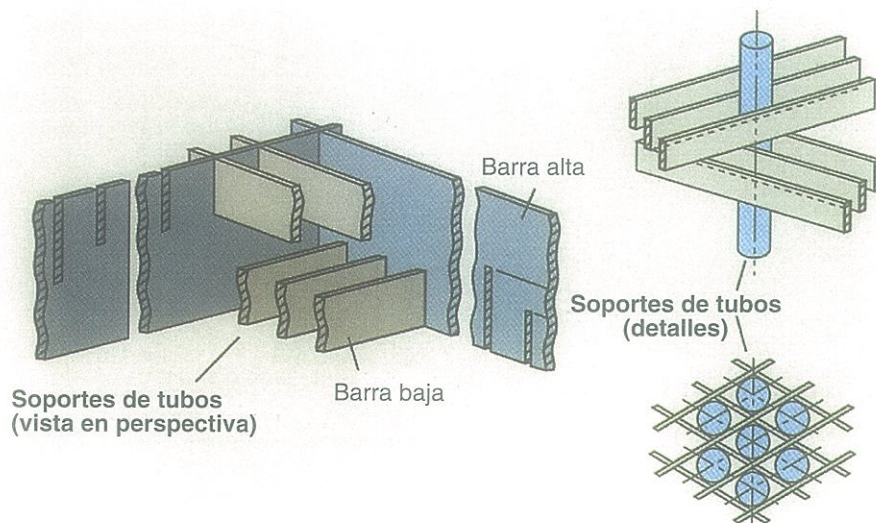
Los soportes de los haces de tubos

Con objeto de asegurar unas óptimas condiciones de flujo en los tubos de los generadores, incluidas las zonas de los soportes, los generadores Siemens han sido equipados desde el principio con unos sistemas de soporte de forma oval. Los soportes de los tubos instalados en la sección recta (Figura IV) están en contacto con los tubos solo en cuatro



F III Entrada de agua de alimentación y sistema de distribución en un generador de vapor Siemens standard

F IV Vista de detalle del diseño de soportes de tubos

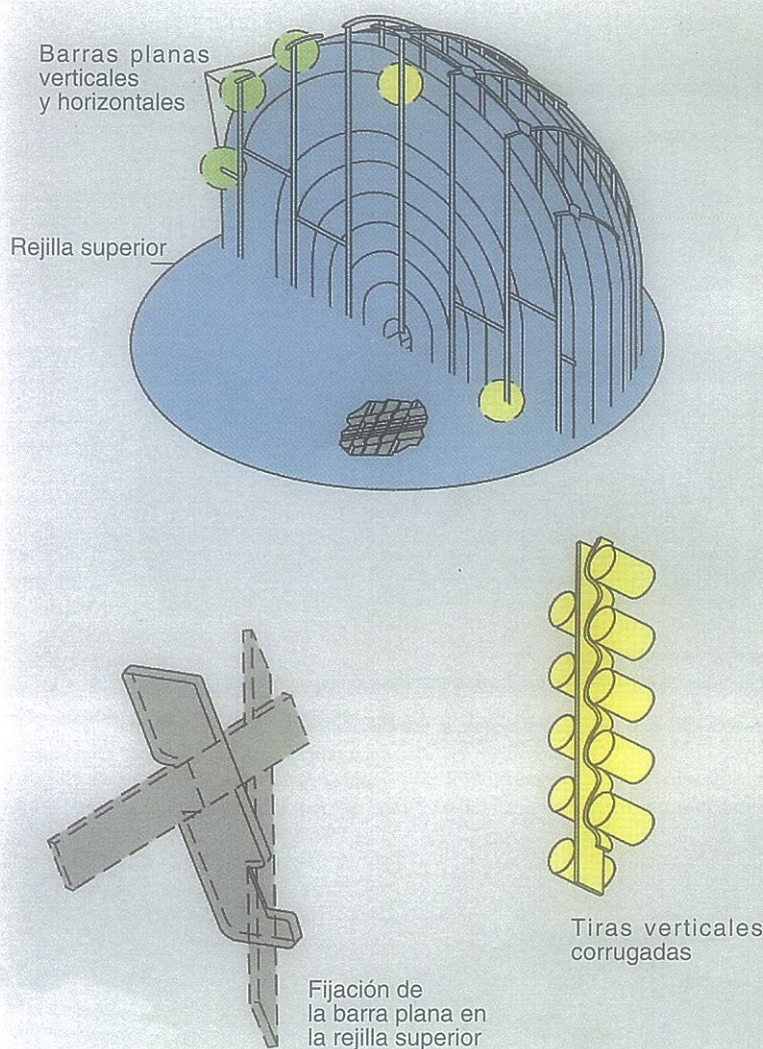


puntos. Este diseño proporciona grandes y abiertas áreas de flujo, causa una mínima caída de presión y evita la acumulación de depósitos.

Sistema de soporte en curvas en U

En la zona de las curvas en U, el sistema soporte de tubos, que está fabricado en acero inoxidable, proporciona un soporte fiable contra la vibración. (Fig V). La amplitud del soporte se determina de manera conservadora usando un método de diseño contra la vibración, el cual ha sido desarrollado basándose en pruebas y experiencia operativa. El sistema soporte de las curvas en U comprende los siguientes elementos:

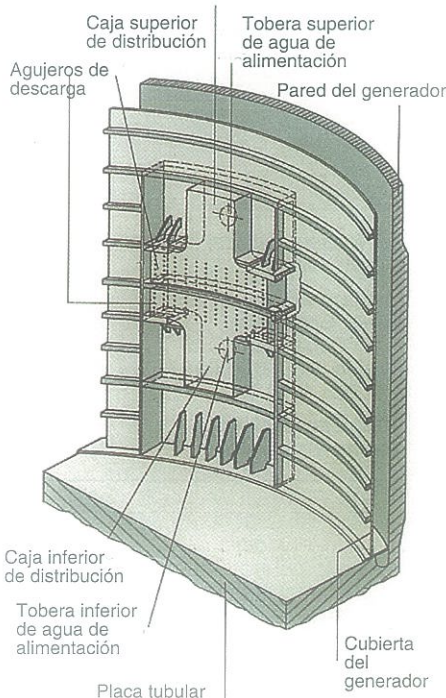
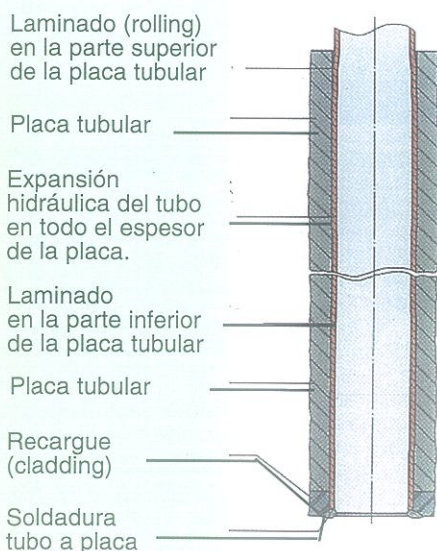
- Una fila central de tiras corrugadas que colocan los tubos en U en posición vertical. Los finales inferiores de las tiras corrugadas están provistos de ranuras que ajustan en un carril adosado a la parte superior del soporte oval.
- Durante el funcionamiento, las tiras corrugadas se mantienen en posición segura aún en condiciones de diferente expansión axial del sistema soporte y de los haces de tubos, causada por las variaciones de presión y temperatura, dejando a los tubos expandirse libremente.
- Tiras verticales que proporcionan el soporte a ambos lados de la fila central. Las tiras horizontales van soldadas entre las tiras verticales para mantener



F V Soportes de tubos en la zona curva en U.

F VII Economizador

F VI Unión tubo a placa en generadores de vapor Siemens



las aberturas necesarias de los soportes. Las tiras verticales se bloquean con el soporte oval superior.

Los elementos individuales del sistema de soporte de las curvas en U han probado su excelente fiabilidad durante más de 15 años de funcionamiento. Es más, el concepto de tubeado compacto de Siemens, en el cual el haz de tubos está apoyado sin holguras en la zona de las curvas, ha sido una considerable contribución para asegurar que no aparezca el daño por frotamiento (fretting).

Uniones tubo-placa

En algunos de los antiguos generadores de vapor hechos por otros fabricantes, las uniones tubo-placa a veces presentaban grandes rendijas en el lado del secundario, en las cuales se depositaban impurezas que provocaban consiguientemente el ataque de la corrosión intergranular (IGA) y el agrietamiento por corrosión intergranular bajo tensión (Intergranular Stress Corrosion Cracking IGSCC).

En los generadores Siemens no hay tales rendijas entre los tubos y la placa tubular, de manera que no pueden ocurrir problemas de corrosión de esta índole. (Fig VI).

Los tubos de los generadores Siemens van unidos a la placa tubular en dos fases: por expansión hidráulica del tubo en todo el espesor de la placa y por laminación (rolling) en ambos extremos de la zona expandida.

Las ventajas de esta técnica de dos fases son:

- No quedan hendiduras entre los tubos y la placa tubular en ningún punto del espesor de la placa tubular.
- Se facilitan las transiciones suaves entre las secciones expandidas y no expandidas de los tubos.
- El paso suplementario de laminación asegura un firme anclaje de los tubos a la placa sin hendiduras.

Economizador

El daño por frotamiento no puede ocurrir en los generadores Siemens equipados con economizadores en la misma extensión en que se han producido en los economizadores de otros fabricantes.

En los 15 generadores Siemens con economizador, las cajas de distribución se han instalado a la entrada de agua de alimentación contra los haces de tubos, lo que reduce la velocidad de flujo en tal grado que no pueden inducirse en los tubos vibraciones que no sean aceptables. (Fig VII).

Por consiguiente, ninguna de las inspecciones realizadas desde que en 1982 se puso en operación el primer generador con economizador ha revelado ningún signo de daños por frotamiento (fretting).

CONCLUSIONES

Las principales características de diseño de los Generadores de Vapor de SIEMENS están en uso - básicamente sin

CENTRAL	Operación Comercial	Nº GV	Nº de tubos	Nº de fugas tubos	Nº de tubos tapnds.	Nº de tubos taponados							
						W	F	P	SCC	D	PA	PWSCC	Other 3)
Stade	1972	4	11,972	1	328	319	-	-	-	-	-	-	9
Borssele	1973	2	8,468	1	123	114	9	-	-	-	-	-	-
Atucha 1	1974	2	7,890	5	104	3	94	-	-	-	-	-	7
Biblis A	1975	4	16,240	3	604 1)	33/447 2)	49	-	-	-	63 1)	-	12
Neckarwestheim 1	1976	3	12,063	1	18	8	4+3 6)	-	-	-	-	-	3
Biblis B	1977	4	16,084	1	61	7	50	2 5)	1 5)	-	-	-	1
Unterwesser	1979	4	16,084	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Goesgen	1979	3	12,318	0	12	1	10 6)	-	-	-	-	-	1
Grafenrheinfeld	1982	4	16,344	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Obrigheim (nueva)	1983	2	6,020	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Grohnde	1985	4	16,344	0	1	-	1	-	-	-	-	-	-
Philippsburg 2	1985	4	16,424	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Brokdorf	1986	4	16,344	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Isar 2	1988	4	16,472	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Emsland	1988	4	16,472	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Trillo 1	1988	3	12,258	1	5	-	4 6)	-	-	-	1 7)	-	-
Neckarwestheim 2	1989	4	16,472	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Ringhals 2 4)	1989	3	15,390	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Doel 3	1993	3	15,390	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-

65 265,049 13 1256 = 0,47 %

W = Reducción

F = Frotamiento (Fretting)

P = Picaduras

D = Indentación (Denting)

SCC = Agrietamiento por Corrosión Bajo Tensión

PA = Acciones Preventivas

PWSCC = Agrietamiento por Corrosión Bajo Tensión por Agua del Primario

1) 63 tubos taponados como medida de precaución debido a la instalación de AVBs adicionales

2) Reducción o desgaste en la parte interior de las curvas en U

3) La mayoría no inspeccionable

4) Tubos de Inconel 600

5) Tubos extraídos

6) Debido a piezas extrañas desprendidas

7) Tubos extraídos para investigación.

F VIII Resumen del estado en las centrales de los Generadores de Vapor SIEMENS al 31.12.93

cambios - durante más de 20 años. Todas las características de diseño se han afirmado como libres de averías según la experiencia de operación por su

implantación en las sustituciones de generadores o en nuevos diseños. Debido a su excelente historia en cuanto a la inspección, no son necesarios los

enmanguitados en los Generadores de vapor SIEMENS/KWU. No hay prevista ninguna sustitución en el futuro de ningún G.V.

Viene de la pág. 23

ASCÓ como ALCARAZ han creado grupos ad-hoc, dentro de sus propias organizaciones, responsables de la gestión global del proyecto. Aunque la estructura de estos grupos es diferente en ASCÓ y ALMARAZ, los objetivos y actividades son coincidentes, cubriendo las siguientes áreas:

- Dirección del Proyecto.
- Control presupuestario.
- Coordinación y control de interfaces.
- Planificación.
- Ingeniería y diseño.
- Fabricación.
- Estudios Nucleares.
- Montaje y Pruebas.
- Garantía de Calidad.
- Transporte.

LICENCIAMIENTO

Desde el inicio del Proyecto, ASCÓ y ALMARAZ conjuntamente han seguido la práctica de mantener informado al Consejo de Seguridad Nuclear de todas las actividades en desarrollo en el proyecto, tanto por parte del

Consorcio Siemens-Framatome en el área del diseño del Generador, como por parte de Westinghouse, Enusa y las respectivas empresas de ingeniería, cada una respecto a sus alcances de trabajo.

El área de montaje, dadas las diferencias existentes entre los dos proyectos, requiere un tratamiento específico para cada Central, lo que impide en este área una actuación conjunta entre las dos Centrales con el grado de integración y similitud que en el diseño del Generador y el Estudio de Compatibilidad.

Dentro del proceso de licenciamiento se ha enviado al Consejo de Seguridad Nuclear el documento Topical Report on Replacement Steam Generator que sirvió de base para el licenciamiento por la U.S.N.R.C. del diseño del Generador de Vapor de Siemens.

Asimismo, y como parte del Licenciamiento del criterio Fuga antes de la Rotura (LBB) se ha transmitido al CSN el documento de Westinghouse Leak Before Break Feasibility Report. Independientemente de la documentación específica que el CSN ha requerido o pueda requerir en el futuro para su evaluación, el documento bá-

sico transmitido al CSN es el Informe de Licenciamiento del Proyecto de Sustitución de los Generadores de Vapor que engloba todas las áreas que constituyen el proyecto: diseño, fabricación, montaje, descontaminación, protección radiológica, etc.

El alcance de este documento es similar para ASCÓ y ALMARAZ, aunque obviamente su contenido se adapta a las particularidades de cada una de las centrales.

Basado en este documento, el Consejo de Seguridad Nuclear ha emitido para ASCÓ la Apreciación Favorable de las Bases del Proyecto de Sustitución de los Generadores de Vapor.

Se enviará a la Administración la propuesta de modificación del Estudio Final de Seguridad y Especificaciones Técnicas de Funcionamiento en las fechas compatibles con el programa de licenciamiento de la Sustitución de cada Central.

Adicionalmente, el CSN ha iniciado, tras la revisión de la documentación, la realización de auditorías de las organizaciones implicadas en el proyecto, habiendo auditado hasta el momento a Westinghouse, Enusa, Ensa y ALMARAZ/ASCÓ.