Sumario

ANEXO A: EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL EPR _____ 3

ANEXO B: DETALLES DE LOS DETECTORES DE NEUTRONES ___ 5

ANEXO C: DETALLE DE LAS LANZAS DE INSTRUMENTACIÓN INTRANUCLEAR DEL EPR _____ 7

ANEXO D: DETALLES DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS NITRÓGENO DEL *AEROBALL* _____ 11

ANEXO E: DETALLE DE LOS TOPES DE VÁLVULA SOLENOIDE DEL SISTEMA *AEROBALL* _____ 13

ANEXO F: DETALLES DE LA MESA DE MEDIDA *AEROBALL* ____ 15

ANEXO G: COMPARACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN NUCLEAR DE ASCÓ Y DEL EPR _____ 17

BIBLIOGRAFÍA ANEXOS _____ 20

Referencias bibliográficas 20

Anexo A: Evolución de la tecnología del EPR

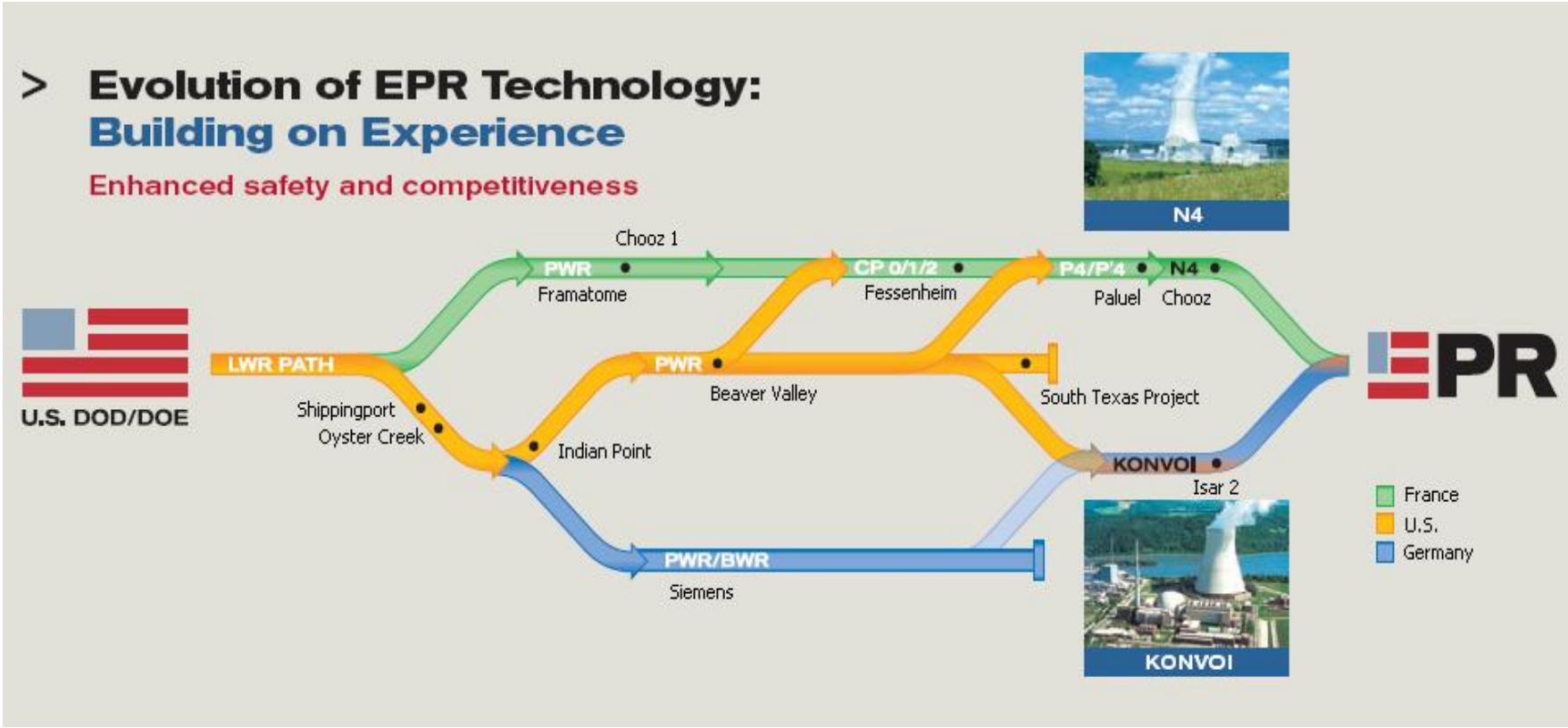


Fig. A.1: Evolución de la tecnología EPR. [1]

Anexo B: Detalles de los detectores de neutrones

- **Modos de operación de las cámaras de ionización: de corriente continua y de impulsos**

Las cámaras de ionización se clasifican, por su forma de operar, en cámaras de corriente continua y cámaras de impulsos. Las primeras están proyectadas para poder medir la intensidad media de corriente que atraviesa la cámara, que es, en general, proporcional a la intensidad de radiación que recibe. En las cámaras de impulsos se detectan por separado los impulsos eléctricos individuales a que dan lugar, en uno de los dos electrodos llamado electrodo colector, cada conjunto de los iones creados por cada partícula ionizante que atraviesa el volumen de la cámara.

- **Cámaras de ionización: zona de saturación**

Se supone una cámara (cilíndrica o plana), constituida por un recinto lleno de un gas conveniente a la presión oportuna, en el que se encuentran dos electrodos aislados entre sí y a los que se aplica una diferencia de potencial (tensión de polarización). Se supone también que una radiación nuclear constante en naturaleza, intensidad y energía, atraviesa el volumen de la cámara. La radiación nuclear produce ionización en el gas de llenado.

Para tensiones de polarización bajas, el campo eléctrico en la cámara es muy débil y el movimiento de los iones, lento, resultando que muchos de ellos, después de formados, se recombinan de nuevo y no alcanzan los electrodos, con lo que la corriente observada es muy reducida. Al aumentar la tensión, aumenta el campo eléctrico y con ello, aumenta la velocidad de desplazamiento de iones y electrones, por lo que un mayor número de ellos alcanza los electrodos, aumentando así la corriente.

Una vez el campo alcanza la intensidad suficiente para que la recombinación prácticamente no se produzca, se llega a la **corriente de saturación**, que permanece constante aunque se aumente la tensión aplicada. Cualquier aumento de la tensión de polarización será incapaz de aumentar el número de cargas arrastradas hasta los electrodos, puesto que ya lo son todas las que se producen. Es por eso que en esta zona la amplitud de los impulsos es independiente de la tensión de polarización, y depende solamente de la carga liberada por la partícula ionizante. Esta zona recibe el nombre de **zona de saturación**, y es en la que trabajan las cámaras de ionización.

❖ Contadores proporcionales: zona proporcional

La zona de saturación se caracteriza por ser constante, es decir, es una zona en la que la amplitud del impulso no varía por más que aumente la tensión de polarización. Sin embargo, a partir de un cierto punto esto deja de ser cierto, y si se sigue incrementando la tensión aplicada, el tamaño del impulso empieza a aumentar de nuevo, aunque el número de iones primarios producidos por las partículas a detectar no haya variado. Esto es debido a que, a partir de un cierto nivel de tensión, el campo eléctrico es tan intenso que los iones se aceleran lo suficiente como para ionizar por choque a otros átomos que encuentran en su recorrido hacia el electrodo colector, liberando así nuevas cargas que a su vez ionizarán también otros átomos.

Es lo que se conoce como **multiplicación por avalancha**. Este efecto hace que lleguen al colector no sólo los iones primarios, sino también los generados después por avalancha, y es por eso que la amplitud del impulso aquí va en aumento. Ésta se conoce como **zona proporcional**, y es en la que trabajan los contadores proporcionales.

Anexo C: Detalle de las lanzas de instrumentación intranuclear del EPR

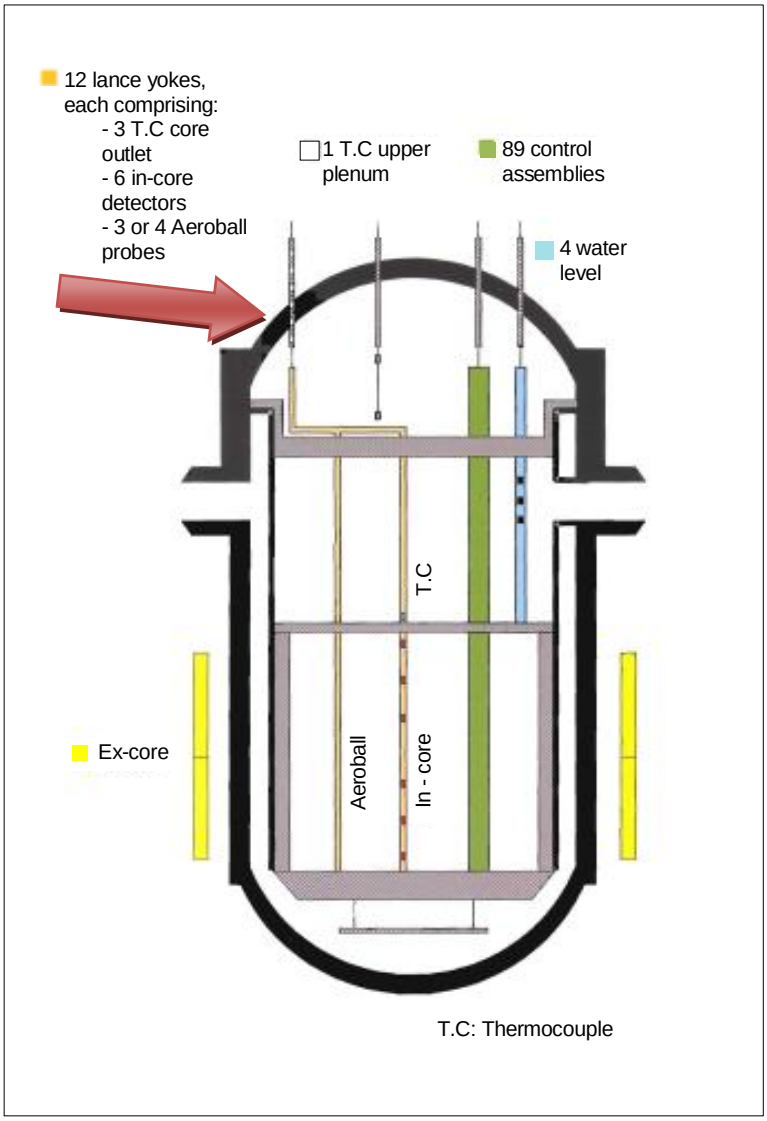


Fig. C.1. Disposición de la lanza de instrumentación en el reactor, indicada con una flecha roja. [2]

Las lanzas de instrumentación se introducen en la vasija del reactor por la parte superior. El eje de la lanza pasa a través de las toberas (*nozzle instrumentation* en la figura 5.4 de la Memoria) de la tapa de la cabeza de la vasija. Estas penetraciones están sujetas a revisiones estándares de detección de fugas. Las lanzas se han previsto de manera que se faciliten las tareas de su manipulación.

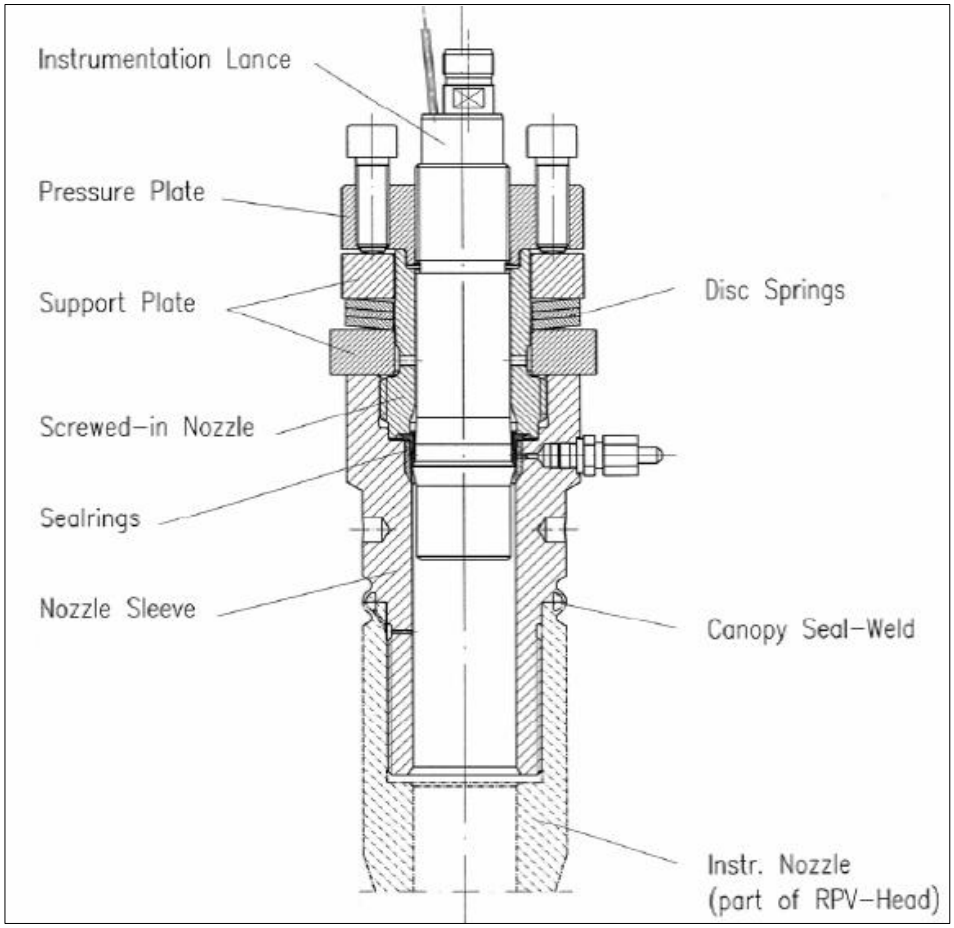


Fig. C.2. Detalle del cierre de la lanza de instrumentación. [3]

Los sistemas de medida AMS y SPND van montados en las lanzas de instrumentación, dentro de la vasija del reactor (ver figura C.1). Estas lanzas están hechas de acero inoxidable austenítico. Se trasladan a través de la piscina de almacenamiento y el pozo del reactor hasta justo encima de sus posiciones en el reactor. Entonces, se bajan lentamente, de manera que los *fingers* se introducen en los tubos guía, con la ayuda de unos embudos guía móviles de varias alturas.

Una vez insertados los *fingers*, la lanza continua bajando hasta que la brida queda apoyada en la estructura soporte superior del núcleo. Este proceso asegura que los *fingers* y la lanza entera quedan correctamente colocados en el núcleo. Cuando se baja la tapa de la cabeza de la vasija, unos embudos guía fijos a los toberas de penetración del eje de la lanza aseguran que el eje de la lanza se inserta en la tobera correctamente.

El eje de la lanza sirve para conducir los tubos de aerobolas, los tubos de gas y los cables de los SPND hacia fuera de la vasija a través de toberas especiales realizadas en la tapa de la cabeza de la vasija. El eje de la lanza es básicamente como un manguito robusto. Por su extremo superior, llamado cabeza de la lanza, los cables y tubos son guiados hacia fuera mediante penetraciones herméticas realizadas en la cabeza de la vasija.

Una vez se tiene la tapa de la vasija colocada en su sitio, se instalan los cierres de las toberas (ver figura C.2). Se utiliza un sistema de anillos de sellado que hace que la conexión entre el eje de la lanza y la tobera de instrumentación sea estanca. Tras la instalación de los equipos pertinentes en la cabeza de la vasija, se conectan los cables y tubos desde la cabeza de la lanza al panel de enchufes.

Los cables de los sistemas AMS y SPND, que están forrados de metal, recorren sus correspondientes fingers, se reúnen en la brida de la lanza y pasan por el eje de la lanza, y salen del reactor atravesando las toberas que hay en la tapa de la cabeza de la vasija. Los tubos de aerobolas y de gas (del sistema AMS) se sueldan a la cabeza de la lanza para asegurar una conexión hermética en el extremo superior del eje de la lanza. De manera similar, los cables de los SPND primero se sueldan a una vaina que está soldada a la cabeza de la lanza. Esta penetración estanca de los cables se integra dentro de una tubería de unión en la cabeza de la lanza; sin embargo, ésta puede ser desconectada en caso de ser necesario.

Anexo D: Detalles del sistema de suministro de gas nitrógeno del *Aeroball*

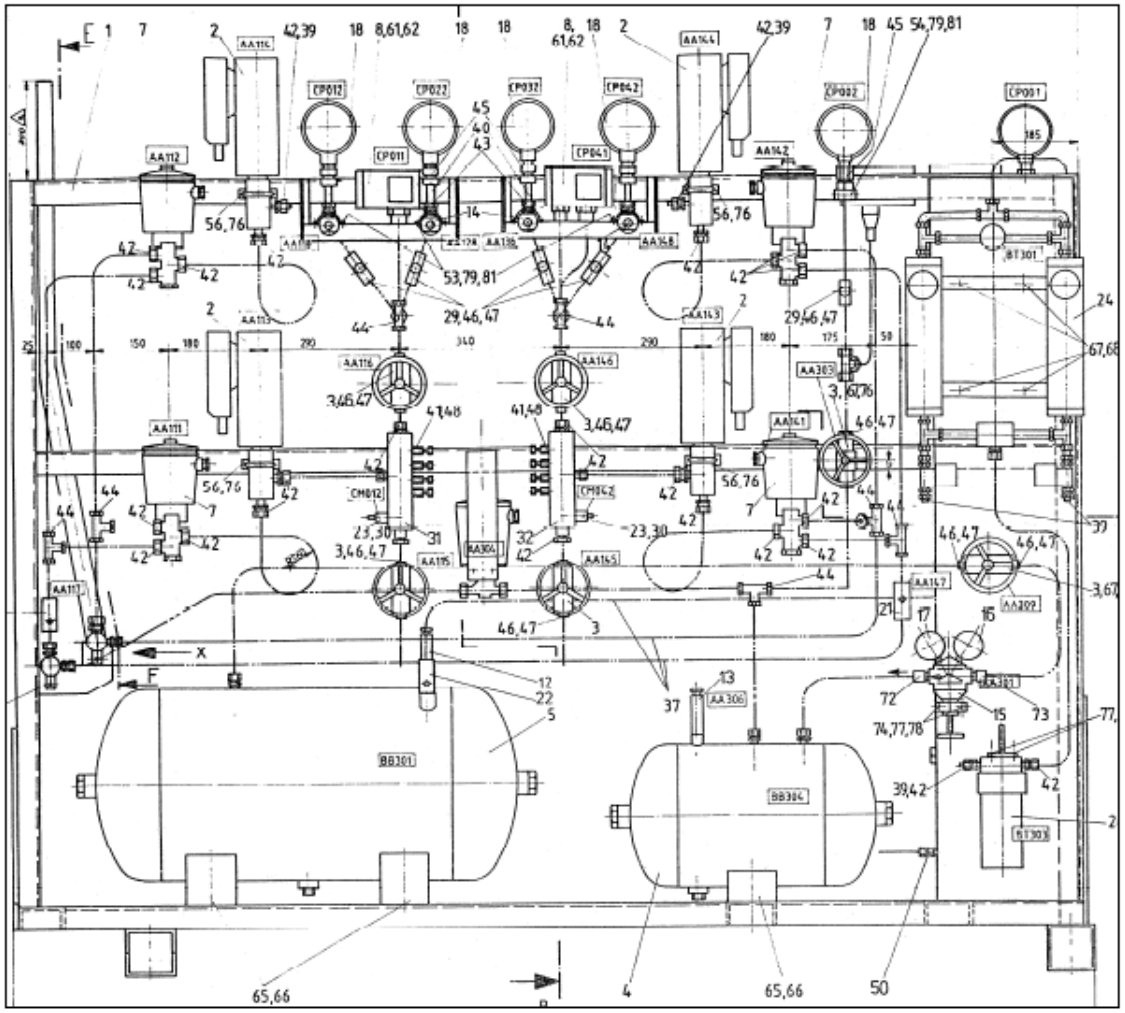


Fig. D.1 Plano del sistema de suministro de N_2 para el transporte de *Aeroball*. [4]

Fig. D.2 Fotografía del sistema de suministro de N_2 para el transporte de *Aeroball*. [4]

Anexo E: Detalle de los topes de válvula solenoide del sistema *Aeroball*

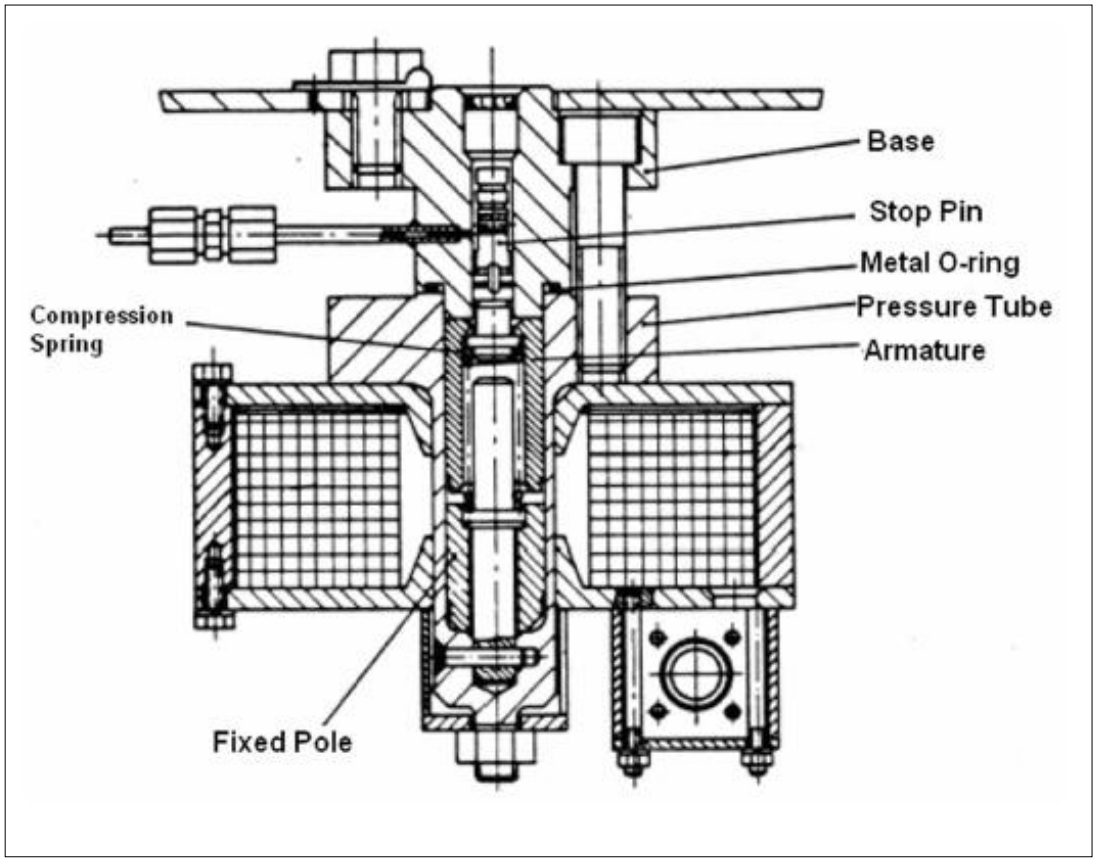


Fig. E.1 Detalle de uno de los topes de válvula solenoide del sistema de transporte de las aerobolas.[3]

Anexo F: Detalles de la mesa de medida *Aeroball*

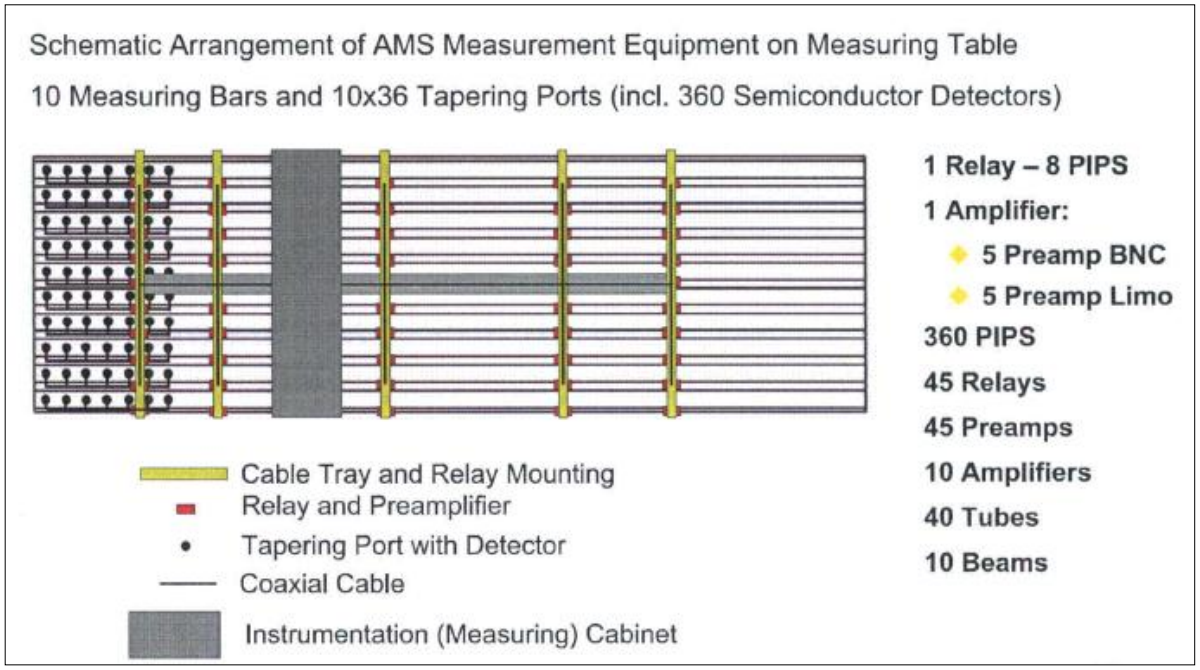


Fig. F.1 Esquema de la vista superior de la mesa de medida. [5]

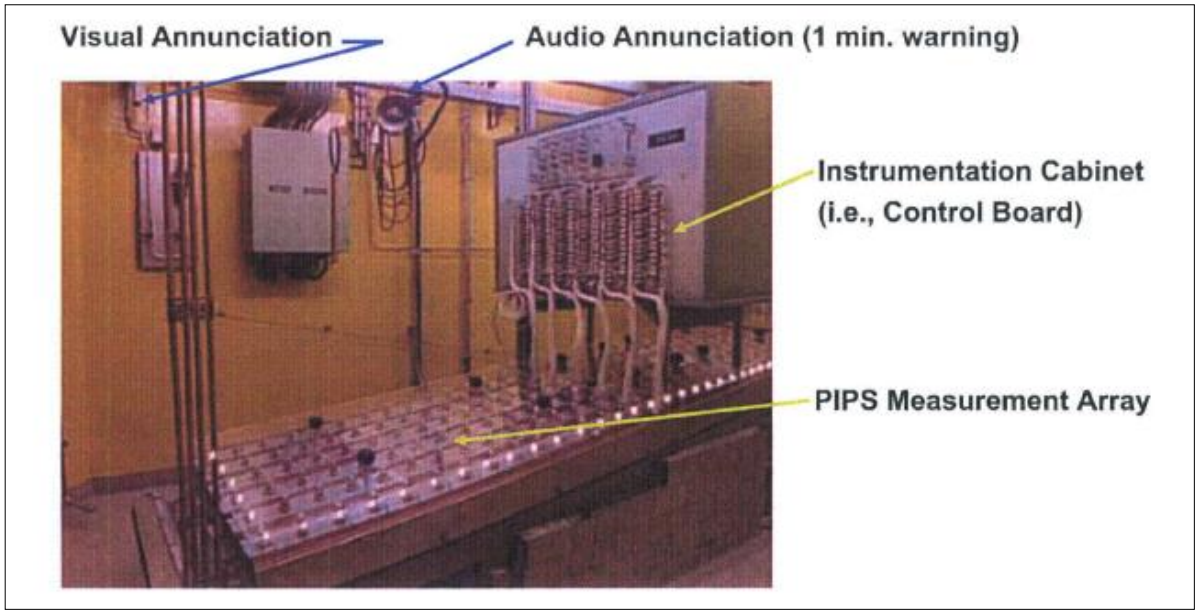
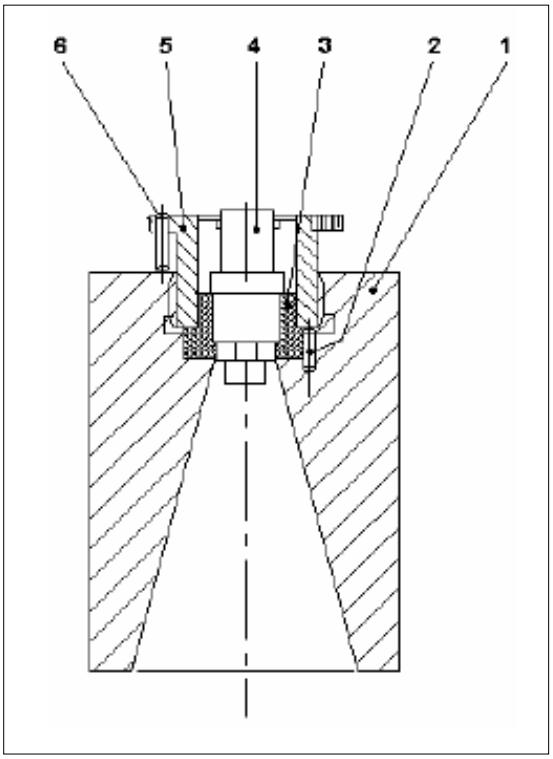


Fig. F.2 Sala de la mesa de medida. Se señalan las alarmas visual y acústica, el armario de instrumentación (o panel de control) y la matriz de detectores de semiconductor (*PIPS*). [5]

❖ **Detalle de los detectores de semiconductor de la mesa *Aeroball.***



1. Tapering port
2. Guide pin
3. Ceramic insulation insert
4. Silicon surface barrier detector
5. Knurled screw
6. Locking pin

Fig. F.3 Detalle de las distintas partes de un detector de semiconductor de la mesa AMS. [3]

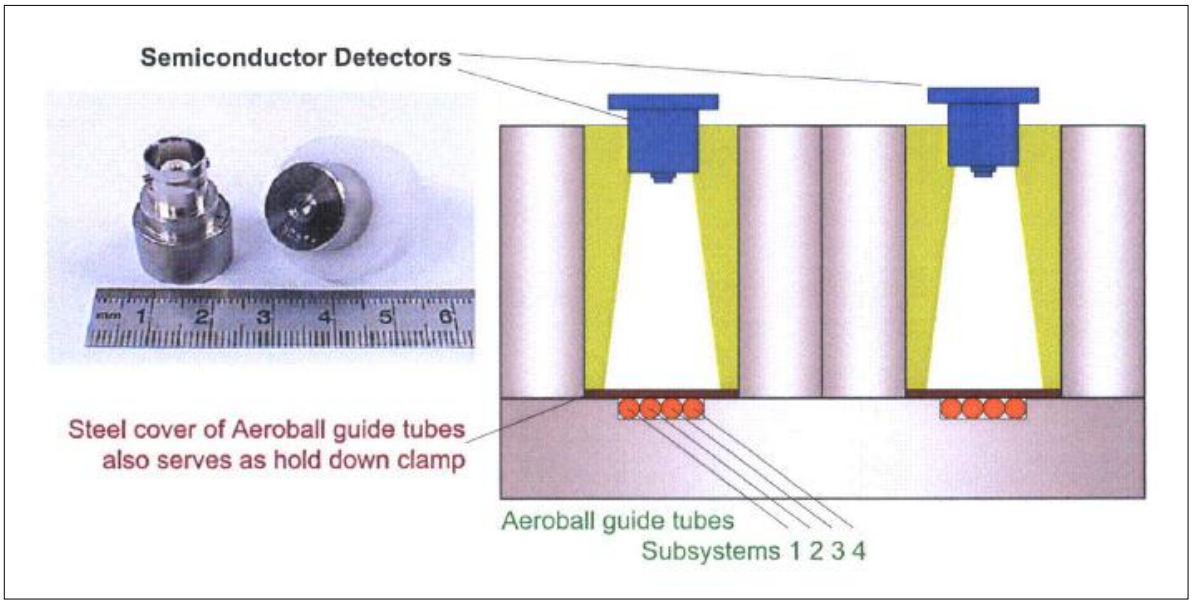


Fig. F.4 Detalle de las dimensiones de un detector de semiconductor, y disposición en la mesa de medida, destacando la separación de las bolas en 4 subsistemas. [5]

Anexo G: Comparación de la instrumentación nuclear de Ascó y del EPR

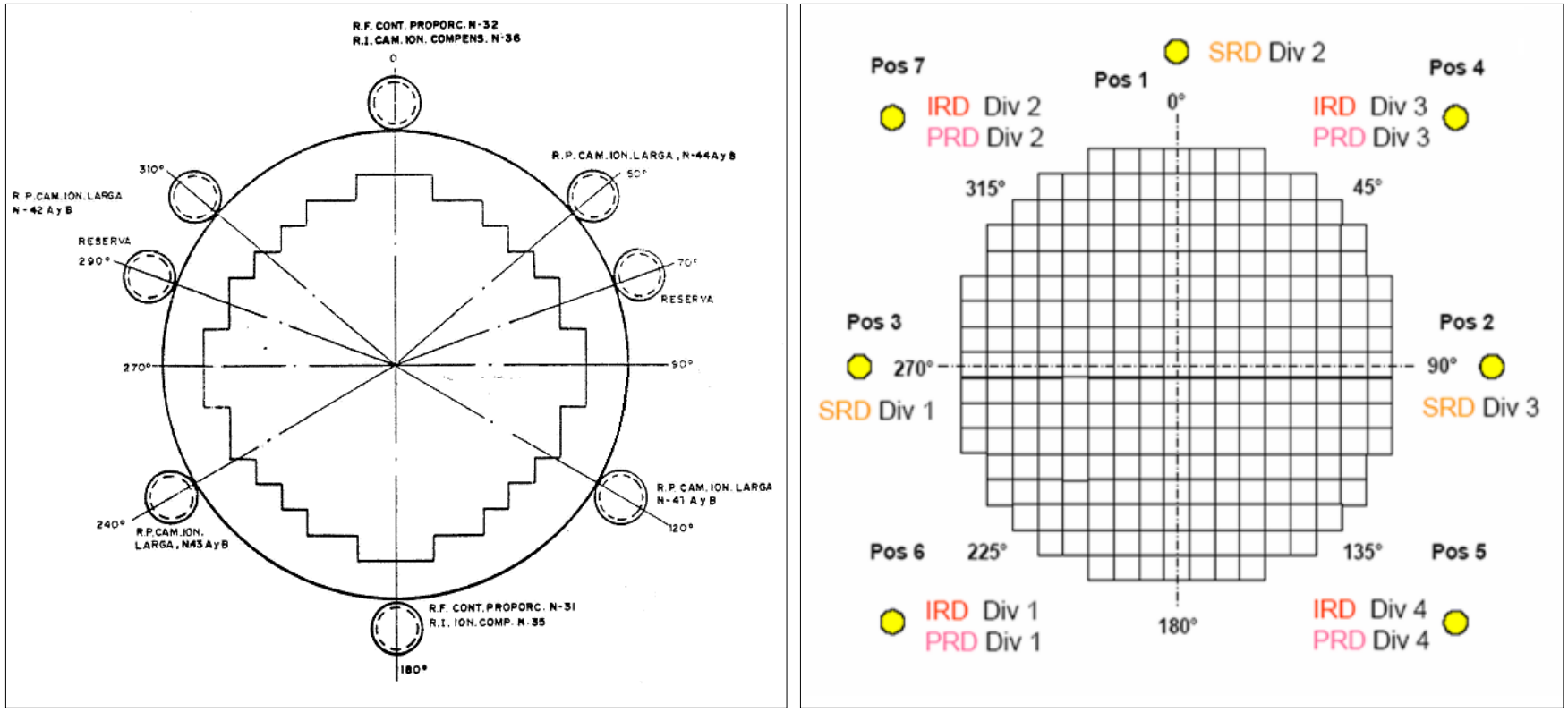
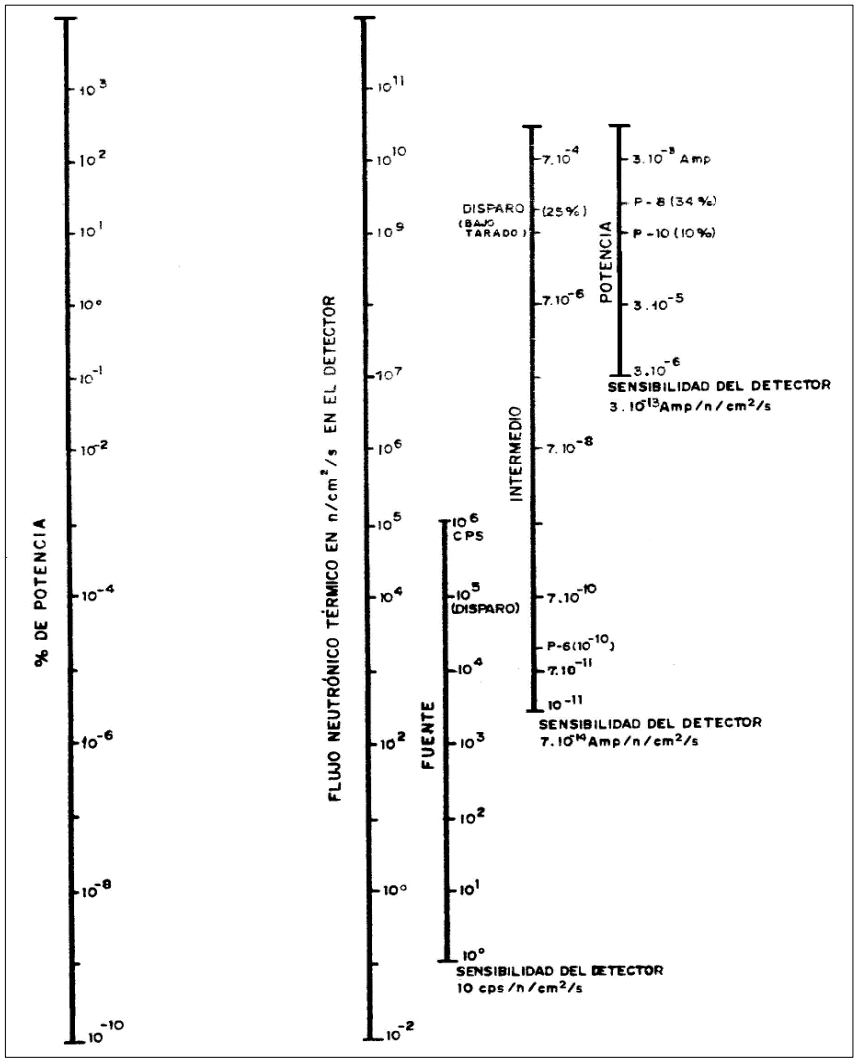


Fig.G.1 Detalle de la instrumentación externa, en el reactor de Ascó [6] y en el EPR [7], respectivamente.



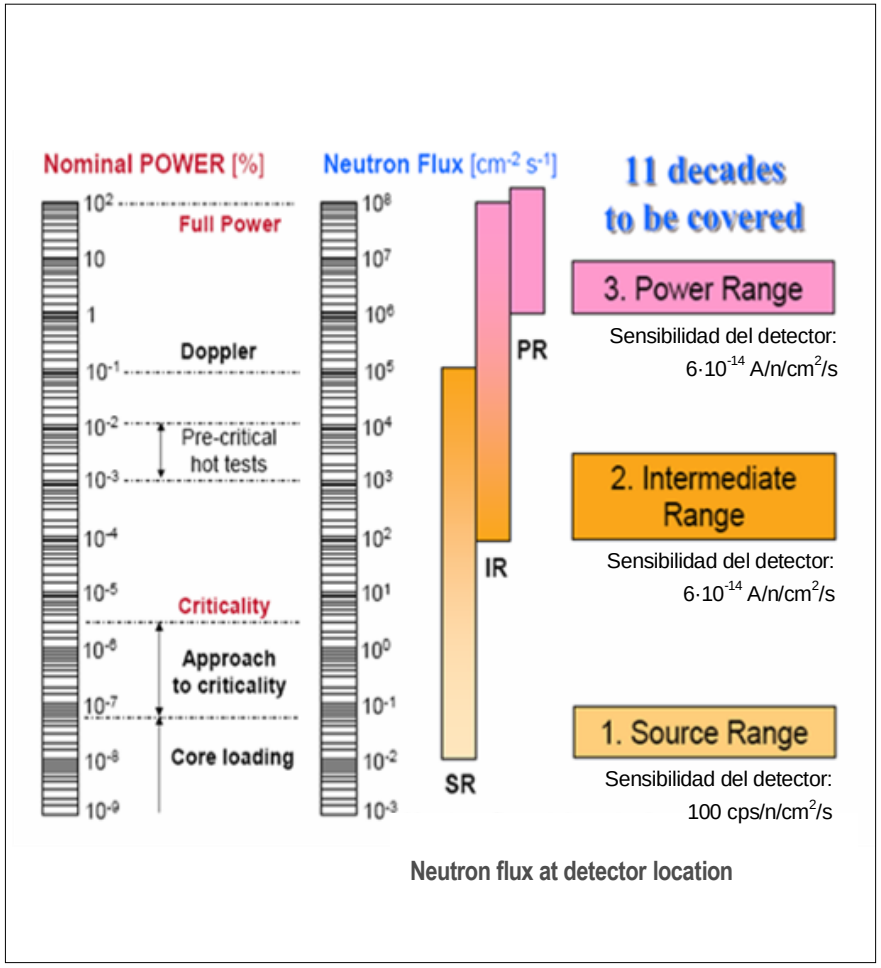


Fig.G.2 Comparación de rangos de medida de la instrumentación externa de los reactores de Ascó [6] y EPR [7].

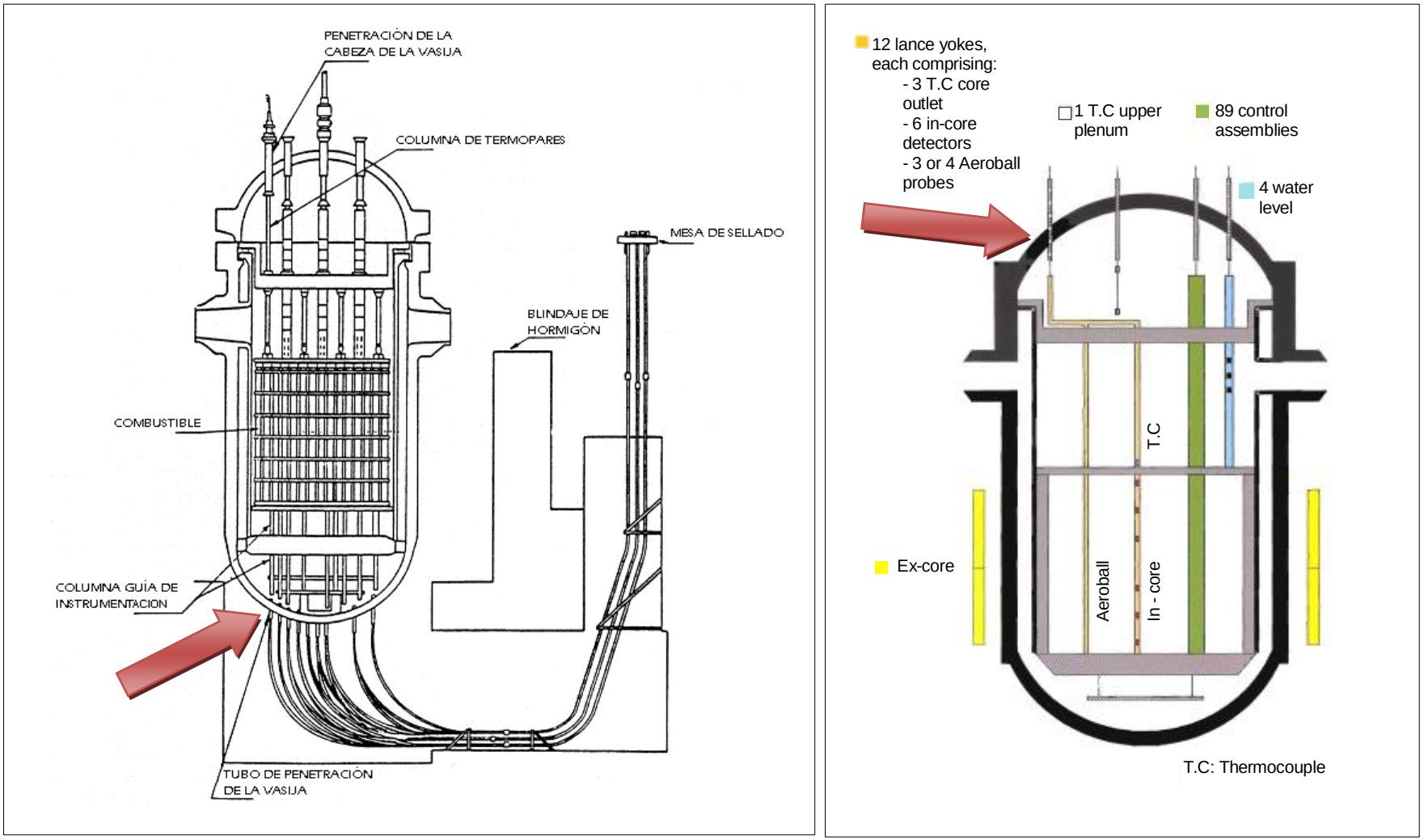


Fig.G.3 Detalle de la distinta zona de introducción de la instrumentación interna, en el reactor de Ascó [6] y en el EPR [2], respectivamente.

Bibliografía Anexos

Referencias bibliográficas

[1] AREVA NP Inc. Brochure U.S. EPR. [http://www.areva-np.com/scripts/info/publigen/content/templates/show.asp?P=494&L=US&SYNC=Y&ID_CAT=305, mayo 2009]

[2] Framatome ANP Inc. *EPR Design Description.* August 2005.

[3] AREVA NP Inc. *U. S. EPR Nuclear Incore Instrumentation Systems Report*. December 2006.

[4] AREVA NP Inc. *U.S. EPR Standard Design Certification: Response to Request for Additional Information Nº 194 (598)*, Revision 0, 03/24/2009.

[5] AREVA NP and the NRC. Mark Royal, Michael Smith, and Majed Natour. *Aeroball Measurement System*. Instrumentation & Controls and Fuels. NRC Meeting, Maryland, September 16, 2009.

[6] RODRÍGUEZ CARABIAS, J. *Sistemas de la central PWR aplicado a Ascó.* Departamento de Física e Ingeniería Nuclear de la ETSEIB, 1984.

[7] AREVA NP Inc. *POWERTRAX/E Online Core Monitoring Software for the U.S. EPR*. Technical Report. November 2007.