



Accidentes nucleares

Norberto Redondo Melchor
Doctor Ingeniero Industrial

1

Programa

1. Central nuclear
2. Seguridad en las centrales nucleares
3. Three Mile Island
4. Chernobyl
5. Fukushima

2

Central nuclear

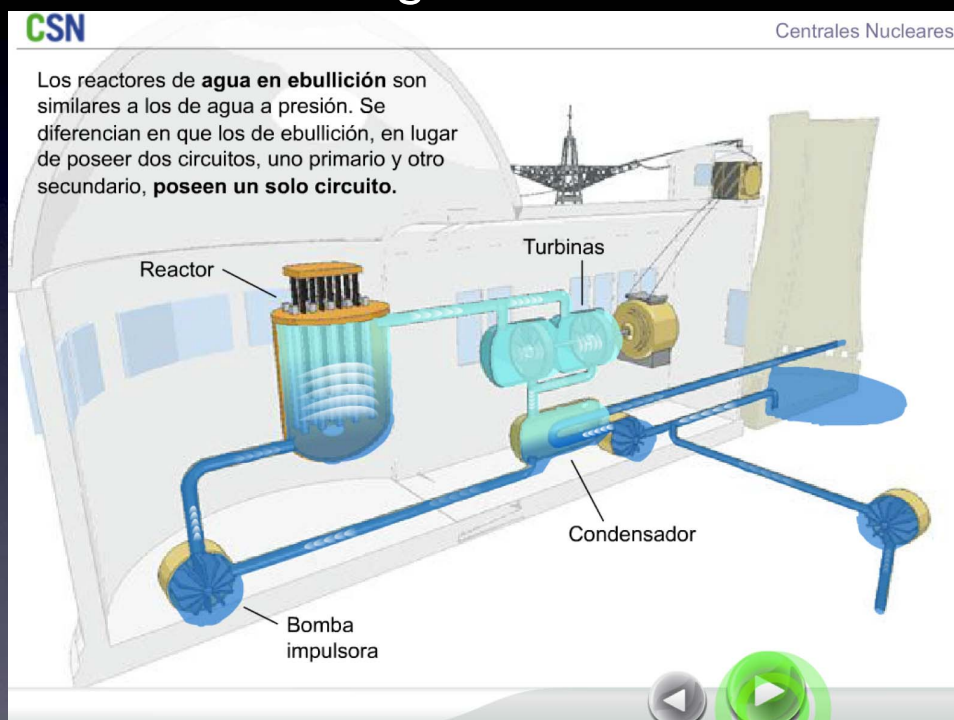
Primeros reactores

Cronología:

- 1942 proyecto Manhattan (Robert Oppenheimer)
- 1945 bomba Trinity (desierto Alamogordo)
- 1945 bomba uranio (Hiroshima) y plutonio (Nagasaki)
- 1955 submarino nuclear Nautilus SSN-571
- 1960 BWR (General Electric) / PWR (Westinghouse)
-

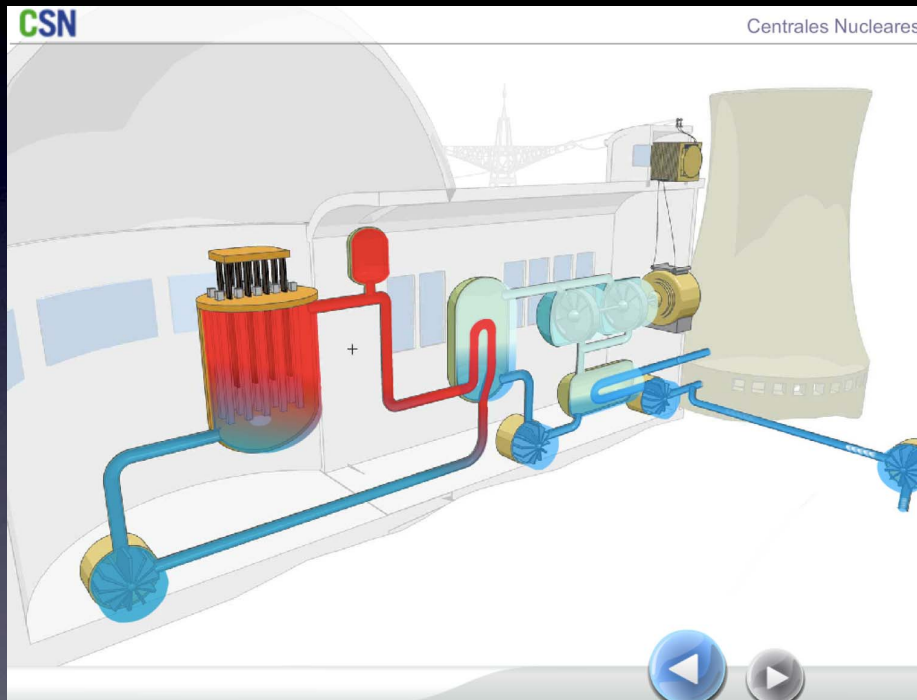
Central nuclear

BWR - *Boiling Water Reactor*



Central nuclear

PWR - *Pressurized Water Reactor*



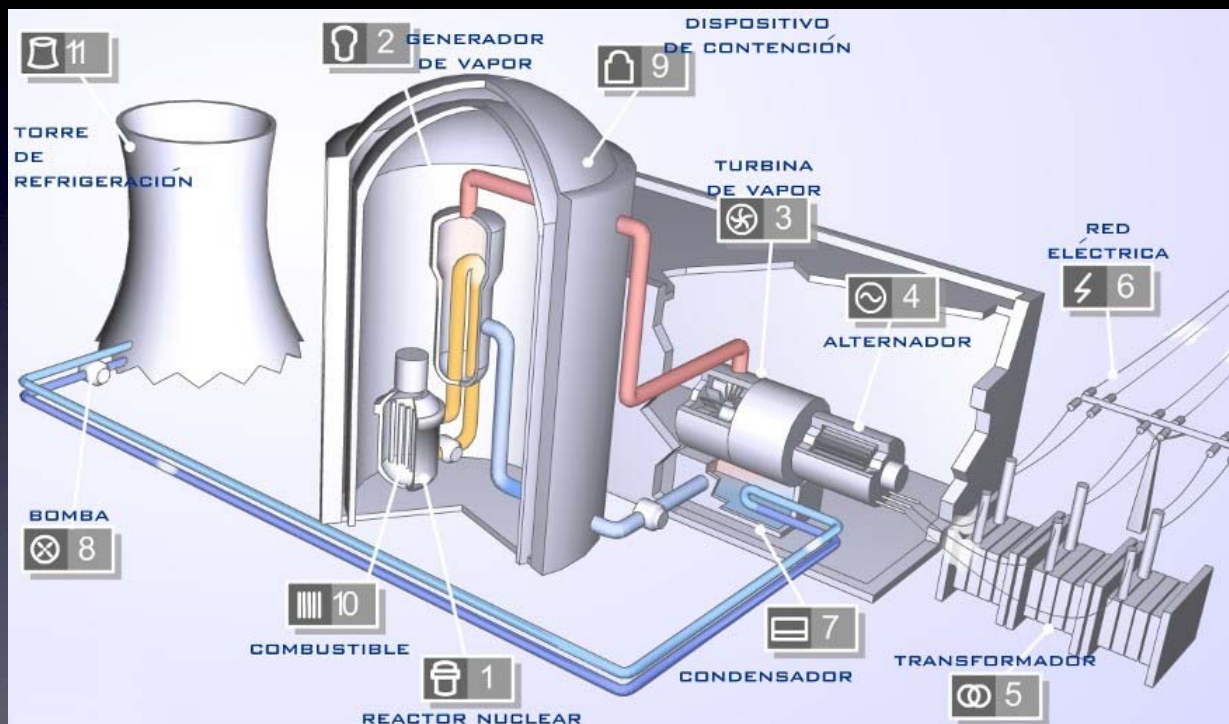
Wikipedia

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

7

Central nuclear

PWR - *Pressurized Water Reactor*

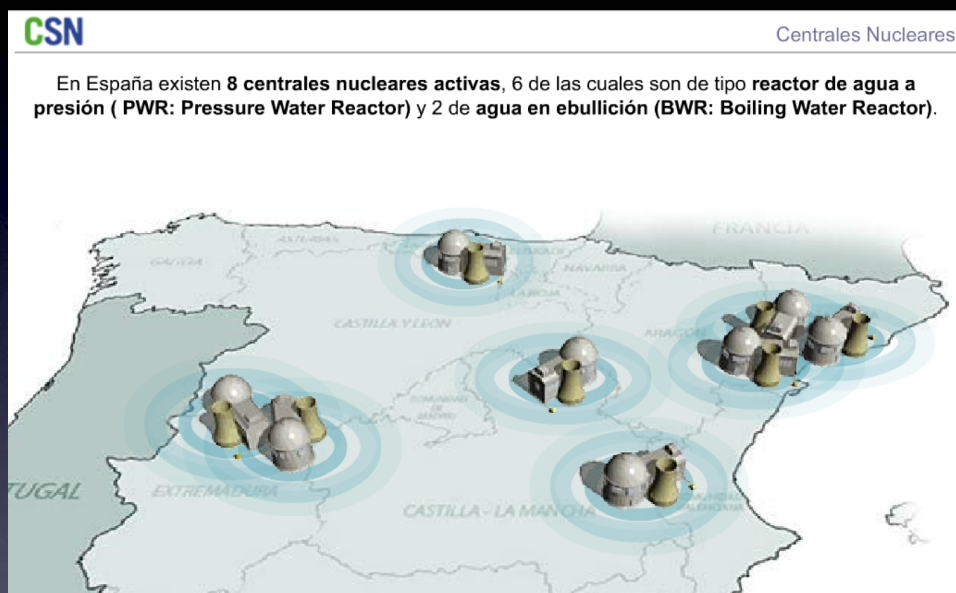


Wikipedia

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

8

Centrales nucleares en España



Consejo de Seguridad Nuclear

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

9

Central nuclear



CENTRAL NUCLEAR DE ALMARAZ

Propiedad	Endesa – Iberdrola – Gas Natural	
Titular	Centrales nucleares Almaraz/Trillo AIE	
Tipo	PWR	
Potencia térmica	2. 947MWt (U-I)	2.947 MWt (U-II)
Potencia eléctrica	1.049 MWe (U-I)	1.044 MWe (U-II)
Refrigeración	Abierta embalse de Arrocampo	
Autorización construcción	02/07/1973 (U-I)	02/07/1973 (U-II)
Autorización puesta en marcha	10/03/1980 (U-I)	15/06/1983 (U-II)
Autorización explotación en vigor	07/06/2010	
Autorización explotación válida hasta	08/06/2020	

Consejo de Seguridad Nuclear

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

10

Programa

1. Central nuclear
2. Seguridad en las centrales nucleares
3. Three Mile Island
4. Chernobyl
5. Fukushima

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

11

Normas de seguridad nuclear

- Ley 25-1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear
- Ley 15-1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear
- Real Decreto 1836-1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas
- Instrucción IS-26, de 16 de junio de 2010, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre requisitos básicos de seguridad nuclear aplicables a las instalaciones nucleares
- Directiva 2014-87-EURATOM, del Consejo, de 8 de julio de 2014, por la que se modifica la Directiva 2009-71-EURATOM del Consejo, de 25 de junio de 2009, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares
- Directiva 2009-71-EURATOM del Consejo, de 25 de junio de 2009, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares
- (OIEA) Principios fundamentales seguridad SF-I

Consejo de Seguridad Nuclear

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

12

Normas de seguridad nuclear

- Instrucción IS-26

Tercero. *Objetivo y requisitos generales.*

Objetivo General de Seguridad de las Instalaciones Nucleares:

3.1 El titular de la instalación nuclear debe tener como objetivo general de seguridad proteger a las personas y al medio ambiente de los efectos perjudiciales de las radiaciones ionizantes. En cumplimiento de dicho objetivo el titular de la instalación deberá tomar medidas para:

- a) Limitar, minimizar y controlar la exposición a la radiación de las personas y la liberación de materiales radiactivos al medio ambiente,
- b) Limitar la probabilidad de sucesos que puedan producir la pérdida de control sobre cualquier fuente de radiación,
- c) Mitigar las consecuencias de dichos sucesos en el caso de que ocurran,
- d) Minimizar la generación de residuos radiactivos.

BOE

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

13

Normas de seguridad nuclear

- Instrucción IS-26

Diseño seguro:

- Barreras pasivas y activas
- Funciones de seguridad bien definidas para:
 - Control de reactividad
 - Extracción del calor
 - Confinamiento y blindaje
- Identificación de fallos verosímiles
- Clasificación de seguridad para determinar:
 - Estándares de calidad
 - Pruebas
 - Compatibilidad entre sistemas (art. 5.11)

BOE

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

14

Normas de seguridad nuclear

• Instrucción IS-26

Requisitos de diseño seguro:

- Procesos intrínsecamente seguros
- Elementos de seguridad pasiva
- Elementos de seguridad activa
- Controles administrativos

Condiciones externas de diseño:

- Ambientales
- Sísmicas
- Incendios
- Inundaciones
- Pérdida de red eléctrica
- Atentados

Criterios de diseño seguro:

- Seguridad inherente
- Seguridad pasiva
- Fallo en posición segura
- Fallo único
- Doble contingencia
- Independencia
- Redundancia
- Diversidad

Normas de seguridad nuclear

• Instrucción IS-26

5.14 Las estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad se diseñarán de modo que se facilite su mantenimiento, inspección y prueba para garantizar su capacidad funcional durante la vida de la instalación.

5.15 Las estructuras, sistemas y componentes de seguridad serán capaces de realizar sus funciones de seguridad incluso ante la pérdida de sistemas soporte clasificados como no de seguridad, o de lo contrario, se diseñarán para que pasen a un estado seguro en caso de fallo.

5.16 El diseño de las estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad deberá estar basado en tecnologías probadas y validadas en condiciones de funcionamiento similares a las de operación.

5.17 Las estructuras, sistemas y componentes de seguridad se diseñarán con márgenes de seguridad, incluyendo incertidumbres con el fin de proporcionar garantías razonables de que no se producirán consecuencias importantes aún cuando se sobrepasen los límites operacionales.

5.18 Los sistemas y componentes de seguridad deben diseñarse de modo que actúen automáticamente en caso de sucesos operacionales previstos y accidentes de evolución rápida, y mantengan la instalación en condición segura sin que sea necesaria la intervención manual del personal de operación durante un tiempo suficiente para que se puedan considerar e implantar las acciones posteriores necesarias.

Normas de seguridad nuclear

- Instrucción IS-26

Instrumentación y control:

5.25 Las instalaciones nucleares con sistemas o componentes importantes para la seguridad deberán disponer de equipos de monitorización y control para las diferentes funciones de seguridad, así como de una sala de control para supervisar el adecuado funcionamiento de la instalación.

5.26 Deberán establecerse medios para la vigilancia de todos los procesos y equipos esenciales durante un accidente y después del mismo.

5.27 En el caso de que el riesgo de la instalación lo requiera, se establecerán medios para la parada remota desde fuera de la sala de control.

5.28 Para los sistemas de instrumentación y control importantes para la seguridad basados en tecnología digital, se establecerán normas y precauciones apropiadas para el desarrollo, prueba del equipo y mantenimiento, que se aplicarán durante toda la vida del sistema, en especial en la etapa de desarrollo de la aplicación informática.

Programa

1. Central nuclear
2. Seguridad en las centrales nucleares
3. Three Mile Island
4. Chernobyl
5. Fukushima

Three Mile Island

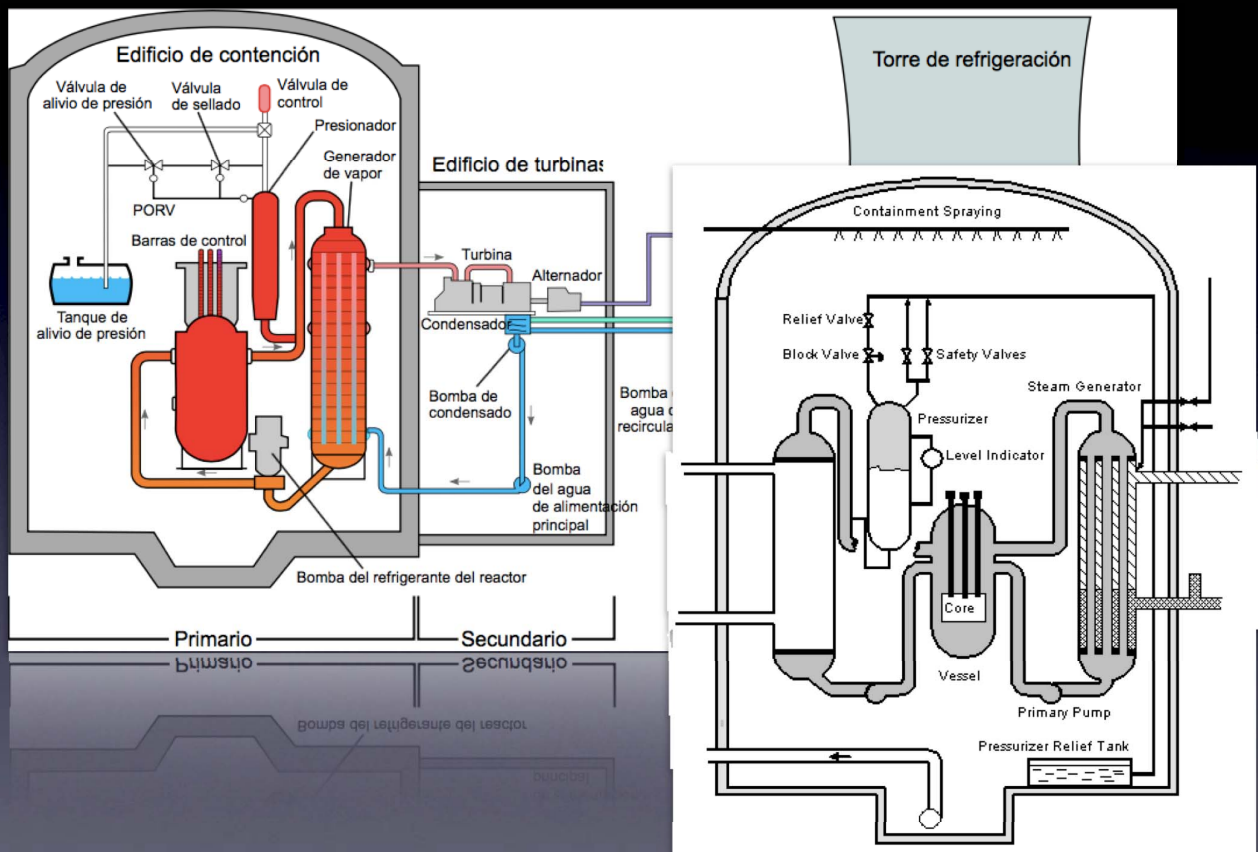


Estados Unidos, 1979

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

19

Three Mile Island



© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

20

Three Mile Island

Secuencia comprobada:

- 4:00 h:
 - Pérdida de flujo secundario a través del generador de vapor
 - Apagado de urgencia del reactor
 - Arranca el sistema de enfriamiento urgente del primario
 - Abre la válvula de alivio circuito primario 12 s
 - **Falla al cerrar (no se advierte)**
 - Se fuga agua primaria (60 m³/h)
- 4:01 h:
 - Arranca sistema secundario flujo a través del generador de vapor
 - ¡Llaves cerradas! No circula agua
- 4:02 h:
 - Inyección automática de agua fría en el circuito primario
 - Continúa la fuga de fluido primario
- 4:06 h:
 - ¡Exceso de nivel de agua primaria en el presurizador!
- 4:08 h:
 - Abren llaves cerradas
 - Continúa la fuga de fluido primario
- 4:11 h:
 - Exceso de nivel en presurizador
 - ¡Corte manual de inyección de agua fría al primario!
- 4:17 h:
 - Rotura del sistema de enfriamiento urgente del primario
 - El fluido primario empieza a hervir
 - Las bombas recirculadoras primarias vibran muchísimo
- 4:25 h:
 - Circuito secundario estable
 - Continúa la fuga de fluido primario
 - Vibración alarmante de las bombas de primario
- 5:13 h:
 - Apagado manual bomba primario 01 para conservarla
 - Continúa la fuga de fluido primario
- 5:40 h:
 - Apagado manual bomba primario 02
 - Ya no queda agua primaria para cubrir el núcleo
 - El zirconio alcanza 1300°C y libera H₂
- 6:00 h:
 - Se funde masivamente el núcleo
 - Se contamina el sistema secundario de enfriamiento urgente
- 6:14 h:
 - Alarma de contaminación en el contenedor primario
 - Cierre manual de la válvula de alivio primario
 - Incremento peligroso de la presión primaria
- 6:40 h:
 - Vapor primario desaparece por presión
 - Intento de refrigerar con bomba primario 01
 - Se vuelve a generar vapor y vibraciones
- 7:12 h:
 - Presión insostenible en circuito primario.
 - Apertura manual válvula de alivio primario
 - Gran contaminación contenedor primario y secundario
 - **Sistema secundario enfriamiento urgente desborda hacia el exterior**
 - Alarmas de radiactividad en el exterior
- 7:20 h:
 - Se declara alarma general
 - Paro manual enfriamiento secundario
 - Arranca bomba 01 primario
 - **Explosión contenida de hidrógeno**
 - Liberación de gases nobles radiactivos
- 8:00 h: el núcleo empieza enfriarse por fin!

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

21

Three Mile Island

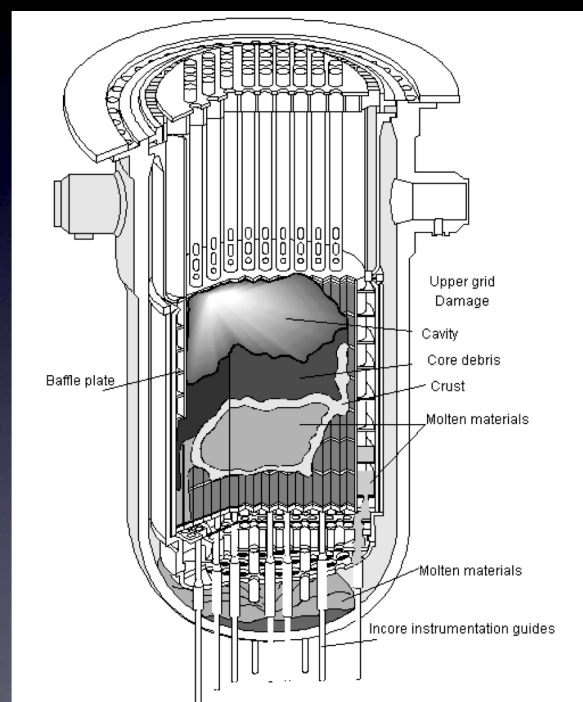
Riesgos ambientales:

- Fuga de gases nobles (370-470 PBq)
- No hubo fuga de partículas (filtros)
- Explosión de hidrógeno contenida

Daños producidos:

(comprobados al remover la tapa del reactor en 1984)

- Fundidas 62 t del núcleo (45%)
- 19 t aparecieron en el fondo
- Menos daños que los esperados



© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

22

Chernobyl

El nuevo sarcófago



© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

23

Chernobyl

Accidente del 26 de abril de 1986



© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

24