

Seguridad Nuclear en reactores BWR-6

Seminario de Reactores Avanzados

ETSI Industriales, abril 2016

Miguel Sánchez López

Índice

- 1) Introducción al reactor de agua en ebullición BWR-6**
- 2) Sistemas de seguridad en un reactor BWR-6**
- 3) Accidentes base de diseño: LOCA-DBA**
- 4) SBO de larga duración**

-
- 1) Introducción al reactor de agua en ebullición BWR-6**
 - 2) Sistemas de seguridad en un reactor BWR-6
 - 3) Accidentes base de diseño: LOCA-DBA
 - 4) SBO de larga duración

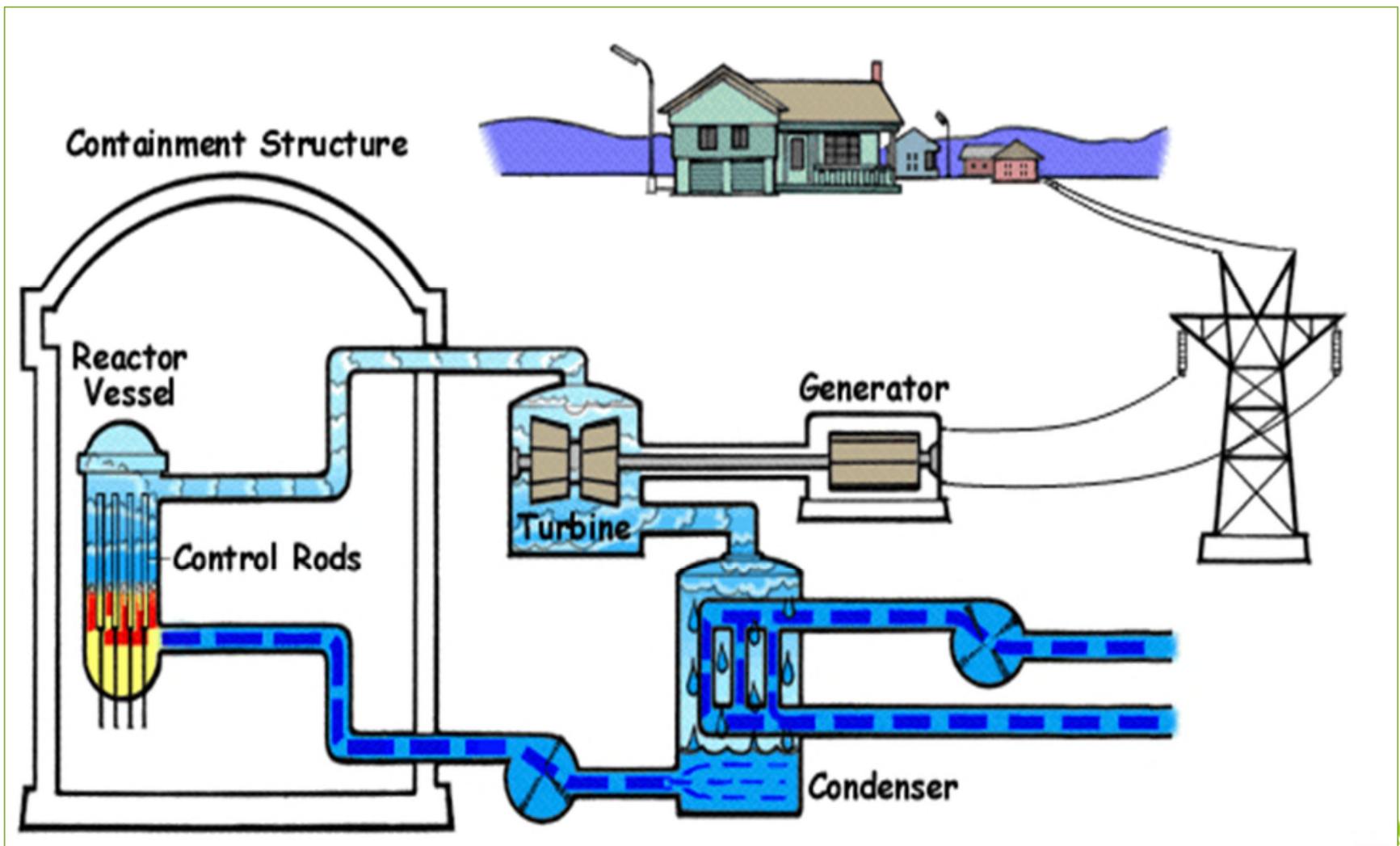
Evolución de los reactores BWR

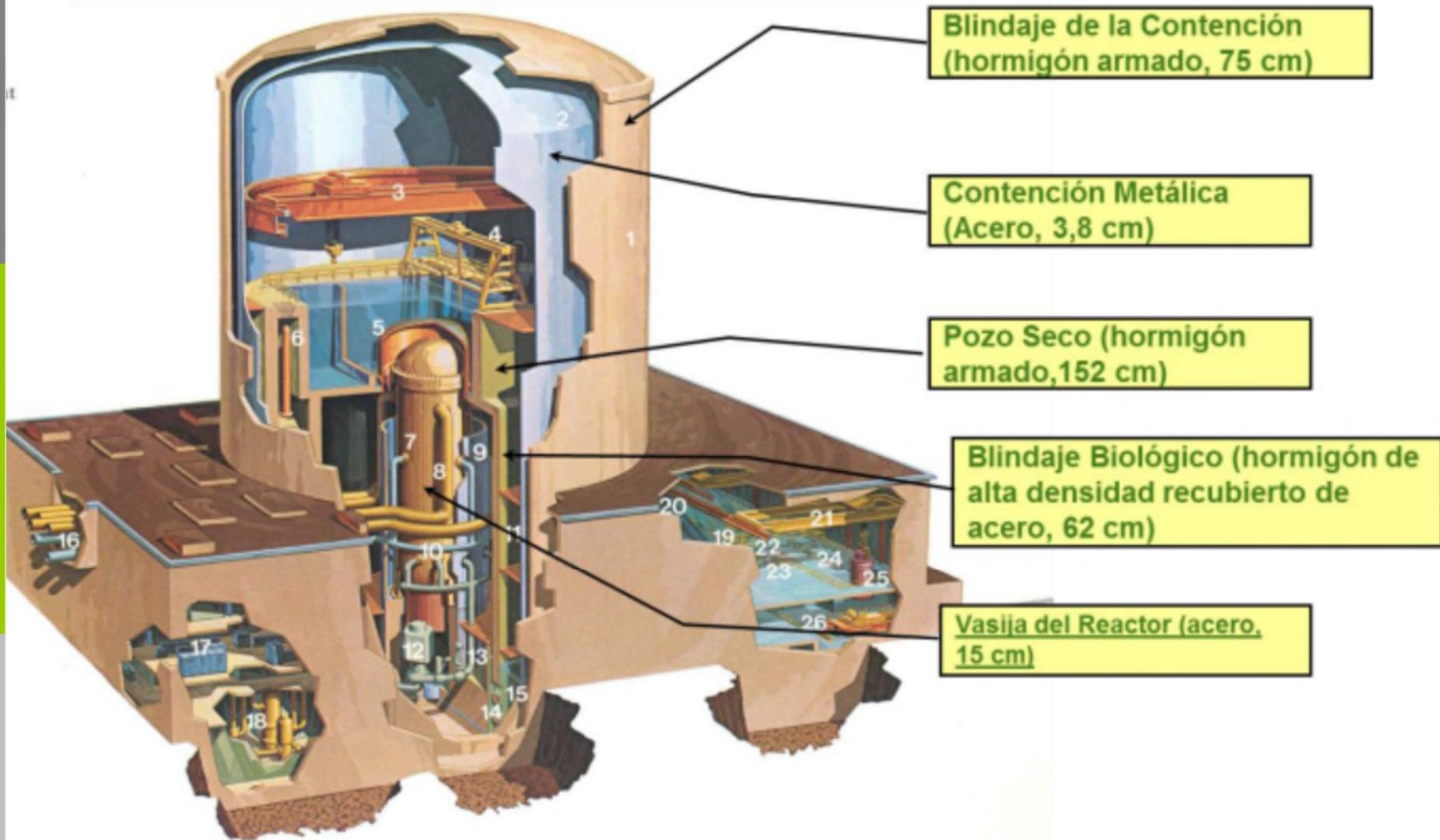
Tecnología
General
Electric
(GE)

Evolución
del BWR

Tipo	Época de construcción	Ejemplos de central	Características
BWR-1	1955	Dresden 1 Big Rock Point Humboldt Bay Dodewaard	Primera producción comercial Contención seca
BWR-2	1963	Oyster Creek	Gran ciclo directo Separación interna de vapor Bombas externas de recirculación
BWR-3	1965	Dresden 2 Fukushima Dai-Ichi-1	Primera aplicación de bombas de chorro Mejora ECCS
BWR-4	1966	Browns Ferry Fukushima Dai-Ichi 2,3,4,5	Aumenta densidad de potencia
BWR-5	1969	Zimmer La Salle 1,2	Mejora ECCS Válvula de control de caudal
BWR-6	1972 - 80's	Cofrentes Grand Gulf Leibstadt	EC's 8x8 Mejora bombas de chorro y separadores de humedad Aumento de potencia Reducida tensión térmica Mejora ECCS

BWR. Ciclo directo.

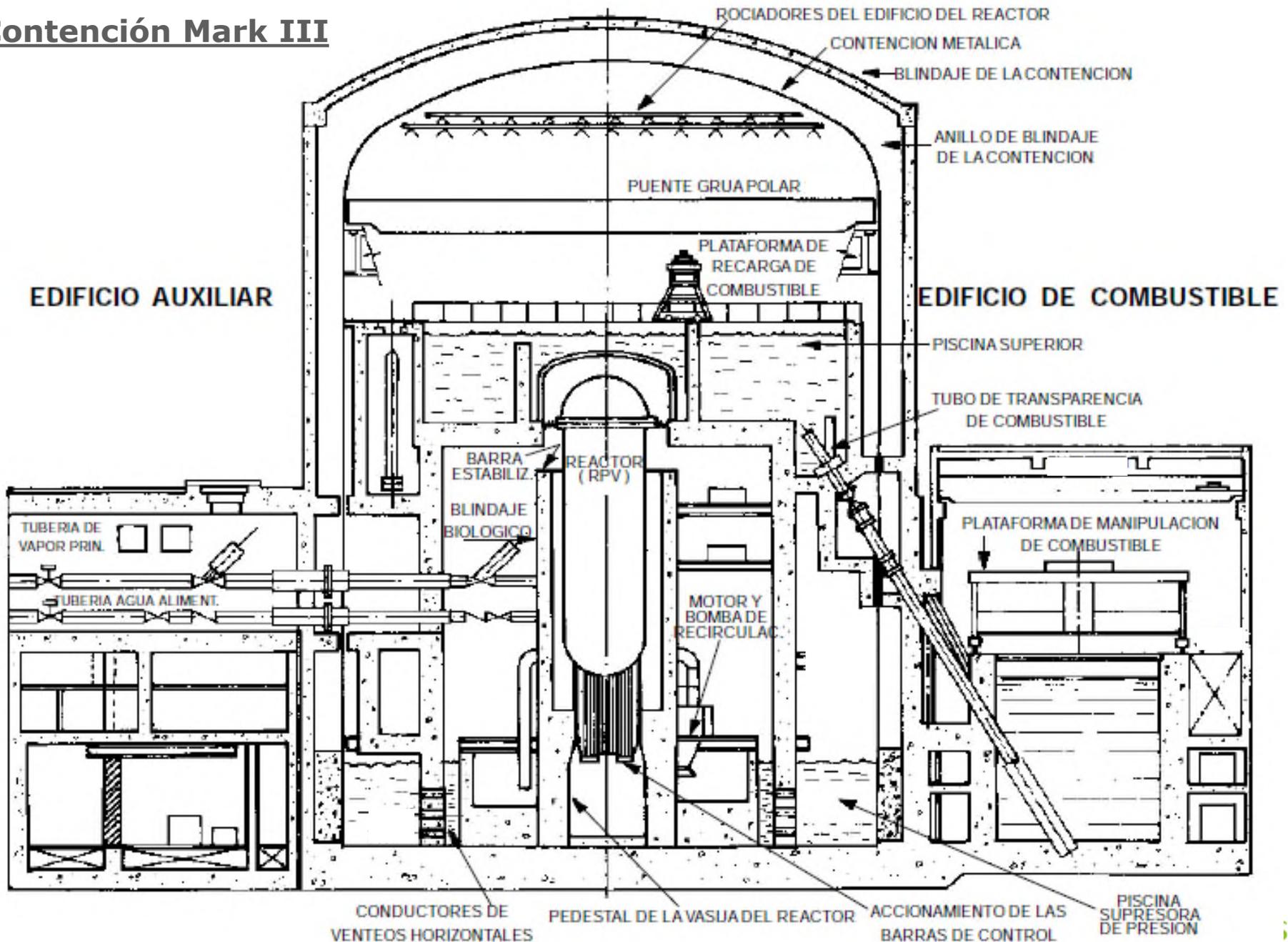




Contención Mark III

EDIFICIO DEL REACTOR

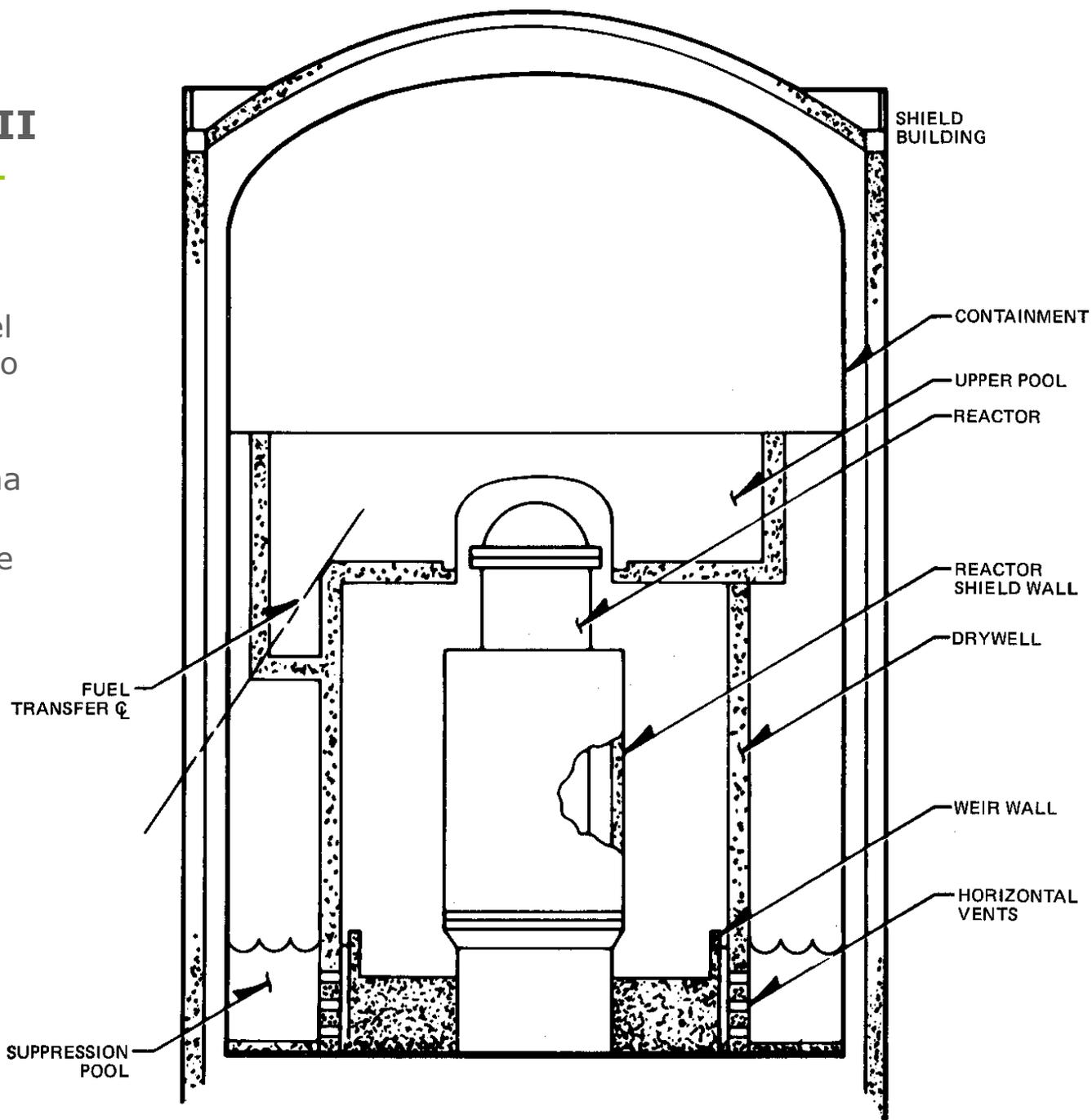
Contención Mark III

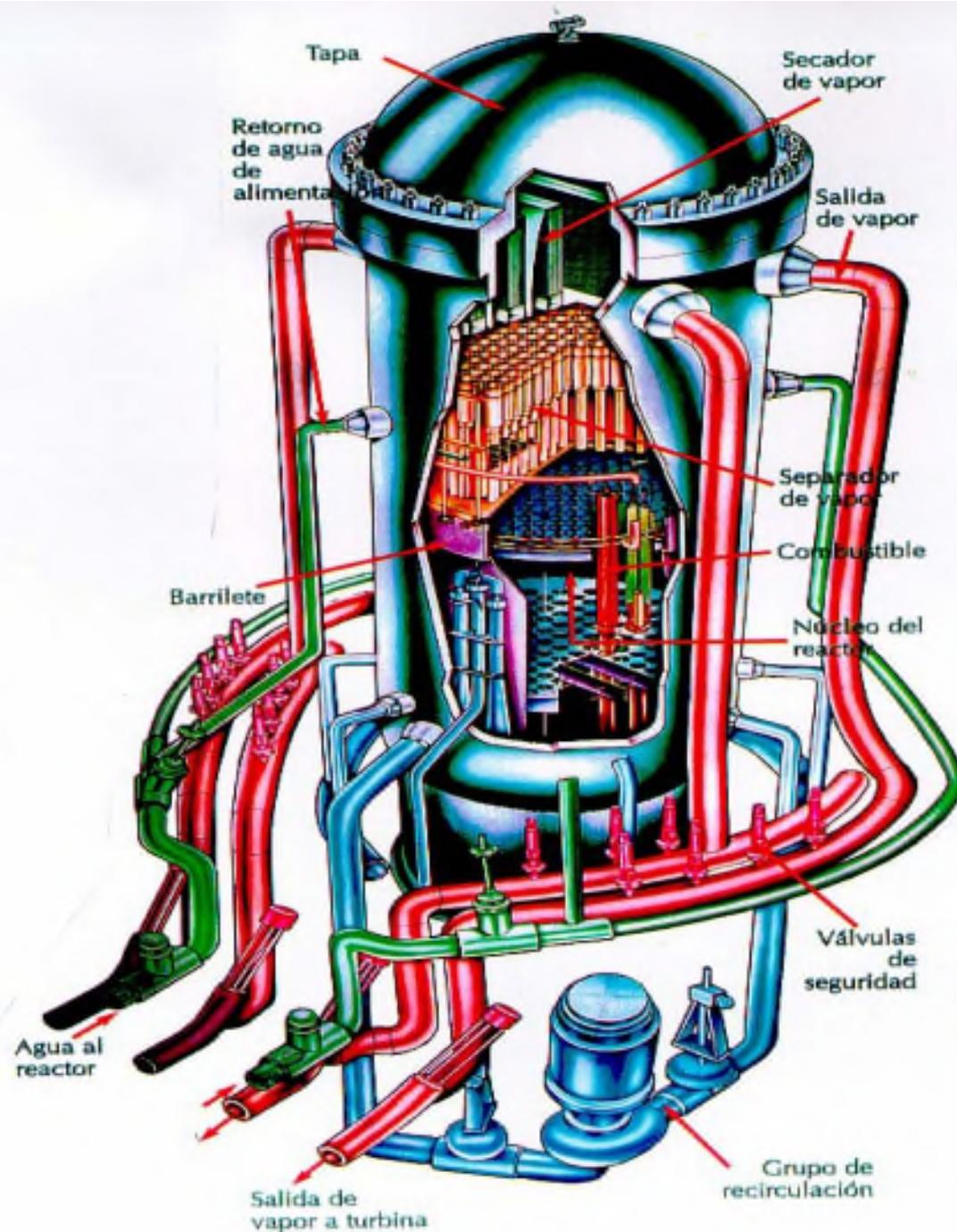


Contención Mark III

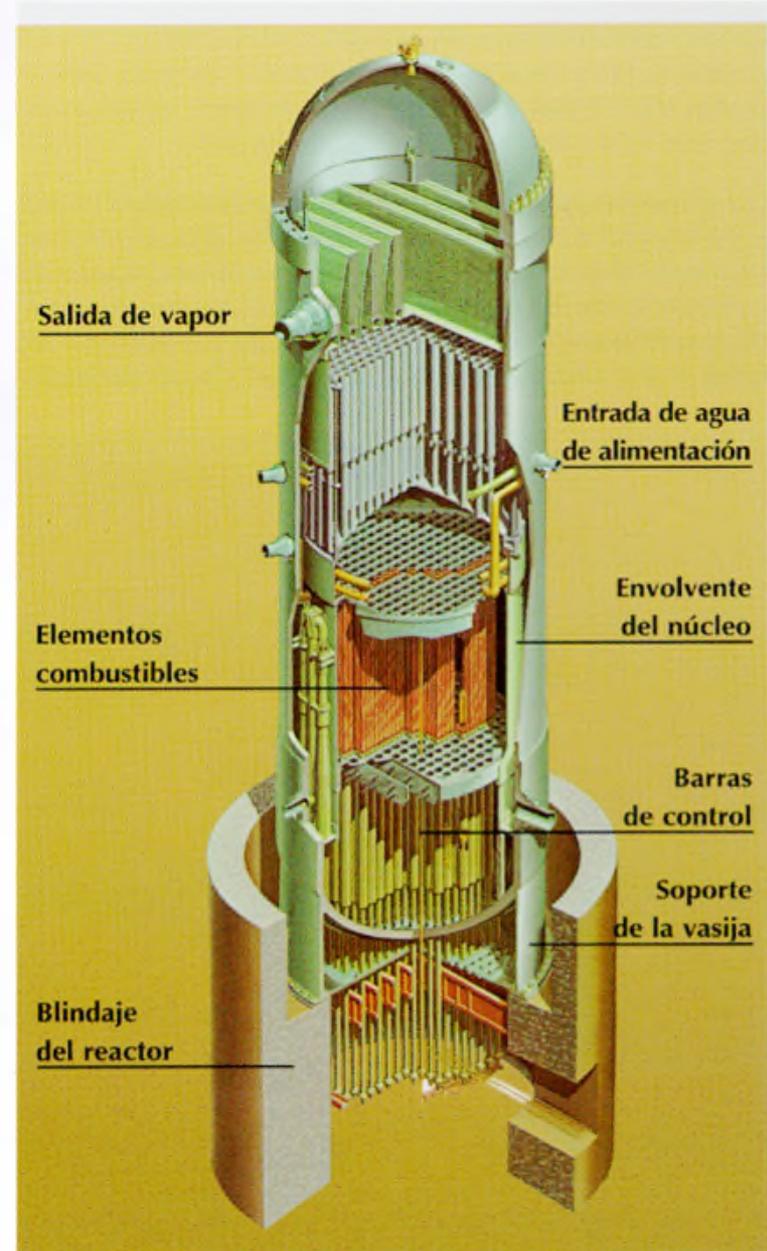
- ❑ Piscina supresora de presión: en LOCA condensa vapor, reduciendo Presión en el Pozo Seco, y actúa como filtro de prod. fisión
- ❑ Piscinas superior: reposición agua a piscina de supresión
- ❑ Reducción de tamaño de la Contención y de Presión de diseño

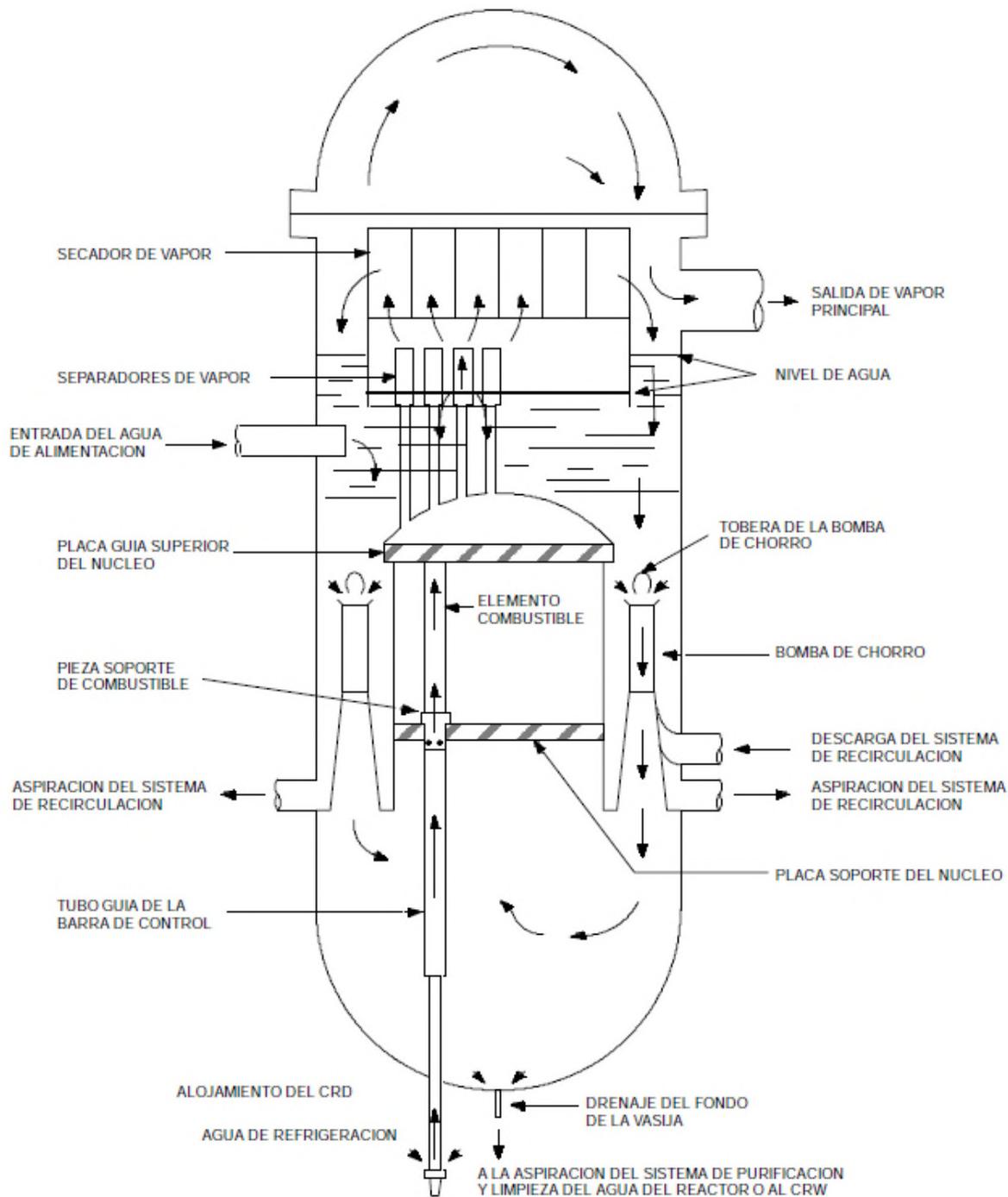
Contención	P _{diseño} aprox. kg/cm ₂
Pozo seco/esférica	4,5
Mark I	4,2
Mark II	3,5
Mark III	1-2





Vasija del reactor





Características "tipo" de la Vasija

DIMENSIONES

Altura total	21,6 m
Diámetro interior	5,5 m
Espesor pared	15 cm
Espesor fondo	22 cm

PESOS

Total	612 Tm
-------	--------

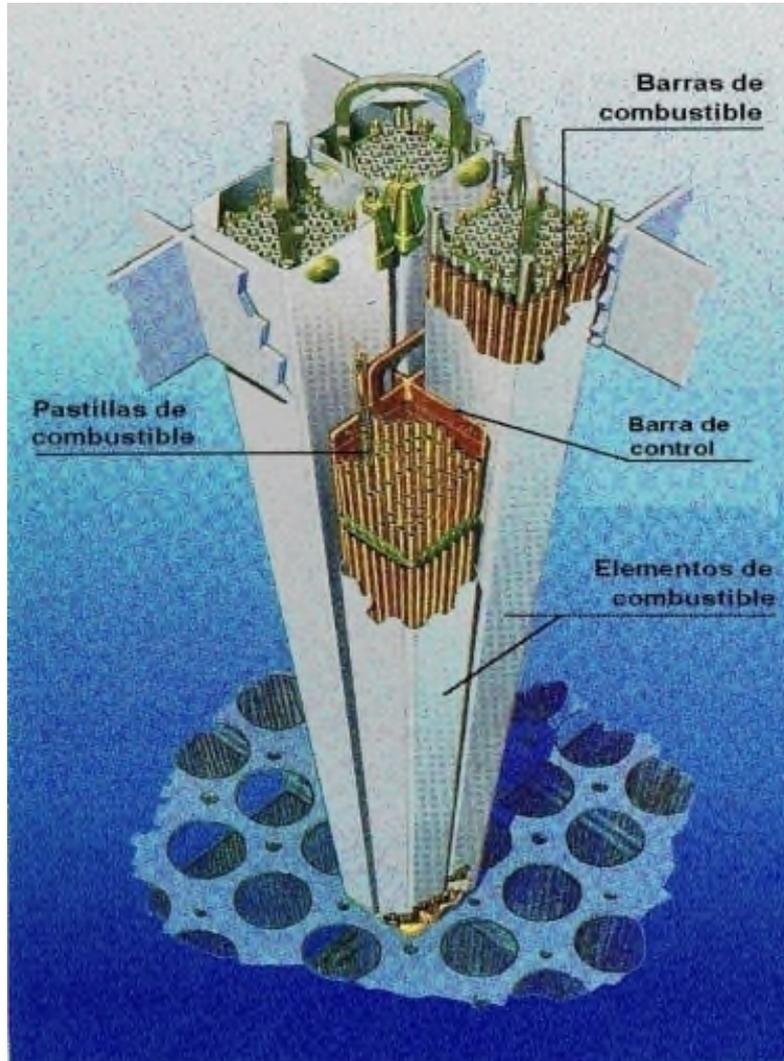
PARÁMETROS DE DISEÑO

Presión	88 kg/cm ²
Temperatura	302 °C

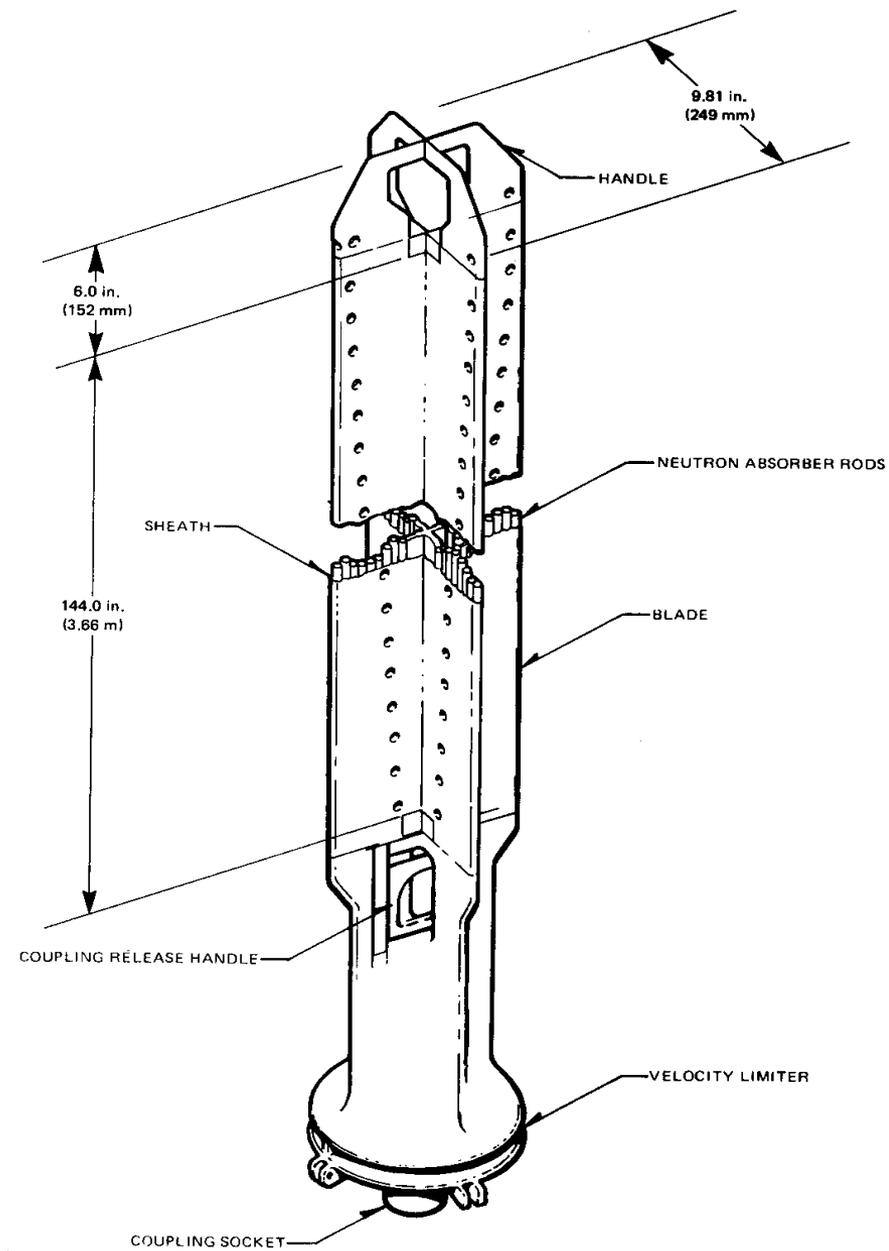
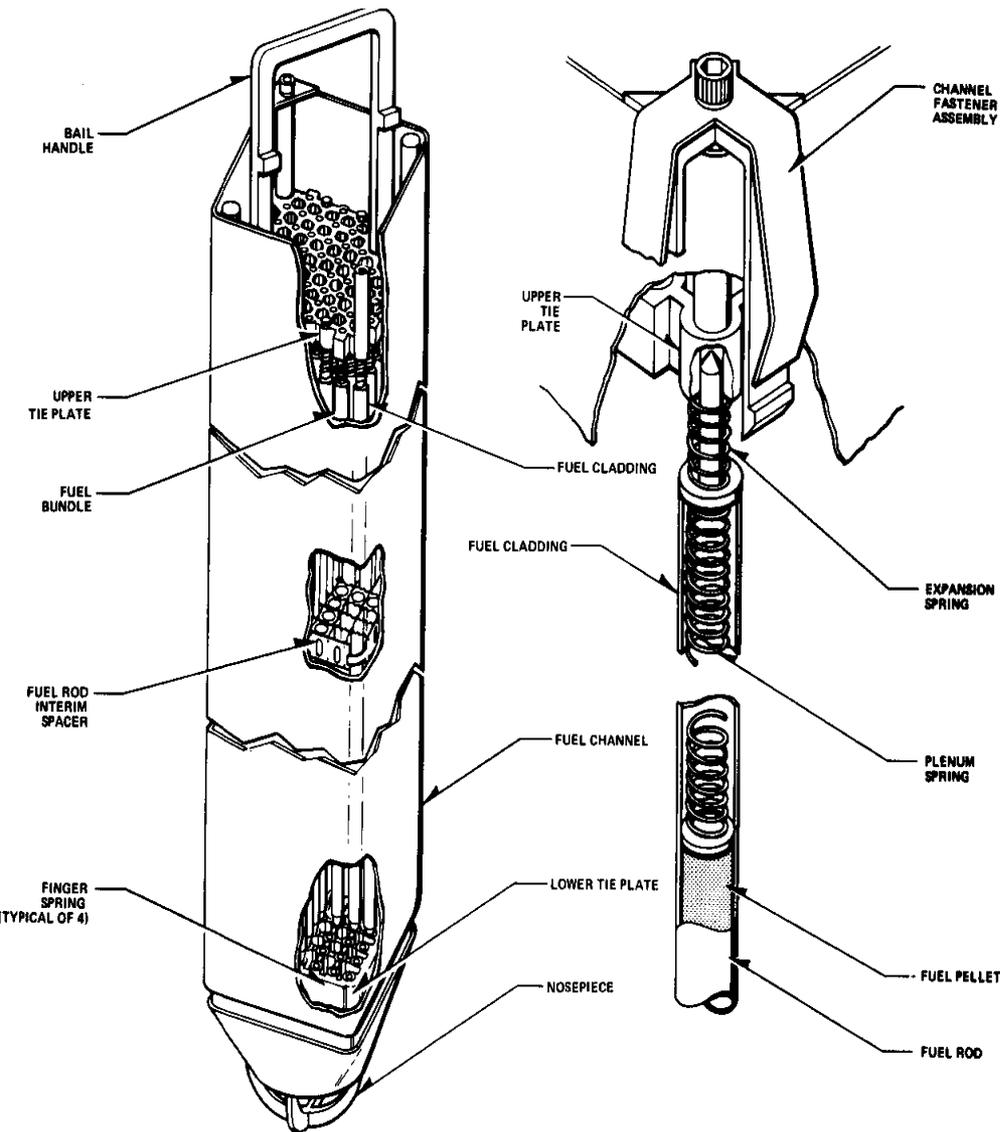
MATERIALES

Base	Acero al carbono baja aleación
Revestimiento	Acero inoxidable austenítico
Espesor revestimiento	0,5 cm
CÓDIGO DE PROYECTO	ASME sección III Clase I

Núcleo del reactor. Elementos combustibles



Elemento combustible

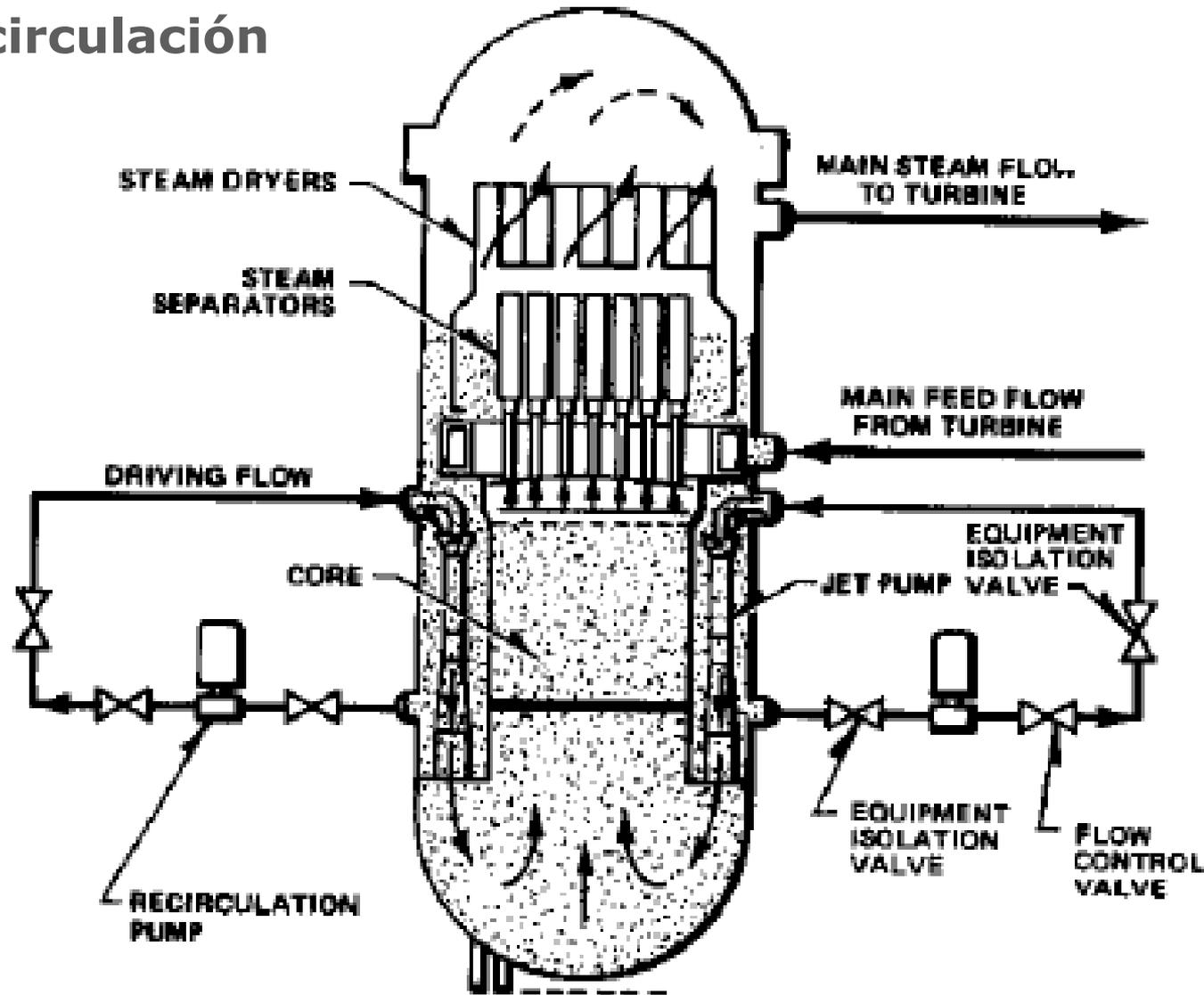


Sistema de recirculación

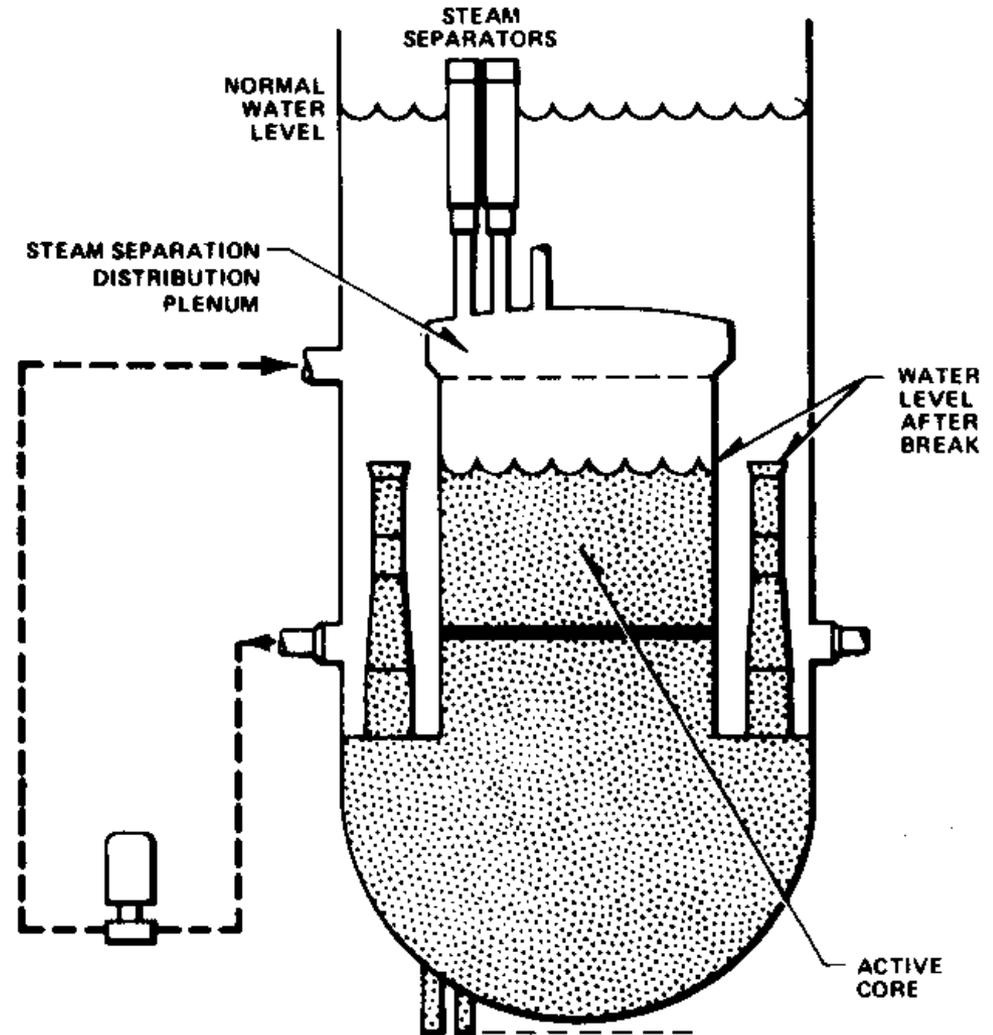
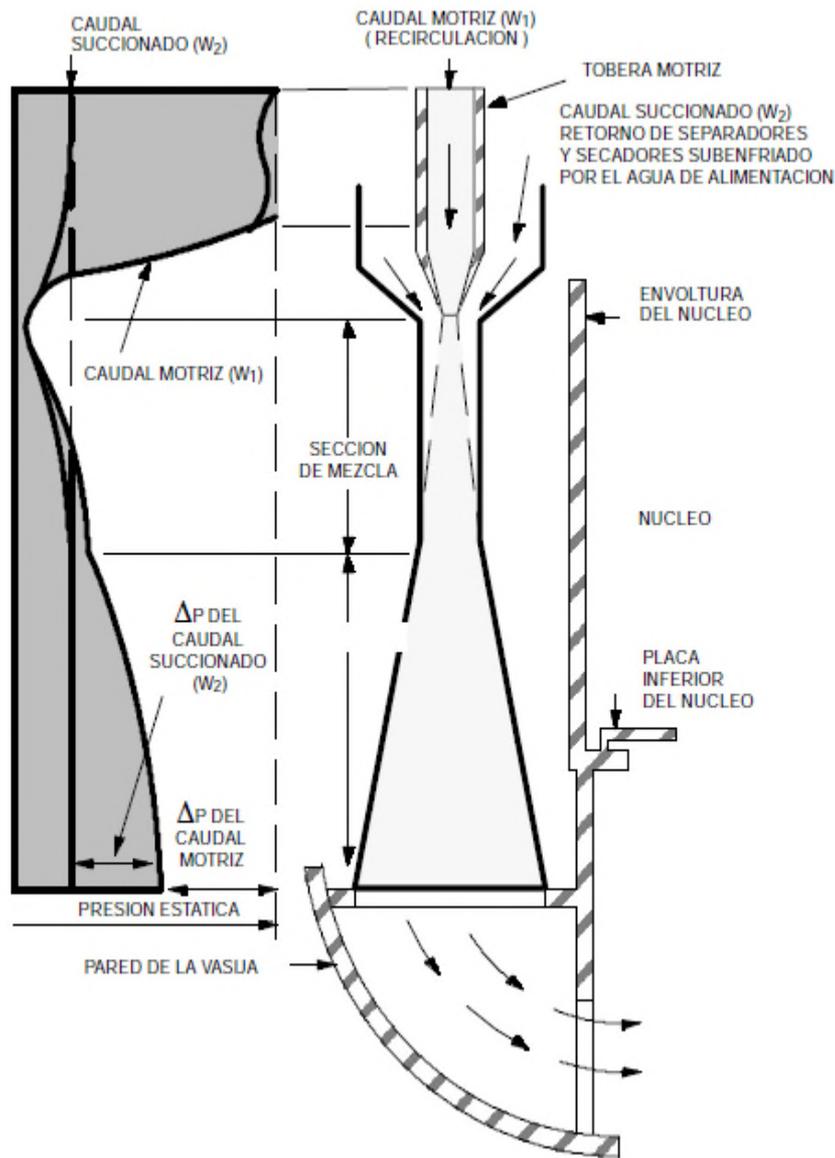
Permite aumento de la densidad de potencia y del tamaño del núcleo por mayor Q a través del núcleo

Empleo de bombas de chorro

Regulación de Potencia del 40% variando el Q del núcleo mediante FCV. Se modifica el contenido de huecos



Principio de funcionamiento de una bomba de chorro



Capacidad de inundación del núcleo en caso de cualquier rotura en el circuito de recirculación

-
- 1) Introducción al reactor de agua en ebullición BWR-6
 - 2) Sistemas de seguridad en un reactor BWR-6**
 - 3) Accidentes base de diseño: LOCA-DBA
 - 4) SBO de larga duración

Principales sistemas de seguridad

Parada del reactor

- **RPS** (sistema de protección del reactor)
- **SLBC** (inyección de agua borada)

Refrigeración de Emergencia

- **HPCS**: aspersión del núcleo a alta presión
- **LPCS**: aspersión del núcleo a baja presión
- **RHR**: extracción del calor residual. Diversos modos de funcionamiento.
- **ADS**: despresurización automática
- **RCIC** (refrigeración del núcleo aislado)
- **Sistemas soporte** (agua de servicios esenciales, sumidero final de Q)

Contención

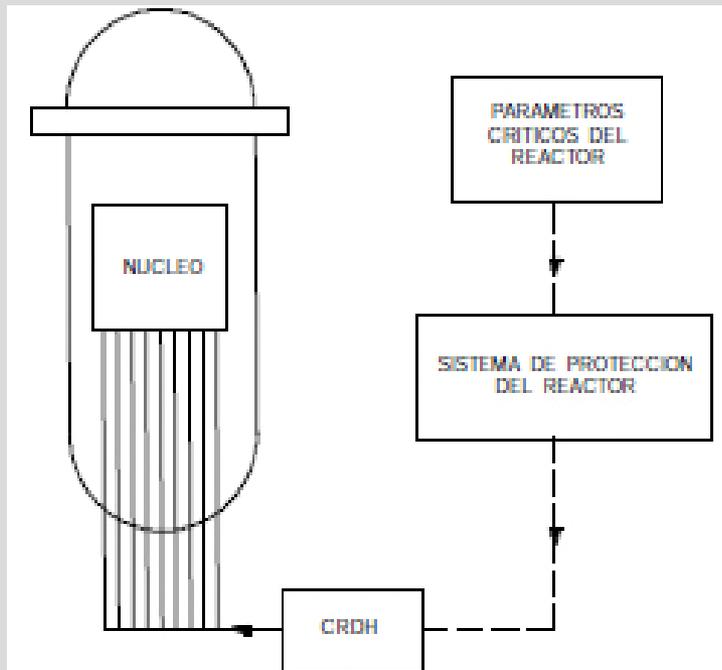
- **Aislamiento**
- **Supervisión y Control de atmósfera y presión de la Contención** (control de H₂ y venteo de Contención)

1. Parada del reactor

RPS (sistema de protección del reactor)

Rápida inserción de barras de control

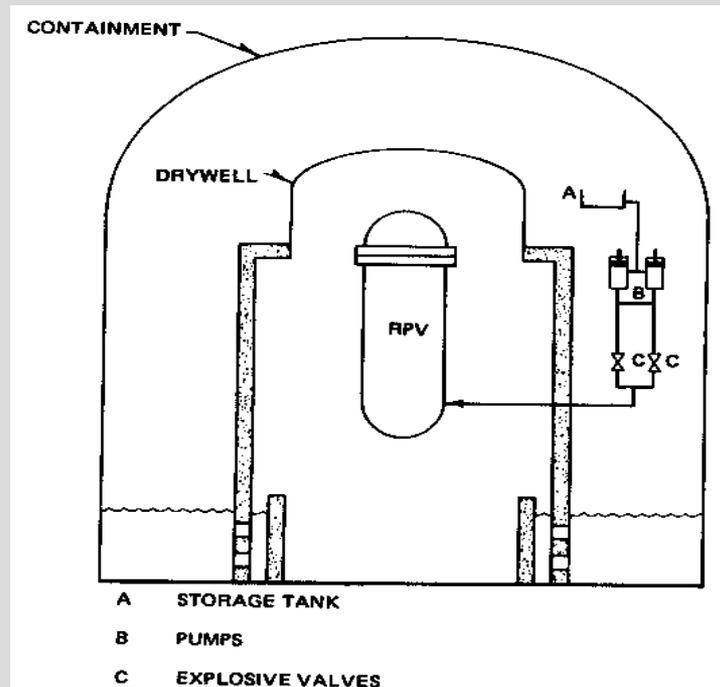
- Lógica de actuación redundante y robusta frente a señales espúreas
- Fallo seguro



SLBC (sistema de control de líquido de reserva)

Proporciona la parada en caso de ATWS: no inserción de las barras de control

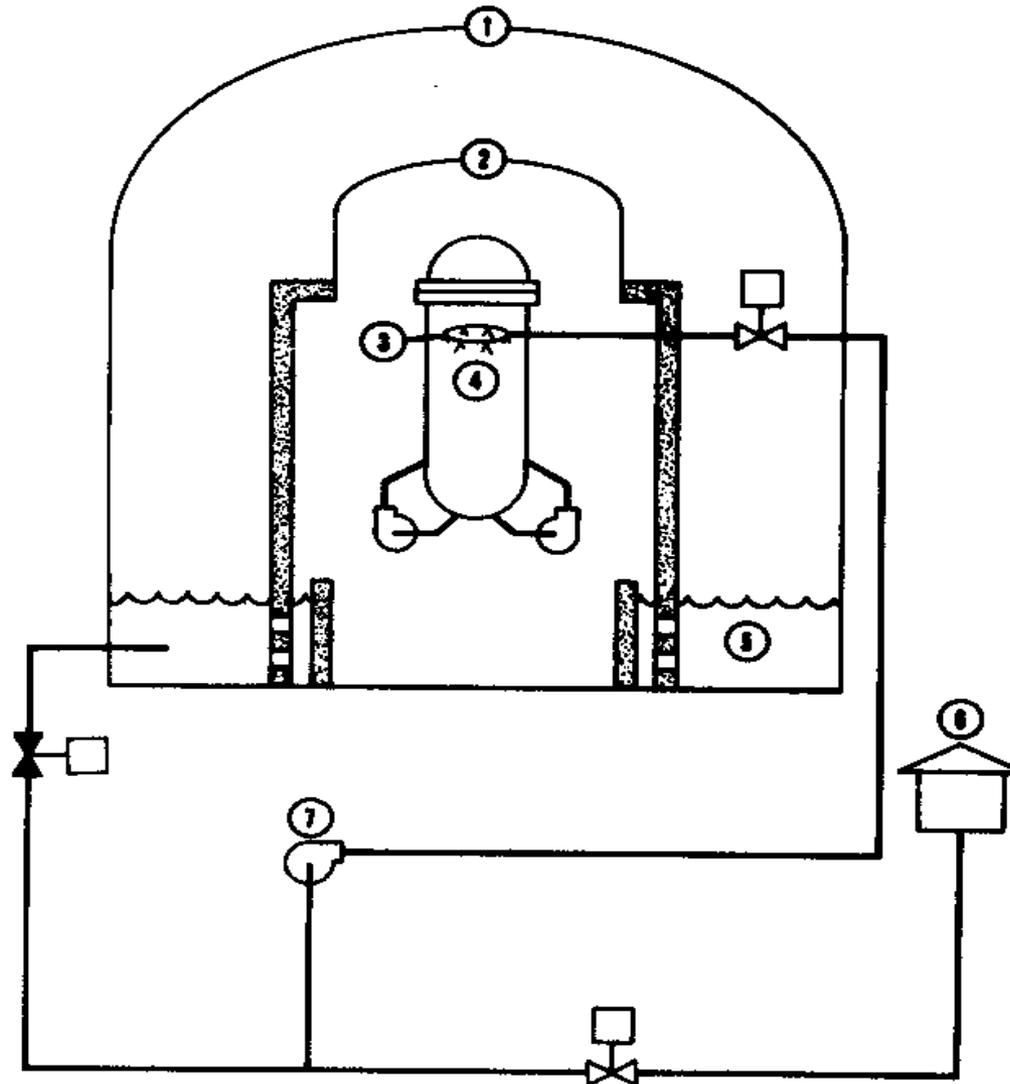
- Inyección de solución de pentaborato sódico



2. Refrigeración de emergencia

HPCS: aspesión del núcleo a alta P

- 1. CONTAINMENT
- 2. DRYWELL
- 3. SPRAY SPARGER
- 4. RPV

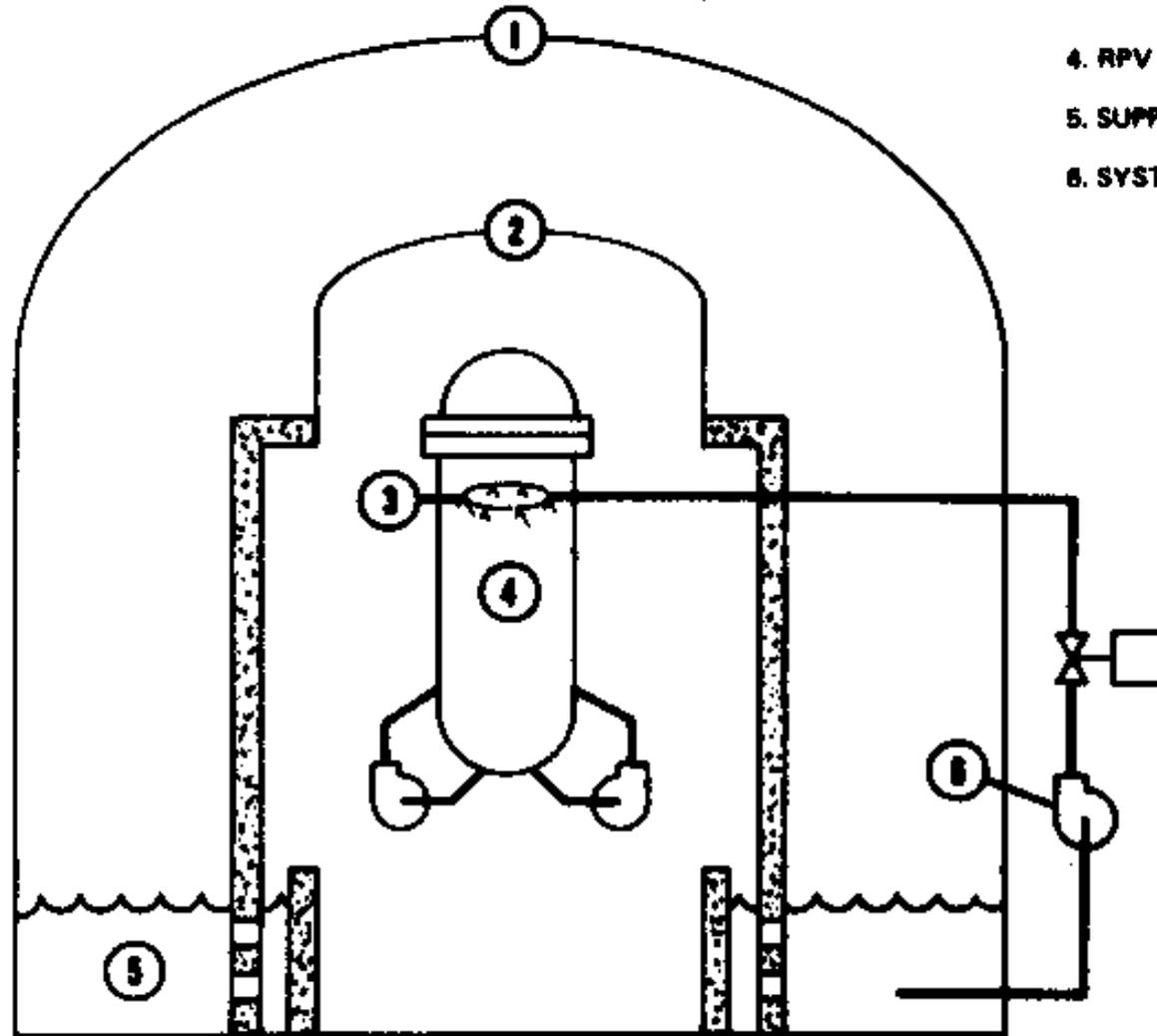


- 5. SUPPRESSION POOL
- 6. CONDENSATE STORAGE INITIAL SOURCE
- 7. SYSTEM PUMP

LPCS: aspesión del núcleo a baja P

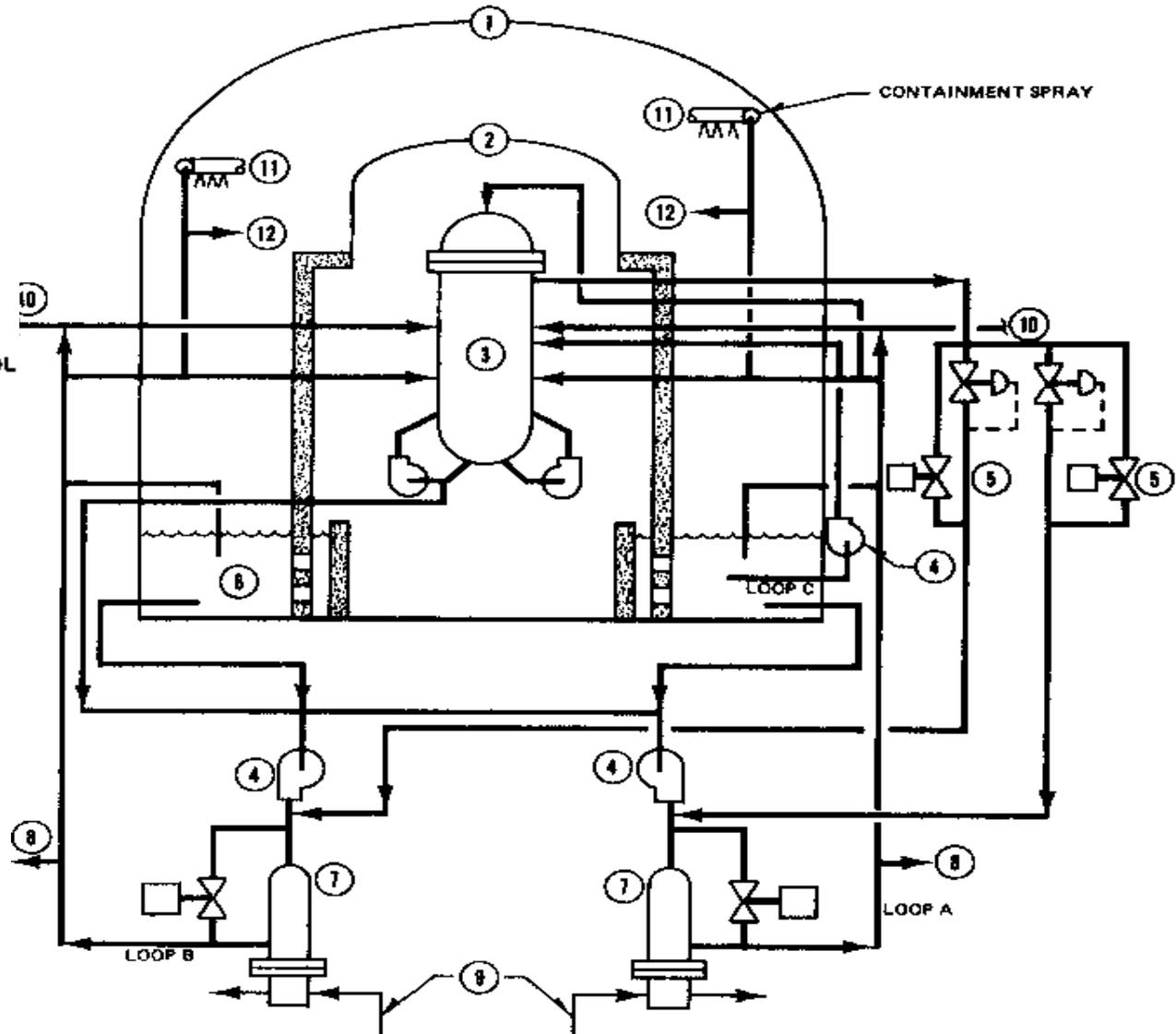
- 1. CONTAINMENT
- 2. DRYWELL
- 3. SPRAY SPARGER

- 4. RPV
- 5. SUPPRESSION POOL
- 6. SYSTEM PUMP



RHR: extracción del calor residual

- 1. CONTAINMENT
- 2. DRYWELL
- 3. RPV
- 4. SYSTEM PUMPS
- 5. FULL FLOW BYPASS
- 6. SUPPRESSION POOL
- 7. HEAT EXCHANGERS
- 8. FCIC PUMP SUCTION
- 9. SERVICE WATER
- 10. FEEDWATER
- 11. CONTAINMENT SPRAYS
- 12. UPPER CONTAINMENT POOL



RHR: Modo LPCI-inyección a baja presión

1. CONTAINMENT

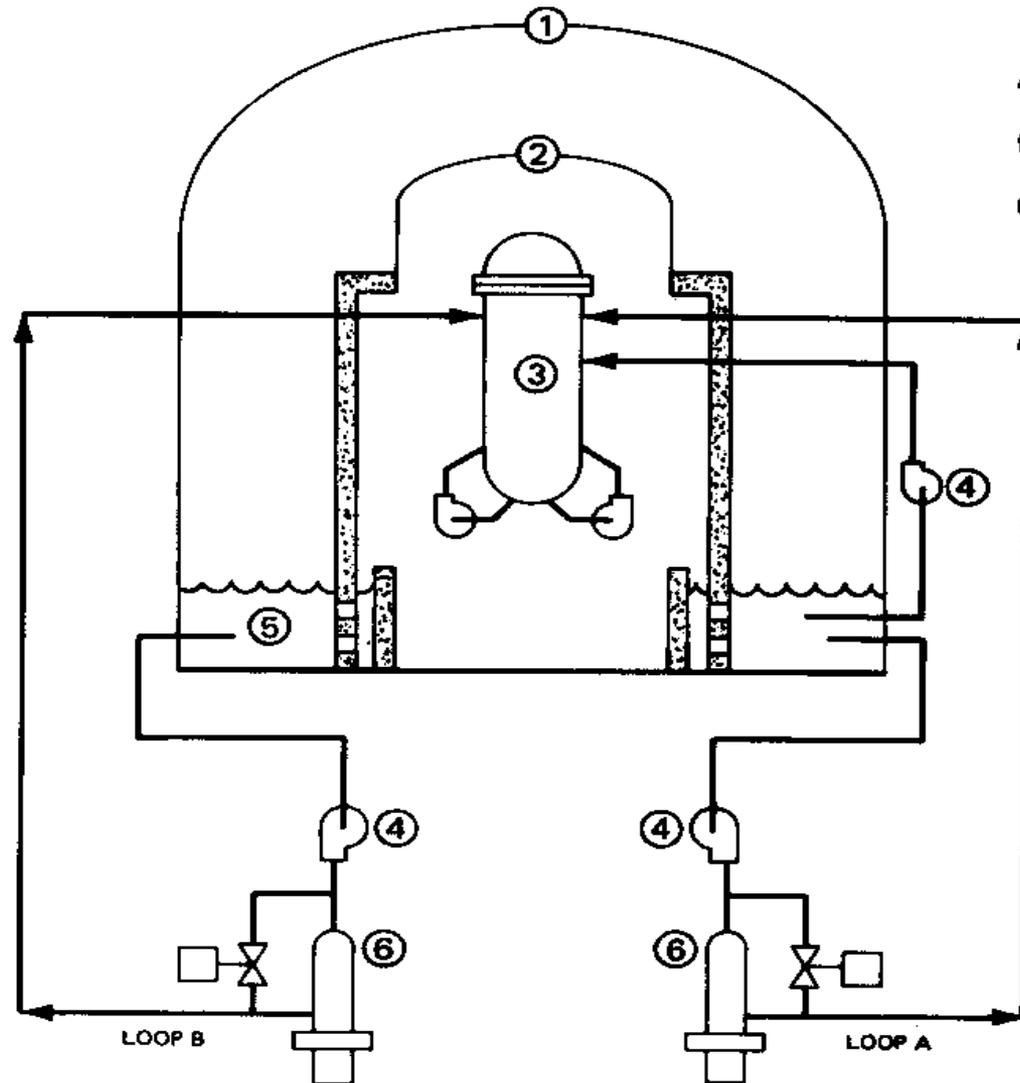
2. DRYWELL

3. RPV

4. SYSTEM PUMP

6. SUPPRESSION POOL

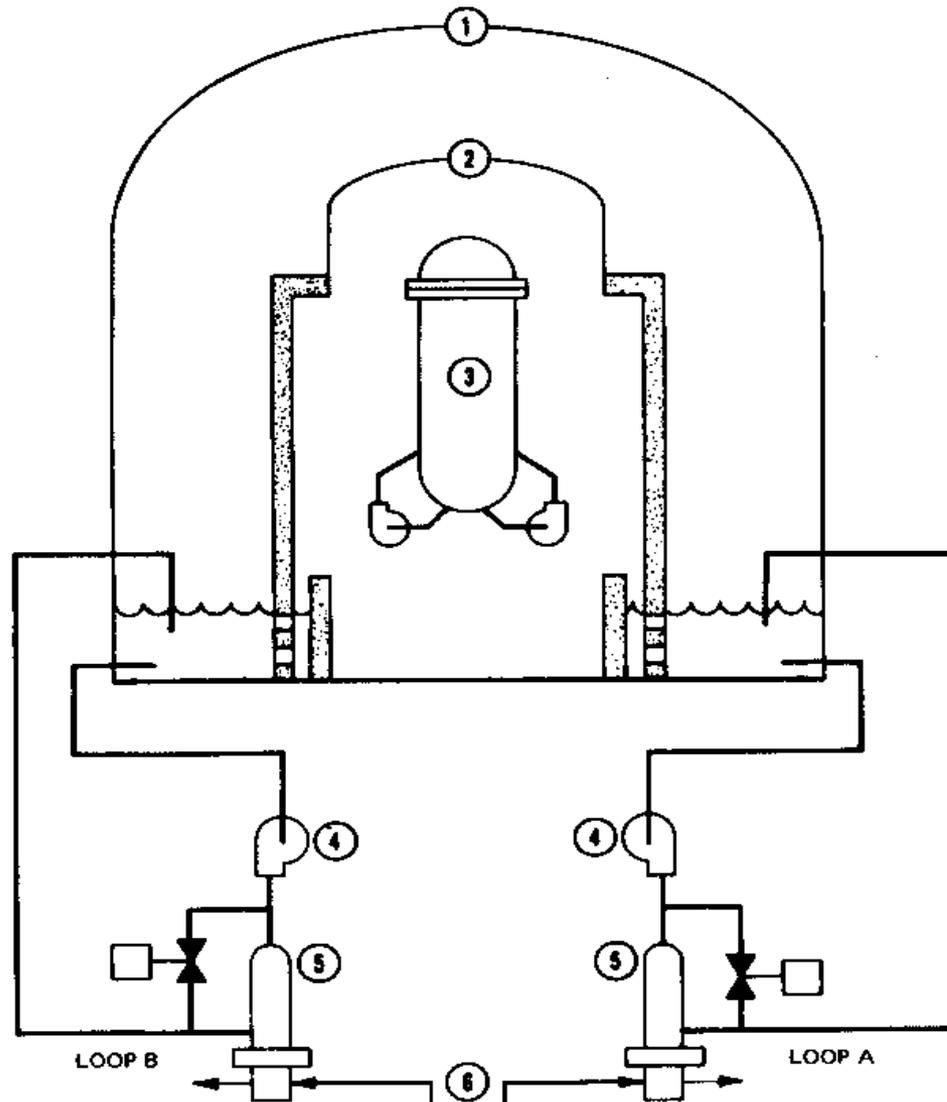
6. HEAT EXCHANGERS



RHR: Modo refrigeración piscina supresión

- 1. CONTAINMENT
- 2. DRYWELL
- 3. RPV

- 4. SYSTEM PUMP
- 5. HEAT EXCHANGERS
- 6. SERVICE WATER



RHR: Modo aspersión de la contención

1. CONTAINMENT

2. DRYWELL

3. REACTOR PRESSURE VESSEL

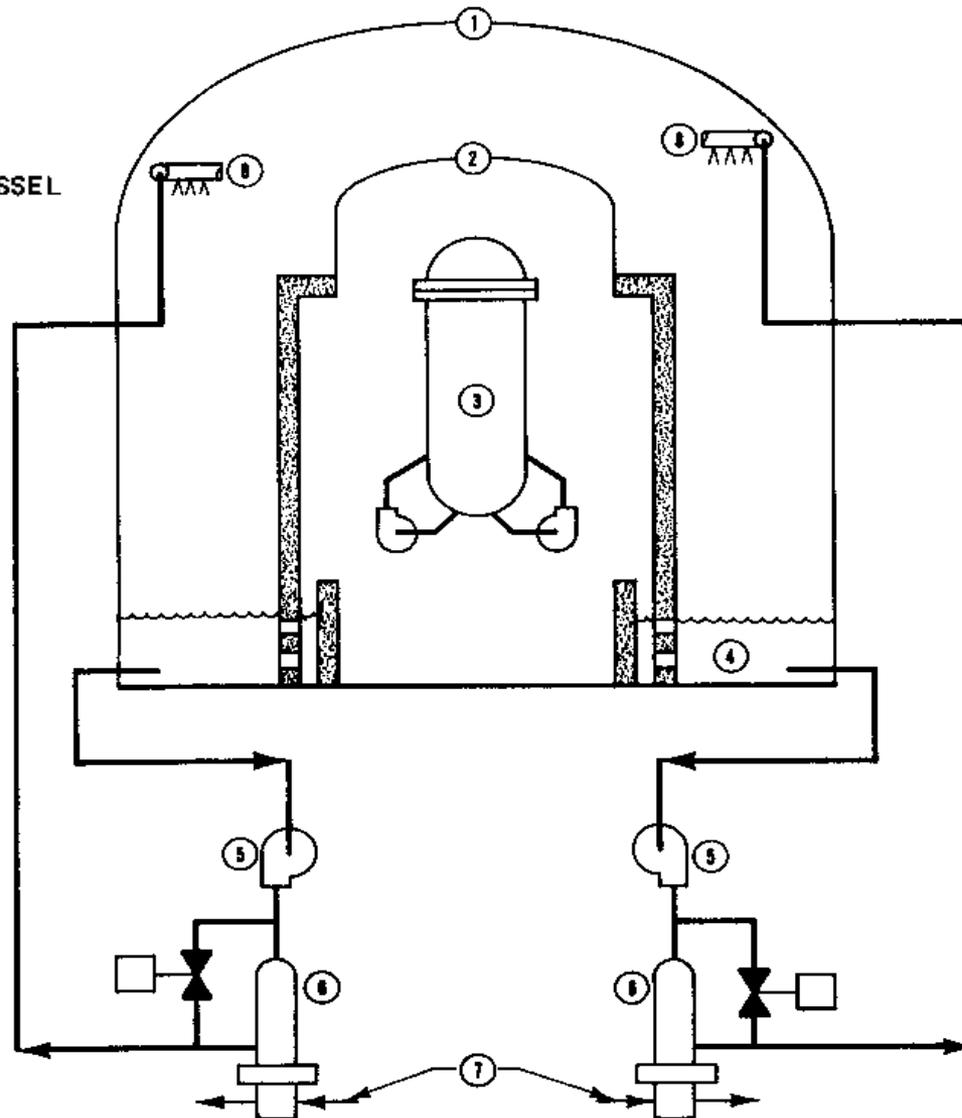
4. SUPPRESSION POOL

5. SYSTEM PUMP

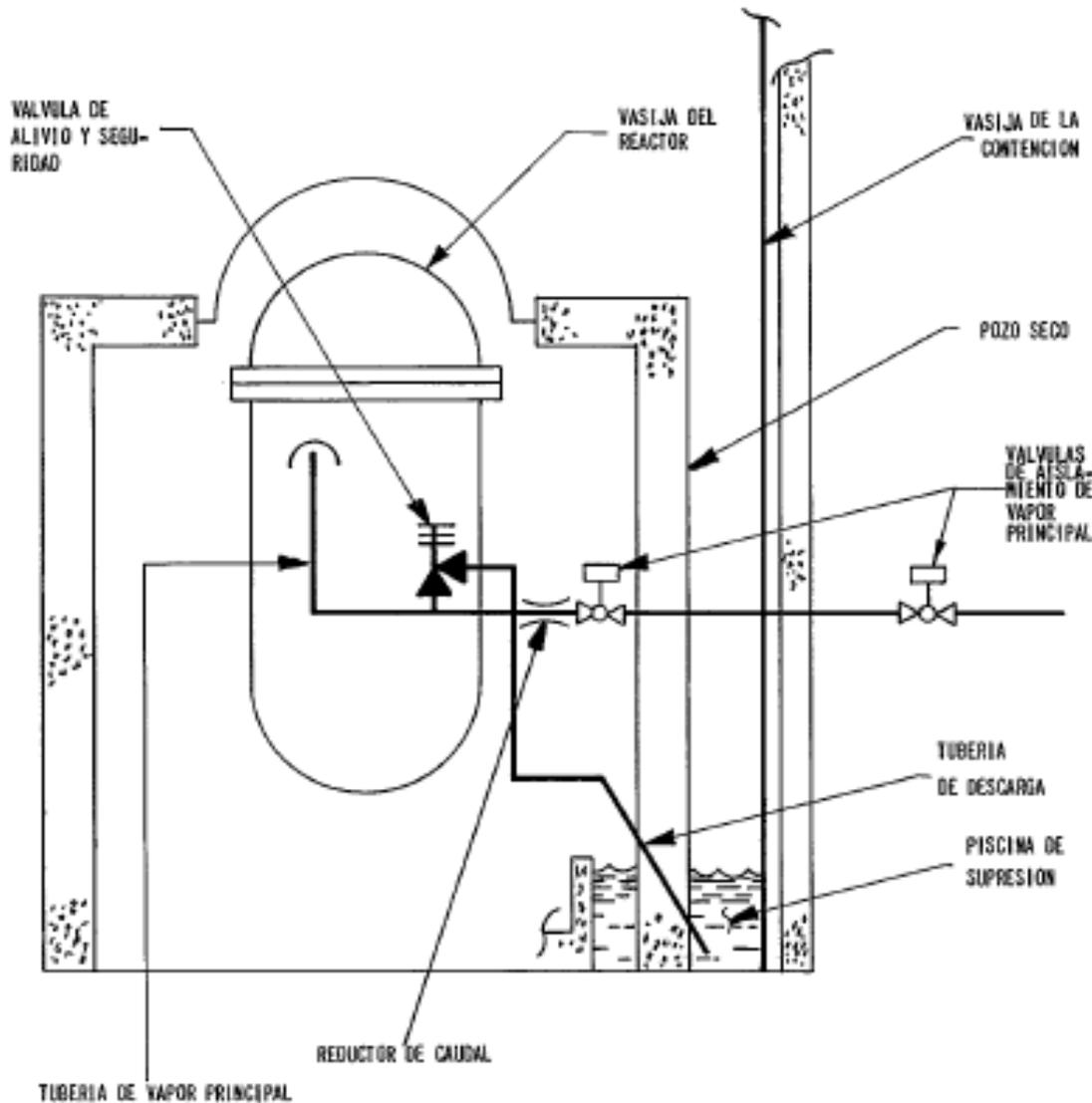
6. HEAT EXCHANGER

7. SERVICE WATER

8. CONTAINMENT SPRAY

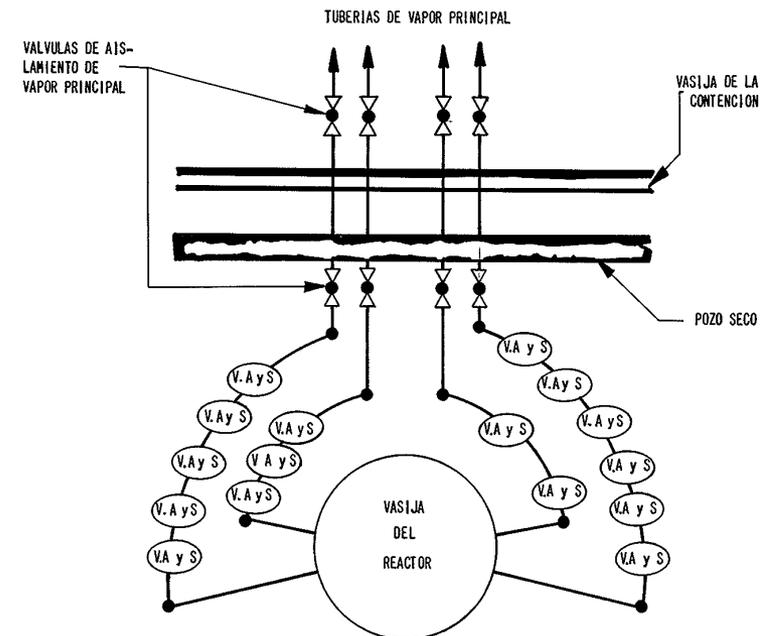


ADS: despresurización automática

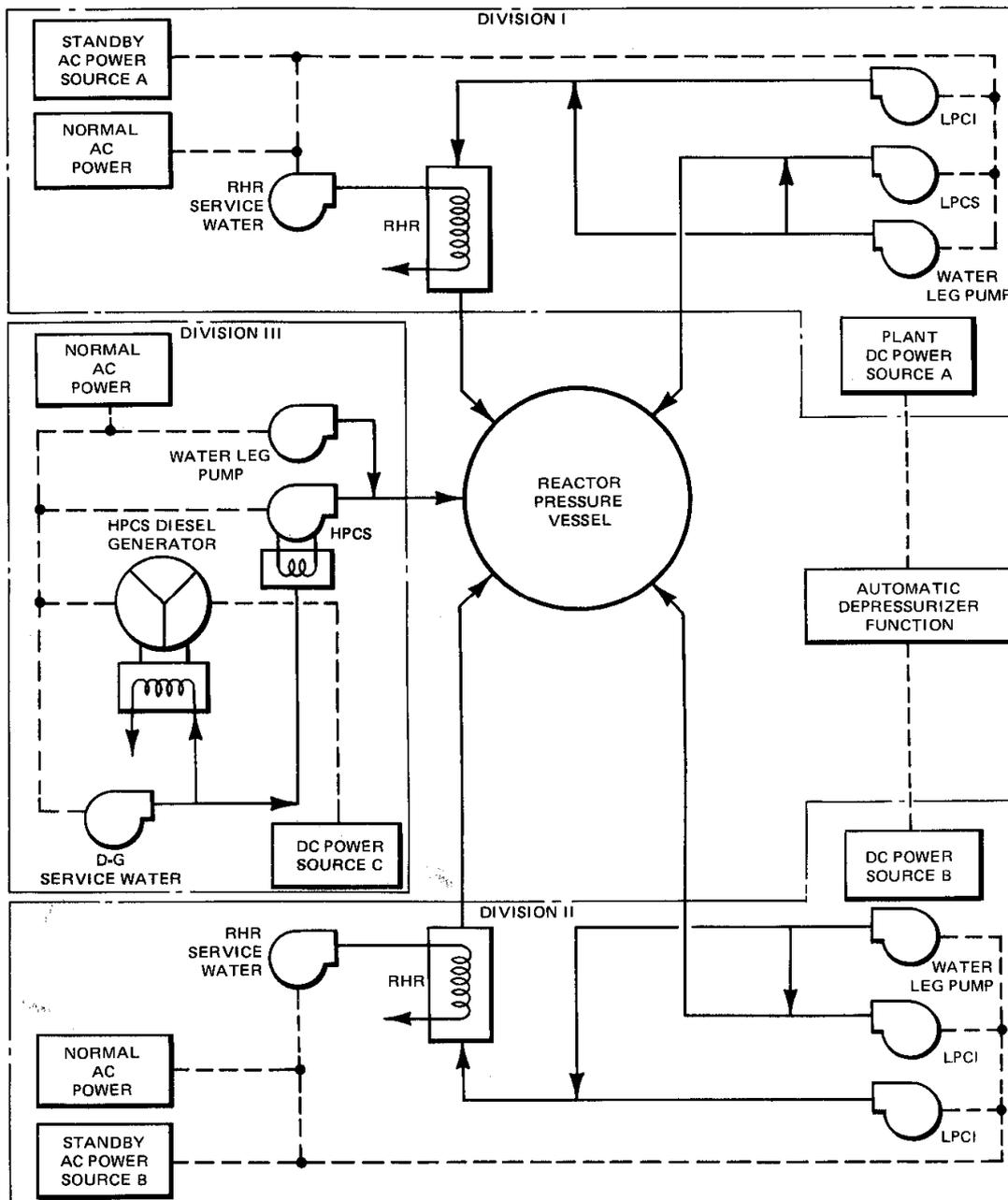


Alivio de presión de la vasija descargando el vapor a través de determinadas válvulas de alivio y seguridad (SRV) hacia la piscina de supresión, donde condensa.

En LOCA pequeño reduce la P hasta que pueden inyectar los sistemas de baja P.



DISEÑO SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE EMERGENCIA



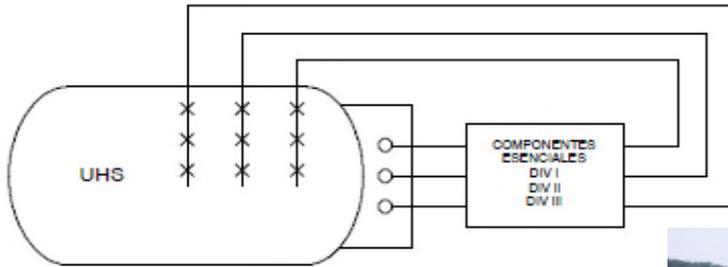
- Basado en el funcionamiento de componentes activos (bombas, válvulas) que requieren de A/C
- Separación y diversidad: Divisiones independientes
- Criterio de fallo único
- Alimentaciones eléctricas diversas e independientes (GD's)

RHR - RESIDUAL HEAT REMOVAL
 HPCS - HIGH PRESSURE CORE SPRAY

LPCS - LOW PRESSURE CORE SPRAY
 LPCI - LOW PRESSURE COOLANT INJECTION MODE OF RHR

--- ELECTRICAL
 — PIPING

Agua de servicios esenciales y UHS



Circuito de refrigeración cerrado para transportar al sumidero final de calor (UHS) las cargas térmicas de componentes necesarios para la parada segura del reactor y de los equipos y cambiadores que intervienen en un LOCA (durante 30 días sin aporte de agua).

Permite también inundar vasija, contención, piscinas combust.

Criterio de fallo único (redundancia)



3. Contención

- ❑ **Sistema de aislamiento de contención (primaria y secundaria)**



Válvulas de aislamiento de vapor principal (MSIV's)

- ❑ **Sistema de supervisión y control de la atmósfera y presión de la contención** (control de P y eliminación del H_2 tras LOCA o en Accidente Severo):
 - Mezcla atmósfera contención primaria
 - Recombinadores de H_2
 - Ignitores de H_2
 - Venteo de la Contención
 - Recombinadores Autocatalíticos Pasivos-PAR (en curso post Fukushima)



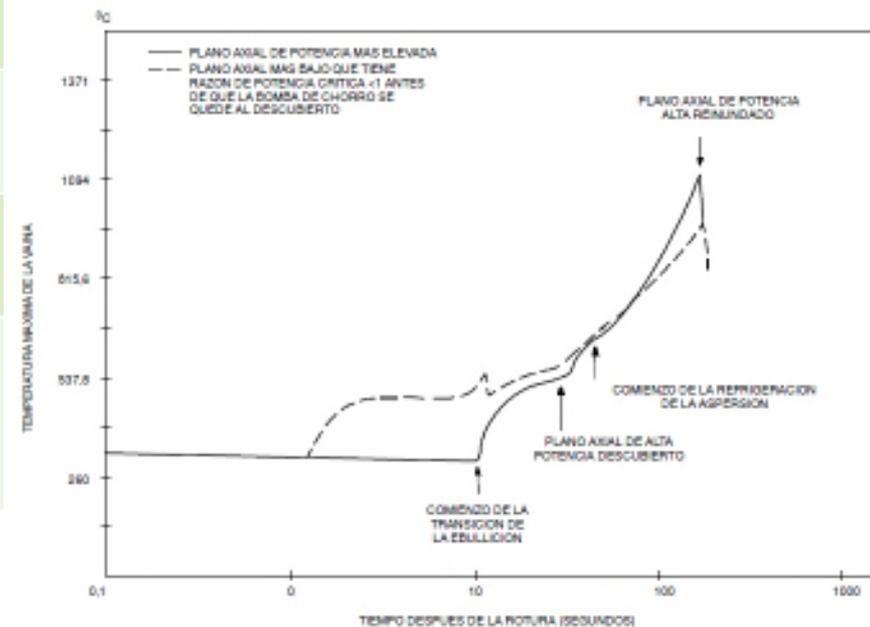
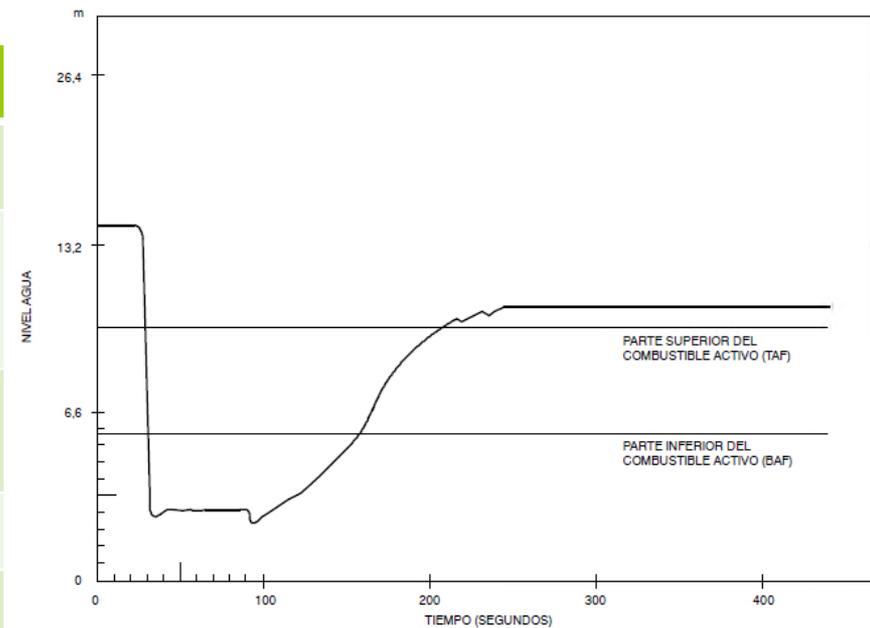
-
- 1) Introducción al reactor de agua en ebullición BWR-6
 - 2) Sistemas de seguridad en un reactor BWR-6
 - 3) Accidentes base de diseño: LOCA-DBA**
 - 4) SBO de larga duración

LOCA. Espectro de roturas

El espectro de roturas abarca desde roturas de *tubing* de instrumentación hasta roturas de líneas de vapor principal (>2000 cm²) o de líneas de aspiración de las bombas de recirculación (>2000 cm²). Tipos de rotura:

- ❑ **Rotura pequeña:** la generación de potencia en el núcleo excede la pérdida de energía por la rotura y la vasija no se despresuriza
- ❑ **Rotura intermedia o de transición:** la generación de potencia del núcleo iguala aproximadamente a la pérdida de energía por la rotura, manteniéndose la presión en la vasija en una condición de equilibrio
- ❑ **Rotura grande:** la vasija tiende a despresurizarse -->
LOCA-DBA: Rotura en guillotina de la rama de succión del lazo de recirculación.

t (seg)	LOCA-DBA. Secuencia del suceso
0	Rotura (LOCA-DBA). Se interrumpe además la energía auxiliar normal
0	Alta P en pozo seco y bajo nivel de agua del reactor (nivel 3). Se inicia arranque de los GD's, scram, puesta en marcha del HPCS, LPCS y LPCI por alta P en pozo seco
~3	Se alcanza nivel 2. Cierre de las MSIV's. Disparo bombas recirculación. HPCS recibe 2ª señal de iniciación.
~7	Se alcanza nivel 1. 2ª iniciación de LPCS y LPCI.
<10	Todos los GD's dispuestos a tomar carga, se activa motor de la bomba del HPCS, empieza a abrir válvula de inyección del HPCS, empieza activación de motores de bombas LPCI y LPCS
≤27	Válvula inyección HPCS ha abierto y la bomba inyectora a caudal nominal, completando la iniciación del HPCS
≤40	Bombas de LPCI y LPCS a caudal nominal, abren sus válvulas de inyección, completando la iniciación de ambos sistemas
>10 min	Núcleo reinundado efectivamente suponiendo el fallo único más desfavorable. Calentamiento terminado. El operador cambia el modo de operación del RHR para refrigeración del recinto de contención.



-
- 1) Introducción al reactor de agua en ebullición BWR-6
 - 2) Sistemas de seguridad en un reactor BWR-6
 - 3) Accidentes base de diseño: LOCA-DBA
 - 4) **SBO de larga duración**

SBO de larga duración

Re-evaluado para Test de Resistencia post-Fukushima (C.N. Cofrentes):

- ✓ SBO: pérdida de todas las alimentaciones exteriores y de Diesel div.I y II. Se dispone del Diesel div.III que alimenta al HPCS para inyección a vasija
- ✓ Considerando pérdida del Diesel div.III, se dispone de **baterías D/C**

Baterías alimentan	Autonomía baterías	Inyección agua
Control	Base de diseño: 4 horas	RCIC (sólo requiere D/C para control)
Instrumentación	Sin embargo autonomía significativamente superior, al estar prevista la desconexión de cargas secundarias según procedimiento de SBO	Sistema contraincendios (PCI): no requiere D/C. Mediante su bomba Diesel puede inyectar agua a: -Vasija -Piscina de Supresión -Piscinas de Combustible
Alumbrado emergencia		Grupos de bombeo portátiles con conexiones previstas para inyectar

- ✓ En caso de pérdida total de energía eléctrica exterior e interior (incluidas baterías):
 - Inyección mediante **RCIC** operado en manual (sin D/C)
 - Inyección y/o rociado **PCI** a través de bomba Diesel. Subsistema sísmico.
 - Disponibilidad de **grupos electrógenos y de bombeo** portátiles con sus conexiones
 - **Venteo dedicado** de la contención



Gracias por su atención

