

LECCIONES APRENDIDAS DEL ACCIDENTE DE VANDELLÓS I



Rafael Cid
Director Técnico SN

2

CONTENIDO

1. Antecedentes, el CSN en los 80-89
2. Descripción de Vandellós I
3. Secuencia del accidente
 - El incendio (20 minutos- 2 horas)
 - La inundación (2 horas- 8 horas)
 - Recuperación y parada segura (8 horas- 2 días)
4. Lecciones aprendidas del accidente

3

1. ANTECEDENTES

- Del **80 al 86** se trabajó, de forma prioritaria, en el licenciamiento (pruebas prenucleares, permiso de explotación y pruebas nucleares) de Almaraz I y II, Ascó I y II, Cofrentes.
- Adicionalmente, se trabajó en los programas de mejora de la seguridad de Zorita y Garoña, realizados entre el 82 y 86. También se dedicaron muchos **recursos de inspección en Trillo y Vandellós II** que estaban en la última fase de la construcción.
- **Moratoria nuclear**, Valdecaballeros parada la construcción desde el 84 y Lémoniz desde el 82.
- Francia establece un programa de **parada de las centrales de grafito gas**. Mantiene su programa nuclear con tecnología PWR a partir de la de Westinghouse
- El CSN, el 21 de febrero de 1986, requiere un programa de mejora de la seguridad de Vandellós 1 a semejanza de Zorita, Garoña y de la central de referencia **Saint Laurent des Eaux**.

4

1. ANTECEDENTES

Número de inspecciones realizadas por central

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
ZORITA	6	5	25	15	41	13	13
GAROÑA	6	6	12	12	18	11	10
VANDELLÓS I	5	4	11	15	11	13	13
ALMARAZ I	37	5	11	25	16	26	24
ALMARAZ II	4	25	20				
LEMÓNIZ I Y II	2			2	4	3	2
ASCÓ I Y II	19	30	AS1:25 AS2:26	AS1:21 AS2: 23	44	24	19
COFRENTES	2	5	38	78	32	15	7
VALDECABALLEROS I Y II	3	1	10	10	9	6	4
TRILLO I YII	7	3	6	13	37	42	61
VANDELLÓS 2	4	3	4	11	9	39	84
TOTAL INSPECCIONES	95	87	188	226	194	190	237



5

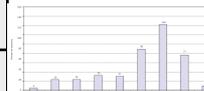
1. ANTECEDENTES

Evolución de la plantilla del CSN

1981. Reducido número de **personas de la JEN** actual CIEMAT. Una vez aprobado estatuto en 1982 se preveía la incorporación de unas 50 personas de la JEN.

1982. El 22 y 23 de julio de aprueba convocatoria **primera oposición** Cuerpo Técnico

	1983	1987	1989	2018
Funcionarios SN y PR	83	132	157	217
Funcionarios otras administraciones	31	43	43	128
Contratado	13	12	9	25
Laboral	40	88	121	62



6

2. DESCRIPCIÓN DE VANDELLÓS I



7

2. DESCRIPCIÓN DE VANDELLÓS I

Reactor de uranio natural moderado por grafito y refrigerado por CO₂.
Potencia eléctrica 500 MWe

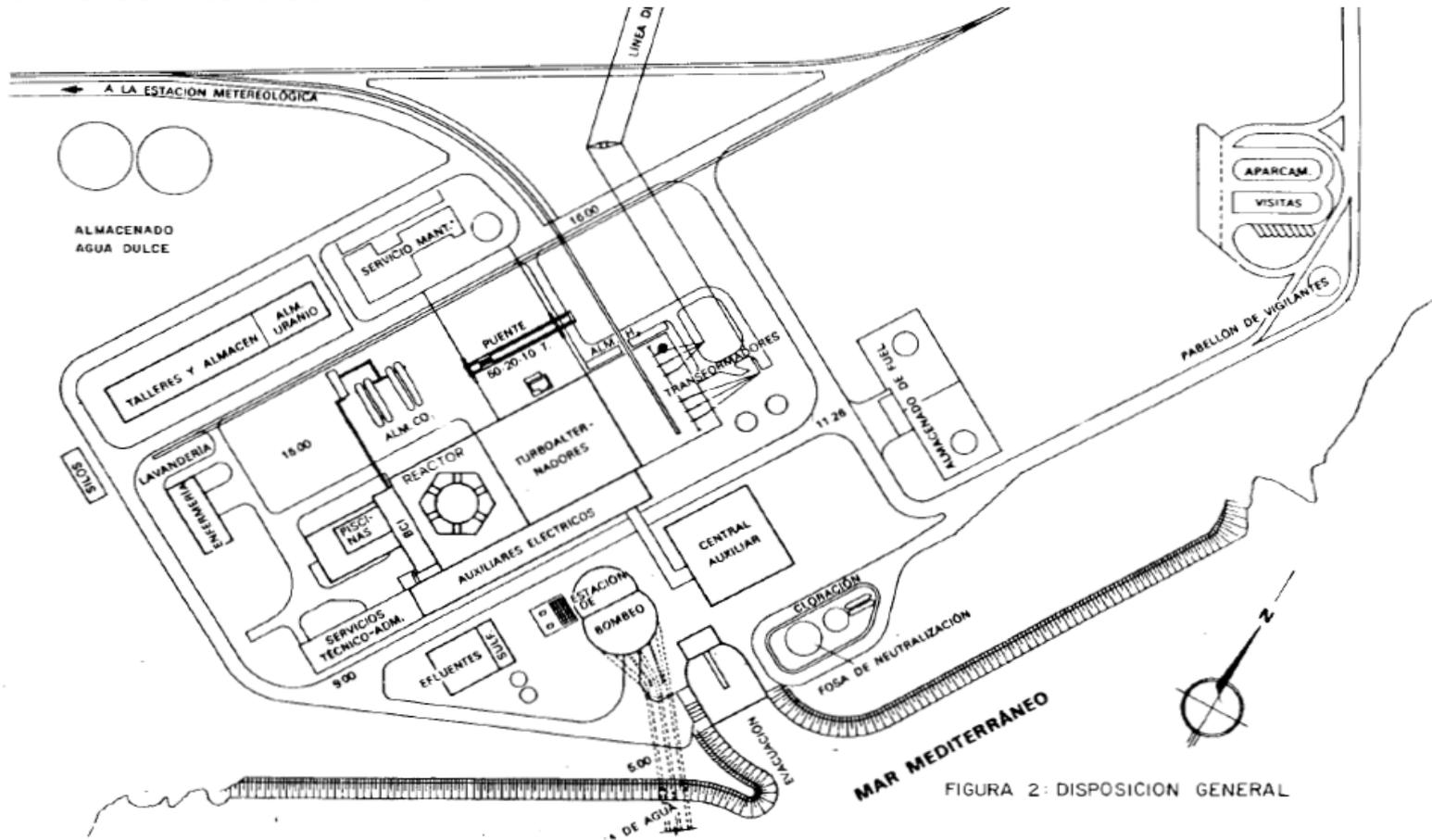


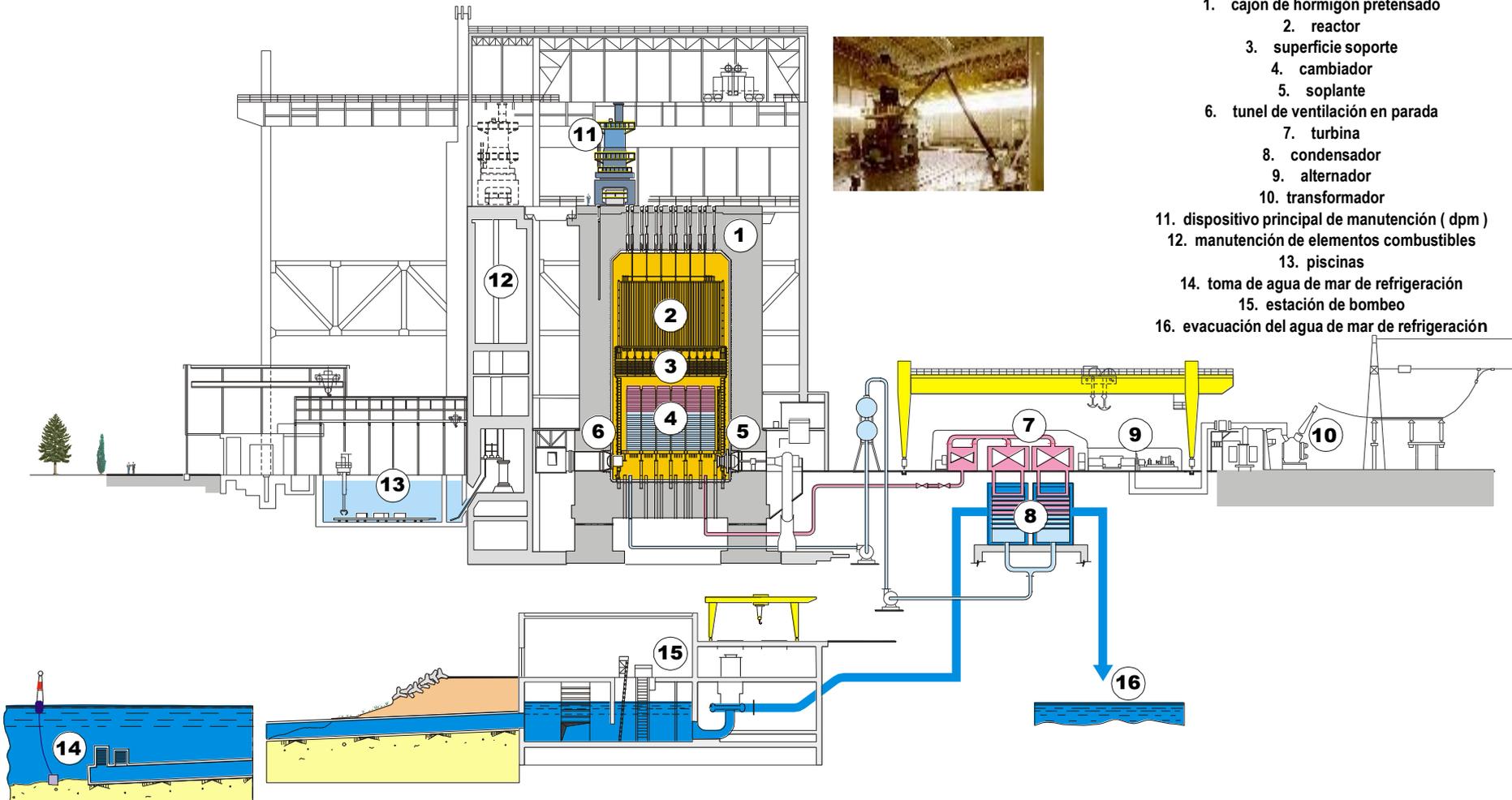
FIGURA 2: DISPOSICIÓN GENERAL

8

2. DESCRIPCIÓN DE VANDELLÓS I

LEYENDA

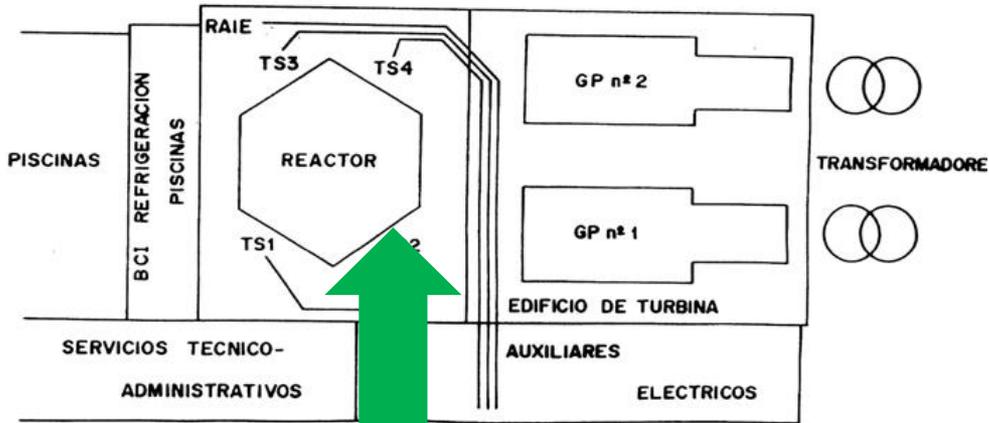
1. cajón de hormigón pretensado
2. reactor
3. superficie soporte
4. cambiador
5. soplante
6. tunnel de ventilación en parada
7. turbina
8. condensador
9. alternador
10. transformador
11. dispositivo principal de mantenimiento (dpm)
12. manutención de elementos combustibles
13. piscinas
14. toma de agua de mar de refrigeración
15. estación de bombeo
16. evacuación del agua de mar de refrigeración



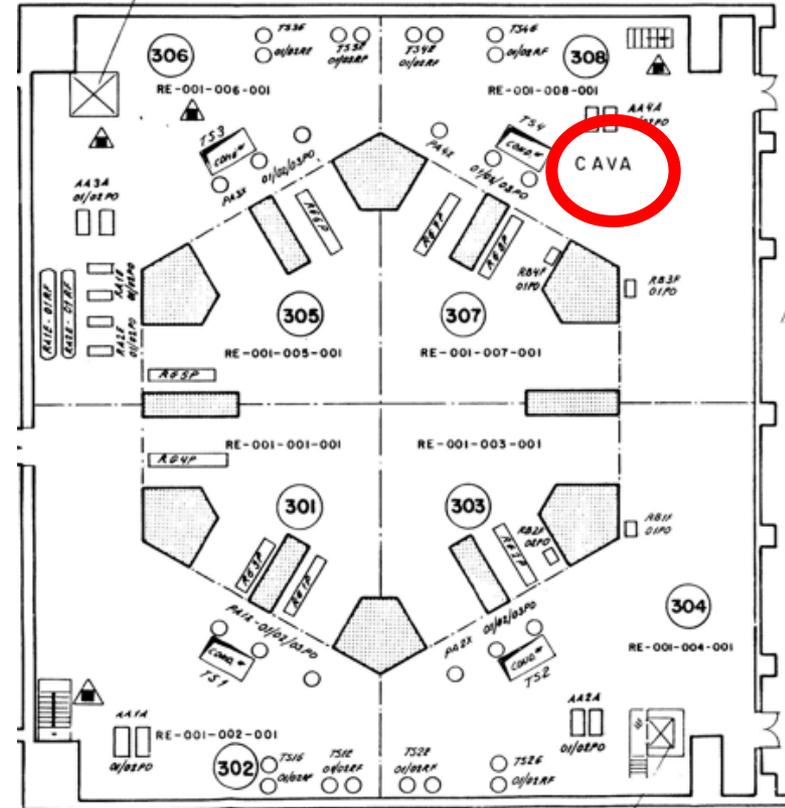
9

2. DESCRIPCIÓN DE VANDELLÓS I

RUTADO DE LOS CABLES ELECTRICOS DE ALIMENTACION A LAS TURBOSPLANTES Y LAS BOMBAS DEL RAIE



Edificio del Reactor

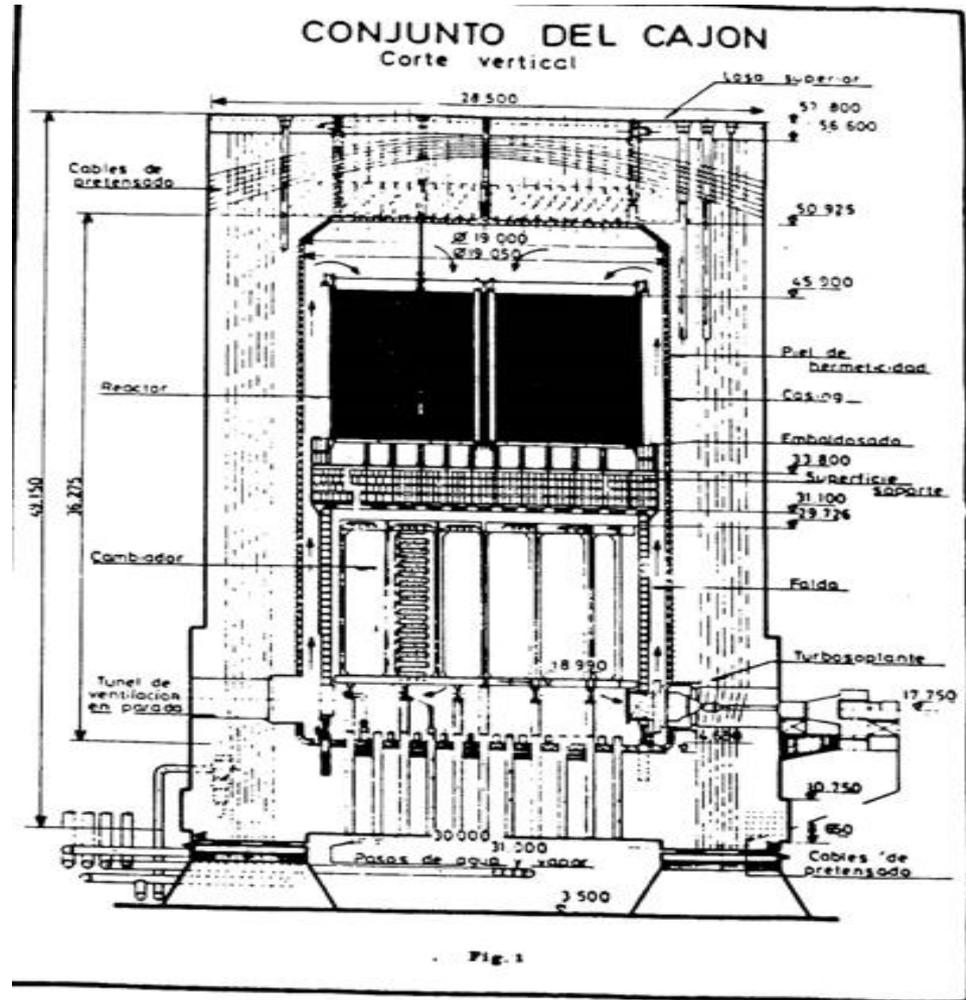


10

2. DESCRIPCIÓN DE VANDELLÓS I

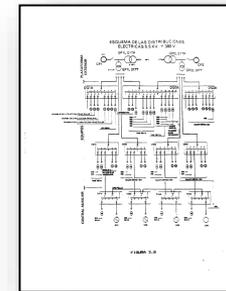
Cajón del reactor

Prisma hexagonal de 49,15 m de altura y 28 m ancho. Cavity cilíndrica interior de 19,05 m de radio y 32,29 m de altura. Espesor paredes es de 4,75 m



Sistema eléctrico de Vandellos I

VA I tenía **dos turbo-alternadores** de 290 Mw conectados a un transformador principal unido a la red eléctrica exterior de 380 Kv. Esta línea también proporcionaba la alimentación eléctrica cuando la central estaba parada o en arranque.



La central disponía de **4 calderas auxiliares** que proporcionaban vapor para las turbo-soplantes en caso de parada del reactor y conectadas a un turbo-alternador que proporcionaba alimentación eléctrica a los servicios vitales de la instalación.

12

2. DESCRIPCIÓN DE VANDELLÓS I

Sistema de refrigeración del reactor

- CO₂ impulsado por **cuatro turbo-soplantes** accionadas por el propio vapor del reactor o por vapor de las 4 calderas auxiliares tras el disparo del reactor.
- Tras una parada del reactor solamente **es necesaria una tubo-soplante** y ¼ del cambiador de calor para refrigerar el núcleo.
- El cambiador de calor principal (**generador de vapor**) estaba dividido en cuatro cuartos, alimentándose cada cuarto por una bomba principal estando el reactor a potencia. Durante la parada del reactor había otras ocho bombas de agua de alimentación auxiliar (dos por cada cuarto de cambiador de calor).
- Durante las paradas, el vapor del cambiador principal se dirigía al condensador de las turbo-soplantes, que actuaba como **foco frío**.
- Adicionalmente se disponía del **sistema de refrigeración en parada** con un cambiador de calor en la parte superior del cajón (RAiE, intercambiador en parada), diseñado para actuar tras 6 horas de la parada del reactor, que no necesitaba las turbo-soplantes (circulación natural)

13

2. DESCRIPCIÓN DE VANDELLÓS I

Núcleo del reactor está formado por un apilamiento de 3.000 tm de grafito, soportado por una estructura metálica llamada "superficie soporte"

Posee 3.072 canales de 145 mm y 10,20 m de altura, cargables con 15 elementos combustibles cada uno (46.080 elementos), refrigerados exteriormente.



14

2. DESCRIPCIÓN DE VANDELLÓS I

Sala de Control

- La instrumentación en paneles de Sala de Control **es muy limitada** en instrumentación comparada con otras CCNN debido al papel que juega el ordenador de proceso.
- En lugar de los paneles de instrumentación, VA I disponía de un sistema de adquisición de datos que procesaba más de 2000 variables a través de un **ordenador**. Un teclado de mando permitía a los operadores el control de equipos y sistemas a través del ordenador. Las condiciones de operación se comunicaban a través de impresoras (órdenes del operador, alarmas, cambios de estado, variables supervisadas).
- Otro ordenador supervisaba otras 100 **variables claves** registradas cada minuto. (Temperatura de CO₂, presión del cajón, caudales de agua de alimentación auxiliar al cambiador de calor, temperatura vapor, velocidad turbo-soplantes, etc).



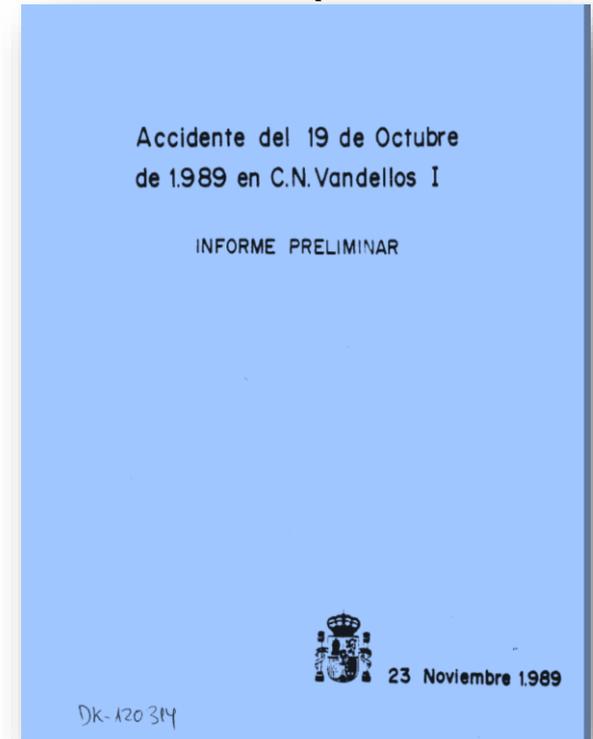
15

3. SECUENCIA DEL ACCIDENTE

19 octubre 1989 hora 21:39

Momentos iniciales del suceso: día 19/10/89 hora: 21:39 (20 minutos)

- El incendio (20 Minutos - 2 Horas)
- La inundación (2 Horas - 8 Horas)
- Recuperación parada segura (8 Horas - 2 días)



Informe del equipo del CSN que se trasladó a VA I el 20 de octubre

16 | 3.1. MOMENTOS INICIALES DEL SUCESO 20 primeros minutos (1/3)

- **21:39 horas.** Condiciones normales de operación a potencia 400Mwe
CO₂: T. entrada núcleo 229° y de salida 402°. Presión CO₂ 29 bar
- **Fallo mecánico** turbina GP2 en el Cuerpo de Alta presión.(Vibraciones, fuego, explosión, deflagración H₂. Daños en tuberías lubricación. Alternador).
- **Disparo del Reactor**, parada manual del operador, consecuente disparo de la Turbina GP1.
- Parada de **Turbo-soplantes 3 y 4** (cables de equipos auxiliares afectados por el fuego).
- En Sala de Control **humo denso** y dificultad de visión.
- Sistema de extinción de incendios **no actuado** (bloqueado desde Sala de Control). Sistema común de aporte a transformadores y turbosoplantes.
- Diversos equipos auxiliares **afectados por el fuego** en el edificio de Turbinas.



17 | 3.1 MOMENTOS INICIALES DEL SUCESO 20 primeros minutos (2/3)

- Pérdida de Megafonía, **iluminación** y Telefonía interna.
- No existía **brigada contra incendios**. Auxiliares de operación desenrollan mangueras en exteriores del GP2 incendiado.
- El edificio de Calderas Auxiliares (**no afectado por el fuego**). Por pérdida de la alimentación eléctrica disparan las calderas 3 y 4 y los compresores 3 y 4 de aire comprimido que son vitales para el control de válvulas (aire de instrumentos).
- Alarma baja presión aire de instrumentos para control y regulación automática de válvulas de Agua de Alimentación Auxiliar (las válvulas cierran y **no entra agua al cambiador de calor**).
- Dada la limitada capacidad del ordenador de proceso y la avalancha de señales y alarmas que produjo el incendio, el **ordenador quedo bloqueado** perdiéndose toda la indicación y el control de equipos.



18 | **3.1 MOMENTOS INICIALES DEL SUCESO 20 primeros minutos (3/3)**

- El otro ordenador de supervisión de las **variables claves** del cajón permanece operable (Temperatura de CO₂, presión del cajón, caudales AAA, Temperatura vapor, velocidad turbo-soplantes, etc).
- El turno necesita controlar la presión de **aire comprimido**, pero las fugas de aire en el edificio de turbina comprometen el funcionamiento de los compresores 1 y 2 operables (pérdida de presión de aire), y la regulación de las calderas auxiliares 1 y 2 que mantienen en operación las turbo-soplantes 1 y 2.
- Es necesario abrir las válvulas de agua de alimentación auxiliar en el edificio del reactor para la **refrigeración del reactor**.
- Por otro lado, al entrar en el edificio del reactor, se detecta nivel de **agua en la cava** (parte inferior del edificio del reactor) debido al rebose de tanques agua desmineralizada por pérdida de regulación aire de instrumentos.

19

3.2. EL INCENDIO 20´ - 2 HORAS

(1/2)

- Rotura en guillotina de las tuberías de aceite de lubricación turbina. El fuego evoluciona libremente. **El aceite derramado** (24000 litros) incendia los materiales de cotas inferiores.
- Llega **personal del retén** y la mayoría del personal de la planta al conocer el incendio. Aunque falta equipo, formación y entrenamiento del personal para combatir el incendio.
- Llegada de los **bomberos** de Vandellós II y Hospitalet (20 minutos). Tratan de confinar el fuego en GP2, evitar la propagación a GP1 y al Edificio Eléctrico.
- Actuaciones manuales del personal de planta (**COMPORTAMIENTO HERÓICO**) dentro del edificio reactor para mantener refrigerado núcleo:
 - *Aperturas/Cierres de válvulas de Control de AAA (Refrigeración del reactor deficitaria e intermitente).*
 - *Recuperar tensión en barras vitales DS3A y DS4A. (Recuperación de los compresores 3 y 4). Recuperar aire de instrumentos*
 - *Localizar y aislar fugas de agua desmineralizada Edif. Turbina.*
 - *Aislar fugas de aire comprimido en Edificio de Turbina.*
 - *Intentar mantener vacío en el condensador (con problemas) de la turbosoplante 1.*

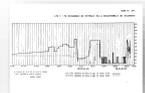
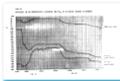
20

3.2. EL INCENDIO 20' - 2 HORAS

(2/2)

MOMENTOS CRÍTICOS

- **La presión del CO₂** en el interior del cajón alcanza 29,7 bar y el tarado de las válvulas de seguridad es de 30,1 bar. En caso de alcanzarse este valor se produciría la apertura de las válvulas de protección del cajón y la liberación del CO₂.
- **La temperatura de entrada** a las turbo-soplantes alcanzó los 310°C. En caso de haberse alcanzado los 315°C (máxima temperatura de estanqueidad de las turbos) se podrían haber producido fugas de CO₂ a través de los sellos de las turbo-soplantes.
- A las 12:20' (aproximadamente 3h desde el inicio) se recupera caudal agua alimentación auxiliar (70 T/hora ; 60 T/hora) al cambiador de calor. La presión del cajón y temperatura de entrada turbosoplantes, bajando. **Parece que la situación se va controlando.**
- El personal de planta en el edificio del reactor comunica a Sala de Control que el agua en la cava del reactor afecta a equipos de seguridad. **Nivel de inundación** de 80 cm a 1 metro. El agua es salada



21

LA INUNDACIÓN 2h -8h (1/2)

- Se calcula que hay 4000 metros cúbicos de agua (65% del **agua procede del mar**). La restante es debida a las fugas de agua desmineralizada y la actuación de los bomberos.
- El incendio ha afectado a las **juntas flexibles** de las tuberías de agua de circulación en su unión con el condensador. El agua ha pasado del Edificio de turbina al Edificio del Reactor y de éste al Edificio de Combustible Gastado. 
- Disparan las **bombas de circulación** de agua de mar que han estado funcionando desde el inicio del accidente con lo que se detiene la inundación
- La inundación ha afectado (inoperables) a **equipos importantes** para la seguridad:
 - Todas las bombas RAiE inundadas o cables afectados por el incendio.
 - Bombas RAOR de llenado del sistema RAiE inundadas o cables afectados.
 - Compresores del sistema de ventilación en parada inundados.
 - Bombas de refrigeración de piscina de elementos combustibles inundadas. 

22**La inundación 2h – 8h (2/2)**

- Dos de los tres sistemas de **refrigeración del reactor** están inoperables por el incendio y la inundación. (RAiE- circuito refrigeración en parada y el sistema de ventilación en parada)
- Se mantienen en operación las turbo-soplantes TS1 y TS2. Las bombas de Agua de alimentación auxiliar (eje horizontal) están **inundadas hasta el eje** (inundando la mitad del motor eléctrico), se mantienen en funcionamiento al no afectar a la caja de conexiones en la parte superior.
- Las bombas de extracción de condensado de las turbo-soplantes TS1 y TS2 (de eje vertical) también están **parcialmente inundadas** hasta la unión del motor eléctrico con la bomba, se mantienen operables.
- 1:30 horas del día 20 de octubre, se da por controlado el incendio y comienzan las labores de achique de agua con bombas portátiles. A las 4:00 horas del día 20 se declara el **incendio extinguido** (más de 6 horas de incendio).
- Se **mantiene estable** la refrigeración del reactor durante este tiempo con algunos problemas en el control de agua de alimentación auxiliar.

23 | **Recuperación Parada Segura (8 horas – 2 días)**

- 6:00 horas del día 20, el nivel de agua ya no afecta a las bombas operables. A medida que se va achicando agua, se teme que la **falta de lubricación** de las bombas pueda griparlas (engrase manual de forma continua).
- 10:00 horas, finaliza el **achique** de la inundación. Se trabaja en la recuperación de equipos inundados y afectados por el incendio.
- 17:00 se normaliza el control de **agua de alimentación** auxiliar a 70 T/hora.
- 10:00 horas del día 21, **recuperadas 3 bombas** del RAiE, una de ellas alimentada eléctricamente con un G. diesel portátil.
- 18:00 horas del día 21 se recupera el sistema de **ventilación en parada**.
- La refrigeración del reactor **está garantizada**. El accidente ha ocasionado graves daños en la planta pero no ha habido daños en el combustible ni emisión de radiación.
- Se clasificó como **Nivel 3 “Incidente importante”** en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES)



ASPECTOS BASICOS DE SEGURIDAD NUCLEAR

- El CSN confirmó que los **criterios básicos de seguridad** nuclear aplicados en las otras centrales W, GE, KWU eran adecuados (Criterios Generales de Diseño y Normativa Técnica EE.UU y Alemania)
- Diferencias importantes de **diseño de seguridad** con el resto de centrales nucleares españolas. Ejemplos:
 - Clasificación de Sistemas de Seguridad/No Seguridad,
 - Separación física y eléctrica entre equipos redundantes
 - Separación turbina-reactor
 - Edificio de Contención
 - Cualificación sísmica

SALA DE CONTROL, I&C

- A diferencia de VA I, se confirmó que la **Normativa Técnica** utilizada en el licenciamiento del resto de centrales españolas era adecuada.
Ejemplos:
 - **Habitabilidad** de la Sala de Control
 - Disponibilidad de instrumentos en Sala de Control (**instrumentación analógica**)
 - Panel de **Parada Alternativo** a Sala de Control
 - Instrumentación **Post-Accidente**
 - Instrumentación **Digital**. Sistema de monitorización parámetros de seguridad

26

4. LECCIONES APRENDIDAS

IMPORTANCIA DE LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

- Las carencias detectadas coinciden en gran medida con las del accidente del **Browns Ferry** (EE.UU, 1975). Apéndice R del 10 CFR 50
- Se refuerza **la inspección** de Protección Contra Incendios (PCI) para cumplir con Ap. R 10CFR 50 (PCI) en todas las centrales. Análisis de Parada segura y Brigada contra incendios. Mejoras en las CC.NN.
- Con la aplicación del Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC) se refuerza la inspección **multidisciplinaria** (PCI, Ingeniería de Sistemas, Ingeniería Eléctrica I&C)
- Desarrollo de la **IS-30**. (Establece los requisitos de Seguridad Nuclear PCI) siguiendo la normativa americana.
- Importancia de los procedimientos de **ayuda al operador** en caso de incendio o inundación.

IMPORTANCIA DE LA PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES

- En un principio **no se consideró** la repercusión de este accidente en el resto de centrales. Bases de licencia del resto de CC.NN incluye análisis de rotura de tuberías.
- Revisión sistemática a través de los Análisis Probabilistas de Seguridad (APS) de inundaciones de origen interno. Los APS ponen de manifiesto la importancia del **riesgo de inundaciones** con origen interno.
- Integración y análisis deterministas/probabilista (Manual de inundaciones). Con **Instrucción Técnica** CSN (2009) se introducen mejoras para prevenir y mitigar posibles inundaciones internas.
- Revisión **Post-Fukushima**. Se identifican y analizan efectos indirectos de origen interno y externo que podrían provocar inundaciones. Medidas de protección (sellado de galerías, etc).

28

CONCLUSIÓN

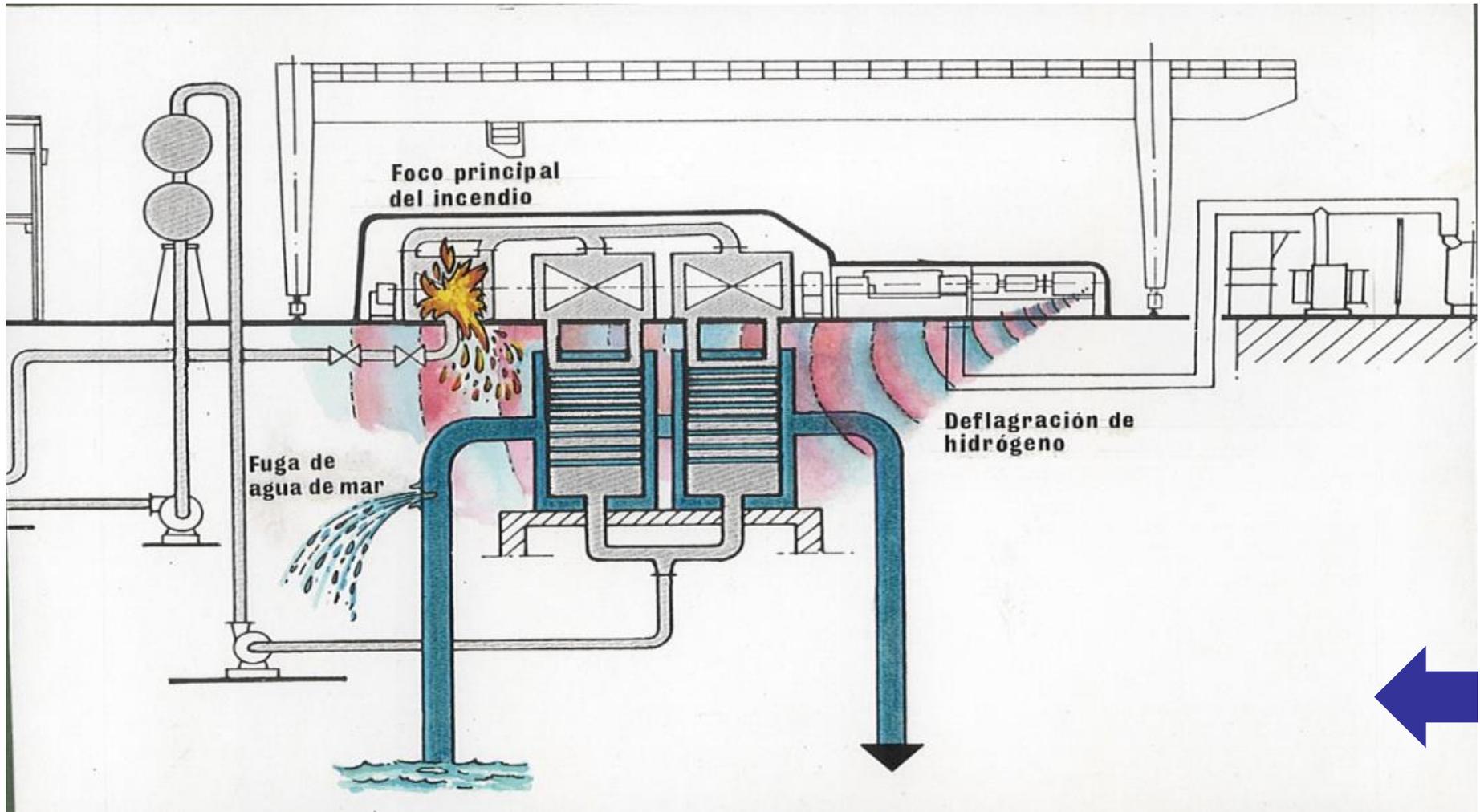
1. Diseño de Vandellos I **muy diferente** al resto de centrales españolas
2. No se incorporan criterios básicos de **diseño de seguridad** (separación física, eléctrica entre equipos redundantes, clasificación de sistemas de seguridad/no seguridad, separación turbina-reactor, calificación sísmica, etc)
3. La planta tenía gran número de equipos redundantes y una gran **innovación tecnológica**, sin embargo su diseño se asemejaba más a una **central térmica convencional**. (Ejemplos: el ordenador servía para la operación normal pero no para condiciones de accidente, los equipos de seguridad redundante estaban interconectados para mantener su disponibilidad)
4. La normativa técnica de **referencia en EEUU y Alemania** contemplaba los problemas de incendios e inundaciones que se observaron en este accidente, no se consideró directamente aplicable al resto de centrales.
5. No obstante, la regulación e inspección sobre **protección contra incendios** desde aquel suceso ha sido una de las máximas preocupaciones del CSN en el resto de las centrales, haciéndose mejoras relevantes.

MUCHAS GRACIAS

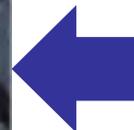
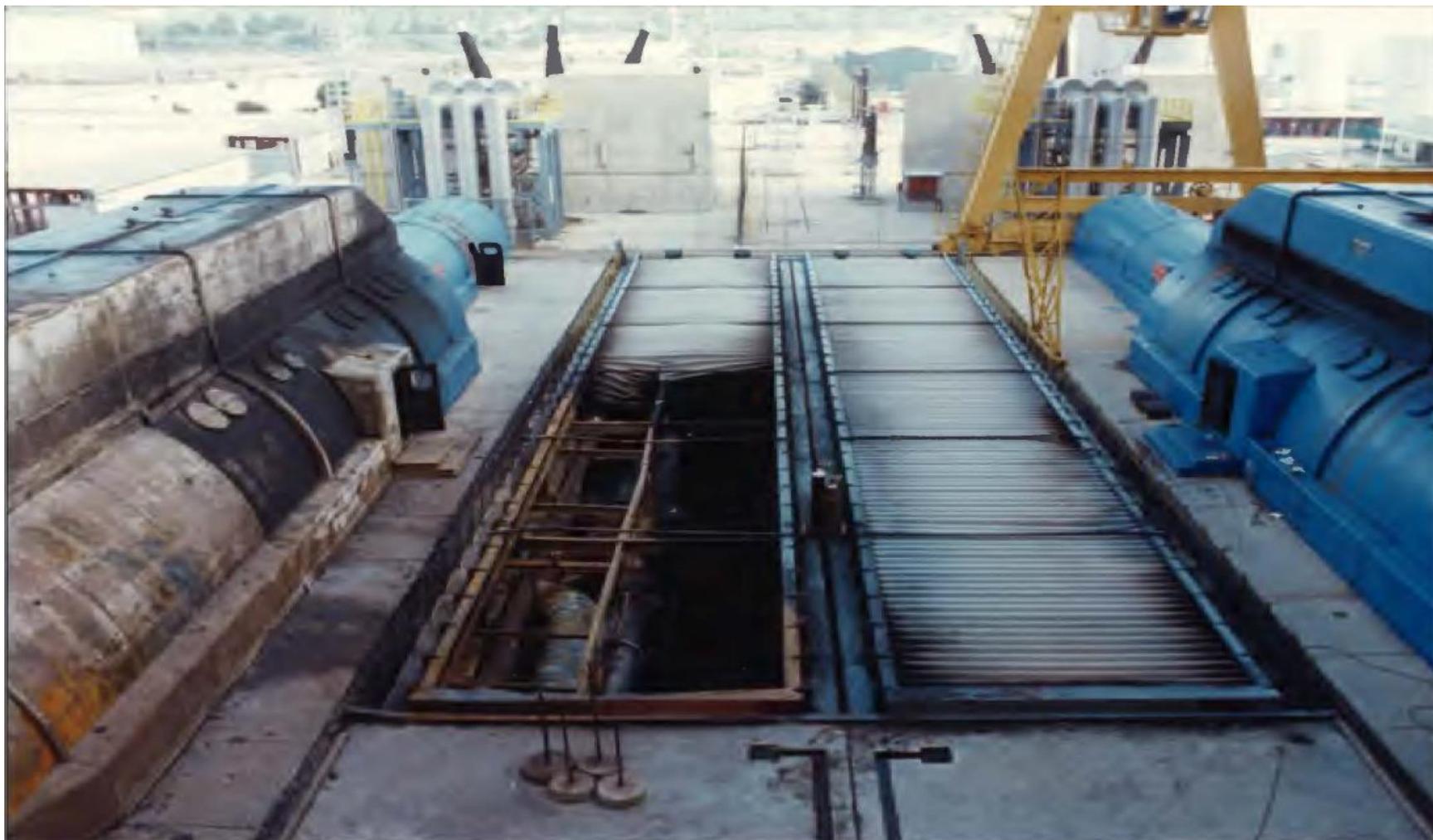
POR LA ATENCIÓN

30

CN VANDELLÓS I



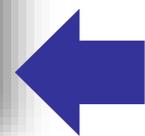
31 | **CN VANDELLÓS I**



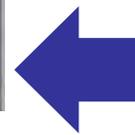
32 | **CN VANDELLÓS I**



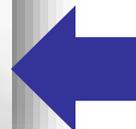
33 | **CN VANDELLÓS I**



34 | **VANDELLÓS I**



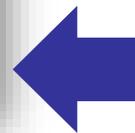
35 | **VANDELLÓS I**



36 | **VANDELLÓS I**



37 | **VANDELLÓS I**



38 | **VANDELLÓS I**

Conexión a la red eléctrica exterior de 380 Kv



Barras auxiliares vitales DSiA



Turbogrupos en el edificio de calderas auxiliares

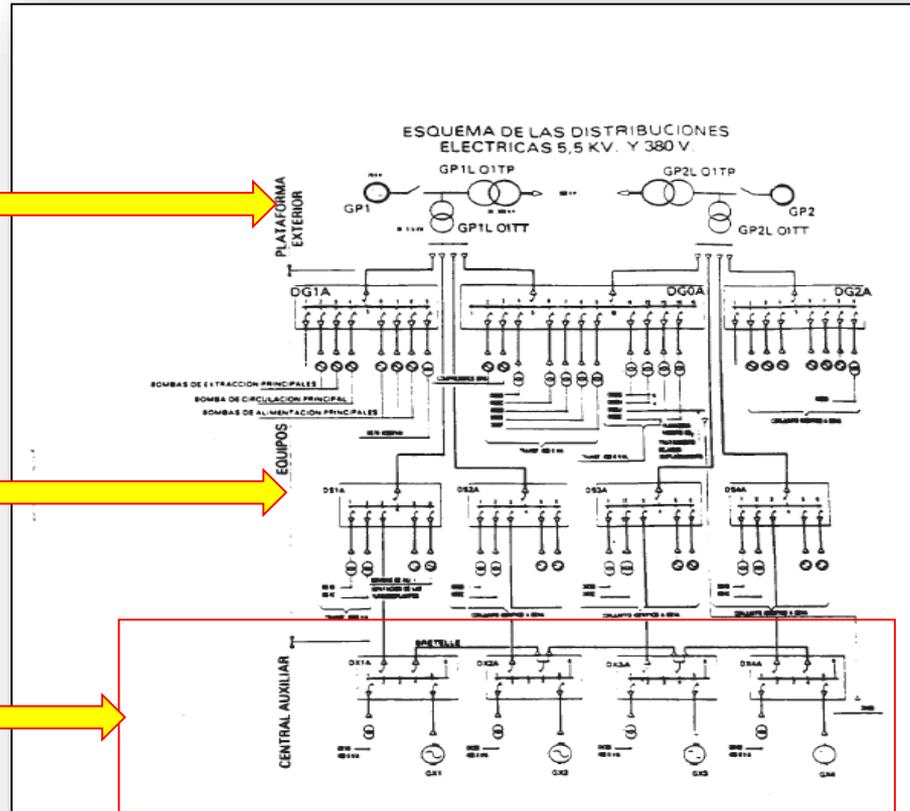


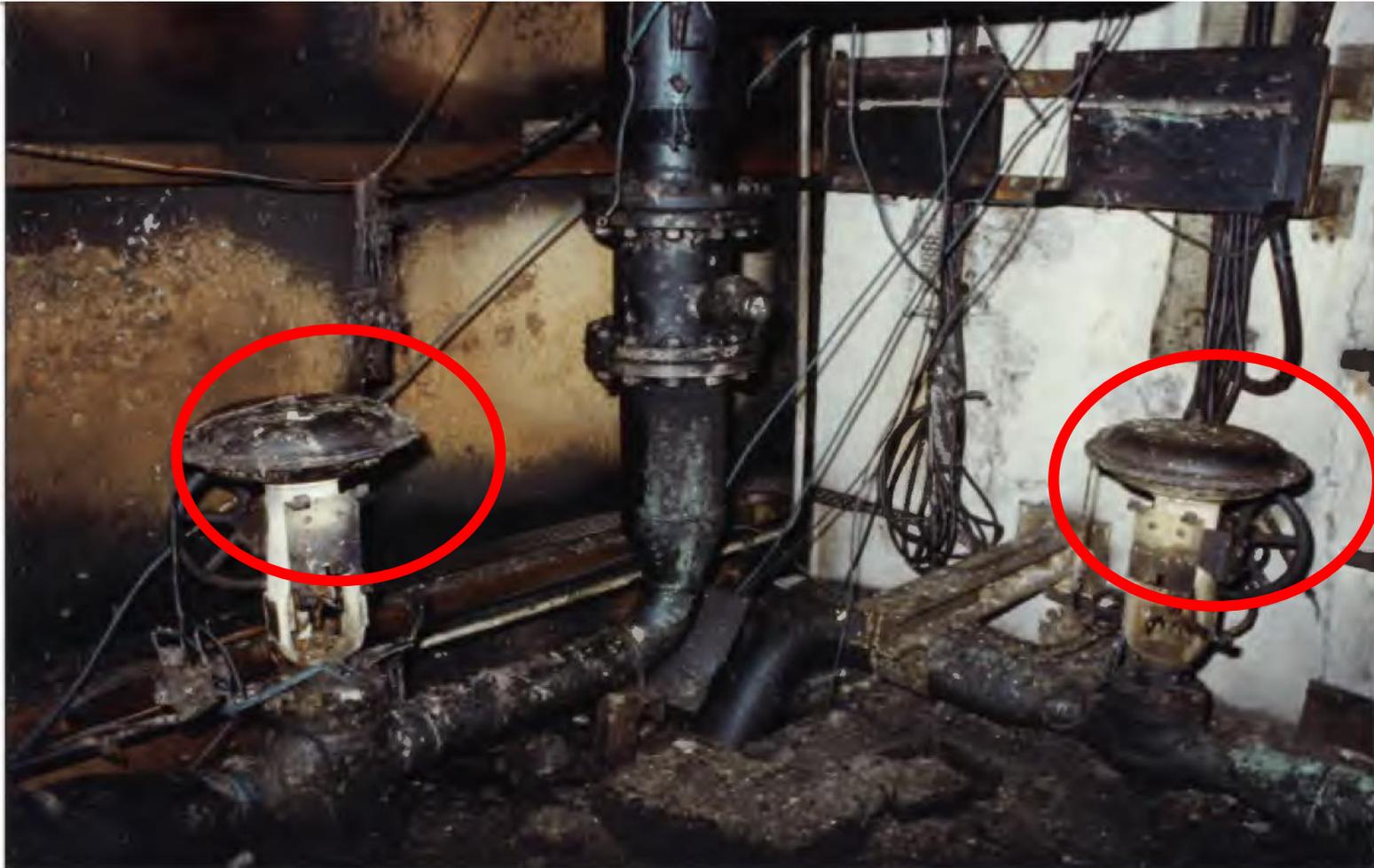
FIGURA 3.6



39 | **VANDELLÓS I**

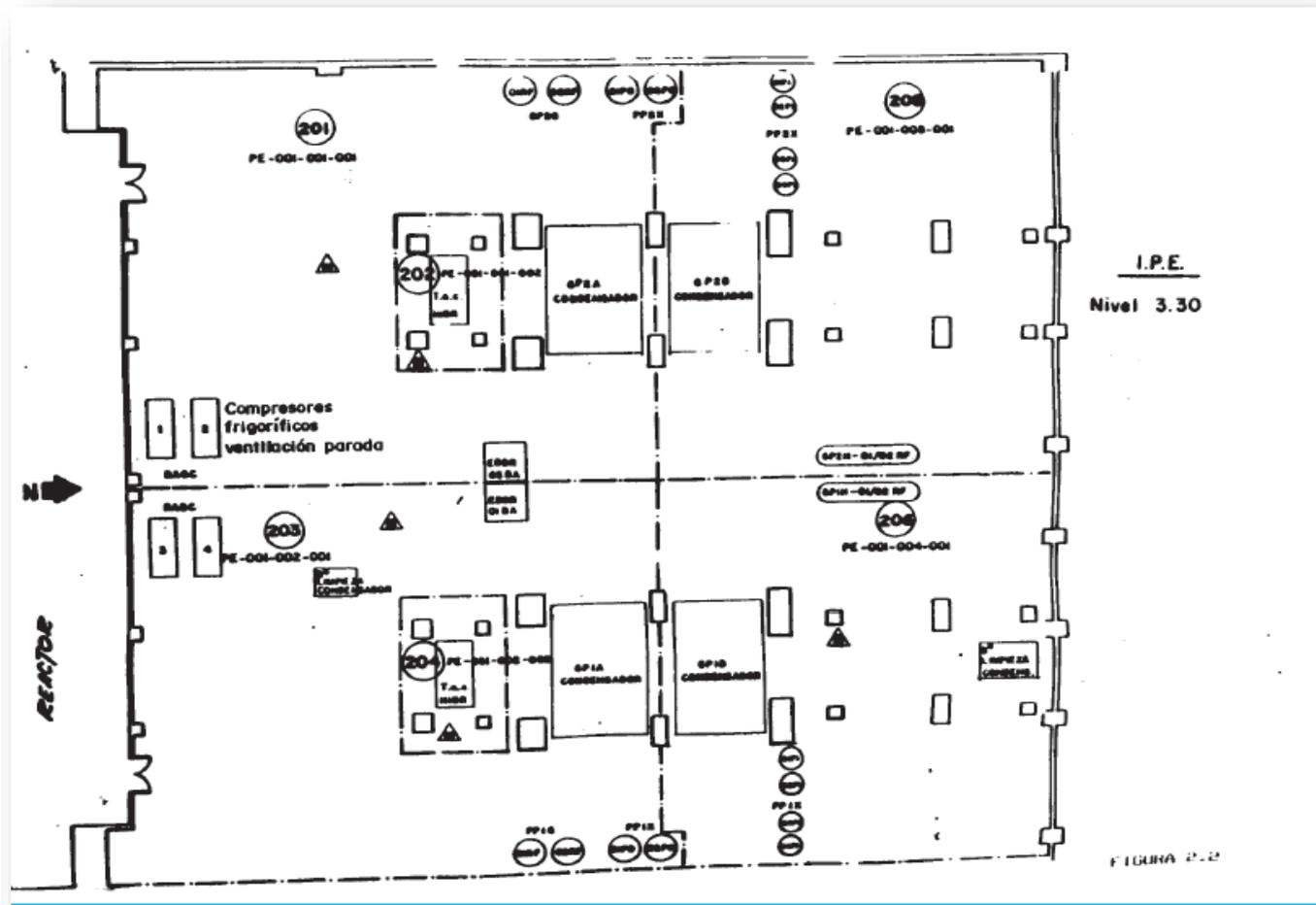


40 | **VANDELLÓS I**



41 | **VANDELLÓS I**





43

VANDELLÓS I

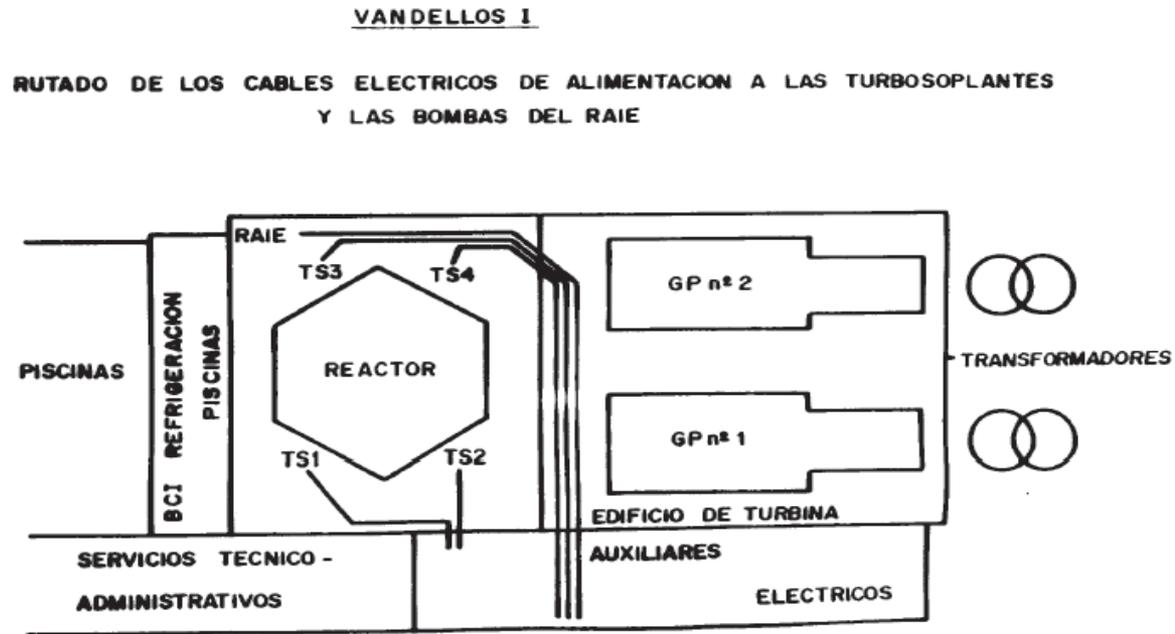


FIGURA 2.3



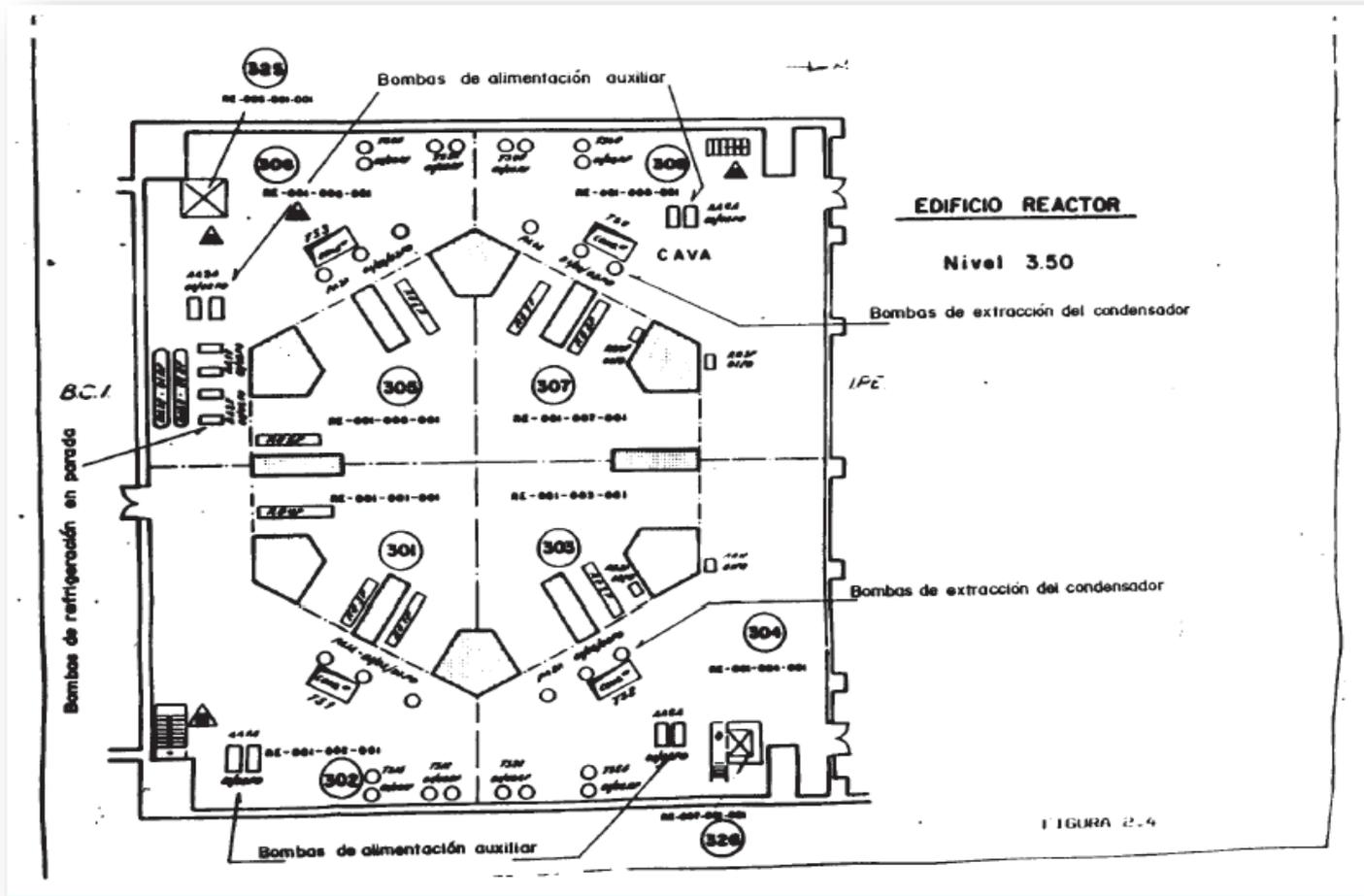


FIG. 3.1

Evolución de las temperaturas y presiones del CO₂ en el reactor durante el incidente.

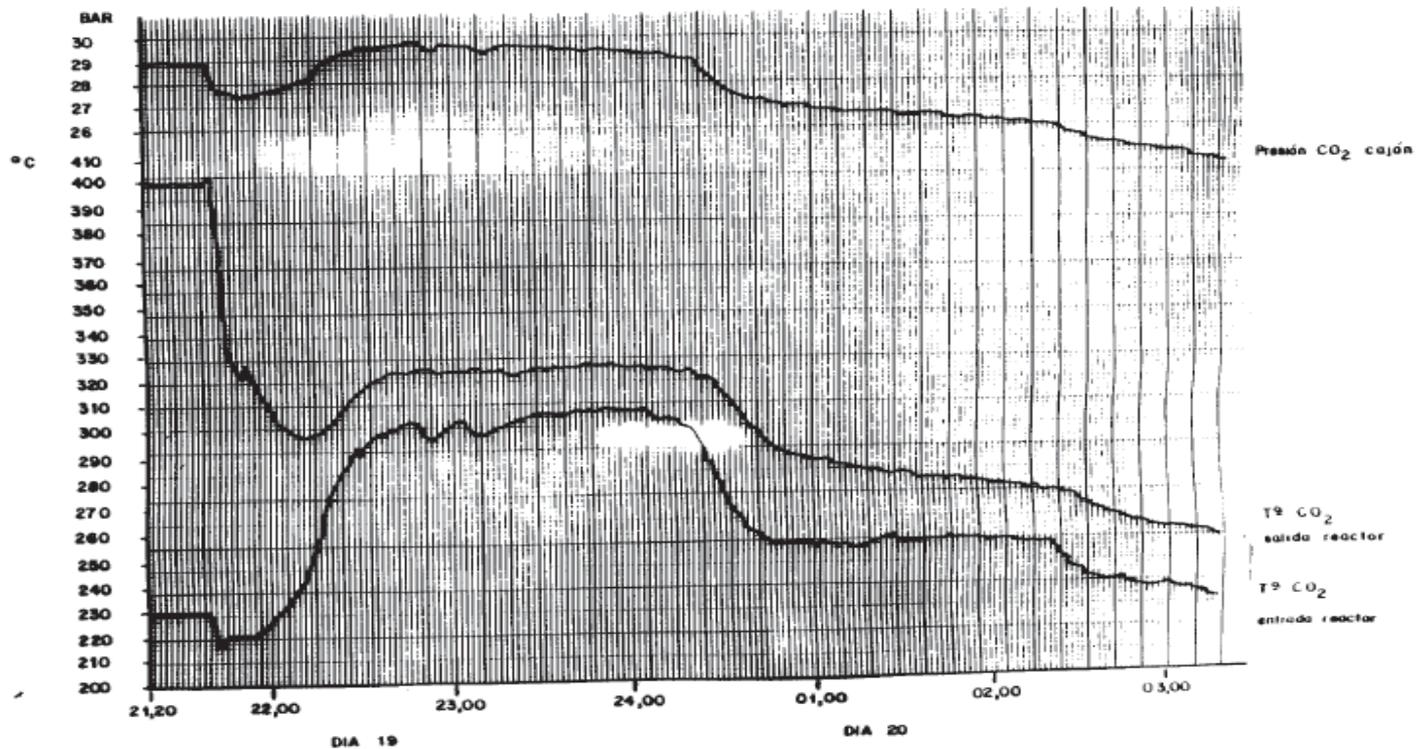
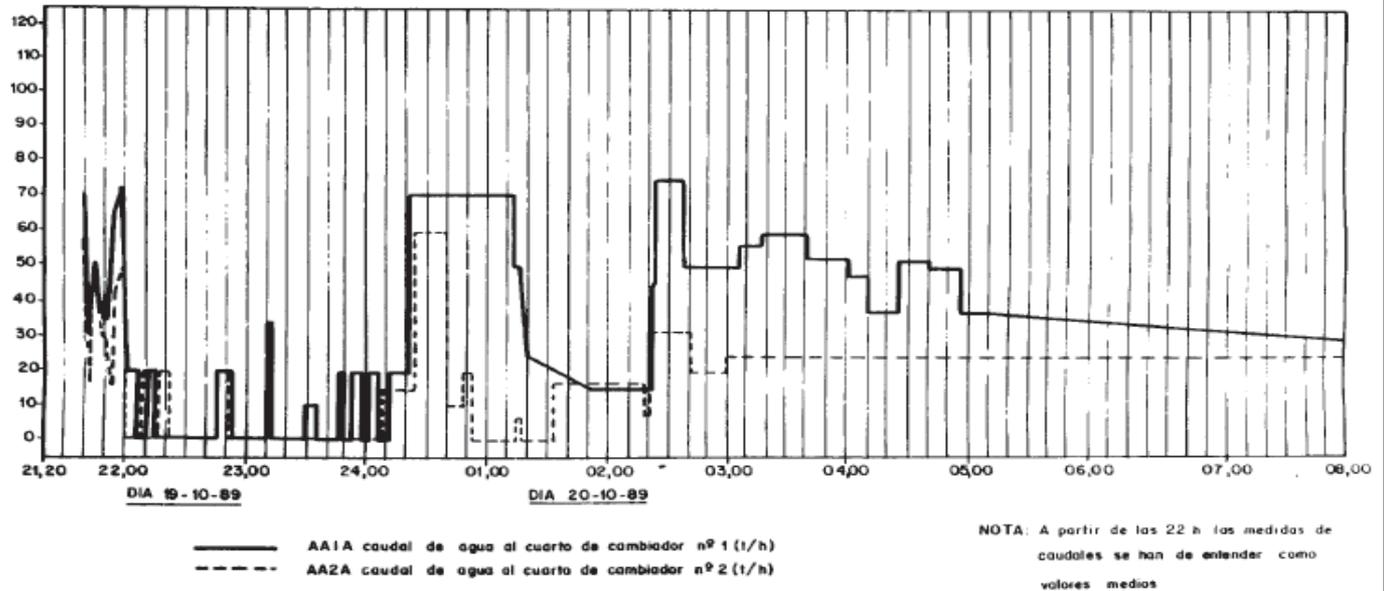


FIG. 3.1 (BIS)

CAUDALES DE ALIMENTACION A LOS CUARTOS DE CAMBIADOR Nº 1 Y Nº 2



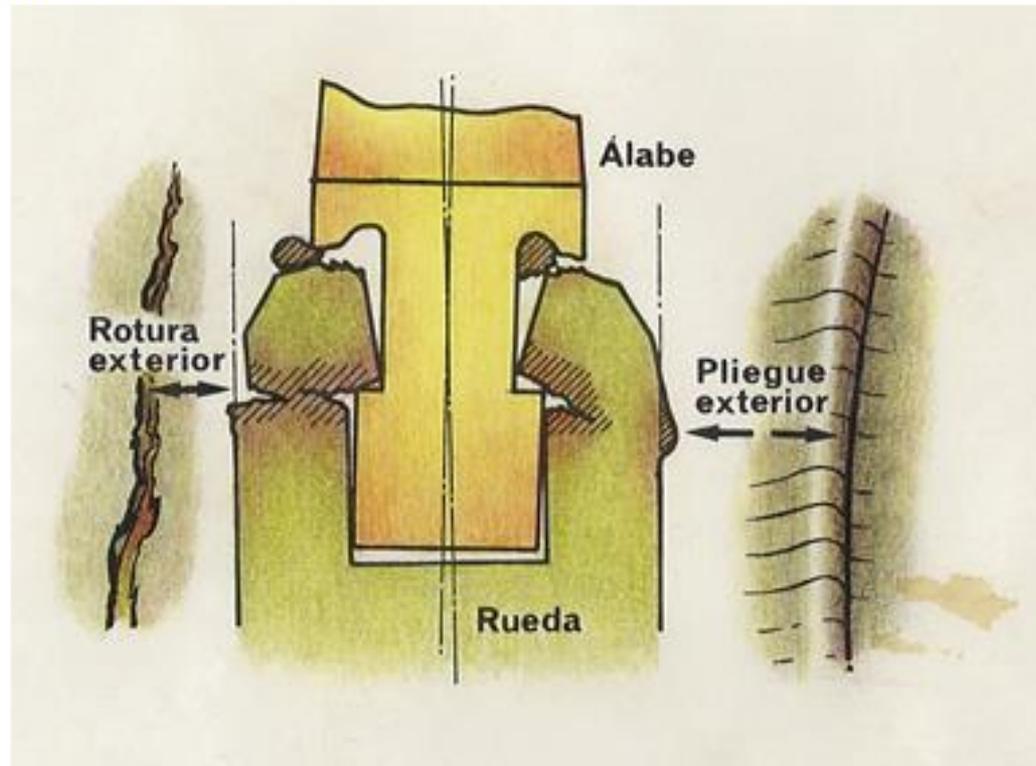
47

VANDELLÓS I

Instalación Nuclear Vandellós 1. Centro Tecnológico Mestral

enresa

Incidente del 19-10-89



48 | **CN VANDELLÓS I**



49

VANDELLÓS I

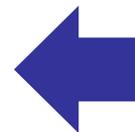
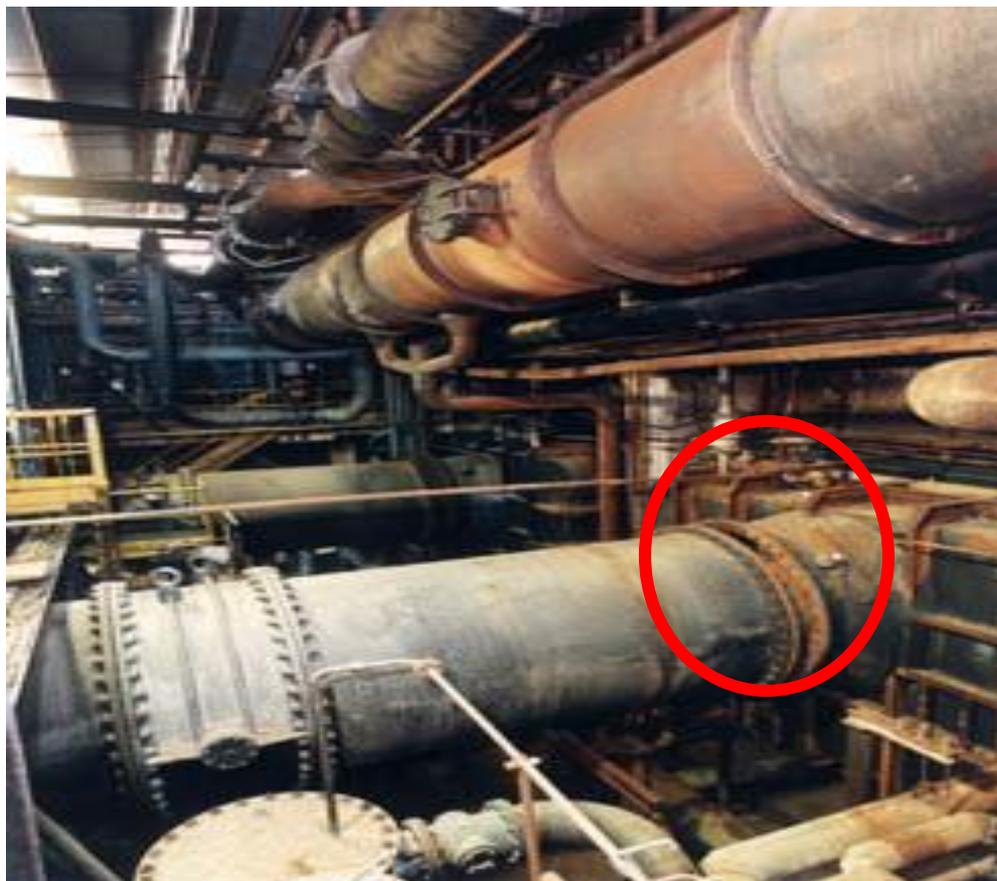


50

VANDELLÓS I

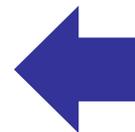


51 Rotura tubería agua de circulación (agua de mar)



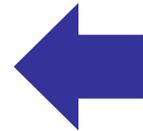
52

Agua de circulación



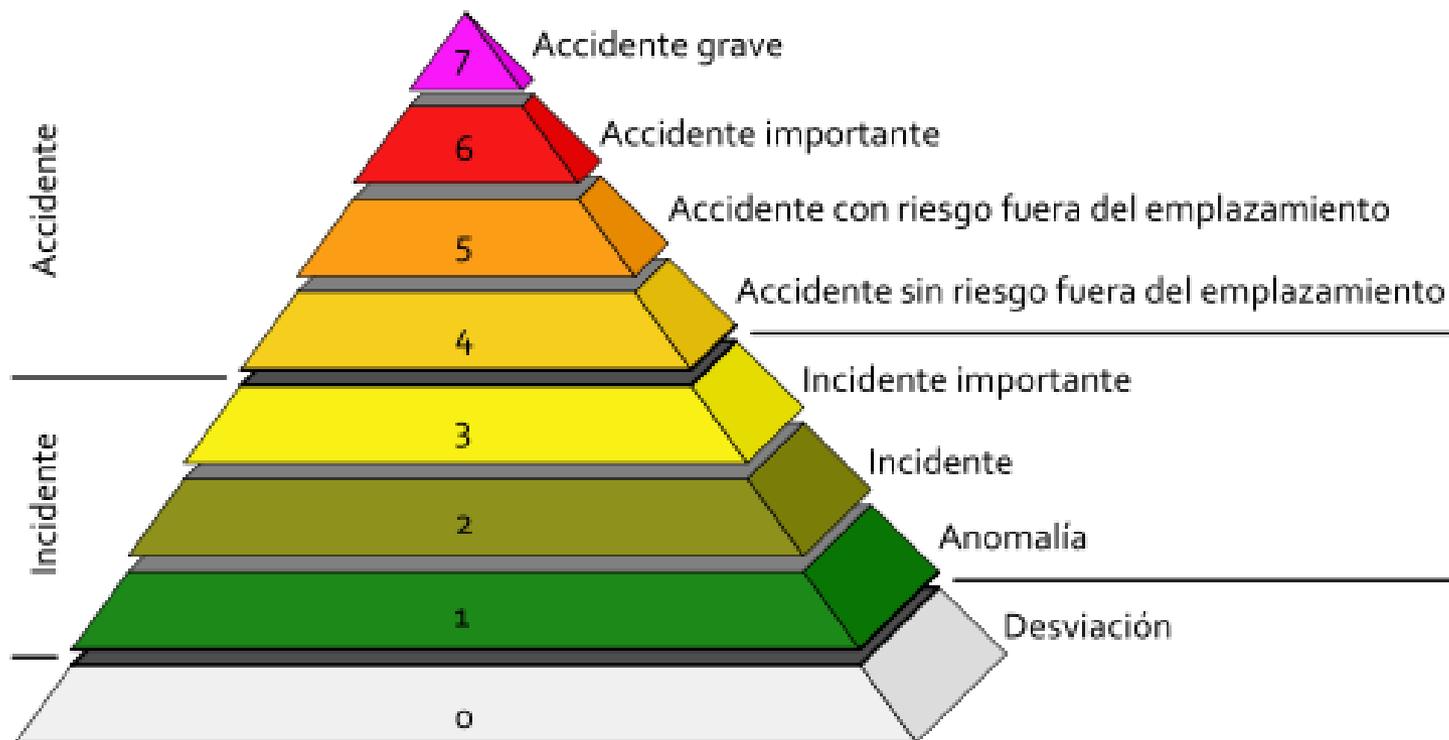
53

Sala de Control y ordenadores



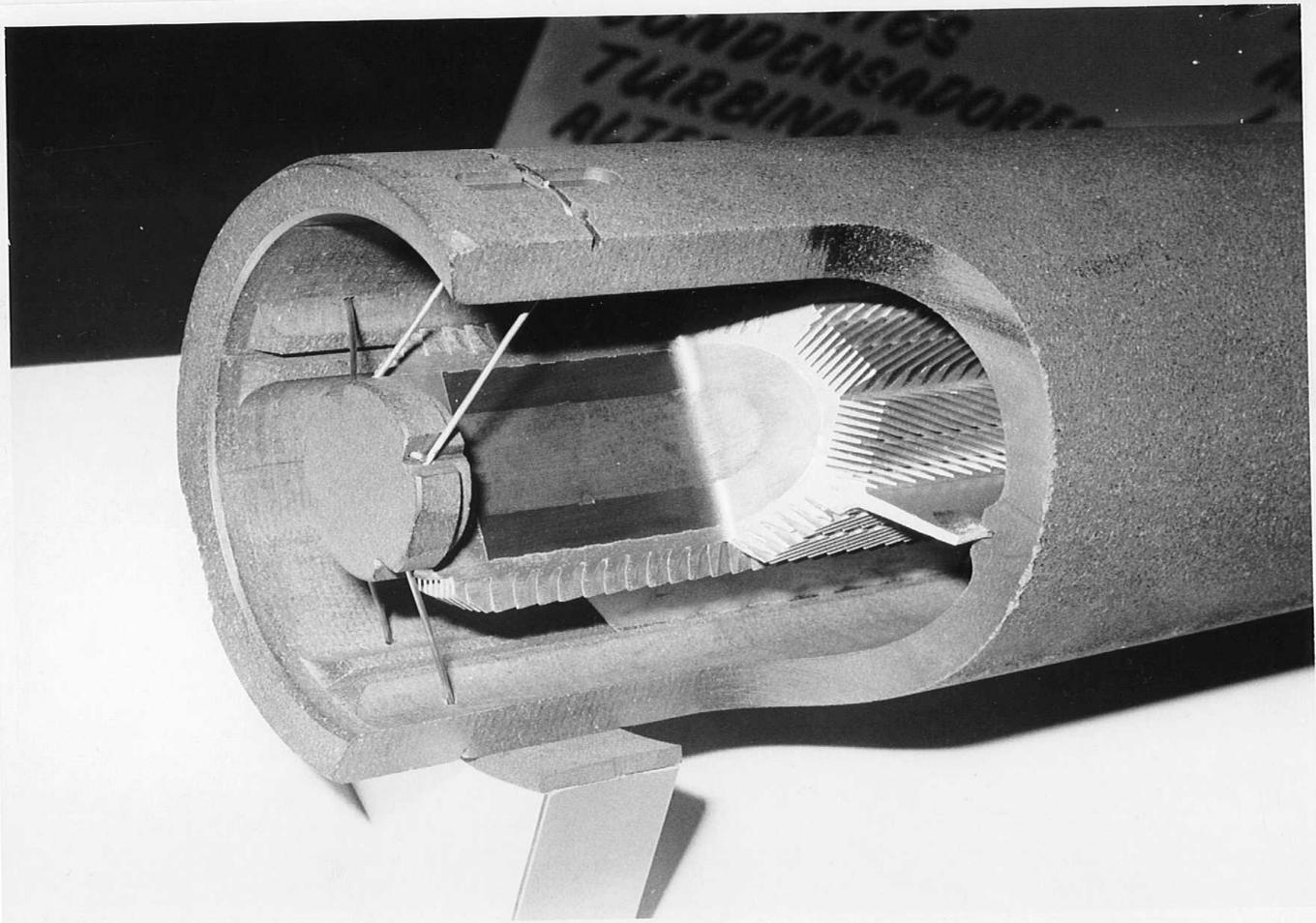
54

ESCALA INES

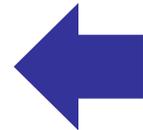


55

ELEMENTO COMBUSTIBLE

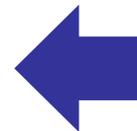


Combustible de uranio natural tiene geometría cilíndrica con un peso de cada cartucho de 10 kg y longitud 54 cm. Cada canal en el grafito tiene 15 elementos combustible



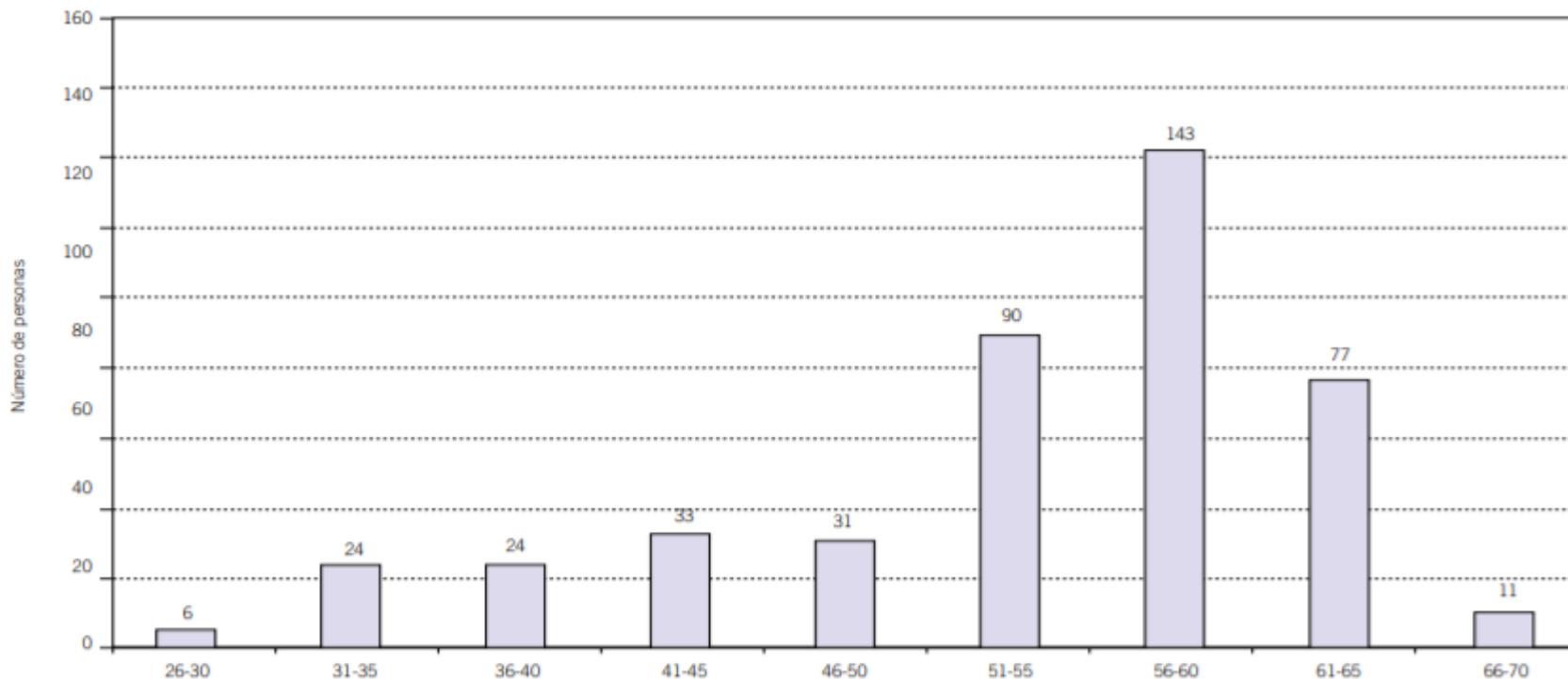
56

MÁQUINA DE RECARGA



60

VANDELLÓS I



- A 31 diciembre de 2018 el total de efectivos en el Organismo ascendía a 439 personas
- La media de edad del personal total del Organismo es de 53 años.

