

**“ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE INSPECCIÓN VISUAL DE
ELEMENTOS COMBUSTIBLES NUEVOS E IRRADIADOS DE LA
CNA I.”**

**CARRERA: ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES NUCLEARES
Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE**

Alumno: Lina Anggeli, Bernardo

Director: Pérez, Ramón A.

Marzo de 2017



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

Índice

Resumen	5
Capítulo 1: Introducción.	
1.1. Introducción / Antecedentes.....	7
1.2. Objetivo.....	8
Capítulo 2: El elemento combustible.	
2.1. El elemento combustible de la CNA I.....	9
2.1.1. Criterios de diseño.....	10
2.1.2. Descripción / características.....	10
2.1.3. Elementos estructurales / componentes.....	12
2.1.4. Diferencias entre E.C. de CNA I y CNA II.....	16
Capítulo 3: Mecanismos de fallas en los materiales del combustible Nuclear.	
3.1.1. Efectos de la temperatura en la pastilla.....	17
3.1.2. PCI-SCC: Interacción pastilla – vaina – corrosión bajo tensión.....	18
3.1.3. Efectos del contenido de Hidrógeno.....	19
3.2. Experiencia de fallas en el elemento combustible de la CNA I.....	21
3.2.1. Fallas en vainas.....	22
3.2.2. Fallas en separadores.....	23
3.2.3. Fallas en otros componentes estructurales.....	23
Capítulo 4: Sistemas de Alerta Temprana implementados en la central.	25
4.1. Sistema ND.....	26
4.1.1. Sistema ND Online.....	27
4.1.2. Sistema ND Offline.....	27
4.2. Sistema de Ruido Neutrónico.....	29
4.3. Sistema de detección de E.C. fallados (Sipping).....	31
4.4. Inspección visual de E.C.s.....	32
4.5. Ejemplo de aplicación: Evento en canal refrigerante N10.....	33
Capítulo 5: La inspección visual.	
5.1. Antecedentes.....	35
5.2. Objeto.....	36

5.3. Inspección de E.C.s Nuevos.....	37
5.3.1. Sistema empleado.....	37
5.3.2. Inspección de E.C.s por daños de transporte.....	39
5.4. Inspección de E.C.s Irradiados.....	42
5.4.1. Sistema empleado.....	42
5.4.2. Procedimiento de inspección.....	46
5.5. Inspección offline de E.C.s.....	48
5.6. Problemática.....	49
Capítulo 6: Propuesta de actualización del sistema.	
6.1. Objetivo.....	50
6.2. Evaluación de los equipos instalados.....	51
6.2.1. Características.....	51
6.2.2. Estado del sistema.....	53
6.3. Análisis de la modificación.....	56
6.3.1. Criterios de diseño para el nuevo sistema.....	56
6.3.2. Propuesta 1.....	58
6.3.3. Propuesta 2.....	61
6.3.4. Elección del gabinete.....	63
6.4. Especificación.....	64
6.5. Pruebas y validación.....	66
6.6. Resultados.....	69
6.6.1. Mejoras introducidas por la actualización.....	72
6.6.2. Acciones desprendidas de la modificación.....	73
Capítulo 7: Conclusiones.....	74
Referencias bibliográficas.....	75
Anexos	
Anexo 1 – Evento Interno.....	77
Anexo 2 – Hojas de datos.....	79



Resumen.

El elemento combustible (E.C.) es un consumible fundamental en toda central nuclear no solamente como combustible en sí, sino también por su función de seguridad, ya que conforma una de las barreras principales para la contención del inventario radiactivo del núcleo del reactor.

Luego del accidente ocurrido en el año 1988 con la rotura del canal refrigerante (C.R.) R-06, surge como requerimiento regulatorio para el re arranque de la planta, la necesidad de formar un grupo de trabajo dedicado al seguimiento del comportamiento de los E.C.s y componentes internos del reactor durante su servicio nuclear con el propósito de evitar preventivamente accidentes similares al descrito, creándose a tal fin el Sector Alerta Temprana.

Este sector, perteneciente al Dpto. Seguridad Nuclear, posee entre otros, 2 sistemas importantes y complementarios para la detección de posibles anomalías (tanto en el E.C. como en el C.R.):

El Sistema ND, el cual nos permite hacer un seguimiento de las posibles interacciones mecánicas entre el E.C. y C.R. que se pueden dar en los movimientos de recambio realizados por la Maquina de Carga (M.C.) en el reactor; y el de Inspecciones Visuales de E.C.s, cuya finalidad es adquirir y grabar imágenes lo más nítidas posibles, ya sea para inspecciones Pre-irradiación o Pos-irradiación, que sirvan para analizar visualmente el estado estructural de los mismos, infiriendo el comportamiento de estos durante su vida nuclear útil.

Cabe destacar que las inspecciones visuales no sólo nos dan información de cómo está el combustible, sino que también nos dan idea del estado del interior de los canales refrigerantes, por lo que revisten de gran importancia para la seguridad nuclear.

La CNA I cuenta con equipamiento que permite filmar y grabar las inspecciones visuales antes mencionadas. La realización de las mismas está a cargo del Dpto.



Operaciones y se guardan en videocasetes, para luego ser evaluadas por personal de la Div. Gestión de Combustible y Alerta Temprana, quienes determinarán las acciones a tomar.

El sistema implementado en el año 1990 tiene el inconveniente de utilizar tecnología hoy en día obsoleta, por lo que se hace difícil conseguir insumos y repuestos para el mismo.

Como solución a dicho inconveniente, se propone en este trabajo la realización de la ingeniería conceptual (y de detalle del sistema finalmente implementado) para la modificación a la instalación de la planta en lo referido a la actualización del Sistema de Inspección Visual de E.C.s (inspecciones pre y pos irradiación), con el objeto de obtener: flexibilidad de almacenamiento de los datos, mayor confiabilidad del sistema y de la Planta, facilidad en el manejo del equipo por parte del agente que realice la inspección y una posibilidad futura para visualizar las inspecciones On-line en la Sala de Control y en la oficina de Alerta Temprana.

1.1- Introducción / Antecedentes.

El elemento combustible (E.C.) es un consumible fundamental en toda central nuclear no solamente como combustible en sí, sino también por su función de seguridad, ya que conforma una de las barreras principales para la contención del inventario radiactivo del núcleo del reactor.

La Central Nuclear Atucha I (CNA I) fue diseñada para que su reactor utilice uranio natural como combustible (actualmente uranio levemente enriquecido, 0.85% en peso de U-235) y agua pesada como refrigerante y moderador. Debido a la ajustada economía neutrónica en estos tipos de reactores se requiere, para mantener un adecuado valor de reactividad compensado por las barras de control, que el recambio de los E.C.s se realice con la central en operación. Luego del incidente ocurrido en la en el año 1988 con la rotura del canal refrigerante (C.R.) R-06, surge como requerimiento regulatorio para el re arranque de la planta, la necesidad de formar un grupo de trabajo dedicado al seguimiento del comportamiento de los E.C.s y componentes internos del reactor durante su servicio nuclear con el propósito de evitar preventivamente accidentes similares al descrito, creándose a tal fin el Sector Alerta Temprana.

Este sector, perteneciente al Dpto. Seguridad Nuclear, posee entre otros, 2 sistemas importantes y complementarios para la detección de posibles anomalías (tanto en el E.C. como en el C.R.):

- El Sistema ND, el cual nos permite hacer un seguimiento de las posibles interacciones mecánicas entre la columna combustible (C.C.) (sistema compuesto por E.C.- cuerpo de relleno- cuerpo de cierre) y C.R. que se pueden dar en los movimientos de recambio de los E.C.s realizados por la Máquina de Carga (M.C.) en el reactor;
- El de Inspecciones Visuales de las C.C.s, cuya finalidad es adquirir y grabar imágenes lo más nítidas posibles, ya sea para inspecciones Pre-irradiación o Pos-irradiación, que sirvan para analizar visualmente el estado estructural de los mismos, infiriendo el comportamiento de estos durante su vida nuclear útil.

Cabe destacar que las inspecciones visuales no sólo nos dan información de cómo está el combustible gastado y el correspondiente cuerpo de relleno, sino que además dan idea del estado del interior de los canales refrigerantes, por lo que revisten de gran importancia para la seguridad nuclear.

La CNA I cuenta con equipamiento que permite filmar y grabar las inspecciones visuales antes mencionadas. La realización de las mismas está a cargo del Dpto. Operaciones y se guardan en videocasetes, para luego ser evaluadas por personal de la Div. Gestión de Combustible y Alerta Temprana, quienes determinarán las acciones a tomar durante la operación normal de la central o para ser tenida en cuenta en el Programa de Inspecciones Visuales Remotas de los Internos del Reactor que se efectúan anualmente. Se destaca que con anterioridad a lo ocurrido con R06 en 1988, solamente se realizaban inspecciones a los E.C.s nuevos que ingresaban a la planta (inspecciones por daños de transporte) y no era rutina inspeccionar los E.C.s que habían finalizado su servicio nuclear. Solamente se realizaban inspecciones a los E.C.s que habían presentado algún tipo de anomalía durante su irradiación o a solicitud del Dpto. Combustible / Div. Posirradiación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

El sistema de inspección visual de elementos combustibles nuevos e irradiados implementado desde entonces ha sido una herramienta de información valiosa acerca del estado de las columnas combustibles (C.C.s) y los C.R.s del reactor, pero tiene el inconveniente de utilizar tecnología hoy en día obsoleta, por lo que se hace difícil conseguir insumos y repuestos para el mismo.

1.2.- Objetivo.

En este trabajo se plantea la modernización del sistema de inspección visual de E.C.s de la CNA I, mediante la realización de la ingeniería conceptual (y de detalle del sistema finalmente implementado) para ser utilizada como Modificación a la Instalación de la planta. El propósito es obtener:

- flexibilidad de almacenamiento de los datos,



- mayor confiabilidad del sistema y de la Planta,
- facilidad en el manejo del equipo por parte del personal que realice la inspección,
- dejar abierta la posibilidad de actualización futura del mismo.

2.- El elemento combustible.

El elemento combustible cumple la función de generar la energía térmica requerida para la explotación de la central nuclear y transmitir ésta al refrigerante. Además constituye una barrera fundamental para la contención de los productos de fisión.

2.1.- El elemento combustible de la CNA I.

La CNA I utilizaba originalmente como combustible dióxido de uranio (UO_2) natural (0,71% de $U235$), y la estructura del elemento combustible contaba con 36 barras combustibles (BC) y un tubo soporte. Con el tiempo este combustible fue evolucionando de manera de obtener mejores características (incremento de la densidad de la pastilla, menor cantidad de Zry, aumento de la longitud de la pastilla, aumento de la longitud activa del combustible, aumento de la cantidad de uranio). Desde 2001, el reactor funciona íntegramente con uranio levemente enriquecido (ULE 0,85% de $U235$), y a partir del año 2014 se utiliza íntegramente combustible de 37 BC (nuevo diseño).

Resulta interesante tener presente el tiempo de estadía promedio (en días de plena potencia) que permanece cada E.C. en el reactor desde que ingresa como nuevo hasta que sale del mismo al finalizar su irradiación. Por ejemplo: un E.C. con Ur. natural (cuyo quemado de extracción era aprox. 6200 MWd/TnU) permanecía en promedio 200 dpp, en cambio uno con Ur. levemente enriquecido (quemado de extracción aprox. 10.800 MWd/TnU) permanece en promedio 400 dpp, (dependiendo del camino de irradiación tomado en la gestión). Lo que se quiere remarcar es los distintos grados de sollicitación que sufren los E.C.s durante su irradiación, la evolución de la presión interior de los gases de fisión, el estado de fragilización de los componentes y principalmente la relajación de la tensión de las zapatas elásticas

manteniendo la calidad de ajuste al canal durante la etapa final de servicio. Todas estas consideraciones y otras más, tuvieron que ser tenidas en cuenta para los cambios de diseño y permitieron la evolución del combustible nuclear de la CNA I.

2.1.1.- Criterios de diseño.

La densidad de potencia en el núcleo está limitada por consideraciones técnicas relativas a los materiales de cada barra de E.C. Estas consideraciones son:

- a) La potencia de la barra combustible no debe alcanzar, en ninguna parte del reactor y en ningún instante de tiempo, valores tales que en el centro de la misma se alcance el punto de fusión del UO₂, tanto en situaciones operacionales permitidas (arranques, ciclos de carga) como en situaciones accidentales previstas en el diseño.
- b) Las tensiones y dilataciones a que están expuestas las vainas durante todo el tiempo de funcionamiento no debe originar defectos en ellas ya que pueden perjudicar la seguridad de funcionamiento de la central.
- c) La exigencia de que no aparezcan deformaciones de la barra que puedan perjudicar el flujo del refrigerante en los subcanales de los E.C.s o puedan romper la estructura estática del E.C.
- d) El comportamiento de las barras del E.C. respecto a la corrosión.

El principal punto de vista relativo al diseño es que se debe evitar la contaminación radiactiva del refrigerante primario por el escape de productos de fisión de los E.C.s, sobre lo cual se basan los criterios de dimensionado para la seguridad de funcionamiento de la Central.

2.1.2.- Descripción / características

El E.C. de la CNA I (figura 1) se compone de 37 barras de combustibles en disposición circular. Cada barra combustible está fabricada con una aleación del Zirconio, llamada Zircaloy 4 (Zry-4). El Zry-4 está formado aproximadamente por 98,23% en peso de Zirconio con 1,45% de estaño; 0,21% de hierro; 0,1% de cromo y 0,01% de hafnio. En su interior contiene las pastillas sinterizadas de Dióxido de Uranio (UO₂).

Estas 37 barras se encuentran unidas por medio de una unión roscada a la placa de fijación (en adelante placa portante) situada en el extremo superior del elemento combustible. A lo largo de la longitud de las 37 barras de combustible se distribuyen uniformemente 14 distanciadores (en adelante separadores) y uno extra en el extremo inferior. Estos separadores así como la placa portante están provistos en su contorno exterior con 3 patines distanciados angularmente 120° , que sirven para la guía y adaptación del elemento combustible en el canal de refrigeración. El separador inferior está equipado con 5 patines, con el fin de impedir el contacto con la junta de estanqueidad del cierre al introducir el elemento combustible en el canal de refrigeración. A nivel de los separadores se disponen en las barras de combustibles 3 salientes de guía, por medio de los cuales se acoplan las barras de combustible en los separadores. Por medio de ranuras en sus salientes de guía, 9 barras de combustible de la corona exterior se encuentran unidas invariablemente con los separadores sirviendo así para la fijación axial de los mismos.

Sobre la barra 37 de cada anillo separador se encuentra montado un patín elástico que sirve para la sujeción del elemento combustible en el canal de refrigeración. Para reducir las vibraciones del E.C. y de las BC a valores de diseño y mantener un margen de seguridad frente al desgaste por fretting del E.C. contra el canal y de las BC contra los separadores, las distancias entre separadores son menores cerca de la parte inferior del E.C.

Por encima de la placa portante, el elemento combustible se prolonga, en principio, en un varillaje compuesto por 6 tubos de Zry-4, que una vez fuera del reflector axial se compone de un anillo intermedio y tres barras de acero. Las barras de acero se encuentran situadas a nivel de las ranuras de salida del refrigerante del canal de refrigeración y se recogen por la parte superior por medio de un anillo suplementario, al que se encuentra fijada una sección inferior de acoplamiento.

La longitud total del E.C., desde el extremo inferior de las BC al extremo superior del acoplamiento es de 6028,5 mm. El diámetro medio del conjunto es de aproximadamente 108 mm. El peso bruto del E.C. es de aproximadamente 215 kg, con un peso aproximado de UO_2 de 182 kg.

2.1.3.- Elementos estructurales / Componentes.

Vista general.

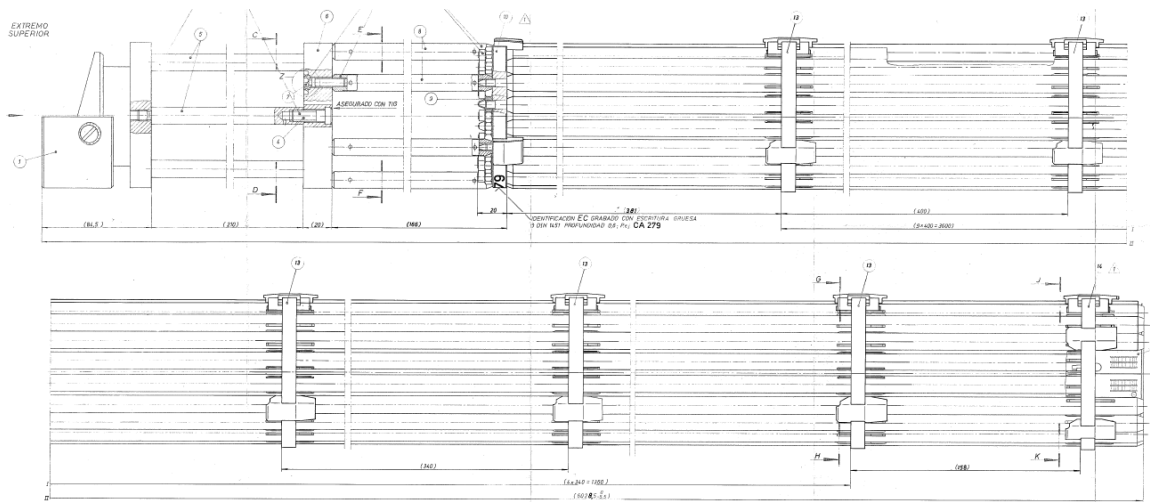


Figura 1: Vista general del E.C.

Acople

Por medio de este acoplamiento (figura 2) se une el elemento combustible con el cuerpo de relleno del canal de refrigeración. Consiste esencialmente en 6 tubos, un anillo, 3 barras y una unidad de acople inferior. Estos componentes se encuentran unidos por tornillos y tuercas. Este diseño permite una salida del refrigerante del canal sin distorsión y facilita el manipuleo de las CC en Casa de Piletas (desacople del E.C. del correspondiente C.R.) para posibilitar las inspecciones visuales subacuáticas de cada uno de los componentes mencionados y el posterior almacenamiento de los mismos en perchas diseñadas para tal fin.

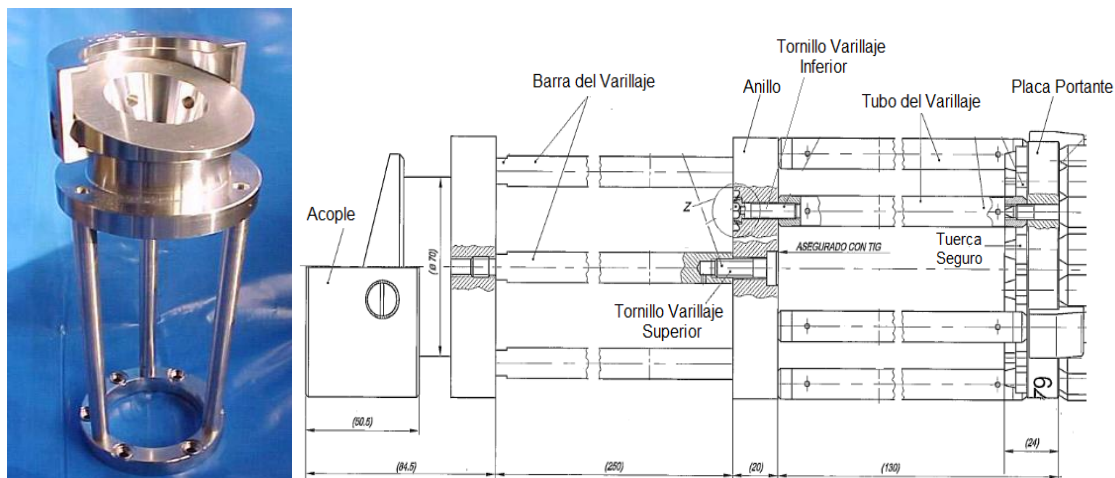


Figura 2: Vistas del acople y varillaje superior.

La barra combustible.

Está constituida por una vaina de Zry-4 de 0,55mm de espesor y 11.9mm de diámetro exterior, en cuyo interior se aloja una columna de pastillas combustibles cilíndricas de UO_2 . La vaina está sellada en sus extremos mediante un tapón superior y otro inferior, ambos de Zry-4 soldados utilizando el proceso TIG (figura 3).

En el interior de la BC y a continuación del tapón superior se ubican el resorte helicoidal de compresión, el tubo de apoyo y la primera de las pastillas combustibles de la columna combustible. La última pastilla de la columna en el extremo inferior de la BC, se apoya sobre una pastilla aislante de óxido de aluminio, que a su vez está en contacto con el tapón inferior. En el extremo superior se encuentra la cámara para gases de fisión.

El volumen de la cámara para gases de fisión se ha dimensionado de tal forma, que al final del período de quemado del elemento combustible la presión interna generada por los productos de fisión gaseosos no supere la presión exterior del refrigerante. La longitud activa es de 5327 mm, aproximadamente 410 pastillas combustibles.

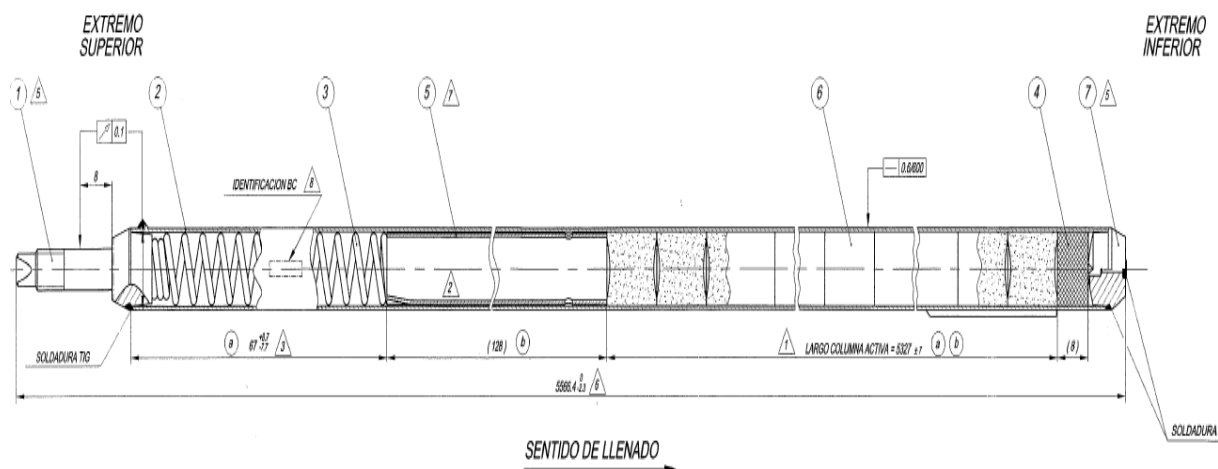


Figura 3: Barra combustible. Partes.

Pastilla combustible.

Las pastillas combustibles tienen forma cilíndrica de sección recta circular, con una altura media nominal de 13 mm y diámetro medio nominal de 10,62 mm, y su densidad es de aprox. $10,6 \text{ g/cm}^3$.

Son fabricadas por prensado frío de polvo de UO_2 con aditivos, seguido de un sinterizado en atmósfera de hidrógeno a temperaturas alrededor de los 1970 K, y finalmente rectificadas en su superficie cilíndrica.

Cada una de las superficies frontales tiene una cavidad en forma de segmento esférico, llamada “dishing”, y un bisel llamado “hombro”, que absorben durante la operación la dilatación térmica de la columna de pastillas y evitan interacción con la vaina en los bordes (figura 4).

También la barra combustible tiene en su interior gas Helio a una presión entre 17 y 18 MPa para evitar la compresión (colapso) de la vaina durante la operación (principalmente durante la primera etapa de operación—introducción del E.C. nuevo al sistema primario).



Figura 4: Foto de las pastillas combustibles.

Separadores.

Cumplen la función, junto con la vaina, de mantener el manajo de barras combustibles fijas (brindándole rigidez al combustible) y espaciadas entre sí una determinada distancia como para que el refrigerante primario pueda intercambiar calor con todos los elementos.

Los separadores (figura 5) están compuestos por una placa perforada de Zry-4 que se fabrica por electroerosión. Cada barra de combustible se encuentra rodeada por una malla distanciadora propia a la que se acopla mediante tres superficies de tope en forma de segmento. Sobre el contorno exterior del separador se encuentran soldados dos patines de chapa de Zry-4 (zapatas fijas), los cuales se encuentran biselados en un ángulo de 5° hacia abajo y 10° hacia arriba, y además una zapata elástica de Inconel 718 para realizar el ajuste contra el canal refrigerante. La forma biselada de las zapatas sirve para que al introducir el elemento combustible en el canal de refrigeración se impida el contacto franco y con ello un eventual deterioro de los canales refrigerantes.

Existen 2 tipos de separadores, 14 de ellos son del tipo 2 y 1 (el separador N° 15 que se encuentra en el extremo inferior) es del tipo 4. La diferencia entre los mismos es que los del tipo 2 tienen en total 3 zapatas, 2 fijas y una elástica, separadas angularmente 120° cada una; en cambio el de tipo 4, tiene 5 zapatas 4 de las cuales son fijas, y una elástica.

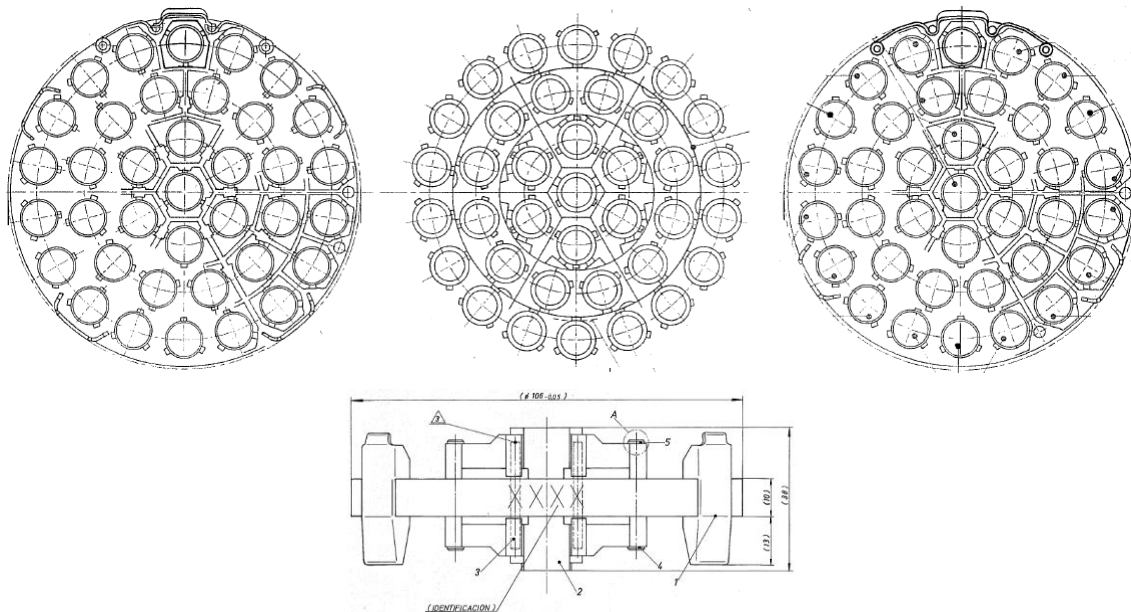


Figura 5: Vista de separadores tipos 1 y 2.

2.1.4.- Diferencias entre E.C. de CNA I y CNA II.

Como se dijo anteriormente, el elemento combustible ha ido evolucionando y aquí se pueden ver las diferencias (Tabla 1) entre el primer diseño de E.C.s de 36 BC y el diseño actual de 37 BC. También se ha agregado en la tabla de comparación al E.C. de CNA II de manera indicativa, ya que como veremos más adelante se utilizó en CNA II el mismo sistema de inspección que el planteado para CNA I.

	E.C.- CNA II	E.C. – CNA I 36 barras	E.C. – CNA I 37 barras
Longitud Activa	5300 mm	5300 mm	5327 mm
Combustible	UO ₂ natural	UO ₂ levemente enriquecido (0,85%)	UO ₂ levemente enriquecido (0,85%)
Número de barras	37	36 + 1 barra soporte	37
Cantidad de separadores	13 elásticos Zapata elástica	15 rígidos Zapata Deslizante Elástica	15 rígidos Zapata elástica
Dimensiones de la pastilla (long/diam en cm)	1,4/1,157	1,2/1,062	1,3/1,062
Densidad de las pastillas (g/cm ³)	10,55	10,55	10,6
Potencia lineal promedio W/cm	232	235	235
Quemado máximo MWd/tU	10000	14000	14000

Tabla 1: Diferencias entre combustibles de CNA I y CNAII.

3.- Mecanismos de fallas en los materiales del combustible nuclear.

3.1.1.- Efectos de la temperatura en la pastilla.

La distribución de la temperatura en la barra combustible es de gran importancia porque tiene influencia sobre su comportamiento posterior durante su vida nuclear útil:

- Liberación de gases de fisión y volátiles → Presión interna de la vaina, baja la conductividad térmica y la temperatura de fusión.
- Deformación de la pastilla a través de la dilatación térmica y de las propiedades mecánicas (ctes elásticas, creep, fractura). Esto además controla la interacción pastilla-vaina y la generación de tensiones térmicas que producen deformación plástica en la zona central (altas temperaturas) y fractura en las zonas periféricas (bajas temperaturas).
- Altas temperaturas producen crecimiento de grano, densificación (por sinterizado) y difusión de productos de fisión.
- Altos gradientes de temperatura producen migración de poros y redistribución de componentes (O, Pu, prod. de fisión).

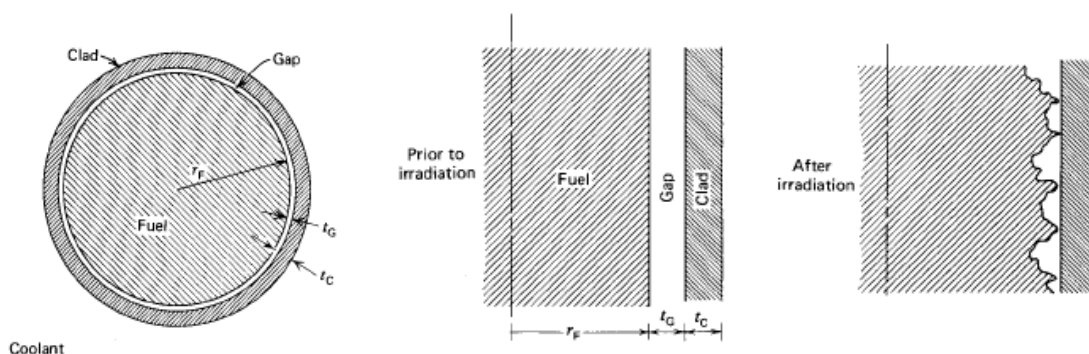


Figura 6: Deformación de la pastilla con la temperatura.

3.1.2.- PCI-SCC: Interacción pastilla – vaina – corrosión bajo tensión.

Es considerado el mecanismo más frecuente de fallas, fundamentalmente, durante los arranques de la central, ciclos de carga y en realización de recambio de E.C.s. cuando los mismos son trasladados de la zona media del núcleo al centro del mismo con el reactor operando a plena potencia. Dicho fenómeno es fuertemente dependiente del quemado del combustible. A continuación se explica el mecanismo de falla:

Como consecuencia de la fisión de un átomo de uranio en 2 átomos de productos de fisión, el combustible se hincha durante la irradiación. Además, el gradiente de temperatura pronunciado en la pastilla de combustible genera tensiones térmicas que exceden la tensión de fractura de UO_2 , dando como resultado la fractura del pellet. Cuando este hinchamiento (swelling) se aproxima al gap entre la pastilla, interacciona mecánicamente con la vaina de Zry que al inicio de la irradiación es dúctil, y genera tensiones en la misma, la vaina se deforma reflejando la forma de la pastilla (efecto bambú).

A medida que el período de irradiación aumenta, se van liberando agentes corrosivos que se depositan en la superficie interior de la vaina (I, Cs), a la vez que el Zry se va haciendo menos dúctil por efecto de la irradiación.

Al aumentar bruscamente la potencia (por algunas de las causas antes mencionadas), aumenta la interacción y se fisura la vaina, la fisura crece por SCC. Se producen

fisuras delgadas y perpendiculares a la tensión, que pueden desencadenar en la rotura de la vaina (figura 7).

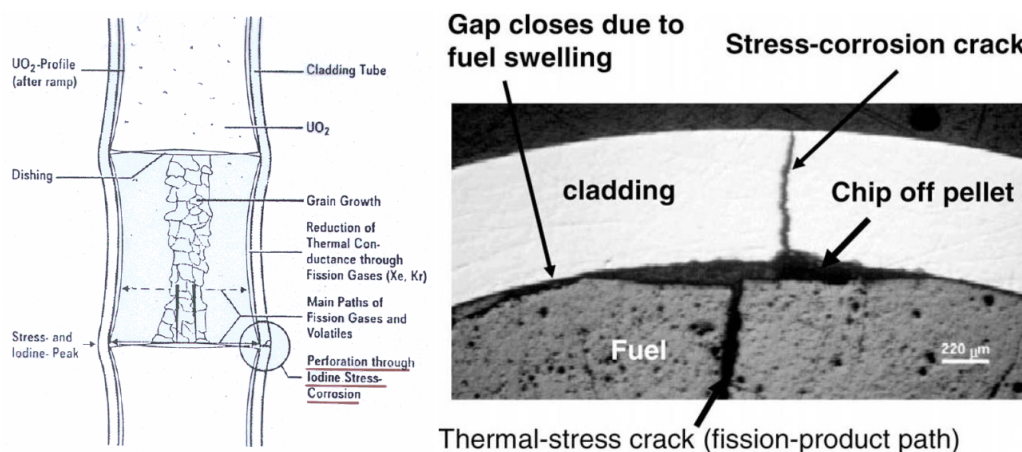


Figura 7: Efecto bambú y mecanismo de rotura de vaina por PCI-SCC.

3.1.3.- Efectos del contenido de Hidrógeno.

A temperaturas mayores o iguales que 550°C el circonio (Zr) puede absorber hidrógeno hasta un 50% at (1% at. = 108 ppm en peso) en solución sólida. Esta solubilidad decrece rápidamente al disminuir la temperatura y el H (en nuestro caso D) en exceso precipita como hidruros.

Los hidruros son frágiles y, en general, tienen forma de placas. Su presencia puede producir efectos negativos sobre las propiedades mecánicas de las vainas, en las siguientes condiciones:

- Temperaturas menores que 150°C.
- Placas de hidruros orientadas perpendiculares a la dirección de tracción.

A bajas temperaturas el hidruro puede romperse cuando las tensiones son suficientemente importantes porque es una fase frágil; una fisura puede propagarse cuando un hidruro precipita ya que la punta de la misma es un concentrador de tensiones.

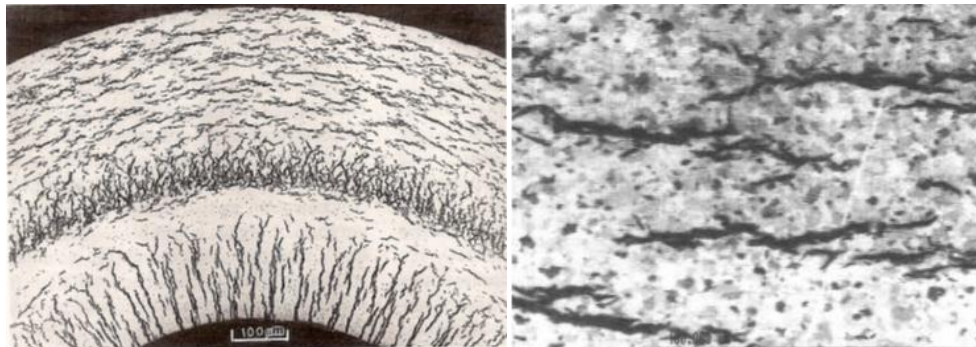
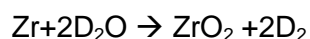


Figura 8: Distribución de tensiones en una vaina. Encadenamiento de hidruros.

Durante el servicio las vainas están tensionadas en las direcciones longitudinal y circunferencial, entonces es deseable que el hidrógeno incorporado forme placas de hidruros circunferenciales (figura 8).

En la estadía del combustible en el reactor se puede producir una absorción de H cuyo origen suele estar en el interior o el exterior de la vaina, entre las causas principales tenemos:

- Desde el interior: Excesiva humedad en el combustible.
- Desde el exterior: El H generado por la corrosión del refrigerante.



En este mecanismo, una fracción del D_2 liberado difunde a través de la capa de óxido y se incorpora al Zry. Utilizando Zy-4 y con un buen control químico del refrigerante, la absorción de deuterio en los PHWR es menor que 25 ppm después de 4 años de servicio.

En la figura 9 se puede apreciar un ejemplo de ampollas producidas en una vaina por alta concentración de hidrógeno.

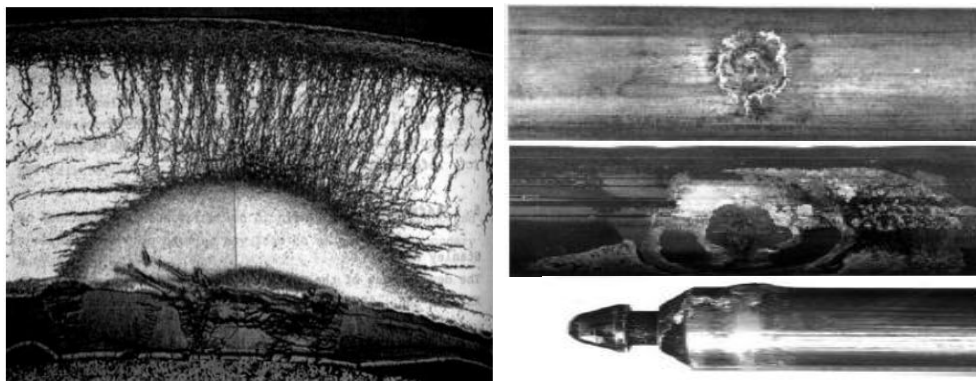


Figura 9: Ampollas producidas por alta concentración de H en una vaina.

3.2.- Experiencia de fallas en el elemento combustible de la CNA I.

La falla de un elemento combustible durante su servicio en un reactor nuclear puede ser considerada como un evento no deseable por razones de seguridad de la instalación, de radioprotección y económicas. Dentro de las posibles, la falla de una barra combustible es una de las más indeseables.

Las consecuencias más significativas de la misma son:

- Incremento en la contaminación del sistema primario, lo que implica un mayor costo radiológico en las tareas de mantenimiento y aumento de las emisiones a la atmosfera.
- Eventual extensión del daño a otras barras combustibles u otros componentes del reactor.
- Según el tipo de defecto, necesidad de reducir la potencia del reactor (para cumplir con licencia de operación) o efectuar paradas no programadas, lo que llevaría a reducir el factor de carga, o la disponibilidad de la central.
- Penalización económica por la pérdida de quemado provocada por la extracción temprana del elemento combustible defectuoso cuando se demuestra que la falla es por fabricación y no por razones que tienen que ver con el manipuleo, por operación del reactor, planificación errónea, etc.
- Ocupar posiciones en piletas de almacenamiento con E.C.s que no llegaron a su quemado de extracción.

- Dar un tratamiento especial a estos combustibles fallados en casa de piletas (aislamiento).

En la tabla siguiente se muestran, a modo de ejemplo, las tasas de fallas porcentuales y la cantidad de E.C.s que presentaron dichos defectos sobre el total de E.C.s irradiados en la CNA Unidad I, en forma separada para cada fabricante y en forma global correspondiente al período 13.01.74 - 13.01.10.

	Procedencia	RBU	PPFECN	CONUAR	Total
	E.C.s Irradiados	3314	240	6475	10029
	E.C.s sin falla	3288	236	6344	9868
Falla Intrínseca	Cantidad	19	2	92	113
	Tasa (%)	0,57	0,83	1,42	1,13
Falla Operativa	Cantidad	3	0	11	14
	Tasa (%)	0,09	0	0,17	0,14
Falla Int. Mecánica	Cantidad	4	2	28	34
	Tasa (%)	0,12	0,83	0,43	0,34
	Total (%)	0,78	1,67	2,02	1,61

Tabla 2: Tasa de fallas de combustibles.

3.2.1.- Fallas en vainas.

En la CNA I, de acuerdo a la experiencia operativa, las fallas más comunes en vainas (figura 10) están relacionadas a las siguientes causas:

- Por defectos asociados al proceso de fabricación: fabricación de vainas, mala calidad del UO₂ utilizado (humedad), deficiencias en soldaduras de vainas / tapones.
- Por efectos operativos como: picos de potencia, química del agua, paradas no programadas, subidas y bajadas de potencia bruscas (ciclado), asimetrías excesivas.

Adicionalmente luego del incidente del año 1988 antes citado, existía un riesgo potencial de que se produzcan defectos por las siguientes causas:

- Por la interacción mecánica con el “debris” detectado en los combustibles y el plenum inferior.

- Por posibles bloqueos al paso del refrigerante, ya sea a nivel de las rejillas de ingreso de refrigerante al canal, en los estrangulamientos del mismo (drossels) o en el propio elemento combustible, que conduzcan a sobrecalentamientos y deterioros de las barras u otros componentes del combustible.

Esto fue debido a que cuando se realizó la limpieza del primario no se logró acceder a todos los rincones del reactor, por lo que el debris quedó retenido principalmente en los intercambiadores del moderador.

3.2.2.- Fallas en separadores.

La falla de los separadores no ocurren en el separador en sí, sino que se caracterizan por fallas en las zapatas, tanto fijas como elásticas (figura 10) que se encuentran montadas en los mismos, ya sea por:

- defectos de fabricación (fallas en soldadura de zapatas fijas, problemas durante el armado del separador elástico).
- por manipuleo del combustible o durante su transporte (muy poco frecuentes).
- por enganche o rozamiento anormal de las zapatas en algunos puntos de interacción (interferencia) con el canal refrigerante o sistema de transporte.

3.2.3.- Fallas en otros componentes estructurales.

Fallas en el varillaje.

Son muy poco comunes, mayormente estas se pueden romper en casos excepcionales, como por ejemplo, a causa de una mala maniobra durante el manipuleo del combustible antes de ingresar al reactor.

Desde el punto de vista de la resistencia mecánica, el E.C. tipo Atucha, posee el eslabón más frágil frente a esfuerzos de tracción, en la vinculación entre los tubos del Varillaje – Placa portante – Barra combustible (tomando el E.C. completo).

Debido a un evento ocurrido en 2013 en el que un E.C. no pudo ser extraído normalmente del C.R. R14, y con motivo de realizar un plan de acción para poder extraerlo de manera segura del canal con la máquina de carga, se hicieron ensayos de tracción sobre un tubo del varillaje intermedio y un tubo de varillaje intermedio junto a una vaina con tapón soldado superior, para saber cuál sería la máxima fuerza de tiro posible.

Del resultado de los ensayos se observó que el tubo de varillaje (sólo 1 de ellos) rompió a una fuerza de 1120 kg a temperatura ambiente, a la altura en la que este tiene por diseño un agujero pasante. Esto extrapolado a la temperatura del reactor da un valor de 885 kg (por cada tubo del varillaje superior), lo que hace muy poco probable este suceso en las condiciones de reactor. A modo de ejemplo, citamos que la vaina combustible rompió a la misma fuerza pero esta vez a la altura de la soldadura de unión vaina – tapón superior.

Fallas en tapones

Generalmente se puede observar suciedad debida a una deficiencia en la limpieza en fábrica de los mismos.

Fallas en tuercas seguro

Estas son muy infrecuentes, pero puede darse que durante el ensamble en fábrica del combustible no se realice el repujado completo de los tornillos de las vainas utilizados de seguro para la sujeción de las mismas a la placa portante.



Figura 10: Algunas fallas observadas en CNA I y II.

4.- Sistemas de Alerta Temprana implementados en la central.

Mediante los Sistemas de Alerta Temprana se da cumplimiento al monitoreo y posterior análisis de la información proveniente de mediciones de parámetros físicos, químicos, evaluación de indicadores y de las inspecciones visuales.

Se destaca que la información brindada y la capacidad de análisis obtenida posibilitan la detección de anomalías (en los componentes que vigila), y permiten así anticiparse, de manera temprana, a situaciones inesperadas que puedan poner en riesgo la seguridad y disponibilidad de la planta o de alguno de sus componentes.

La posibilidad de anticiparse a una falla implica tomar decisiones para que esta no ocurra y que las tareas de intervención necesarias para la posible normalización / reparación, se hagan de manera planificada, con margen de tiempo que permita disponer de: los repuestos necesarios, plan de trabajo, personal calificado, organización, etc.

Los sistemas con los que cuenta actualmente CNA I son:

- Sistema ND Online.
- Sistema ND Offline.
- Sistema de Ruido Neutrónico.
- Sistema de detección de E.C.s fallados (Sipping).
- Inspección visual de E.C.s nuevos e irradiados.
- Medición de parámetros radioquímicos del sistema primario con una frecuencia de 4 hs. por parte del químico de turno y con indicación en Sala de Control de algunos de ellos.

Cabe aclarar que estas técnicas y sistemas utilizados por separado no nos brindarían, en la mayoría de los casos, la información suficiente para realizar un diagnóstico certero de una posible anomalía, sino que es necesario que se utilicen los resultados combinados de los mismos (figura 11). A continuación se detallarán un poco más las funciones de los sistemas antes mencionados.

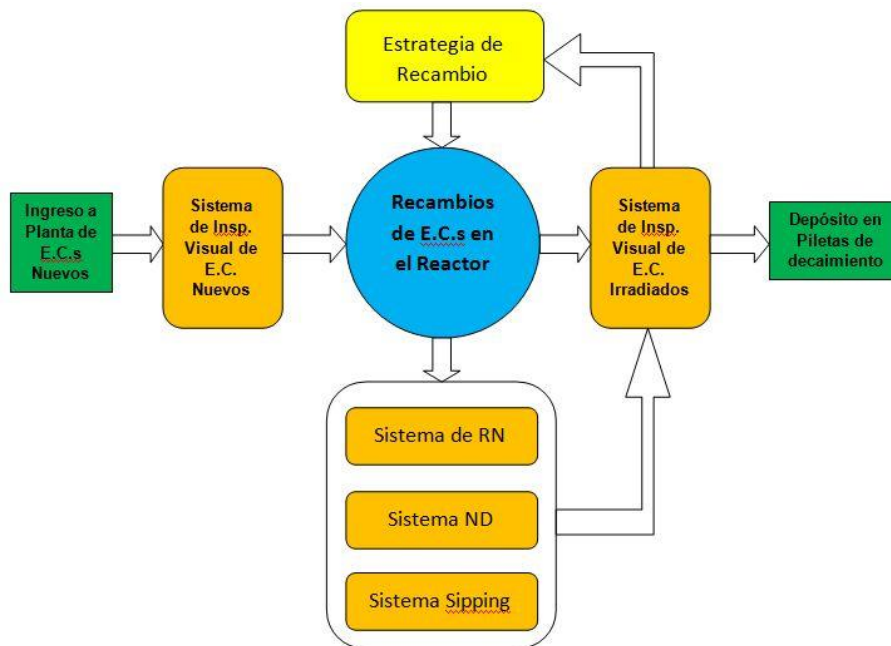


Figura 11: Diagrama de funcionamiento de los sistemas de Alerta Temprana.

4.1.- Sistema ND.

El Sistema ND está compuesto por dos subsistemas: ND online y ND offline. Está basado en dos mediciones relevantes para el seguimiento de los elementos combustibles (E.C.) durante las maniobras de introducción y extracción de los canales refrigerantes (C.R.) y de botella basculante (BB). A través de sus gráficas: peso/posición que nos permite determinar si hubo alguna interacción mecánica (IM) entre el E.C. y C.R., y de presión/posición para detectar la posible obturación del C.R. debido a algún elemento extraño (figuras 12 a y b).

- **Medición de la diferencia de presión Δp .**

El sistema permite detectar una disminución de caudal en los C.R. a través de la medición de diferencia de presión entre el sistema TW (sistema de enfriamiento y enjuague de la máquina de carga (M.C.)) y la rama caliente del sistema QH (circuito principal de refrigeración). La misma está constituida como la suma de las caídas de presión en la lumbrera del canal, en el drossel y a lo largo del E.C., por

lo que una reducción significativa de la misma (posiblemente por alguna obstrucción) nos estaría indicando una reducción del caudal dentro del C.R.

- **Medición del peso P.**

Conjuntamente con la medición de presión, se realiza una medición de la fuerza que la M.C. ejerce sobre el conjunto ascensor más columna combustible durante el recambio de E.C.s. Esta señal denominada de Peso, es graficada en función de las distintas posiciones que adopta el E.C. a medida que se introduce, o se extrae del C.R., mostrando particularidades como ser: la zona de lumbrera, de mantel de enclavamiento, movimiento del disco de la M.C., cuerpo de relleno, etc. A medida que el E.C. recorre el C.R., la suma algebraica de las fuerzas de peso de la columna combustible, la de rozamiento de las zapatas fijas y elásticas y la del empuje debido al caudal del refrigerante, nos darán gráficas que nos permitirán evaluar y determinar con precisión en el caso de una interacción mecánica (IM) **con qué esfuerzo y en qué posición** del recorrido se produjo.

4.1.1.- Sistema ND Online.

Este permite realizar la adquisición y visualización de las variables de fuerza (peso del sistema ascensor) y presión diferencial, en función de la posición de inserción de los elementos combustibles durante las operaciones de recambio en el reactor y en la botella basculante. Además, sirve de ayuda al operador de M.C. en el seguimiento de la operación de recambio en tiempo real (online) y alimenta al sistema Offline con los datos necesarios para realizar un seguimiento y análisis de sus curvas.

4.1.2.- Sistema ND Offline.

Este nos permite realizar análisis de las curvas obtenidas con el sistema ND Online para las distintas operaciones de recambio, pudiéndose graficar varias curvas a la vez. Cuenta con herramientas de análisis y visualización adecuadas que permiten determinar dónde ocurrió cierta IM o si se produjeron rozamientos anormales durante su recorrido en el C.R., carro de transporte, o si se dio en los internos de la M.C. Por

otro lado, como se mencionó anteriormente, nos permite evaluar también si se ha producido alguna obturación del pasaje de refrigerante primario en la zona de lumbreras del canal refrigerante por algún objeto extraño. Esto se requirió para el rearranque de la planta en los 90' ya que luego de las reparaciones y limpieza del sistema primario - moderador, se quería estar seguro que ningún material que se encontrara dentro del sistema primario llegase a obturar la salida de refrigerante de los canales, ya que esto podría tener importantes consecuencias para la integridad del elemento combustible y favorecería a la liberación de productos de fisión al medio primario/moderador.

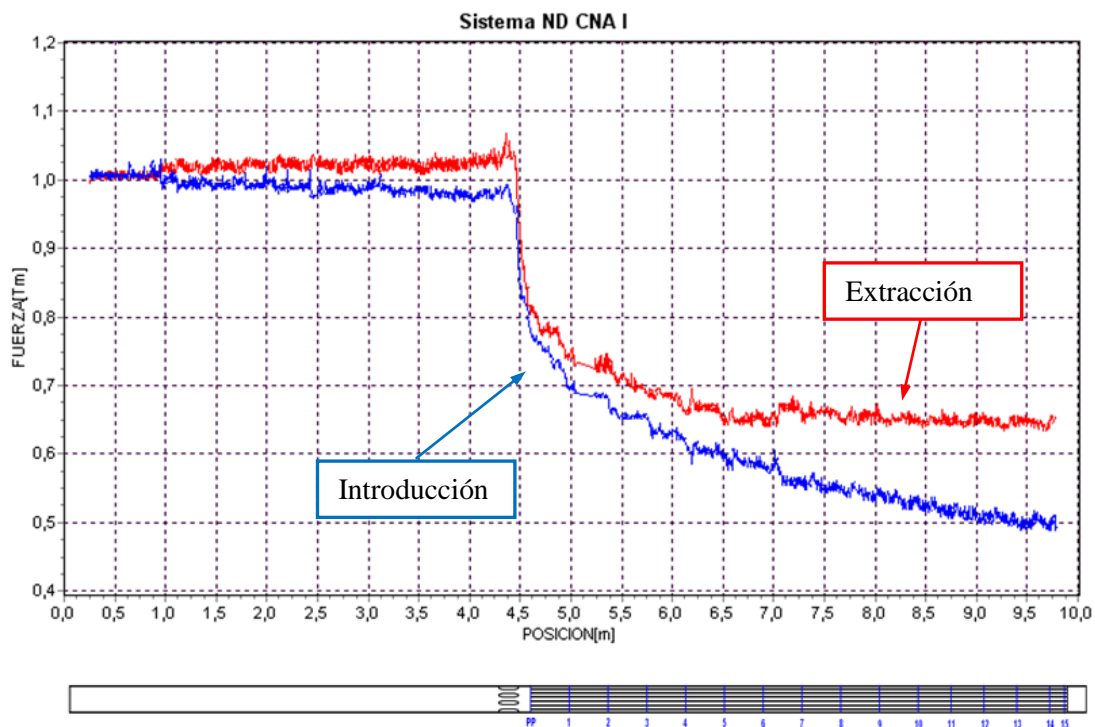
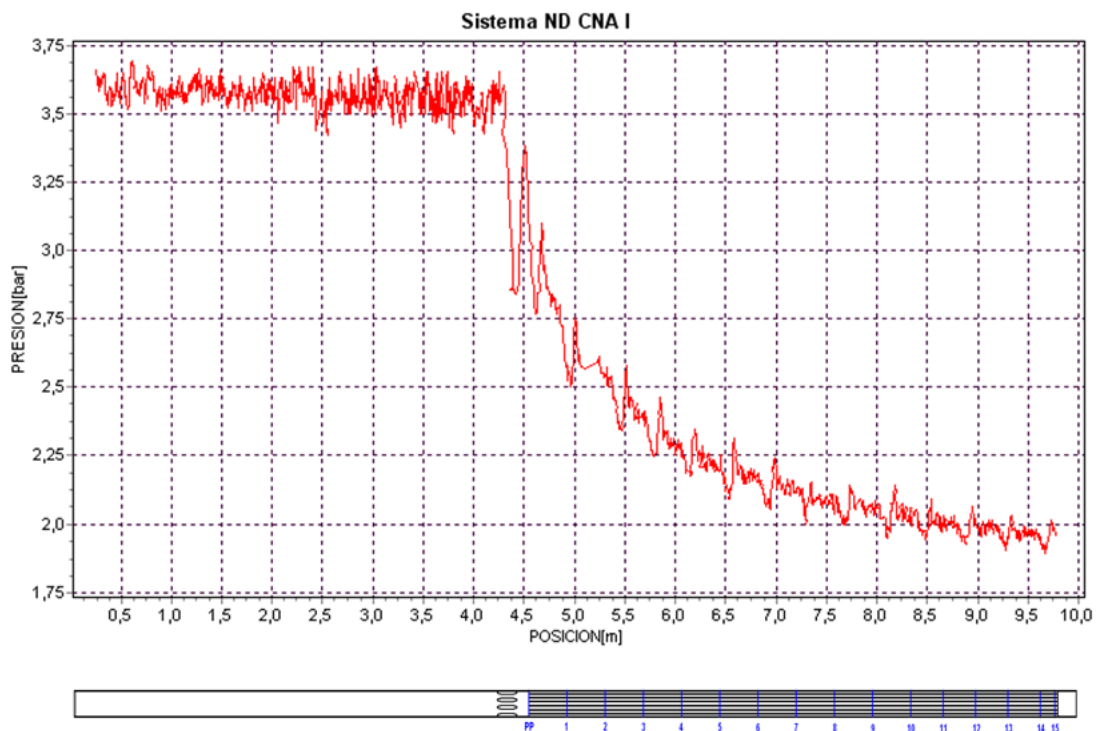


Figura 12a: Gráficas de peso - posición del sistema ND Offline



4.2.- Sistema de Ruido Neutrónico.

El sistema de monitoreo por Ruido Neutrónico permite realizar un seguimiento del estado vibratorio de los internos del reactor, utilizando la información que suministran los detectores de neutrones incore (SPND) y las cámaras de ionización externas al núcleo del reactor (CI) (ver figuras 13 y 14). Es un método no perturbativo debido a que se utiliza la instrumentación ya instalada en la planta, y permite realizar mediciones y el diagnóstico de las mismas durante la operación normal del reactor.

Este sistema, está basado fundamentalmente en el análisis de las fluctuaciones neutrónicas en estos detectores originadas por el comportamiento dinámico de los diversos componentes internos a la vasija de presión (RPV).

Por medio de la técnica de Ruido Neutrónico se puede analizar el estado vibratorio de los distintos internos del reactor, a saber:

- Vibración de los tubos guías de los detectores de flujo neutrónico.
- Vibración del conjunto elemento combustible – canal refrigerante.

- Vibraciones del tanque del moderador-vasija (movimientos shell y pendular).
- Vibraciones de los tubos guía de las barras de control.

Los internos del reactor presentan un movimiento vibratorio característico, determinado por su frecuencia natural y por sus modos de vibración particulares. Estos movimientos se deben a fuerzas excitatrices que se ejercen sobre los mismos, motivadas por la turbulencia del fluido refrigerante que circula a alta velocidad dentro de los canales refrigerantes del reactor, por la rotación de las bombas principales de refrigeración que lo inyectan a través de las cañerías del circuito primario, y por el movimiento del agua del sistema moderador.

Como consecuencia, los movimientos vibratorios provocan pequeñas fluctuaciones en el flujo neutrónico y por consiguiente en la corriente generada en los detectores vecinos a estos internos. Dichas fluctuaciones (para frecuencias mayores a 1 Hz), contienen la información dinámica de interés asociada con las vibraciones de los internos del reactor.

En particular, los combustibles nucleares están sometidos a un flujo turbulento de velocidades relativamente altas a fin de asegurar una transferencia de calor apropiada. Estas altas velocidades de flujo inducen vibraciones que en ciertas condiciones pueden llegar a ser excesivas en las BC y en los separadores que componen cada E.C., y que deben evitarse a fin de prevenir daño del componente por fretting o fatiga.

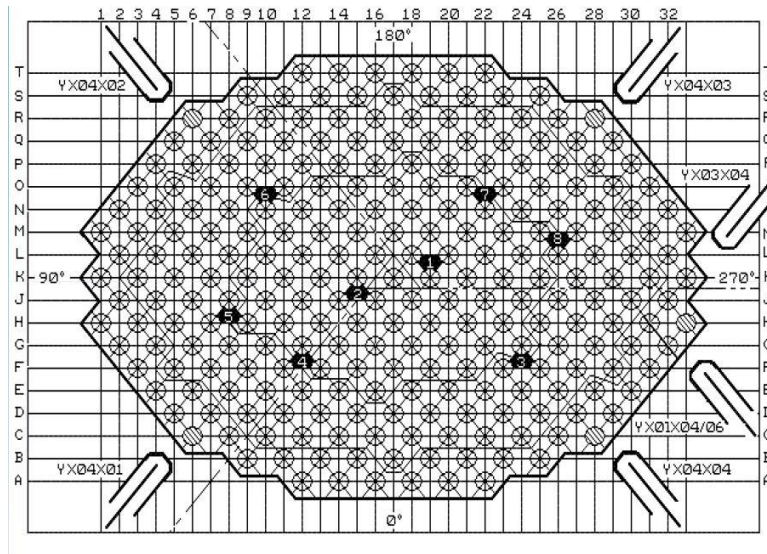


Figura 13: Corte transversal del reactor. Ubicación de los sensores in-core y ex-core.

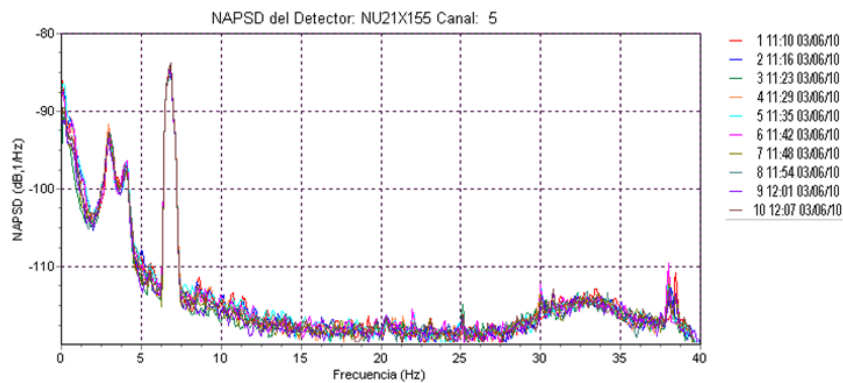


Figura 14: Espectro característico de un sensor in-core.

4.3.- Sistema de detección de E.C. fallados (Sipping).

La detección temprana de barras combustibles con defectos producidos durante el servicio nuclear permite evitar eventuales consecuencias provenientes de la permanencia de tales barras en el núcleo.

Este sistema nos da la posibilidad de monitorear los parámetros radioquímicos contenidos en el agua que se utiliza para refrigeración y enjuague de la M.C. El sistema cuenta con dos detectores de gases (INa) localizados en el sistema de recirculación de agua de la máquina de carga (TW40Y01/Y02). La medición tomada de

estos, nos dan la posibilidad de detectar una falla en el elemento combustible de manera temprana antes de ubicarlo en otra posición en el reactor.

La indicación está localizada en la sala de control por cuestiones operativas, pero se pueden obtener las curvas de actividad desde un registrador.

4.4.- Inspección visual del E.C.s.

La inspección visual online es un método de ensayo no destructivo (END) que consiste en la observación de un material u objeto en condiciones específicas, efectuada por un individuo a ojo desnudo o con ayuda de elementos auxiliares que mejoran el alcance y capacidad de percepción de la vista. El objetivo básico es la observación visual del 100% de los E.C.s provenientes del reactor antes de su almacenamiento definitivo, con el fin de detectar anomalías que indiquen un mal comportamiento de los mismos y/o fallas de otros órganos que con el interaccionen, constituyéndose en un método de Alerta Temprana. Para el caso de E.C.s nuevos, el objetivo es prevenir ingresar al reactor un E.C. que pueda tener fallas de fabricación o producidas por el manipuleo del mismo, lo que de otro modo acarrearía problemas en el sistema de transporte o en los internos del reactor.

La inspección es realizada por personal de operaciones en piletas de almacenamiento por medio de sistemas ópticos determinados, y un sistema de visualización y adquisición de imágenes que nutre de información al sistema offline (figura 15).

El sistema offline, permite a personal especializado en inspecciones visuales (técnico en combustibles) tener una herramienta de interpretación más minuciosa de los mecanismos de degradación y/o falla observados en los mismos, a la vez que realimenta a los demás sistemas de Alerta Temprana para el seguimiento y análisis de las anomalías detectadas.

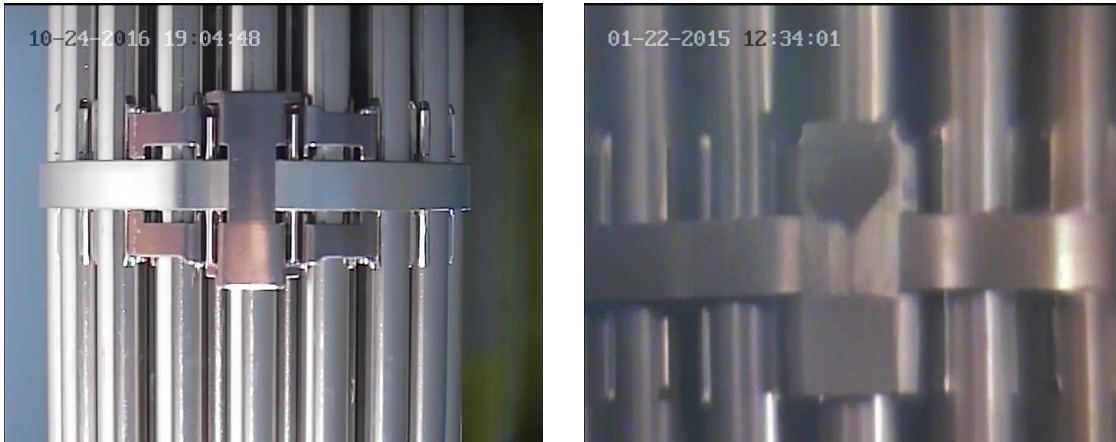


Figura 15: Imagen de inspección de E.C. nuevo (izq.) e irradiado (der.).

4.5.- Ejemplo de aplicación: Evento en canal refrigerante N10.

Durante las mediciones de rutina de detectores, particularmente en este caso, los de la lanza 6 mostraban una desviación anormal en el espectro (30/06/2013). Con el correr de los días la amplitud de este pico se fue reduciendo hasta un valor bastante menor (figura 16).

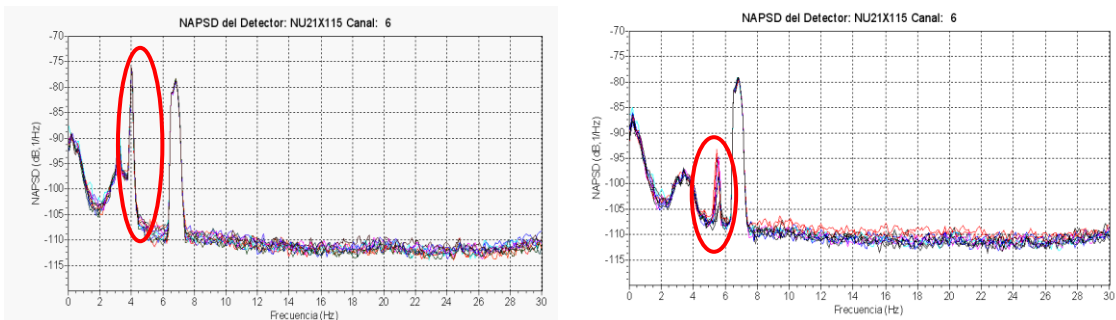


Figura 16: Gráficos del sistema de RN correspondientes al ejemplo.

El día 20/07/13 se realiza la extracción en el C.R. N10 del E.C. CXX86 e introducción del E.C. CXX74. No hubo indicación de actividad en el sistema de sipping del E.C. CXX86.

Secuencia: Ext. CXX86 (sin novedades en la gráfica peso - posición) - Intr. CXX74; Ext. CXX74 - Intr. CXX86, finalmente se extrajo el E.C. CXX86, quedando el canal vacío (todas estas últimas con novedades).

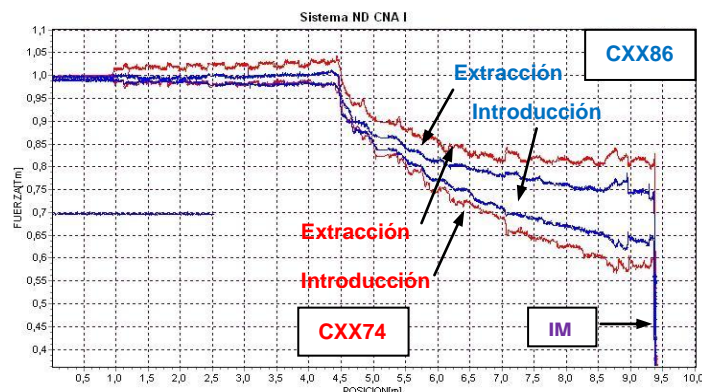


Figura 17: Gráficos del sistema ND (peso – posición).

En el sistema ND (figura 17) se observó que en ambas introducciones los E.C.s mostraban signos de interacción mecánica antes de llegar al final de su recorrido dentro del canal, lo que sugería un problema a esa distancia, pero sin poder determinar exactamente que sucedió.

La inspección en piletas de almacenamiento mostró una deformación en las zapatas del separador 15 en ambos E.C.s (figura 18). En ese momento se analizó la causa de esta anomalía en el canal, y con la información de los tres sistemas se llegó a la conclusión de que era necesario parar la planta e inspeccionar el canal refrigerante.

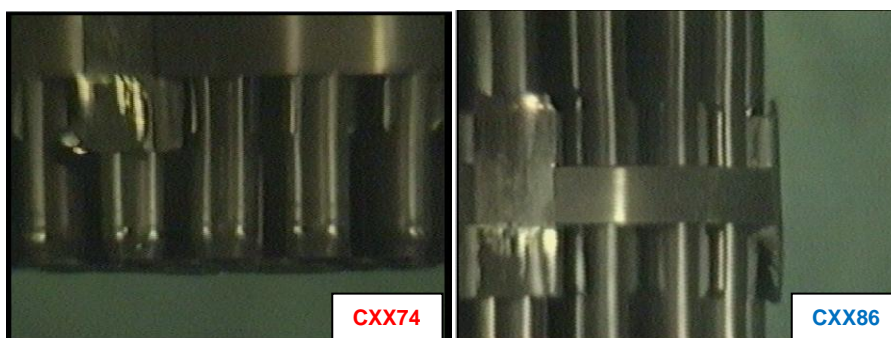


Figura 18: Imágenes de inspección de los E.C.s.

La planta fue parada el 28/07/13 para realizar una inspección interior y exterior del C.R. N10. El resultado fue la fractura de la pared del C.R. (figura 19), cuyo evento iniciante fue una interacción mecánica externa durante el transporte del canal desde las piletas hacia el reactor.



Figura 19: Imagen de inspección del C.R. de la posición N10.

NOTA: Cabe aclarar que el canal refrigerante de la posición N10 fue inspeccionado en 2009, y su segunda inspección fue durante la parada programada de 2013 en casa de piletas, donde no surgieron novedades de su inspección.

Lo que se quiere demostrar con este ejemplo es el potencial de los sistemas de Alerta Temprana antes mencionados trabajando juntos, haciendo una mención especial al sistema de inspección visual de E.C.s, ya que, hasta que no se observaron los elementos combustibles, no se pudo realizar una deducción certera de lo que estaba sucediendo. La información brindada por el sistema de inspección visual de E.C.s es una herramienta fundamental para la detección temprana de fallas.

5.- La inspección visual.

5.1.- Antecedentes.

Desde el inicio de operación de la CNA I y de la puesta en servicio del sistema de recambio de elementos combustibles, el propósito de la inspección de los E.C.s que habían cumplido su estadía en el reactor en tiempo y forma (otras veces se interrumpían su irradiación preventivamente), estuvo centralizado en la evaluación de la performance de los mismos sin tener en cuenta su relación con los C.R.s (en este caso debemos tener presente que la CNA I fue una central diseñada, construida, puesta en servicio y operada por la empresa Siemens y no había recomendaciones de como operaba en conjunto el sistema combustible - canal refrigerante ni de realizar inspecciones del interior de los mencionados canales durante las paradas programadas. Tampoco se tenía demasiada información de los C.R.s especiales y a los cuerpos de rellenos directamente no se los inspeccionaban). Se destaca que tanto

en la primera carga del reactor como los siguientes E.C.s que se utilizaron para alimentar el mismo eran de origen alemán (desde el año 1974 hasta aproximadamente 1982).

El mayor interés se presentó al iniciarse el montaje y la fabricación parcial de los E.C.s en nuestro país y su posterior irradiación, primeramente con la puesta en marcha de la Plante Piloto Fabrica de Elementos Combustibles (PPFEC) y posteriormente con la fábrica CONUAR-FAE.

En razón de que la experiencia operativa acumulada hasta el año 1988 hacía presumir que las fallas del combustible normalmente quedaban circunscriptas al mismo, no se había planteado la necesidad de una evaluación “online” y bastaba con inspeccionar la unidad extraída, cuando eso fuera posible (debemos tener en cuenta que en gran parte de la década de los 80, la central no operaba como una central de base - potencia constante al 100%- sino que realizaba ciclos diarios y frecuentemente operaba por semanas a potencia reducida).

Sin embargo, lo ocurrido en Agosto de 1988 cambió radicalmente la situación, ya que de haberse dispuesto de información anticipada (temprana) acerca de la evolución de las anomalías en los sucesivos combustibles residentes en el canal refrigerante R06 y vecinos, y de habérsela interpretado adecuadamente, los daños en los internos del tanque del moderador hubiesen sido insignificantes.

Con posterioridad a este incidente, la inspección organizada llevada a cabo en casa de piletas, permitió y permite actualmente, llegar a importantes conclusiones acerca de la evolución del comportamiento del combustible y el canal, convirtiéndose en una herramienta significativa de Alerta Temprana.

5.2.- Objeto.

Como fue adelantado en la sección anterior, el objeto es la observación visual del 100% de los E.C.s provenientes del reactor antes de su almacenamiento definitivo, con el fin de detectar anomalías que indiquen un mal comportamiento de los mismos

y/o fallas de otros órganos que con el interaccionen. Para el caso de E.C.s nuevos, el objetivo es prevenir ingresar al reactor un E.C. que pueda tener fallas de fabricación o producidas por el manipuleo del mismo, lo que de otro modo acarrearía problemas en el sistema de transporte o en los internos del reactor.

5.3.- Inspección de E.C.s Nuevos.

Para realizar la inspección de E.C.s nuevos se cuenta con un solo sistema (nomenclado como PD) instalado en la pileta de “depósito de combustibles nuevos” en el edificio de piletas 2 (Pileta N°9). El sistema instalado en el edificio de piletas 1 no se utiliza por una cuestión de practicidad, ya que el ingreso de los combustibles a la central se hace por el edificio de piletas 2 y habría que trasladarlos hacia la otra nave que se encuentra detrás de ésta, corriendo el riesgo de dañar los combustibles por manipuleo.

5.3.1.- Sistema empleado.

Función.

Permite la observación de E.C.s nuevos de tal forma que puede inspeccionarse el 100% de su superficie exterior y parcialmente la corona de barras combustibles vecina a la corona externa, registrando las imágenes adquiridas en videocasete.

Descripción.

El sistema está compuesto por:

- Una columna guía del carro portacámara.
- Un carro portacámara con iluminador.
- Sistema de traslación del carro.
- Espejo para la vista inferior.
- Cámara de video.
- Monitor TV color.
- Videgrabadora.

- Fines de carrera superior e inferior.
- Herramienta de sujeción del E.C.
- Percha auxiliar para la inspección.

Este consta de una columna guía de carro portacámara a lo largo de la cual se desplaza un carro donde van alojados la cámara de video y el iluminador, y permite visualizar toda la longitud del E.C. El carro se mueve gracias a un sistema de transmisión mecánica constituido por piñones y cadenas accionado con un motor con reductor, el cual además tiene un enclavamiento eléctrico con 2 fines de carrera (superior e inferior) que detendrán el avance al llegar a esos extremos. La velocidad de avance del mismo puede ser controlada por medio de una consola instalada en el gabinete de inspección. El iluminador está ubicado sobre el carro y la intensidad de la iluminación también es variable y se controla con un variac. Para la inspección se utiliza una única cámara (para inspección axial y radial) cuyo foco es regulado desde consola situada en gabinete y la cual recorrerá el elemento combustible desde abajo hacia arriba y viceversa. Para la inspección de la parte inferior del E.C. se utilizará un espejo instalado a 45°, cuya imagen es tomada por la misma cámara. La señal de video de esta se envía a una videocasetera para su grabación y a un monitor para la visualización “in situ” (figura 20).

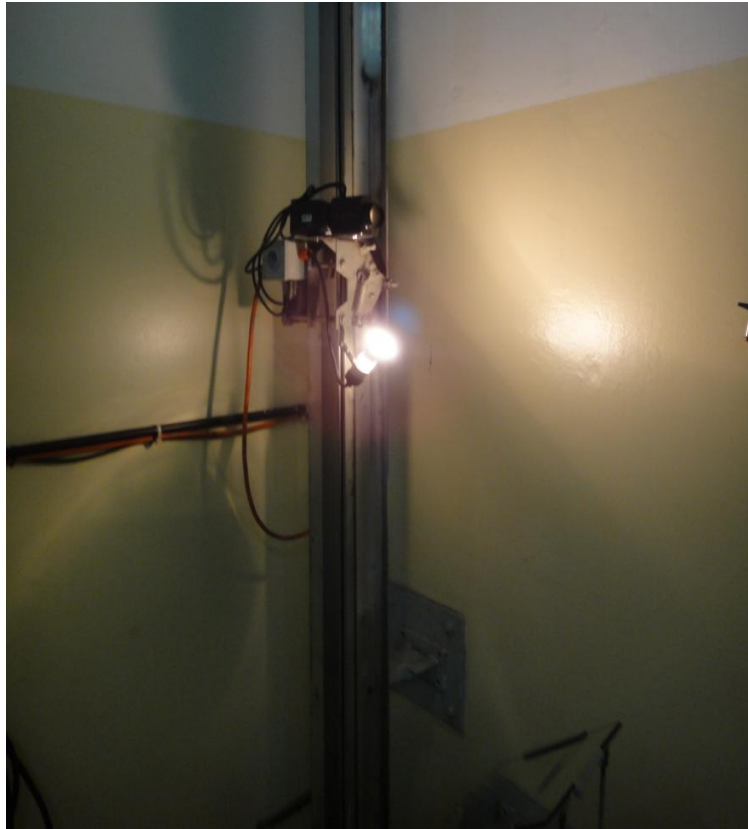


Figura 20: Foto del sistema de casa de piletas 2.

5.3.2.- Inspección de E.C.s por daños de transporte.

Desde que el camión con elementos combustibles llega a la central, hasta que los mismos son finalmente liberados para su uso nuclear, estos pasan por una serie de controles rigurosos, a fin de asegurar que los mismos no tienen defectos que pudieran comprometer la salud de los componentes del sistema de transporte, del reactor y principalmente la seguridad nuclear de la instalación. Los pasos son los siguientes:

1. Después de ingresar el camión a piletas de almacenamiento (edificio de piletas 2), se descarga el contenedor cerrado en cuyo interior se encuentran los E.C.s dentro de tubos de embalajes, realizándose a continuación una inspección visual en la cual se verifica el estado en el que llegó dicho contenedor denominado “control externo”, registrándose las observaciones en una planilla de control. Lo mismo se hace con los tubos de embalajes vacíos que se cargan al camión para volverlos a fábrica.

2. Luego se procede a la apertura de los contenedores, y se realizan controles de la posición de los tubos de embalaje y cuñas, y se registra en la planilla, bajo el nombre de “apertura de contenedores”.
3. Una vez hecho esto se comienza con la verticalización de los combustibles, se desembalan y se verifican puntos de control, se los transporta al recinto de pileta N° 9 (depósito de E.C.s nuevos) donde son depositados en las perchas de almacenaje para luego realizarles la inspección por daños de transporte.
4. Se realiza la Inspección de E.C.s por daños de transporte verificando:
 - Integridad y limpieza de la superficie del E.C.
 - Flecha total del E.C.
 - Diferencia de longitud entre barras combustibles (como parámetro se debe tener en cuenta que la distancia entre vainas en la parte inferior del E.C. no debe ser mayor a 5 mm).
5. Se realiza la inspección visual de los elementos combustibles con la metodología explicada más abajo. Se ingresan las observaciones en la planilla de control de inspección, y se archivan los videos.
6. Finalmente el Dpto. Seguridad Nuclear, con el resultado satisfactorio de la inspección y los protocolos de aceptación de la fabricación en CONUAR, libera a los E.C.s para su uso nuclear.

Metodología de Inspección.

El siguiente método es el empleado para esta tarea:

1. Colocar el E.C. en la percha de depósito de inspección mediante la herramienta especial, frente a la cámara.
2. Se da alimentación al sistema y se verifica el buen funcionamiento del mismo.
3. Para la inspección se procederá como sigue. Grabar el N° de E.C. ubicado en placa portante sobre barra 28 y girar el E.C. 360° mostrando toda la placa portante y posicionarse en la barra 25 (1ra.Vuelta) para comenzar a bajar.
4. Grabar desde placa portante hasta separador 15 siguiendo la barra 25 (1ra. Vuelta) deteniéndose en cada separador mostrándolo y girando el E.C. 360° tratando de que los patines se encuentren en la mitad del monitor.

5. Grabar subiendo por el tubo soporte (2da. vuelta) hasta llegar a placa portante y retroceder hasta barra 31 y bajar por la misma (3ra. vuelta) hasta el separador 15.
6. Finalmente filmar la zona de tapones inferiores de las barras combustibles con la misma cámara bajando hasta tomar la imagen a través del espejo a 45° instalado para tal fin, corrigiendo el foco de la cámara desde la consola del gabinete.

Puntos de interés en la inspección.

Se deben observar especialmente los siguientes puntos de interés durante la inspección visual de los mismos:

- Horizontalidad de los separadores, que no existan faltas de materiales en los mismos.
- Posición de los patines en las barras combustibles.
- Rayas en barras y separadores.
- Frotamiento de barras y/o patines.
- Impronta en barras.
- Incrustaciones.
- Diferencias de longitud entre barras combustibles.
- En la vista desde abajo se deberá tener en cuenta el estado de los tapones.
- Estado e integridad de las zapatas fijas y elásticas.
- Libre deslizamiento de las zapatas elásticas de los separadores.
- Correcta posición de los flejes de contención de los pernos de la zapata elástica del separador.

Además, finalizada la filmación, se deberá realizar una observación visual desde una distancia tal que permita observar el E.C. completo, para verificar que no esté pandeado, o tenga alguna otra deformación como la que se produciría si fue sometido a un esfuerzo de torsión, etc.

Registros / archivos de documentación.

Los casetes y las planillas de la inspección se deberán guardar, llevando un registro de los videos en planillas de fácil ubicación. Luego de asegurarse que los E.C.s han salido del reactor sin anomalías se podrán reciclar los casetes.

5.4.- Inspección de E.C.s Irradiados.

Para realizar la inspección de E.C.s irradiados la central cuenta con dos sistemas (nomenclados como PB), uno en cada casa de piletas de decaimiento. Son sistemas muy similares, cambiando algunos aspectos de diseño que luego mencionaremos. Se tomará de base el diseño del sistema instalado en el edificio de piletas 2.

5.4.1.- Sistema empleado.

Función.

Permite la observación del elemento combustible irradiado, para la inspección del 100% de su superficie exterior y con las siguientes alternativas:

- Obtención de imágenes en un monitor color, a través de una cámara de video, con grabación de las mismas para posterior análisis.
- Visualización directa por parte del operador del equipo (ocular directo).
- Posibilidad del registro de las imágenes mediante cámara fotográfica.

Mediante este sistema también es posible realizar la inspección de los cuerpos de relleno.

Criterios de diseño.

Se postularon como criterios de diseño los siguientes:

- La operación de este sistema debe ser compatible con las tareas que realiza el Asistente de Piletas sin insumir tiempos ni recursos adicionales.
- Disponibilidad del equipo equivalente al resto de los sistemas de planta.

- Facilidad en la repetición de la inspección.
- Posibilitar la re-evaluación, por parte de especialistas, a través de la grabación del video.
- Rápido posicionado y mínimo número de maniobras del puente.
- Visualización de las imágenes con adecuada definición y en color.
- Rápida verificación de la correcta grabación.
- Posibilidad de visualización directa.
- Fácil comando del equipo.
- Facilitar el mantenimiento.

Descripción.

El sistema PB está constituido por los siguientes elementos:

- a) Periscopio.
- b) Columnas de iluminación.
- c) Telescopio.
- d) Cámara de video, monitor color, videocasetera (grabadora de cinta).
- e) Plataforma y mesada.
- f) Tablero y alimentación eléctrica.

Uno de los sistemas está ubicado en el edificio de piletas 1 sobre la piletta de maniobras cercano a la compuerta de piletta N°1, lado 270°, y el otro en el edificio de piletas 2 sobre la piletta de maniobras, lado 180° (figura 21).

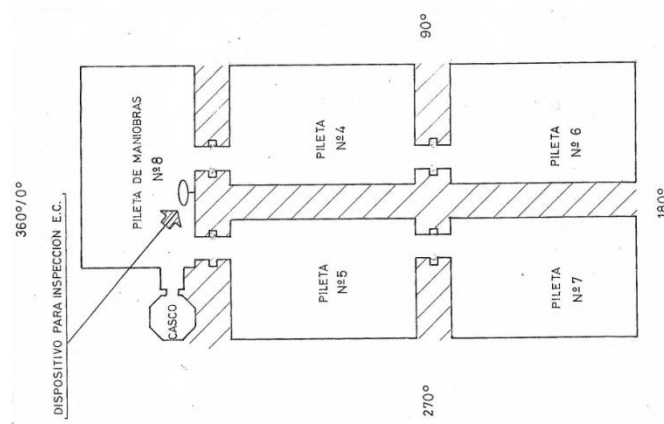


Figura 21: Plano de ubicación del periscopio de casa de piletas 2.

La instalación está compuesta por un periscopio rígido, fabricado de acero inoxidable, fijado en el borde de la pileta de maniobras por una plataforma. Utiliza como sistema óptico un telescopio ubicado en su extremo superior, enfocado a un espejo alojado también dentro del tubo pero en su extremo inferior a aproximadamente 10 m de profundidad del pelo de agua, delante del cual se hace desplazar el elemento combustible a inspeccionar. El equipo consta además con un espejo rebatible (basculante) en la zona inferior con mando remoto para permitir la inspección de la parte inferior del E.C. (zona de tapones). La iluminación es provista por 2 columnas (una a cada lado del periscopio) extraíbles con 3 iluminadores cada una.

En la zona superior del telescopio (cercano al objetivo), está instalada, por medio de un acople, una cámara de video para grabar las inspecciones. Al lado de este se encuentra un gabinete con una videocasetera y un monitor para observar la inspección, y un tablero de alimentación eléctrica que provee energía a los iluminadores, equipos y mando del motor de movimiento del basculante (figura 22).

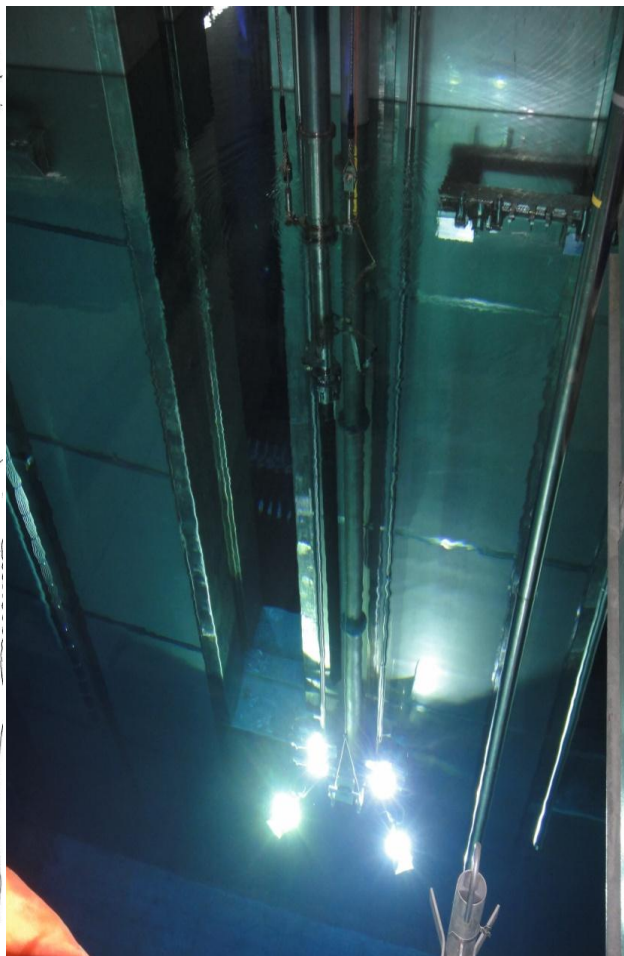
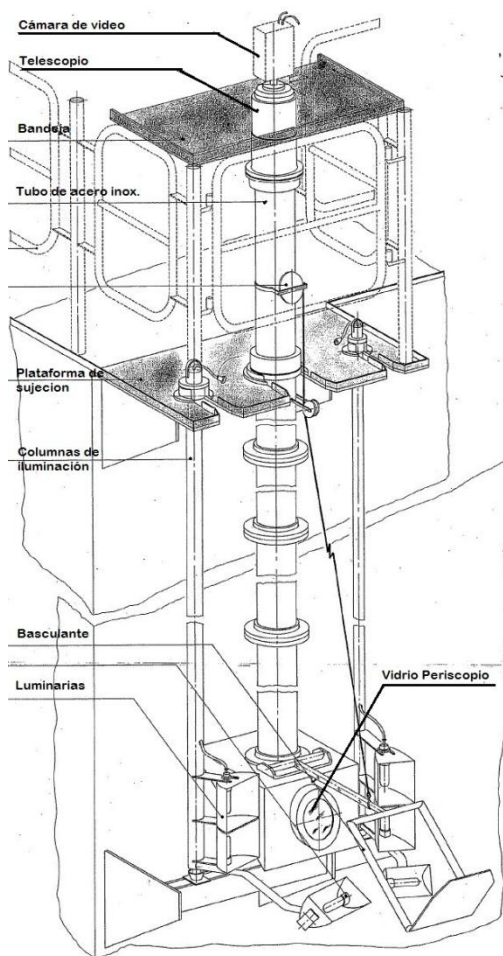


Figura 22: Plano del periscopio (izq.), foto del periscopio de casa de piletas 2 con las luminarias encendidas (der.).

Diferencias entre los sistemas de inspección.

El equipo de piletas 2 es más adecuado para lograr una visión total del E.C. (tubo y óptica de 6”), ya que abarca el área externa completa del mismo. Y tiene un accionamiento remoto en el giro del espejo inferior (basculante). En cambio, el de piletas 1 tiene un mejor sistema óptico para observar ampliadas las barras combustibles, el tubo del periscopio es más chico (4”). Por otro lado, tiene la desventaja de no contar con sistema de grabación propio, por lo que éste debe ser trasladado desde piletas 2 a piletas 1.

5.4.2.- Procedimiento de inspección.

El procedimiento indica que todo elemento combustible que interrumpe su servicio nuclear en el reactor, independientemente de la causa que lo motive y previo a su almacenamiento en piletas de decaimiento o su reutilización en el reactor, será sometido a una inspección visual, de la cual se toma un registro en video y se completa una planilla de control para cada combustible.

Se definen las siguientes causas por las cuales un E.C. es extraído del reactor para su almacenamiento o reutilización:

- E.C. que cumple el ciclo de irradiación en el reactor.
- E.C. que presenta fallas (aumento de los parámetros radioquímicos, sipping, detectores de área).
- E.C. que presenta descarga o sobrecarga durante las maniobras de introducción / extracción en el canal refrigerante, observados por el sistema ND o en pupitre de Máquina de Carga.
- E.C. que sale por otras causas (cambio de cuerpo de cierre, vaciado del canal, etc.).

Metodología de inspección

Los E.C.s que son extraídos del reactor por haber finalizado su ciclo de quemado, para cambiar cuerpo de cierre, para vaciado o cualquier circunstancia que no haga suponer alguna falla de los mismos serán observados a través de tres inspecciones visuales longitudinales, denominada **inspección normal**.

En cambio los E.C.s fallados y/o que hayan presentado alguna interacción mecánica o los que el Dpto. Seguridad Nuclear indique, serán observados a través de seis inspecciones visuales longitudinales denominada **inspección especial**.

La primera consta de los siguientes pasos:



1. Colocar el E.C. frente al periscopio del sistema PB, de tal forma que se visualice el número de E.C. que está grabado en la placa portante.
2. Iniciar la grabación con el número aproximadamente 5 segundos y luego bajar el E.C. para visualizar los tubos de varillaje intermedios y superiores, girando levemente el mismo para ver la totalidad de los tubos.
3. Girar el E.C. en sentido horario hasta visualizar la barra combustible N°25 en el centro de la pantalla. Subir el E.C. hasta visualizar el extremo inferior.
4. Girar el E.C. en sentido horario hasta visualizar la barra combustible N°37 en el centro de la pantalla, bajar hasta placa portante.
5. Girar el E.C. en sentido anti horario hasta visualizar la barra combustible N°31 en el centro de la pantalla, subir hasta extremo inferior. Girar levemente a ambos lados y pausar la grabación.
6. Retirar el E.C. de su posición frente al periscopio y bajar el espejo del mismo.
7. Visualizar la parte inferior del E.C. (zona de tapones) y continuar la grabación el tiempo necesario hasta que todas las barras sean inspeccionadas.
8. Detener la grabación y verificar que la misma se haya realizado correctamente, observando los últimos segundos.
9. Completar la planilla correspondiente. Asentar en la etiqueta del videocasete el número de E.C. inspeccionado.

La segunda de ellas utiliza el mismo procedimiento pero manteniendo centradas las barras N°25, 22, 37, 34, 31 y 28 (6 pasadas).

En ambos casos, de observarse alguna falla, mancha, interacción mecánica, etc. Se debe detener el movimiento que se estuviera ejecutando, centrar en la pantalla la indicación y girar levemente el E.C. hacia ambos lados para permitir una visualización más clara despejando sombras y reflejos, y permitiendo distinguir relieves o profundidades.

Consideraciones adicionales.

La **inspección especial** de elementos combustibles quemados **se realiza con el periscopio** ubicado en la pileta de maniobras (pileta N° 3) **de Casa de Piletas I,**



debido a la mayor calidad del sistema óptico de este. **Para ejecutar esta tarea es necesario trasladar los equipos de grabación, el monitor, la cámara de video y una lente desde Piletas II hasta el periscopio de Piletas I.** Luego deberá armarse el sistema óptico en este último periscopio.

Teniendo en cuenta lo anterior, y considerando que el puente de maniobras de Piletas I y su catenaria son de menor altura que el de Piletas II, **se debe retirar el sistema óptico ubicado sobre el periscopio una vez finalizada la inspección del elemento combustible quemado, y antes de realizar cualquier movimiento con el puente de maniobras.** El objetivo de esto es evitar un posible choque entre la catenaria del puente de maniobras y el sistema óptico, lo que podría ocasionar la caída de este último en la pileta.

Puntos de interés en la inspección.

Se debe observar especialmente:

- Rayas en barras y separadores.
- Desgastes, interacciones en barras, topes y separadores.
- Impronta en barras.
- Estado e integridad de las zapatas fijas y elásticas.
- Elementos extraños depositados en el combustible.
- En la vista desde abajo se deberá tener en cuenta el estado de los tapones.
- Alargamiento diferencial de las vainas.

5.5.- Inspección offline de E.C.s.

Este sistema estaba ubicado en +8mts del edificio de maniobras en la oficina del Técnico en combustibles y constaba de un TV color de 20 pulgadas y una reproductora/grabadora de cinta (videocasetera) con capacidades especiales; por ejemplo: reproducir la cinta a diferentes velocidades, contador de tiempo transcurrido de video, control remoto, etc., utilizada por el técnico para hacer un análisis de los videos de las inspecciones offline de rutina.

5.6.- Problemática.

El sistema descrito fue instalado, como ya se expresó anteriormente en este trabajo, en 1990 y ha probado ser una herramienta fundamental en la detección temprana de fallas en C.R.s y E.C.s, pero debido al envejecimiento (u obsolescencia) de sus componentes, se han ido presentando inconvenientes que hacen replantearse su diseño (o estado) actual.

A continuación se mencionan los mismos:

- Se observaban deterioros en la calidad de la imagen lo que dificultaba mucho distinguir correctamente algunos de los puntos de interés en las inspecciones (capítulos 5.3.2 y 5.4.2).
- Debido al envejecimiento de los equipos electrónicos de video, se observa una mayor frecuencia de falla de los mismos.
- Las cintas de video se deterioran rápidamente tanto por el manipuleo como si no se las conserva en una atmósfera controlada en humedad y temperatura.
- Imposibilidad de adquirir los repuestos adecuados para los equipos y/o los equipos mismos (obsolescencia).
- Insumos difíciles de conseguir.
- En cuanto al análisis offline que realiza el técnico en combustible, resultaba engorroso digitalizar las imágenes del video para poder compararlas con otras de distintos E.C.s, ingresarlas en un informe, o hacer un análisis o seguimiento más exhaustivo de las mismas.
- El archivado de los videocasetes ocupaba demasiado espacio físico.

Como agravante de esta situación se declaró un evento interno (ver Anexo 1) el cual expresaba:

Durante la inspección por daños de transporte y posterior grabación en videocasete de las inspecciones visuales de E.C.s nuevos, se realizó la grabación de 3 combustibles sobre 4 ya anteriormente inspeccionados y grabados, produciendo el borrado de estos. Dicho suceso causó la pérdida total del registro de estado de los mismos debido a que al momento del evento, los E.C.s que fueron borrados, ya se encontraban dentro

del reactor. Lo que significa que si se detectara algún inconveniente con los mismos durante su estadía en el reactor y se quisiera revisar cual era su estado antes de ingresarlos para determinar si la falla podría haber sido causada por un defecto de fabricación, esto no sería posible.

Además, en el caso de tener una falla, no se podría reclamar al fabricante este hecho, por lo que: desde el punto de vista económico, se estaría perdiendo dinero por el hecho que el E.C. no haya cumplido con su quemado de extracción, y desde el punto de vista de la seguridad nuclear, se pagaría un costo radiológico.

De lo anteriormente expuesto surge la necesidad imperiosa de evaluar el cambio del sistema de grabación de los videos de inspección.

Como solución a dicha problemática, la Sección Alerta Temprana propone a la jefatura el estudio y la realización de la ingeniería conceptual y de detalle para ser utilizada en la correspondiente Modificación a la Instalación de la planta: Actualización del Sistema de Inspección Visual de E.C.s. El próximo capítulo será objeto de lo efectuado para dar cumplimiento a la implementación de dicha propuesta.

6.- Propuesta de actualización del sistema.

6.1.-Objetivo.

Recordemos que el E.C. es el consumible fundamental en toda central nuclear de potencia tanto en lo referente a la explotación comercial y su competitividad con las otras fuentes de generación (costo del MWh generado), como también por la función que cumple en la seguridad nuclear de la instalación, ya que conforma una de las barreras principales para la contención del inventario radiactivo del núcleo del reactor.

Considerando lo antedicho como primordial, teniendo en cuenta la problemática planteada en el capítulo anterior respecto a la degradación del sistema de inspección visual de E.C.s y comprendiendo las necesidades de la planta, se plantea entonces el objetivo de este capítulo (y del trabajo presentado), que es la actualización del sistema

de inspección visual de E.C.s nuevos e irradiados (en lo referente a las plataformas de grabación/reproducción de video), mediante la realización de la ingeniería conceptual (y de detalle de la propuesta finalmente implementada) para ser presentada como Modificación a la Instalación de la planta. El propósito de la misma es obtener:

- flexibilidad de almacenamiento de los datos,
- mayor confiabilidad del sistema y de la Planta,
- facilidad en el manejo del equipo por parte del personal que realice la inspección,
- posibilidad de actualización futura del mismo.

6.2.- Evaluación de los equipos instalados.

6.2.1.- Características.

Se describen aquí las características de los equipos de grabación con los que fue diseñado este sistema originalmente (los mismos que estaban siendo utilizados), tanto para la grabación de E.C.s nuevos, como irradiados (ver figuras 23 y 24). Para más detalle ver Anexo 2 (Hojas de datos).

Cámara de TV color CCD con las siguientes prestaciones:

- Píxeles activos: 500(H) x 580(V)
- Resolución: Horizontal 300 líneas min., Vertical 415 líneas min.
- Sensibilidad: imagen usable 5 LUX sobre cara sensible.
- Montaje de lentes: Standard "C"
- Lente: 25 o 50 mm f/1.4.
- Relación señal ruido: mayor que 40dB.
- Salida de video: compuesto de 1 a 1.4 V a 75 ohms.
- Dimensiones: 210 x 100mm
- Alimentación 220VAC.

Monitor de TV color de tamaño 9 a 12 “, con las siguientes especificaciones:

- Resolución: 300 líneas horizontales.
- Barrido: 625 líneas, 50 campos.
- Alimentación: 220VAC

Videograbadora

- Sistema VHS con casete de ½ pulgada, Binorma, con detención de imagen. Sin ruido o tironeo en la misma. Capacidad de reproducción lenta, normal o rápida.
- Velocidades: 23.39 mm/seg en PAL y 33.35 mm/seg en NTSC-M.



Figura 23: Foto del sistema implementado en el periscopio de casa de piletas 2.



Figura 24: Foto del sistema implementado en casa de piletas 2 para inspección de E.C.s nuevos.

6.2.2.- Estado del sistema.

Cámaras de video.

Las cámaras instaladas han ido sufriendo con el tiempo los efectos de la radiación y el envejecimiento, por lo que la calidad de la imagen se ha ido degradando. Además hoy en día existen tecnologías que han mejorado mucho sus características, como por ejemplo: mayor resolución de imagen, mejor relación señal/ruido, mayor sensibilidad, etc., lo que llevaría a obtener imágenes más nítidas de los combustibles.

Monitores de TV.

La problemática con estos es que hace unos años la tecnología LCD ha ido desplazando, hasta dejar prácticamente obsoleta, la tecnología de tubos de rayos catódicos (TRC), tal es así que infinidad de modelos de televisores ya no tienen posibilidad de arreglo por no conseguirse los repuestos en el mercado (flybacks, tubos, etc.). Otro inconveniente es su peso, lo que hace más dificultoso su traslado.

Adicionalmente, se corroboró en el campo que el tamaño de pantalla empleado era realmente chico para realizar el trabajo de inspección, y que en algunos de los

sistemas, directamente se habían reemplazado por monitores blanco y negro, por no conseguir el repuesto adecuado.

Videocaseteras.

El sistema de lectura y escritura (cabezal) se ensuciaba con cierta frecuencia, lo que exigía su limpieza, problemática ésta que se agravó con el tiempo.

Durante la etapa de análisis por parte del personal especializado y ante la necesidad de ver ciertos detalles (revisar el video de inspección minuciosamente), era necesario retroceder o avanzar la cinta hasta llegar al E.C. y momento de grabación indicados, lo que representaba una pérdida de tiempo en la búsqueda y una total falta de practicidad.

La desventaja más grande de este tipo de plataforma hoy en día es su obsolescencia. En un relevamiento en campo se observó que el estado de sistema no era bueno, los equipos estaban instalados en un gabinete inadecuado, y expuestos a suciedad y posibles salpicaduras.

Videocasetes.

Como se señaló en el capítulo 5.6, los videocasetes enfrentan un problema en su manipuleo y envejecimiento, pero además plantea un problema extra la necesidad de almacenarlos por un tiempo considerable.

Para tomar dimensión de la cantidad de videocasetes que son necesarios para almacenar todas las inspecciones de E.C.s nuevos (ECN) e irradiados (ECQ) se hará el siguiente cálculo:

Tiempo de grabación promedio de ECQ = 10 minutos

Tiempo de grabación promedio de ECN = 5 minutos

Suponiendo un quemado medio de extracción de 10800 MWd/TU, una estadía promedio de 400dpp, y un consumo de 0.7 ECN/dpp, se tiene que el número de E.C.s nuevos utilizados en el período mencionado es:

$$0,7 \text{ ECN/dpp} \times 400 \text{ dpp} = 280 \text{ ECN}$$

Teniendo en cuenta que los casetes tienen una duración de 120 minutos de grabación en buena calidad, entrarían por video 24 registros de ECN, lo que harían un total de 12 videocasetes que habría que conservar sólo de ECN.

Debido a que el recambio continuo requiere distribuir el quemado en el reactor y que cada vez que ingrese uno nuevo implica que salga otro con quemado de extracción, se puede estipular que se necesita el doble de videos para los ECQ, es decir 24 (esto es debido a que la inspección de irradiados lleva aproximadamente el doble de tiempo).

Esto da un total de 36 videocasetes, al terminar un ciclo de quemado de 1 E.C. Si bien una vez que salió ese E.C. y se verificó que no tiene fallas, el video de nuevo ya no tiene sentido guardarlo y puede reutilizarse, pero en el caso de los ECQ el tratamiento es distinto ya que es muy valioso conservar los videos para realizar un seguimiento de los C.R. a modo de tener información comparativa de los combustibles que transitaron por los mismos. Esto nos da idea que el archivo sería bastante grande y habría que guardarlo por cierto tiempo prolongado (al menos 2 ciclos de quemado, aprox 2 a 3 años), con el agravante que las cintas pueden deteriorarse y no hay un backup de la información en ellas contenida. A continuación se muestra una foto de parte del archivo de videocasetes de las inspecciones de combustibles (figura 25).





Figura 25: Foto de parte del archivo de inspecciones de E.C.s.

6.3.- Análisis de la modificación.

6.3.1.- Criterios de diseño para el nuevo sistema.

- Mejorar la calidad de imagen del sistema anterior (que permita distinguir con mayor definición los puntos de interés en las inspecciones, citados en los Capítulos 5.3.2.2 y 5.4.2.3) y lograr de esta manera diagnósticos más precisos.
- Renovar la tecnología empleada.
- Flexibilidad para el reemplazo de los componentes.
- De fácil manejo para el operador.
- Que evite la posibilidad de sobrescribir las inspecciones (para cumplir con la acción desprendida del evento).
- Que se pueda tener un backup de la información (redundancia).
- Que permita extraer imágenes de los videos fácilmente.
- Que el manejo de la información sea simple y rápido.

Consideraciones adicionales comunes.

- Que cumpla con las condiciones ambientales del edificio de piletas (humedad y temperaturas de trabajo).

- Que se pueda configurar fácilmente (para no tener una indisponibilidad grande, en caso de problemas).
- Que permita la adecuación de cualquier monitor, si es necesario reemplazarlo.
- Que el equipo pueda trasladarse fácilmente (en caso de necesidad de realizar maniobras en las cercanías y necesitar el espacio físico del mismo, o como redundancia en el caso de la inspección de E.C.s irradiados).

Consideraciones adicionales para el sistema de inspección de E.C.s irradiados.

- Minimizar la inclusión de materiales extraños tanto en piletas (por caída de elementos del sistema), como en el interior del gabinete (para preservar los equipos).
- Permitir al Asistente Técnico de Piletas operar el mástil de maniobras observando la inspección del E.C. de manera de corregir, de ser necesario, la posición del mismo para centrarlo correctamente en la pantalla. Para hacer estas maniobras el Asistente Técnico de Piletas y el Ayudante de Jefe de Turno (quien realiza la inspección) se comunican verbalmente, pero la acústica del lugar no es buena, esto mejoraría el entendimiento y ahorraría tiempo de posicionado.

Consideraciones adicionales para el sistema offline.

- Que los archivos de las grabaciones se puedan reproducir en cualquier PC (antes se podía reproducir solo donde hubiese videocasetera, en general era en la oficina del técnico en combustibles, esto nos da además la posibilidad de tener flexibilidad en los equipos de reproducción).

Consideraciones ambientales para el diseño de Casa de Piletas II:

1. Condiciones ambientales del emplazamiento:

Estación del año	Temperatura seca	Grado higrométrico
Verano	+40 °C	40%
Invierno	-5 °C	100%

2. Condiciones ambientales de interiores en Servicio:

LOCAL	Temperatura seca	Grado higrométrico
Nave de Piletas	Máx. +40 °C	80%
Recintos de Bombas	Máx. +40 °C	50%
Recintos con instal. eléctricas	Máx. +35 °C	50%
Temp. mínima en cualquier recinto	+10 °C	-

Las condiciones de trabajo del equipo de grabación se encontrarán de acuerdo al punto 2, referente a la Nave de Piletas (los datos fueron obtenidos del diseño del sistema de ventilación (TL) de Piletas 2, y se tomarán como base). Debemos tener presente que como los parámetros mencionados son controlados, los mismos no se deberían desviar demasiado del rango especificado.

Sin embargo hay que tener en cuenta casos extremos que perturben la regulación, como por ejemplo, la llegada de E.C.s nuevos a la central, cuya entrada está en esta casa de piletas. Aquí se mantienen abiertas las puertas de entrada exterior del edificio por aproximadamente 40 a 60 min, y por este lapso, se tiene conexión con las condiciones ambientales externas de ese momento. En el caso que esto suceda, la peor condición sería un día de humedad extrema del 100%, con el sistema de ventilación en marcha. Para ser conservativo, y así alargar la vida útil de los equipos, se definirá una humedad ambiente máxima de 85% y una temperatura máxima de 40°C en condiciones normales. De esta manera, los equipos a adquirir deberán ser capaces de soportar dichos parámetros.

A partir de los criterios antes mencionados y las consideraciones adicionales, se plantean las posibles propuestas de modificación a realizarse.

6.3.2.- Propuesta 1.

Cambiar toda la plataforma a tecnología digital, utilizando cámaras de alta definición, grabador de video y monitor "in situ", y la posibilidad de ver la inspección "online" fuera

de la zona radiológicamente controlada, como ser en la oficina del Técnico en Combustibles, la oficina de Alerta Temprana o en Sala de Control. Esta alternativa tiene la ventaja que el personal que está realizando la inspección online podría consultar, vía telefónica, al técnico en combustible en caso de dudas de anomalías observadas, para que este evalúe si es necesario realizar una inspección más rigurosa y de esta manera decidir si se trata, o no, de algún tipo de falla en el combustible. Esto ahorraría tiempos operativos y al disponer de la información al instante se podrían tomar decisiones con mayor antelación. Por otro lado resulta interesante esta propuesta ya que permite planificar la presencia de personal especializado observando y analizando simultáneamente el video sin la necesidad de adquirir dosis dentro del edificio de piletas.

Esquema de conexión planteado:

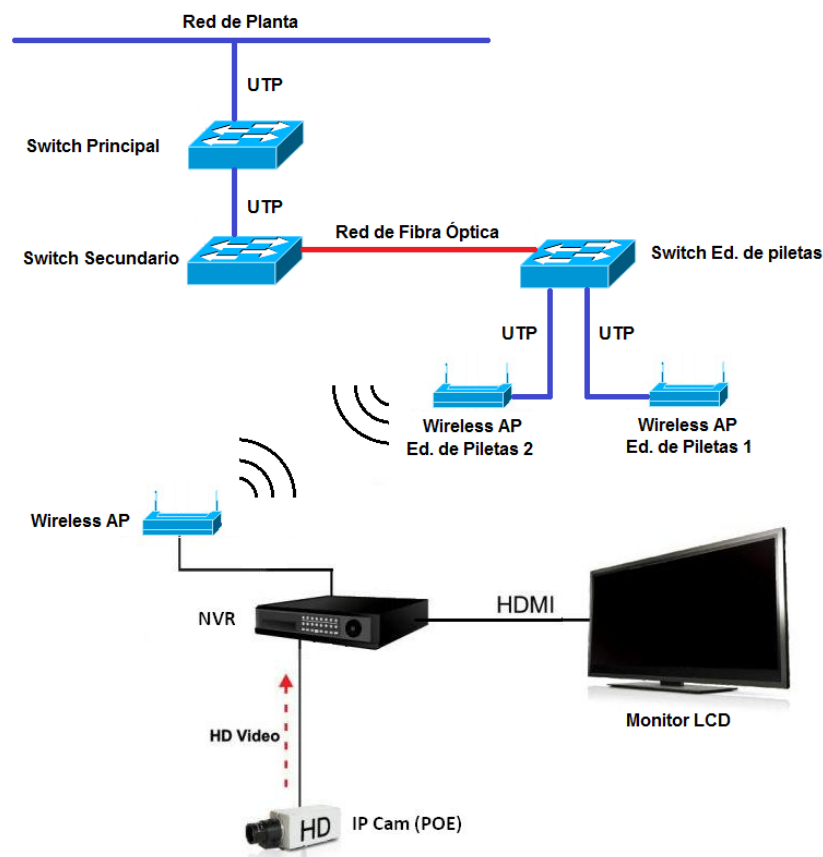


Figura 26: Esquema de conexiones de la propuesta 1.

Las especificaciones, en términos generales, para adquirir los equipos son:

Selección de la Cámara:

- Cámara IP: con tecnología power over Ethernet (POE), para eliminar la necesidad de una fuente de alimentación externa a la cámara.
- Sensibilidad: mayor o igual a 0.1 Lux en color.
- Amplio rango dinámico: 120dB
- Montaje de lentes tipo “C” o adaptable (C/CS).
- Resolución máxima: 1920x1080 @ 50fps (FULL HD, del doble de velocidad de cuadros que el estándar para ver los combustibles más nítidos durante el movimiento).
- Streaming: 1920 x 1080 @ 50fps
- Plataforma de red: ONVIF (open estándar), nos da la posibilidad de cambiarla por cualquier otra cámara con esta característica (independientemente del fabricante).
- Interface de comunicación: Ethernet 10/100 Mbps
- Especificaciones ambientales que se adecuen para el uso en piletas.
- Dimensiones: menores o iguales a las de la cámara anterior.
- Otros: Balance de blancos, auto iris (para ECN), control automático de ganancia, control de foco DC/automático, Control de Zoom desde el dispositivo grabador de video.

Selección del equipo de grabación digital de video:

- Grabadora tipo NVR (Net Video Recorder)
- Resolución del codificador de grabación: 1920 x 1080 @ 50fps.
- Entrada de video: cámaras IP (POE)
- Interface de comunicación: Ethernet 10/100 Mbps ó AP Wireless.
- Salida de video: VGA y HDMI (con varias resoluciones posibles).
- Capacidad de almacenamiento mayor o igual a 2TB.
- Especificaciones ambientales que se adecuen para el uso en piletas.

- Posibilidad de grabar y pausar o detener la grabación manualmente, posibilidad de ver lo grabado (replay) in situ.
- Fácil manejo del equipo.

Selección del monitor:

Preferentemente monitor LCD Full HD 1920 x 1080 pixeles (aunque se podría utilizar cualquiera con resolución mayor o igual a 1024 x 768) de alto contraste y tiempo de respuesta reducido, con conexión VGA o HDMI.

AP WIFI:

Equipo profesional (o industrial) con velocidad de transferencia de datos mayor o igual a 100 Mbps y de capacidad de alcance mayor a 20 m. Son necesarios 2 de estos equipos.

6.3.3.- Propuesta 2.

Debido a cuestiones meramente económicas, se nos solicitó realizar otra propuesta de manera que la misma pueda adaptarse a los elementos existentes en la central (cámaras y monitores). Por este motivo, la otra alternativa fue utilizar cámaras analógicas y tecnología de grabación digital.

Para este desarrollo, se pensó utilizar cámaras analógicas nuevas (disponibles en la central) que se habían utilizado para la primera carga del núcleo de CNA II. Teniendo esto en cuenta, se comenzó por la elección del grabador digital. Para ello se evaluaron 2 alternativas:

1. Utilización de PC con placa adquisidora de imágenes.

Ventajas → PC fácilmente reemplazable por otra nueva (elemento en stock en la central). Placa adquisidora de video: son más económicas que los DVRs.

Desventajas → Puede traer problemas por inestabilidad del software, infección de virus, sufrir inconvenientes de configuración si se llegase a instalar otro software o actualización, son más difíciles de configurar (reinstalación de software). Ocupa mucho espacio.

2. Grabador digital de video (DVR) Standalone.

Ventajas → Ofrecen la ventaja de tener un sistema de archivos optimizado para la grabación de video, tienen embebido un sistema operativo (en general bajo lenguaje Unix) que los hace muy estables, en general son muy fáciles de configurar, luego de la configuración inicial. Son intuitivos y de fácil manejo. Ocupan poco espacio. En general tienen conectividad de video amplia y también ofrecen conexiones USB, LAN y RS485 (para manejo y visualización remotos).

Desventajas → Tiempo necesario para aprender a utilizar esta tecnología.

De estas 2 posibilidades se eligió la segunda ya que le brinda al sistema una mayor confiabilidad, al ser el equipo DVR específico para la grabación de videos y muy estable.

Esquema de conexión planteado:

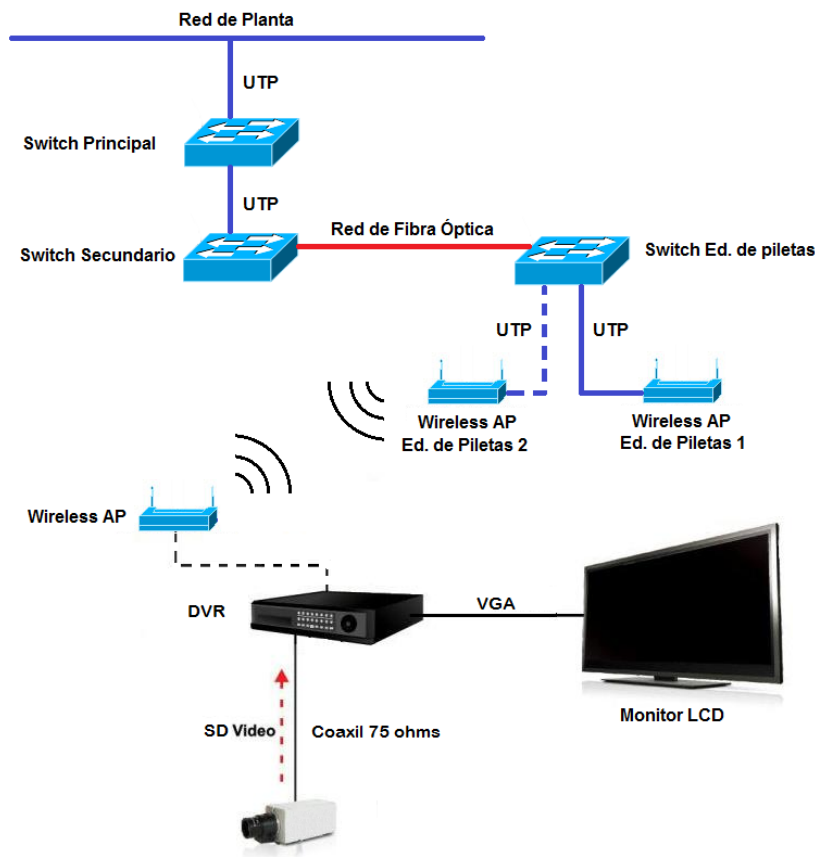


Figura 27: Esquema de conexiones de la propuesta 2.

En la figura se observa en líneas punteadas la conexión via 2 access point WIFI a la red de planta debido a que para la propuesta 2 aún no se realizó esta conexión, pero el equipo DVR tiene el hardware necesario para realizarlo a futuro.

Para ambas propuestas se deberá utilizar un gabinete acorde a las necesidades y consideraciones para el ambiente de casa de piletas.

6.3.4.- Elección del Gabinete.

El gabinete debe tener las siguientes especificaciones generales:

- No superar las medidas de las barandas de piletas.

- Tiene que ser de un material estructural fuerte, con tratamiento antioxidante, no demasiado pesado y de fácil limpieza.
- No puede utilizar vidrio templado ya que de romperse podría incluir objetos extraños en piletas (debería ser laminado o sin vidrio).
- Tiene que ser transportable.
- Las puertas tienen que poder abrir más de 90° (por comodidad en el espacio reducido de las piletas).
- Tienen que tener la refrigeración adecuada para los equipos que contenga adentro.
- La tapa superior debe ser ciega para que no le entre agua por posibles salpicaduras.
- Debe contener tomacorrientes para la distribución de alimentación en su interior.

6.4.- Especificación.

Finalmente se eligió la propuesta 2 para realizar la modificación definitiva y se utilizaron los equipos que se listan a continuación con sus correspondientes características principales (se adjuntan las hojas de datos en el Anexo 2, para más información):

Cámaras CCD PELCO Mod. CC3701H-2X

- Píxeles activos: 752(H) x 582(V) PAL
- Resolución: 480 líneas de TV.
- Sensibilidad: 0.5 Lux color.
- Relación señal ruido: 52 dB
- Salida de video: 1Vp-p, 75 ohms
- Iris electrónico: DC/video
- Backlight compensation
- AGC
- Balance automático de blancos

- Montaje de lentes tipo C/CS.
- Alimentación: 18 – 30 VAC, 10 – 36 VDC
- Temperatura de operación : -10°C a 50 °C

Para el sistema de inspección de ECN, es necesario contar con los **lentes de zoom motorizados Mod. 13ZD**.

DVR Marca Hikvision Mod. DS-7204HFI-SHST

- Entrada de video: 4 x BNC (1.0Vp-p, 75 ohms), PAL/NTSC (se utilizará solo 1 entrada)
- Compresión de video: H.264 (estándar)
- Salidas de video: HDMI, VGA, CVBS
- Resolución de grabación: 4CIF (Definición standard - SD) en tiempo real 25fps.
- Bit - rate de video: Variable o definido por el usuario hasta 3072kbps.
- Almacenamiento: interno interfaz SATA hasta 4TB de disco, USB.
- Interfaces: RED (Ethernet 10/100Mbps), 2xUSB 2.0, RS-485.
- Alimentación: 12 VDC.
- Temperaturas de trabajo: -10 a 55°C
- Humedad: 10% - 90%
- Posibilidad de grabar y pausar o detener la grabación manualmente, y de ver lo grabado (replay) in situ.

El equipo DVR especificado tiene la posibilidad de generar un archivo que contiene todos los datos de configuración del mismo (backup de configuración), por lo que permite una rápida restauración en caso que se modifiquen sus parámetros.

El sistema empleado para la grabación de videos utiliza la fecha y hora actuales para guardar los archivos grabados, por lo que no es posible sobrescribirlos. Además posee un software basado en ventanas e íconos muy intuitivo y fácil de utilizar.

Disco de almacenamiento interno.

- Disco rígido SEAGATE SATA III (6Gb/s), 7200RPM, 64 MB de cache, factor de forma 3.5"

Monitor LCD

Se van a utilizar los que hay de repuesto en la central de 15" o 17" VGA de resolución 1024 x 768 pixels, contraste de 50000:1.

Para esta propuesta **no se incluyó la conexión WIFI** para poder visualizar los videos "online" fuera de casa de piletas, **pero el DVR tiene la posibilidad de enviar la información por el puerto de red, lo que deja la posibilidad abierta para realizarlo a futuro.**

Se adquirieron finalmente: 5 equipos de grabación (3 para cada sistema de inspección y 2 de repuesto) y 3 gabinetes.

6.5.- Pruebas y validación.

Antes de llegar a la modificación definitiva, se realizó una prueba de validación del sistema por un tiempo de unos 4 a 6 meses. Esta consistió en utilizar la misma cámara de video (sólo por un tiempo, ya que ésta también estaba deteriorada y se cambió por la nueva) con los 2 sistemas de grabación en "paralelo" reemplazando el monitor por uno similar al que se utilizaría definitivamente. El esquema de conexión fue el siguiente:

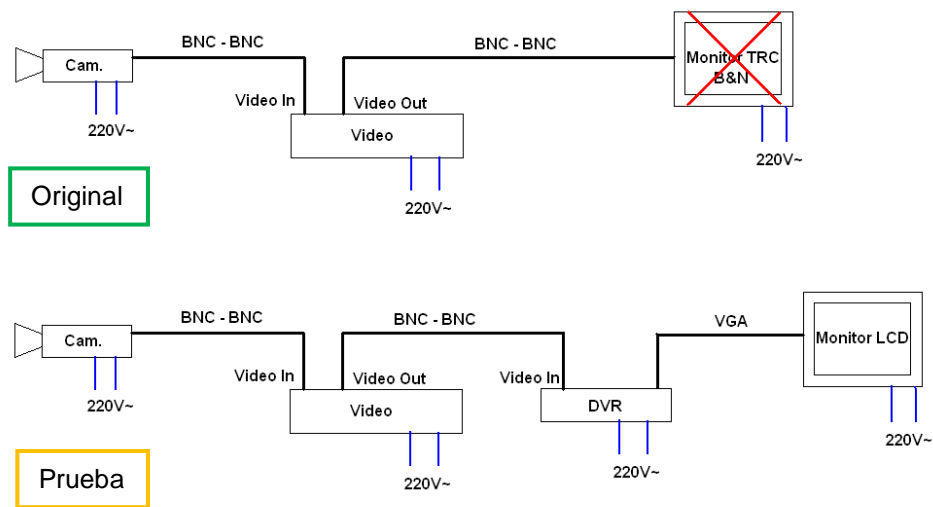


Figura 28: Esquema de conexiones para la validación.

En las figuras 29 mostradas más abajo se observan imágenes de inspección de E.C.s irradiados adquiridas con el sistema original (videocasete) digitalizada justo antes del proceso de validación (donde se puede observar un deterioro importante de la imagen), la siguiente corresponde al sistema en proceso de validación y con la cámara original, y finalmente con el cambio de cámara por la nueva. También se incluyeron imágenes de la validación del sistema de inspección de E.C.s nuevos (figuras 30).

NOTA: Cabe aclarar que los órganos ópticos del periscopio (el ubicado en el edificio de piletas 2) están degradados y existe un problema de desalineamiento de la cadena óptica del mismo, por ello se observa en las imágenes una discontinuidad en la zona central, además de la esperable por las diferencias de temperatura a la que está el agua a lo largo de todo el espesor entre el E.C. y el periscopio.

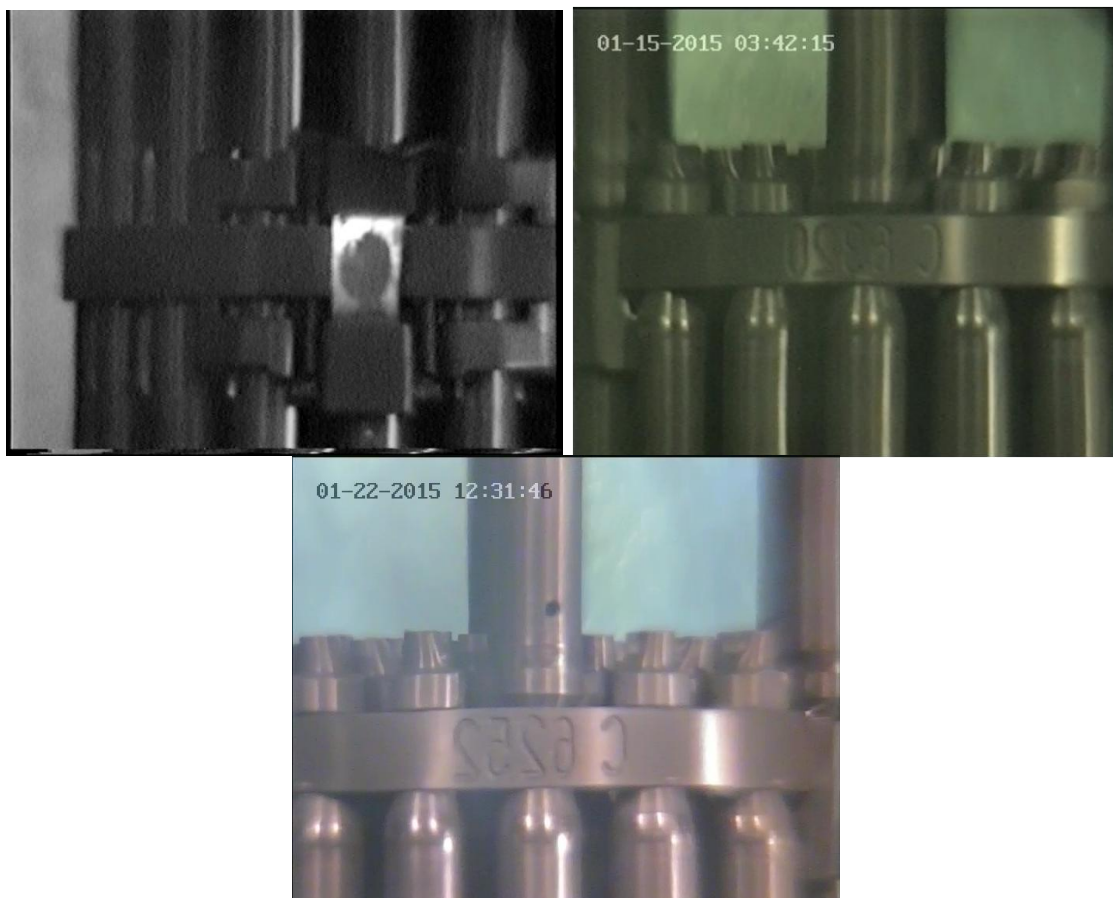


Figura 29: Imágenes tomadas desde del periscopio con sistema original [digitalizada] (arriba izq.) y del utilizado para la validación (der.). Imagen tomada con el cambio de cámara (abajo).

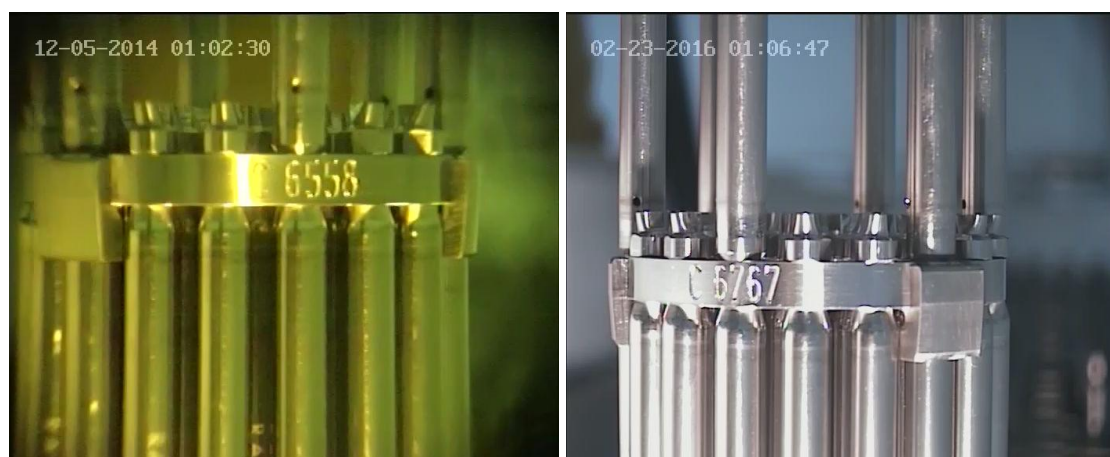


Figura 30: Imagen tomada de una inspección de ECN con el sistema para validación (izq.) e imagen del sistema nuevo (der.).

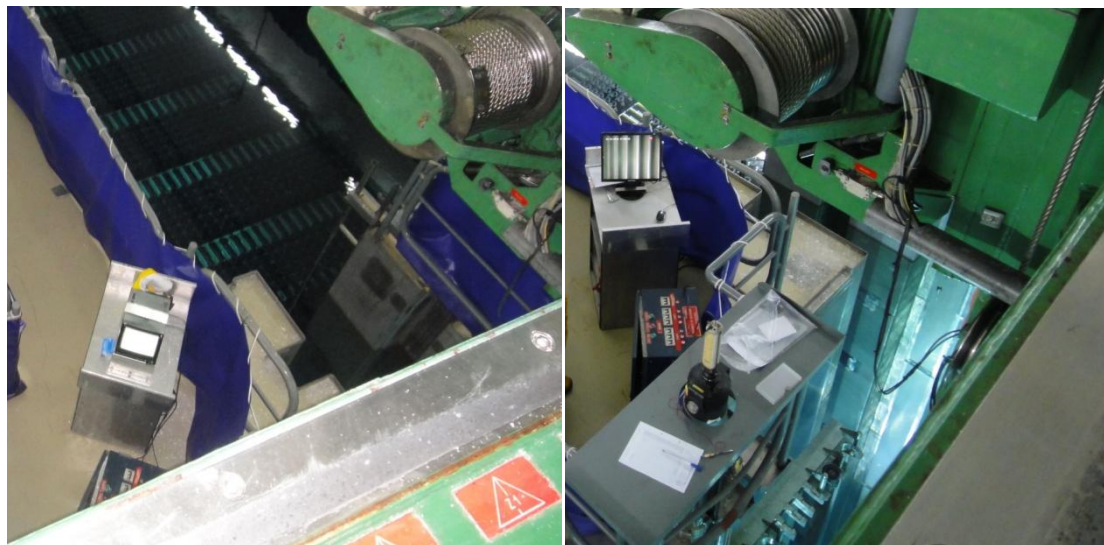


Figura 31: Fotos tomadas desde el mástil de maniobras del sistema anterior (izq.) y del utilizado para la validación (der.).

En la figura 31 se puede observar la diferencia en visualización entre ambos sistemas, tomadas desde una posición similar sobre el puente de maniobras de piletas 2.

6.6.- Resultados

Los resultados fueron positivos (aún cuando se decidió la segunda propuesta), tal es así que los mismos equipos especificados en esta actualización se utilizaron para las inspecciones de combustibles de la CNA II, debido a que los equipos instalados allí no cumplían con los requisitos necesarios.

Durante el período de validación, se determinó que el sistema era adecuado para el cambio definitivo. El encargado de dar el visto bueno de las imágenes adquiridas de las inspecciones fue el técnico en combustibles, quien determinó y enfatizó la mejora en las imágenes y el proceso de manejo de la información.

Por otro lado, el personal de operaciones que realiza las inspecciones destacó la mejora en la imagen obtenida “in situ” además de la comodidad para el asistente técnico de piletas para manejar el puente y poder ver mejor la posición del combustible en la pantalla (ver figura 31).

En las figuras siguientes se observan imágenes adquiridas de las inspecciones con el sistema original y el actual, donde se observa una notable mejoría en las imágenes capturadas por la actualización del sistema de inspección (figuras 32 y 33). Y en la figura 34 se observan imágenes tomadas desde los dos tipos de inspecciones del mismo E.C., a modo de comparación.

Por último se muestran imágenes de los sistemas definitivos montados en sus lugares correspondientes (figuras 35 y 36).



Figuras 32: Imágenes tomadas desde del periscopio del sistema anterior [digitalizada] (izq.) y del nuevo (der.). Vale aclarar que ambas imágenes fueron adquiridas mientras el EC estaba en movimiento.

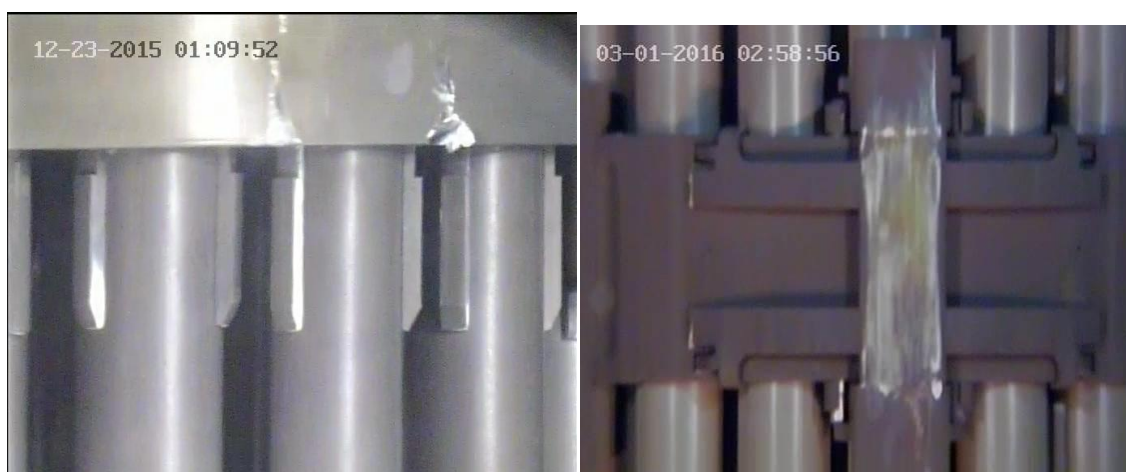


Figura 33: Imagen tomada desde el periscopio del sistema nuevo para inspección especial de E.C. de la CNA I (izq.) e imagen del separador elástico desde el periscopio del sistema de la CNA II (der.).

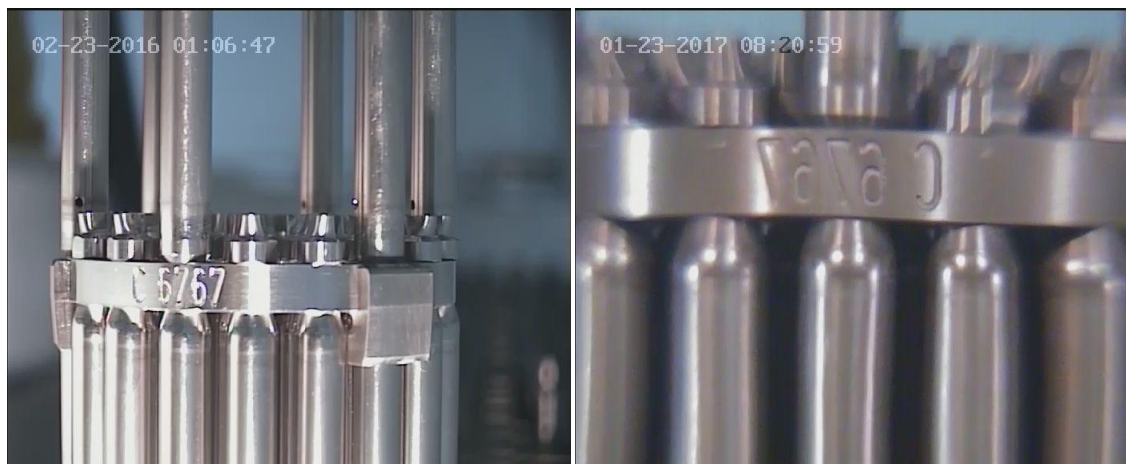


Figura 34: Imagen tomada de la inspección de E.C.s nuevos (izq.) y del sistema de inspección de E.C.s irradiados (der.), para el mismo elemento combustible en la CNA I.



Figura 35: Imagen del sistema de inspección de E.C.s irradiados actualizado montado en su posición en Edificio de piletas 2.



Figura 36: Imagen del sistema de inspección de E.C.s nuevos actualizado montado en su posición en Edificio de piletas 2.

6.6.1.- Mejoras introducidas por la actualización

- Se logró mejorar la definición y sensibilidad de la fuente de imagen del sistema (cámara con mejores prestaciones) y del sistema de grabación.
- Cumpliendo con los criterios de diseño y consideraciones adicionales, se puede reemplazar cualquiera de los componentes del sistema por otros existentes en el mercado actual, o incluso actualizarlos para lograr la propuesta N°1. Se siguen fabricando estos componentes.
- El sistema empleado para la grabación de videos posee un software basado en ventanas e íconos muy intuitivo y fácil de utilizar, con características que no permiten sobrescribir las grabaciones.
- Hace más fácil la tarea de inspección para los operadores del sistema online.
- La extracción de los videos de inspección se hace mediante un dispositivo de almacenamiento externo USB (PEN drive) cuya información luego es transferida a un disco en la red (servidor) de manera que se tienen 2 copias de

los videos de inspección, una en un servidor al cual se le realiza periódicamente un backup, y la otra en el DVR (temporal hasta que se llene el disco de 1TB).

- Rapidez en la búsqueda de la información, mayor capacidad de análisis de los videos (posibilidad de analizarlos en detalle sin perder resolución y obteniendo capturas al instante), flexibilidad en el manejo de la información e independencia de la plataforma de reproducción de los mismos. Por otro lado, este sistema no tiene pérdida de calidad en el tiempo o con las sucesivas reproducciones (como pasaba con la cinta), lo que le da confiabilidad al sistema offline.
- Se montaron equipos de grabación independientes para cada casa de piletas (para la inspección de E.C.s irradiados) con la posibilidad de ser trasladables, lo que además posibilita la utilización de uno de ellos como redundancia del otro en el caso que sea necesario.
- Se deja abierta la posibilidad de visualizar los videos “online” fuera de casa de piletas, en las oficinas del técnico en combustibles, de Alerta Temprana o en Sala de control, completando la propuesta de modificación, y permitiría guardar los archivos de inspección directamente desde la red, sin necesidad de utilizar un disco externo (directamente desde el DVR), con la consiguiente disminución del riesgo de incluir materiales extraños en las piletas por caída del mismo.

6.6.2.- Acciones desprendidas de la modificación

- Se debió modificar el Manual de Operaciones de la Planta: Tomo 1, Cap. 5.23.
- Se realizó modificación de Procedimientos de Planta: PO-P-21 y PO-P-31.
- Se realizó un manual de usuario del sistema para personal de Operaciones.
- Se actualizó la información de los sistemas PB y PD (se cambiaron características, se agregaron hojas de datos, manuales, etc.).
- Se efectuó la capacitación a los operadores del sistema.
- Se formalizó la Modificación a la Instalación.
- Se desarmó el periscopio y se limpiaron sus órganos ópticos debido a que con el nuevo sistema se observó una suciedad excesiva en los mismos. Se

determinó que es necesario reemplazar algunos de ellos, se dispararon acciones para realizar el mismo.

7.- Conclusiones

La implementación en la CNAI de un sistema digital de inspecciones visuales de E.C.s le brindó al técnico en combustible rapidez en la búsqueda de la información, mayor capacidad de análisis de los videos (posibilidad de analizarlos en detalle sin perder resolución y obteniendo capturas al instante), flexibilidad en el manejo de la información e independencia de la plataforma de reproducción de los mismos. Además, con el agregado de pocos componentes extra se puede lograr la visualización y manejo de los datos vía red de planta. Por otro lado, este no sufre de pérdida de calidad (degradación) de la imagen en el tiempo o con las sucesivas reproducciones (como pasaba con la cinta), lo que le brinda confiabilidad al sistema offline.

El hecho de instalar 2 sistemas de inspección de E.C.s irradiados independientes y la actualización de los componentes para la visualización “in situ”, facilitaron las tareas del personal abocado a realizar la inspección.

Debido a la existencia de estos equipos en el mercado es posible reemplazar sus componentes, e incluso actualizarlos llevándolos a lo planteado en la primera propuesta de actualización, teniendo la posibilidad de ver las inspecciones de manera remota y en alta definición.

Finalmente, podemos concluir que la actualización propuesta le brinda a la planta, confiabilidad (tanto en los procesos de análisis de la información, como en la inclusión de nuevas tecnologías), flexibilidad y seguridad en el almacenamiento de los videos, mayor capacidad de análisis de las posibles anomalías (por la mejoría en cuanto a la visualización de los combustibles) y la posibilidad de crecimiento del sistema hacia visualizaciones remotas y en alta definición, cumpliendo con los objetivos planteados.

Referencias bibliográficas.

Libros, papers, apuntes de clases:

Irradiation Effects in Nuclear Fuels, J.A.L. Robertson.

Fundamental aspects of nuclear reactor's fuel elements, D. R. Olander.

Handbook of digital Imaging, Michael Kriss. 1994-2014. John Wiley & Sons.

Apuntes de clases de la Dra. Ana María Fortis.

Paper: Underwater Illumination. Ronan Gray, MSc Mechanical Engineer, DeepSea Power & Light.

Documentación de planta:

Manual de Operaciones de la CNA Unidad I. Tomo 1, Capítulos 2.3, 2.8, 3.8, 5.23.

Procedimientos de planta: PO-P-21, PO-P-31, PI-N-01, PI-N-04, PG-06, PI-N-05, PI-N-06.

Descripción del sistema de Ventilación (TL) CNA I, 2da Casa de Piletas. OS-N° 5610, Proyecto 540007. 15-10-1981. KWU.

Descripción del sistema "PB"

Descripción del Sistema "PD"

Informes de trabajo de planta:

Utilización de elementos combustibles ULE de 37 BC en la CNA-I. José A. Casario, Jorge G. Carloni, Jorge I. Sidelnik. IT N°105/00 Rev.1.

Dispositivo para inspección "en línea" de elementos combustibles irradiados. Varios – CNA I. IT N°117/89.

Resultados de la inspección visual de los elementos combustibles de CNA I observados con "debris". Ruggirello, Zawerucha. IT N°187/89.

Inspección interna preliminar del canal de refrigeración K17 en pileta. Ruggirello, G., Zanetti, J.L., Zawerucha, A. IT N°141/88.

Principios y fundamentos del sistema de Ruido Neutrónico implementado en la CNA I. Pérez, R., Sidelnik, J., Lescano, V., Piñeyro, J., Wentzeis, L. IT N°051/92.

Monitoreo utilizando el Sistema ND de Elementos Combustibles 37 Barras de la CNAI.

Piñeyro, J. / Morganti, R. CNAI- I.T.Nº54/02.

Esfuerzos máximos para EC 6217. Vicente, R. Casario, A. DGCC-IT-002/14

Planos Mecánicos:

M20-0619 – E.C. de 37 barras. Ensamble General.

M20-0619.1 – Barra combustible.

M20-0619.11 y M20-0619.12 – Separadores.

Anexo 1. Evento Interno.





Anexo 2. Hojas de datos.

