

CENTRALES NUCLEARES EN LA REPUBLICA ARGENTINA SU TECNOLOGIA Y SU IMPACTO REGIONAL

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

LA FOTO DE TAPA MUESTRA
EL NUCLEO DE LA CENTRAL
ATOMICA DE ATUCHA

LA INFORMACION CORRESPONDE AL MANUSCRITO
RECIBIDO EN ABRIL - 1974

DISEÑO GRAFICO: PLANIFICACION
Y DIAGRAMACION/C.F.I.
BUENOS AIRES - ARGENTINA
OCTUBRE 1974

Impreso en Argentina — Printed in Argentine
Hecho el depósito que marca la Ley 11.723
©1974 Comisión Nacional de Energía Atómica
Av. Libertador 8250 — Consejo Federal de Inversio-
nes — Alsina 1401 — Capital Federal — República
Argentina.

Circuitos termohidraulicos

Ing. Arnoldo Biumenkrantz

8.1 NECESIDADES DE UN CIRCUITO EXPERIMENTAL DE ALTA PRESION EN CNEA

8.1.a Generalidades:

El desarrollo de un plan nuclear independiente requerirá obviamente la disponibilidad local de capacidad de ingeniería, para la resolución de múltiples problemas tecnológicos conexos. La resolución de dichos problemas exigirá en una amplia gama de temas y en particular en aquellos donde se requieran soluciones tecnológicas originales, el prerequisite de existencia de facilidades experimentales, que incluye naturalmente el requerimiento de personal especializado con capacidad para operarlas, planear experiencias y analizar resultados.

Se han analizado aquí los requerimientos experimentales de un loop de alta presión para estudios vinculados con la isla nuclear. Dichos requerimientos están contemplados en la hipótesis de la adopción de un plan de centrales nucleares con moderador de agua pesada y tubos a presión, incluyendo la posible variante de refrigeración por agua liviana en ebullición. Se contemplan igualmente las necesidades de optimización de la central Atucha.

Planteada la necesidad de facilidades experimentales como instrumento indispensable del desarrollo de capacidad de diseño, cabe la opción entre dos soluciones; la instalación de laboratorios adecuados en el país o la ejecución de las experiencias en el extranjero. Esta última opción incluye, a su vez, toda una gama de variantes, desde el simple alquiler de facilidades experimentales (estando el planeamiento, ejecución y análisis de experiencias a cargo de profesionales argentinos), hasta la compra de tecnología ya elaborada. Consideramos que la selección entre estas variantes representa una opción política de consecuencias importantes: la disponibilidad local de adecuadas facilidades experimentales permitirá integrar la infraestructura científico-tecnológica indispensable para el desarrollo nacional de centrales nucleares. La solución basada en alquilar facilidades en el extranjero implicaría una vinculación esporádica con lo experimental, no permitirá integrar adecuadamente los grupos de trabajo y en definitiva limitaría la capacidad real para planificar y usar adecuadamente de las experiencias, derivando finalmente en dependencia e incapacidad para encarar creativamente los problemas de operación y diseño.

Es conveniente alertar aquí contra el mito de autosuficiencia de los códigos de diseño, el que indica que es posible, por adquisición de códigos de cálculo, suplir la falta de una infraestructura científica-tecnológica y la consiguiente posibilidad de prescindir de todo apoyo experimental. Esta

argumentación es falsa, por cuanto:

a) Los códigos de cálculo representan una herramienta formal de gran eficacia que debe sin embargo ser complementada con datos y correlaciones empíricos adecuados al problema específico que se trata. La obtención de estos datos puede implicar un considerable desarrollo experimental.

b) La adaptación de nuevos desarrollos tecnológicos y la rápida obsolescencia de los criterios de diseño hace necesario disponer de la capacidad de adecuar los métodos de cálculo a las nuevas situaciones. El enfoque puramente mecánico de "uso" de tecnología importada impediría esta adecuación, a menos de perpetuar un sistema dependiente de licencias.

c) Ciertos problemas de diseño requieren indiscutiblemente una verificación experimental de performances.

d) Una parte de los códigos de cálculo necesarios no están disponibles por razones puramente comerciales.

Otro aspecto importante que avala la necesidad de contar con circuitos experimentales es su uso como herramienta para la recepción de ciertos componentes que deben, necesariamente, ensayarse en condiciones similares a las de funcionamiento. De no contar con esta facilidad de ensayos, puede verse reducida la posible participación de la industria nacional en la provisión de equipos para el plan de centrales nucleares.

8.1.b Circuitos de ensayo existentes en el país

Por razones metodológicas y teniendo en cuenta sus limitaciones experimentales, se han clasificado en este estudio los circuitos de ensayo en base a su presión de servicio, según que operen a presiones cercanas a la atmosférica o a altas presiones.

Los circuitos de ensayo disponibles en el país actualmente operan exclusivamente a presiones cercanas a la atmosférica. Existe una vasta gama de experiencias de gran interés vinculadas con el programa nuclear que pueden realizarse a presión atmosférica, tales como:

Estudios de Modelos

Mezclado en Subcanales

Estudios Dinámicos de Elementos Combustibles y Componentes.

Curva Característica de Bombas

Medición de Turbulencia y Fluctuaciones de Presión

Calibración de Variados Instrumentos

Sin embargo, la verificación real de performances deberá hacerse en las condiciones de operación, lo que requerirá

indiscutiblemente la disponibilidad de un circuito experimental que opere a altas presiones.

Se analiza a continuación las posibilidades experimentales de los cuatro laboratorios nacionales más importantes en las áreas de hidráulica y transferencia térmica. El resto de este estudio está destinado a definir las características de un circuito experimental de alta presión que cumpla los requisitos vinculados con el plan nuclear, y a evaluar en ese sentido el circuito in-pile del reactor MZFR que ha sido ofrecido a CNEA en el marco del Acuerdo de Cooperación Argentino-Alemán.

8.1.b.1 Capacidad Experimental presente

Se detallan a continuación los laboratorios nacionales visitados (incluyendo CNEA), con mención en cada caso de los temas de interés para el plan nuclear, cuyos requerimientos experimentales pueden ser cubiertos en base a la capacidad instalada presente.

8.1.b.1.1 Laboratorio de Hidráulica, Universidad de la Plata:

Estudios de Modelos

Medición de Turbulencia

8.1.b.1.2 Laboratorio Nacional de Hidráulica:

Estudios de Modelos

8.1.b.1.3 Lemit:

Calibración de Caudalímetros

Curva característica de bombas dentro de los siguientes rangos:

Hasta 3000 m³/hora

200 metros de altura de carga

200 HP

Calibración de Manómetros (hasta 500 Kg/cm²)

8.1.b.1.4 Laboratorio de transferencia Térmica, Departamento de Reactores, CNEA:

Convexión líquida, ebullición, fenómenos críticos a presiones cercanas a la atmosférica.

Transitorios de transferencia térmica

Medición de Fracción de Vapor

8.1.c Circuito de alta presión Alcances de los ensayos

Uno de los objetivos principales del circuito experimental de alta presión (CEAP) es la comprobación de valores, correlaciones y modelos usados en códigos de cálculo, indispensables para predecir con precisión la performance termohidráulica y mecánica de elementos combustibles. Permitirá

igualmente estudiar los problemas mecánico-dinámicos, metalúrgicos y químicos no inducidos por irradiación, cuya solución es principalmente empírica. La instalación y operación de un circuito experimental de alta presión permitiría asimismo adquirir experiencia en los problemas de tecnología de altas presiones, característicos de la industria nuclear, así como sobre el comportamiento dinámico de circuitos presurizados y performance de componentes de alta presión. La disponibilidad de este circuito podría igualmente beneficiar a la industria nacional convencional, para la resolución de múltiples problemas de transferencia térmica tales como medición de coeficientes y fenómenos críticos con mezclas en ebullición, cuya resolución permitiría mejorar los diseños y contribuir al desarrollo de la ingeniería básica local.

8.II LISTADO DE ENSAYOS PREVISTOS

Se transcribe a continuación un listado de experiencias previstas vinculadas con el plan de centrales nucleares, para las que se requiere la disponibilidad de un circuito de alta presión. No se han incluido en el listado programas experimentales de tipo fundamental que posibilitaría la disponibilidad de este circuito, los cuales contribuirían a la mejor comprensión de los fenómenos y por lo tanto redundarían indirectamente en la mejora de diseños o performances.

8.II.a Necesidades de un circuito a Presión y Temperatura para diseño de Elementos Combustibles (E.C.)

8.II.a.1 En General

- i) Mediciones de vibración de EC en condiciones de Presión y Temperatura similares a la del reactor.
- ii) Ensayos de performance hidrodinámica (largo plazo)
- iii) Comportamiento de zonas sometidas a rozamiento para evaluar desgastes y corrosión por fricción en condiciones de química de agua controlada.
- iiii) Ensayos de corrosión con transferencia térmica.

8.II.a.2 Para Rediseño Atucha

- i) EC normales:
 - i.I Ensayos de vibración y performance de los prototipos propuestos como diseños alternativos.
- ii) EC enriquecidos con Pu:
 - ii.I Ensayos de vibración, corrosión por fricción, y corrosión con transferencia térmica, para los EC.
 - ii.II Ensayos de performance a largo plazo.

8.II.a.3 Para línea Cordeba (CANDU)

- ii.II Ensayos de diseño (vibraciones) de nuevos diseños o diseños alternativos.

- ii.III Ensayos para estudio de la influencia metalúrgica de las variaciones rápidas de temperatura de vaina por desplazamiento de la frontera de Dryout, en el caso de BHWR.

8.II.b Ensayos Termohidráulicos

8.II.b.1 En general

Medición de Flujo Colórico de Burnout en manojos de elementos combustibles

- Pérdida de carga en manojos de EC, incluyendo escurrimiento bifase.

- Efecto de excentricidades sobre el comportamiento termohidráulico del EC, particularmente su efecto sobre flujo colórico de B.O.

- Comportamiento termohidráulico del EC en condiciones de transitorios debidas a accidentes.

- Efecto de distintos parámetros constructivos sobre la eficiencia y el comportamiento transitorio del presurizador, y su comparación con modelos teóricos.

8.II.b.2 Para optimización de Atucha:

- Efecto de nuevos diseños de espaciador sobre el comportamiento termohidráulico del EC, particularmente su efecto sobre el flujo calórico de B.O.

8.II.b.3 Para línea CANDU:

Una línea particularmente interesante para el desarrollo de una política nuclear nacional es la de reactores de Uranio natural moderados por agua pesada y refrigerados por agua en ebullición. Este concepto plantea la necesidad de una serie de estudios experimentales que incluyen en particular:

- Estudios de Dryout y coeficientes de transmisión de calor en funcionamiento post-dryout.
- Inestabilidades de caudal en escurrimiento bifase.
- Medición de Fracción de Vacío.

8.II.b.4 Simulación con Freón

El ensayo termohidráulico de EC en condiciones idénticas a las del reactor y con generación eléctrica de calor conduciría al requerimiento de potencias incompatibles con las disponibilidades presentes de nuestro país.

La simulación con Freón del comportamiento termohidráulico bifase de sistemas refrigerados por agua permite por otra parte disminuir por un factor 15 las potencias necesarias, conduciendo a resultados de alta precisión (Anexo I).

El uso de Freón resulta apropiado entonces para simular

el comportamiento termohidráulico en todos aquellos ensayos (B.O. en particular) que por su naturaleza requieran la generación de elevados flujos calóricos.

8.II.c Diseño de Componentes:

El loop será utilizado para ensayar elementos componentes de circuitos, atendiendo en particular a:

- Efecto combinado de altas presiones y temperaturas sobre la estanqueidad y performances de distintos tipos de cierres.
- Performance de válvulas y bombas.

Ensayos en condiciones similares a las de operación para recepción de componentes.

El loop representaría una herramienta muy útil para el desarrollo local de ciertas partes de las máquinas de recambio de elementos combustibles.

8.II.d Experiencias en el área de Instrumentación y control

- a) Ensayos de componentes y cadenas de instrumentación desarrollados en el laboratorio.
- b) Ensayos de distintos criterios de control de los parámetros de la loop.
- c) Ensayos de identificación de comportamiento dinámico de los componentes de la loop.
- d) Proyecto de complementación de la loop, como parte de un modelo de central nuclear para ensayos de simulación.

8.III DEFINICION DEL CIRCUITO IDEAL

8.III.a Características y Lista de Componentes

En base al programa de ensayos previstos, se ha determinado que el circuito experimental debe cumplir las siguientes especificaciones:

Caudal: 200 m³/h.

Presión: 115 ata

Temperatura: 300°C

Pérdida de carga disponible en sección de ensayos: 7 at.

Potencia calefactora disponible en sección de ensayos: 1 MW (20.000 Amperes, 50 Volt, corriente continua)

Material: acero inoxidable.

Medio refrigerante: H₂O demineralizada o freón (ambos están previstos, según el tipo de ensayos).

Longitud máxima de la sección de ensayos: 6 m

El circuito podrá adecuarse para sección de ensayos vertical u horizontal.

Posibilidad de regular la disipación de potencia entre 0 y 100 o/o.

El loop representará las condiciones del circuito primario de un reactor presurizado: agua subenfriada, pudiendo sin embargo tolerarse pequeños títulos de vapor a la salida de la sección de ensayos. En una etapa posterior, se prevé la adaptación del circuito para condiciones de ebullición franca (BWR).

La regulación del sistema deberá mantener la presión constante a la salida de la sección de ensayos, debiendo existir la capacidad de hacer variar y regular la temperatura del refrigerante a la entrada de la sección de ensayos. El agua deberá ser desmineralizada y desgasada, manteniéndose su pureza en forma constante por demineralización continua.

El circuito deberá cumplir requisitos de alta estanqueidad.

El loop incluirá los siguientes componentes principales:

- Bombas centrífugas
- Intercambiador de Calor para disipar 1,2MW (ensayos de transferencia térmica)
- Presurizador, encargado de mantener la presión del sistema constante y absorber la dilatación del fluido. Se podrá complementar con un sistema adicional de regulación de volumen.
- Válvulas de regulación de caudal.
- Precalentador para regulación fina de temperatura de entrada y calentamiento de la masa de agua en puesta en marcha.
- Desgasificador.
- Filtros y sistemas de purificación del agua de refrigeración.
- Sistema secundario cerrado con torre de enfriamiento.
- Tanque de almacenamiento del sistema de alimentación y bomba de alimentación.

Las características de todos los componentes anteriores resultarán del diseño detallado a efectuarse en base a los requisitos del loop señalados más arriba. Al adaptar el circuito para régimen de ebullición franca se deberá incluir un separador de vapor y un condensador.

8.III.b Diagrama de Flujo

Se incluye a continuación el diagrama de flujo previsto (Fig. 1) para el circuito experimental de alta presión, que cumpliría las condiciones del loop requerido detalladas en el presente trabajo.

La tabla 1, complementaria del diagrama, contiene la descripción de los componentes y el número de orden correspondiente en el loop MZFR (o la indicación de que se trata de una modificación o un componente nuevo a ser provisto).

TABLA 1

Lista de componentes Principales

Denominación	Descripción del componente	No Componente Loop MZFR
1a	Bomba principal, Ø 65, 50 KW	31.101
1b	" " " "	31.201
1c	" " " "	31.301
2a	Válvula clapeta, Ø 65, p: 160	37.157
2b	" " " "	37.257
2c	" " " "	37.355
4	Calefactor y separador de gases, 90 KW	47.102
7a	Válvula de tres vías Ø 65, p: 160	38.155
7b	" " " " " "	38.255
8a	Válvula regulación motorizada Ø 65 p: 160	38.159
8b	" " " " " "	38.259
8c	" " " " Ø 20 "	Nueva
9a	Tramo de medición Ø 65	FE 109
9b	" " " " "	FE 209
9c	" " " " Ø 20	Nuevo
10	Filtro grueso Ø 65	45.102
11	Válvula reguladora manual Ø 32, p: 160	38.493
12	Válvula de cierre Ø 65 p: 160	37.153
13	Presurizador	27.102
15	Válvula de cierre Ø 25, p: 160	37.865
16	Amortiguador	27.502
18	Bomba de dosificación, LEWA	31.501
19	Filtro grueso, para bomba LEWA	45.501
20	Válvula de cierre manual, Ø 25, p: 160	37.886
22	" " " " Ø 15, p: 160	37.853
23	Intercambiador de calor	22.403
24	Válvula regulación manual Ø 15, p: 160	38.498
25	Válvula de cierre manual Ø 10, p: 10	37.555
26	Válvula de seguridad 9 atm	39.652
27	Intercambiador de cationes	43.601
28	Intercambiador de aniones	43.603
29	Válvula de cierre manual Ø 15, p: 160	37.653
30	" " " " " "	37.654
31	" " " " " "	37.659
32	" " " " " "	37.697
33	" " " " " "	37.698
34	Válvula de cierre manual Ø 15, p: 160	37.667
Aa	Intercambiador de calor 0,6 MW	22.101 Modificado
Ab	" " " " " "	22.101 Modificado
B	Filtro del circuito principal 265 l	45.101
C	Tanque de almacenamiento 2500 l	27.601

DENOMINACION	DESCRIPCION DEL COMPONENTE	NO COMPONENTE LOOP MZFR
Da	Válvula de cierre manual Ø 150 P= 160	Nuevo
Db	" " " " " "	"
Ea	Válvula reguladora manual Ø 65 P 160	37.164
Eb	" " " " " "	37.264
Ec	" " " " " "	37.253
Fa	Válvula de cierre manual Ø 65 P 160	37.465
Fb	" " " " " "	Nuevo
G	Tramo de medición Ø 65	"
H	Clapeta Ø 65 P 160	37.156
J	Válvula de seguridad, Presión de venteo 125 at	39.158
K	Válvula de seguridad, idem	39.258
L	Válvula de seguridad, idem	39.170
Como repuestos se necesitan adicionalmente una válvula de cada tipo y dimensión.		

8.IV USO DEL LOOP MZFR PARA LOS FINES DE CNEA

8.IV.a Características Loop MZFR

Presión diseño 100 atm.
 Presión operación 90 atm.
 Temperatura 300°C
 Potencia Máxima c/canal ensayo 2 MW
 Caudal c/canal ensayo 29 t/h
 2 Canales de ensayo operables en forma totalmente independiente en base a 2 circuitos separados.
 Parte de los sistemas auxiliares son comunes y conmutables a uno u otro loop.

8.IV.a.1 Circuito principal de refrigeración:

Características y componentes principales.

- Medio refrigerante D₂O
- Presurizador 100 atm.
(27.102/202)
Cantidad: 1 x loop
- Bombas: Tipo Centrífuga de rotor
31.101/202/301) sumergido (Canned)
Cantidad: 3 = 1 x loop + 1 reserva
- Válvulas de regulación Caudal entre 4 y 10 Kg/seg.
(38.159/259)
- Intercambiadores de calor: Presión diseño 100 atm.

(22.101/201) cantidad: 2 = 1 x loop
 — Regulación de temperatura entre 100 y 250°C

Por mezclado de agua fría del intercambiador con agua caliente en Bypass.

- Separadores de gas: 1 x loop
(48.101/201)
- Calentador: tipo: eléctrico
(47.102/202) Cantidad:
1 x loop
1 x loop
- Filtros: Caudal: 8 Kg/seg.
(45.101/201)

8.IV.a.b.2 Sistema de Alimentación

- Bomba de llenado: cantidad: 1
(31.501)
tipo: de membrana
Función: llenado de los circuitos.
- Recipiente de compensación: Cantidad: 1
(27.502)
Función: Absorber picos de presión de la bomba de llenado.
- Tanque de llenado Cantidad: 1
(27.501) Presión diseño: 6 atm
Volumen: 0,4 m³

Alimentado de barriles o desde tanque de almacenamiento mediante bomba 31.601.

- Tanque de almacenamiento: cantidad: 1
(27.601) Presión diseño: 6 atm.
Volumen: 2,5 m³

8.IV.a.3 Sistema de instalaciones Auxiliares

- Purificación de agua de refrigeración.
Capacidad: 300 Kg D₂O/h
Columna catiónica (43.801)
Intercambiador de calor (22.801)
- Purificación del agua de descarga.
- Toma de muestras.
Enfriador (22.301)
Recipiente de toma de muestras (27.301)
- Limpieza de filtros
- Desgasificación.

8.IV.b Comparación de los datos del loop MZFR con los requerimientos experimentales de CNEA

8.IV.b.1 Presión máxima de servicio

El diseño de la instalación debe ajustarse a las normas para recipientes a presión. Por carecer de documentación pertinente en lo que respecta al diseño de detalle de los componentes, no estamos en condiciones de verificar por cálculo la presión máxima de servicio.

En base a las especificaciones de CNEA, la firma GHH, fabricante del loop MZFR, ha propuesto el uso de los componentes del loop para una presión de trabajo de 115 Kg/cm² (Proyecto N° KT 70/9003 de octubre de 1971).

La presión máxima de servicio, esto es la presión de venteo de las válvulas de seguridad, debería ser aproximadamente 10 o/o más alta.

Sin embargo de la propuesta de la firma GHH no resulta claro si la presión indicada de 115 Kg/cm² es la presión de trabajo o la máxima presión de servicio, así como las normas en que esta estimación está basada y factores de seguridad usados.

Esta cuestión debe aún ser aclarada, para lo cual se ha solicitado información detallada a la firma GFK.

8.IV.b.2 Temperatura máxima de servicio

La firma GHH indica como temperatura máxima de servicio 300°C. También aquí es necesario verificar hasta dónde se siguen cumpliendo las normas.

El desarrollo de las temperaturas es fundamentalmente distinto en el loop MZFR y en el loop requerido por CNEA. En servicio normal del loop MZFR las bombas transportan agua de aproximadamente 110°C. En el cir-

cuito CNEA, en los ensayos sin calentamiento eléctrico de la sección de ensayos, el agua tendrá en todo el circuito una temperatura aproximada de 300°C. Esta situación puede tener consecuencias negativas sobre el comportamiento en servicio de las bombas principales. También sobre este punto se ha solicitado información adicional.

8.IV.b.3 Caudal máximo

Las tres bombas actuales operando en paralelo no permitirían alcanzar el caudal requerido de 2003/h a menos de efectuar modificaciones importantes en el sistema. Se sugiere la conveniencia de aumentar el área de paso (sustitución de las tuberías por otras de mayor diámetro o colocación de cañerías en paralelo). Será necesario un estudio detallado de las pérdidas de carga del circuito para decidir si es necesario agregar una cuarta bomba o efectuar modificaciones en los rotores de las bombas existentes.

8.IV.b.4 Intercambiadores de calor

El intercambiador principal se utilizará sólo en el caso de ensayo termohidráulico con refrigerante Freón de secciones de ensayo calentadas eléctricamente, siendo la potencia máxima a disipar de aproximadamente 1.2 MW (potencia de sección de ensayos más potencia calórica de bombas). Cálculos preliminares indican que los dos intercambiadores principales del loop MZFR ubicados en paralelo en las condiciones y temperaturas propuestas pueden en principio disipar aproximadamente esa potencia.

La disposición en paralelo permitiría disminuir la pérdida de carga, factor que resultará crítico debido al importante aumento de caudal previsto.

Deberá preverse igualmente un intercambiador de calor para disipar la potencia calórica generada por las bombas (y eventualmente el desgasificador—calefactor) durante los ensayos sin generación de potencia, que usarán agua como refrigerante.

8.IV.b.5 Desgasificador—calefactor

El calentamiento de la instalación se realiza mediante el desgasificador—calefactor cuya potencia es 90 KW. Con esta potencia será posible llevar la masa de agua de la instalación a la temperatura de servicio de 300°C en aproximadamente 8 horas. Los gradientes de temperatura en los componentes no sobrepasarán así 0,6°C/min., valor considerado adecuadamente bajo.

8.IV.b.6 Sección de ensayos

La sección de ensayo deberá ser de uso universal para la simulación de los canales combustibles en los reactores de

Atucha, Córdoba y otros en el futuro. Deberá preverse por lo tanto su ubicación vertical u horizontal según el caso.

8.IV.b.7 Sistema de Purificación de Agua

En los ensayos de larga duración con elementos combustibles, la calidad del agua deberá corresponder a la de un circuito primario de reactor. Debido a la capacidad limitada de la bomba del by pass, el intercambiador iónico previsto para funcionamiento continuo en el loop MZFR permite procesar un caudal máximo de 160 l/h, lo que representa en nuestro caso tan solo 0,11 o/o del caudal total. Debe examinarse si esto es suficiente, siendo habitual en reactores que el sistema de purificación de agua esté diseñado para 1 o/o del caudal total.

8.V INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS PARA EL CIRCUITO.

8.V.a Edificio

Las características de la instalación hacen necesaria la construcción de un edificio especial, que consideramos debiera ubicarse en el Centro Atómico Ezeiza.

El mismo debe prever:

- una zona para la sección de ensayo
- al lado de la misma un sector para el transformador—rectificador para ensayos de transferencia térmica.
- un compartimento para el resto del circuito: bombas, intercambiadores, presurizador, tanque alimentación agua etc.
- una sala de control
- una oficina
- un baño-vestuario
- una zona cercana a la sección de ensayos para el montaje de experiencias
- Auxiliares: grúa, instalación de gas, aire comprimido, luz, teléfono, acondicionamiento de aire en sala de control y oficina.

La zona para la sección de ensayos queda definida según el tipo de EC a ensayar. En el caso del CEAP resulta importante por cuanto los EC de Atucha requieren una sección vertical de 25 m. de altura, si se quiere prever la introducción de EC más cuerpo de relleno, mientras que los EC para la CNC, tipo CANDU, requerirían una sección horizontal de longitud variable pero no más larga que 12 m.

El proyecto se ajustará dentro de una superficie de terreno de 16 m x 15 m, sin incluir las instalaciones de servicios generales conexas así como cualquier construcción de servicios auxiliares que sea conveniente no introducir en la planta de ensayos (por ej., transformador de entrada de

corriente eléctrica, gas o torres de enfriamiento). Dentro de esas medidas deberá proyectarse una construcción que se puede dividir en tres partes: a) zona de ensayo y circuito experimental, b) zona taller y c) zona de controles, oficina e instalaciones auxiliares.

La construcción del punto a) del tipo industrial, se diferencia netamente por la altura desde cota cero que deberá alcanzar los 25 m. y que permitirá la colocación de un puente grúa para el manipuleo de las secciones. La zona b) o de taller por el contrario reduce su altura a 7 metros y poseerá también un aparejo eléctrico que permita el movimiento de los elementos a montar. El área c) es la más densa en edificación por cuanto dentro de su altura total de aproximadamente 14 metros deberá construirse dos entresijos sobre locales de planta baja para la instalación de gabinete de control, oficina de jefe, etc.

Superficies a cubrir:

punto a) 4m x 15m

punto b) 5m x 15m

punto c) 7m x 15m

El costo estimado del edificio es de \$ 1.000.000. A este costo debe agregarse el puente grúa y aparejo estimado en \$ 250.000.

8.V.a Requerimientos de Energía

La simulación con Freón del funcionamiento termohidráulico de un canal de reactor con calentamiento eléctrico directo de la sección de ensayos requiere, como se ha indicado más arriba, la disponibilidad de una fuente de potencia eléctrica de aproximadamente 1 MW. Los requerimientos exactos de amperaje y voltaje dependerán del diseño de la sección de ensayos, pero pueden estimarse en:

20.000 Amp-50 Volt-Corriente Continua

El costo del equipo transformador-rectificador con regulación continua necesario para una fuente de poder de estas características se estima en \$ 1.500.000. Los requerimientos de energía del resto del circuito (bombas, calefactor, etc.) se estiman en aproximadamente 300 KW. La capacidad prevista del Centro Atómico Ezeiza es de 5 MW, y el análisis efectuado indica que la provisión de energía para el circuito experimental no representaría ningún problema en dicha ubicación.

8.VI REQUERIMIENTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

8.VI.a Personal

La supervisión de circuitos a presión puede efectuarse in situ o a distancia. La supervisión a distancia puede efectuar-

se desde una consola de control adecuadamente instrumentada y ubicada en un lugar alejado. En tal caso deben cumplirse algunas prescripciones adicionales. Así por ejemplo los instrumentos de medición más importantes deben duplicarse, a saber: nivel de agua en el presurizador, presión del circuito, caudal, temperatura en el calefactor. Una supervisión in situ de la instalación es sin embargo necesaria en períodos regulares (cada 2 horas, por ejemplo). Si se adopta el esquema de supervisión a distancia, puede colocarse la consola de control en el recinto de un reactor cercano y aprovechar así el personal de operación del reactor para la supervisión del circuito. El esquema de supervisión in situ de la instalación requiere la presencia continua de por lo menos dos operadores junto al tablero de control. Como la instalación deberá ser operada también durante la noche (ensayos de performance) debería disponerse en este caso de un equipo de 8 operadores (4 turnos). La ubicación del circuito en el Centro Atómico Ezeiza permitiría obviar el requerimiento de un plantel especial de operadores y aprovechar el personal de operación del reactor RAEP para la supervisión a distancia de la instalación. En este caso se requeriría únicamente el personal destinado a tareas de mantenimiento de la instalación, que se estima en:

2 mecánicos

1 electricista

Las tareas de este personal (y el de operación si se adopta un esquema de supervisión independiente) deberán ser coordinadas por un ingeniero responsable de la instalación. La fabricación de secciones de ensayo estaría a cargo de los talleres y personal especializado ya existentes en la institución.

8.VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.VII.a La disponibilidad de un circuito de ensayos de alta presión resulta indispensable para la adquisición de capacidad de diseño y el desarrollo local de variados aspectos de la tecnología nuclear.

Estos aspectos son: Ensayos termohidráulicos, de corrosión, vibraciones y performance de elementos combustibles nuevos y rediseñados, ensayos termohidráulicos en general; ensayos de performance de componentes, como ser bombas y válvulas, orientados al mejoramiento de la industria local, y experiencias en el área de instrumentación y control.

8.VII.b Se ha definido el programa experimental a cumplir por ese circuito, y se han especificado consecuentemente sus características principales.

De ello se desprende que el circuito sería usado por varios grupos de trabajo, con necesidades diferentes, lo que asegurará un alto porcentaje de utilización de la instalación

pero impondrá necesariamente tareas adicionales de interfase. En particular, el fluido refrigerante, agua en los ensayos de performance, deberá ser cambiado por freón en las experiencias de transferencia térmica, situación algo heterodoxa, por cierto, pero compatible con el alto costo de la instalación. El programa de trabajo deberá ser establecido de manera de minimizar la frecuencia de dichos cambios.

8.VII.c Se ha analizado la oferta de un loop propuesto por GFK, se han comparado sus características con las del loop ideal para CNEA, y se han definido las modificaciones a introducir para adaptarlo a las necesidades de la institución. De este análisis resulta que el loop propuesto por GFK puede ser considerado como una fuente de componentes o partes que deberán ser integrados a un nuevo sistema de características globales diferentes, requiriendo por lo tanto cambios o modificaciones parciales de importancia, que han sido definidos en IV.2

8.VII.d En base al estudio realizado se recomienda lo siguiente:

8.VII.d.1 Promover a nivel de CNEA la decisión de instalar un circuito experimental de alta presión, teniendo en cuenta las inversiones, gastos operativos e incorporación de personal que ello implica.

8.VII.d.2 Aceptar la oferta si de las consultas efectuadas resulta que los componentes del circuito se ajustan a los requerimientos de CNEA (puntos IV.2.a y IV.2.b) y si las condiciones financieras son favorables para CNEA, pero teniendo en cuenta durante las negociaciones con GFK las erogaciones que representarían las modificaciones a introducir en el circuito.

8.VII.d.3 Solicitar que las modificaciones del circuito sean a cargo de GFK, incluyendo en particular la provisión de nuevas tuberías para el circuito principal y modificaciones del intercambiador de calor, así como la modificación de las bombas o provisión de cuarta bomba en caso de ser necesario.

8.VII.d.4 Requerir la asistencia a través del Convenio Argentino-Alemán para:

Asesoramiento sobre modificaciones.

Instalación y puesta en marcha del circuito.

Instrumentación y Control del circuito.

8.VII.d.5 Se deberá estructurar un servicio responsable de las tareas relativas a este circuito experimental, el cual deberá coordinar las tareas de diseño y modificación del circuito con los grupos de GFK, licitar los componentes adicionales a ser adquiridos por CNEA, asegurar que el

conjunto cumpla los requerimientos del programa experimental, supervisar la instalación y una vez puesto en servicio, asegurar la operación y mantenimiento del sistema así como coordinar el servicio para los distintos usuarios.

ANEXO 1

CIRCUITO DE FREON

La técnica de modelos en fluidos permite el estudio térmico e hidráulico de un sistema usando un fluido diferente a aquél utilizado en dicho sistema. La extensión de esta técnica al campo de los fenómenos críticos en escurrimiento bifase ha permitido trabajar en condiciones experimentales más favorables que las del fenómeno real, particularmente en problemas vinculados con el diseño de elementos combustibles, conservando al mismo tiempo un alto grado de precisión en los resultados.

La determinación de los flujos calóricos críticos de Burnout es una etapa esencial en el diseño de reactores refrigerados por líquidos. Debido a la naturaleza compleja del problema los intentos hechos para formular un modelo teórico de predicción del flujo crítico (CHF) para manojos de elementos combustibles no han sido exitosos. Experiencias muy costosas con el fluido real de trabajo y realizadas en escala geométrica total son usadas para obtener datos sobre el flujo calórico crítico y poder así desarrollar correlaciones empíricas de diseño. A fin de reducir el gran costo eléctrico de dichas experiencias se han realizado ensayos en escala. Uno de los métodos usados a tal fin es mediante la reducción de las dimensiones de la sección de ensayos pero utilizando el mismo líquido refrigerante. Este método de reducir las escalas ha sido exitoso para geometrías simples, pero existe evidencia que no funciona bien para los manojos de elementos combustibles.

Un método alternativo que está siendo ampliamente utilizado es reemplazar el líquido de trabajo, en nuestro caso agua, por un fluido de menor calor latente de vaporización. Esto reduce considerablemente la potencia calefactora requerida por la sección de ensayos. Los fluidos usualmente elegidos para tal tipo de modelos, son miembros de la familia de los fluor carbonados, por ejemplo, (freón, arkton, etc.), debido a su bajo calor latente de vaporización, y la amplia estabilidad de sus propiedades físicas. Además, la necesidad de mantener la igualdad de la relación de densidad líquido-vapor para ambos fluidos da por resultado presiones y temperaturas de operación mucho menores para el caso del freón. Esto incrementa la capacidad de

visualización, los rangos de trabajo, y reduce los costos de construcción de dichas facilidades experimentales.

FUENTE DE CALOR DEL CIRCUITO

Se analiza aquí la posibilidad práctica de realizar determinaciones de flujos y potencias críticas para elementos Atucha o Candu en escala geométrica real.

Para ambos reactores la potencia calórica crítica del elemento caliente del núcleo es entre 1,6 a 1,7 veces la potencia nominal. Esto implicaría que para poder realizar dichos ensayos con agua a presión se debería contar con una fuente de 12,4 MW. Además, un análisis de la sección de ensayo (Atucha o CANDU), en que las barras combustibles tienen diámetros exteriores de aproximadamente 1,2 cm y deben ser construídas en acero inoxidable, indica la necesidad de contar con intensidades de corriente del orden 80.000 Amp. para espesores de barra de 1 mm.

En las condiciones de nuestro medio, efectuar experiencias en las condiciones mencionadas es física y económicamente inalcanzable. Existen muy pocas loops out of pile trabajando en estas condiciones en el mundo.

El uso de una analogía con Freón permitiría por el contrario llevar las condiciones experimentales a un rango perfectamente compatible con nuestras posibilidades prácticas.

Las principales ventajas de usar este líquido son:

- 1) La presión a utilizar es 6 a 7 veces menor
- 2) El caudal másico a utilizar es 1,5 veces menor, y
- 3) la **potencia** a utilizar es aproximadamente 15 veces menor

Esto implicaría:

- a) una potencia máxima necesaria de **900 KW**
- b) además por ser menor la presión se podría disminuir el espesor de las barras, lo que permitiría llegar a intensidades de corriente menores.

A continuación se transcribe la intensidad de corriente total necesaria para analizar las performances de un manajo de elementos combustibles tipo Atucha, en analogía Freón, tabulada en función del espesor de barra usado.

espesor (mm)	I total (Amp)
1	18670
0.5	13420
0.2	7700