

POSSÍVEIS TIPOS DE REGENERADORES COM O CICLO DO TÓRIO

por

Yuji Ishiguro (IPEN)

e

Antonio Soares de Gouvêa (IPEN)

RESUMO

Cálculos neutrônicos de modelos simplificados de reatores homogêneos mostram a possibilidade que LMFBR com combustível metálico, e os reatores carregados com partículas cobertas e refrigerados a gás, atinjam tempos de dobramento do reator da ordem de 10 anos com o ciclo do tório. São discutidos três conceitos de reatores regeneradores refrigerados a gás. (autor)

ABSTRACT

Neutronics calculations of simplified homogeneous reactor models show the possibility that metal-fueled LMFBRs and coated particle fueled gas cooled reactors achieve reactor doubling times of around 10 years with the thorium cycle. Three concepts of gas-cooled thorium cycle breeders are discussed. (author)

## 2. LMFBR - METAL

É analisado um modelo simplificado do LMFBR carregado com combustível metálico de ( $U^{233}, Th$ ). O caroço cilíndrico com altura nominal de um metro é circundado por envoltório axial e radial. Todas as regiões são homogeneizadas e com as seguintes especificações:

- o combustível é de  $U^{233}-Th$  metálico.
- as frações de volume do combustível (FVF) no caroço são 20, 30 e 40%, considerando-se densidades teóricas.
- O SS-316 é o material de encamizamento e das estruturas com fração de volume igual a 20%.
- Os envoltórios axial e radial tem a mesma composição com 50% de Th metálico e 15% de SS-316.
- As espessuras dos envoltórios axial e radial são ambas de 50 cm.
- O espaço restante é preenchido com sódio.

O método de cálculo e definições das razões de regeneração ("BR-breeding ratio") e o tempo de dobramento do reator ("RDT-reactor doubling time") são dados na Referência 9. Os resultados encontram-se na Figura 1. O enriquecimento é dado em porcentagem de volume. A potência do caroço é tomada como 2500 MW th. Considera-se como vida do combustível o número de dias com operação à potência plena para atingir uma queima média de 100 MWD/kg-HM.

A Tabela I mostra a estrutura aproximada dos "fuel pins" e arranjos do combustível. O diâmetro do "pin" é o diâmetro inicial escolhido com densidade teórica. Para calcular a espessura e diâmetro da camisa, considera-se 75% da densidade média e 25% são considerados preenchidos com sódio. Não são considerados espaçadores e outros materiais estruturais. O "pin rating" pode ser razoavelmente baixo como mostra a Tabela. Observe-se que algumas das estruturas do combustível relacionadas na Tabela I são semelhantes às do combustível Mark II do reator EBR II (10, 11), embora neste trabalho considere-se "pins" muito mais longos.

## 3. GCFR - PIN

O modelo do reator e os cálculos são similares aos da seção anterior. As seguintes especificações são consideradas:

## 1. INTRODUÇÃO

É conhecido que a regeneração eficiente com o ciclo do tório é mais difícil do que com o ciclo do plutônio. A maioria dos cálculos publicados mostram que o tempo de dobramento do sistema é 30 ou mais anos (1 - 6). Contudo, em um trabalho (7), é afirmado que o tempo de dobramento (não definido precisamente) pode ser de 10 anos ou menos se utilizado novo conceito de reator "suspended bed reactor - SBR" ou o LMFBR com combustível metálico. Esta é a base do presente trabalho.

Através de cálculos próprios, pelo emprego do código EXPANDA e biblioteca de dados nucleares JFS-25 com 25 grupos de energia, foram analisadas as características neutrônicas de três tipos de reator: (1) LMFBR com combustível metálico (LMFBR-metal), (2) GCFR com combustível tipo vareta (GCFR-pin), e (3) GCFR com combustível de partículas cobertas. (GCFR - CP). O objetivo imediato deste trabalho é determinar os parâmetros ótimos para cada reator e comparar os três tipos a fim de determinar o tipo do reator mais eficiente para aproveitamento dos recursos do tório existente no Brasil.

O critério principal é o tempo de dobramento do reator, mas outros fatores tais como a segurança e o estado de tecnologia são também considerados.

Os reatores são simplificados nesta análise de acordo com as seguintes características:

- todas as regiões (caroço, envoltórios, refletores) são homogeneizadas
- somente o estado inicial limpo é considerado
- as barras de controle e veneno queimável não são considerados
- a geometria é idealizada
- somente o ciclo do combustível puro é considerado.

Parâmetros de entrada são materiais, espessuras de envoltórios e refletores, enriquecimento, e frações de volume do combustível e materiais estruturais. O enriquecimento é estimado para o tamanho desejado do caroço. O código EXPANDA calcula o tamanho do caroço para a criticalidade. As taxas de reações e regeneração em cada região, o tempo de dobramento do reator, massa de cada isótopo, etc, podem ser calculados.

B) O GCFR-PIN não é bom regenerador. Além disto existem problemas graves sobre a segurança do reator, como a reatividade devido ao vapor de água no refrigerante e a refrigeração numa situação acidental tais como o corte da força de bomba e a despressurização.

C) O GCFR-CP pode ser um bom regenerador com o ciclo do tório. Permanece o problema da reatividade devido ao vapor de água no refrigerante, mas parece possível estabelecer uma maneira de assegurar a refrigeração do combustível numa situação acidental. O esquema do reator SBR pode ser incorporado ao reator GCFR-CP. As melhores características neutrônicas do GCFR-CP em comparação às do GCFR-PIN são devido ao espectro mais suave dos nêutrons no GCFR-CP. Dados nucleares básicos mostram que o valor do  $\eta$  do  $U^{233}$  é quase constante para todas as energias de nêutrons abaixo de 100 Kev e que a seção de choque de fissão de  $U^{233}$  cresce rapidamente para menores energias de nêutrons. A curvatura "buckling" da mistura de  $U^{233}$ , Th, e carbono com concentrações fixas de  $U^{233}$  e Th aumenta para maiores concentrações do carbono. Conclui-se que para um tamanho fixo do caroço, a massa crítica do fissil é menor com mais carbono no caroço. Por outro lado um espectro suave pode resultar em maiores absorções parasíticas, um assunto que não é tratado neste trabalho. A espessura da cobertura das partículas deve ser otimizada. Resultados preliminares mostram que a espessura de 0.2 - 0.3 do raio pode ser ótima.

D) A estrutura básica no caroço do GCFR-CP é um elemento de combustível cilíndrico com duas paredes perfuradas. As partículas cobertas preenchem o espaço entre duas paredes e o refrigerante passa através das partículas na direção radial. A estrutura e o tamanho do elemento devem ser determinados pela otimização das características mecânicas e termodinâmicas.

A espessura da camada de partículas pode ser da ordem de 3 cm e o diâmetro externo do cilindro da ordem de 11 cm.

E) O diâmetro das partículas cobertas é da ordem de um milímetro. Num reator GCFR-CP com caroço de  $10 \text{ cm}^3$ , o número total das partículas e a geração de calor por partícula são da ordem de  $8 \times 10^9$  e 0.4 Watt, respectivamente.

F) Para um reator cilíndrico de  $10 \text{ m}^3$  de volume e 1 m de altura do caroço, o RDT é 3 a 4 anos maior do que o RDT para o reator esférico de mesmo volume.

- o caroço cilíndrico tem uma altura nominal de um metro
- a fração de volume do SS-316 é 15%
- o envoltório axial tem as mesmas frações de volume que o caroço.
- para o envoltório radial as frações de volume são fixados para o combustível e o SS-316 em 50 e 15%
- as espessuras dos envoltórios são 50 em axial e 40 cm em radial
- o refletor é o grafite normal de 20 cm de espessura
- o refrigerante hélio é tratado como vácuo

Os resultados são mostrados na Figura 2.

#### 4. GCFR-CP

Os cálculos nesta seção refere-se a reatores esféricos com combustível de partículas cobertas de  $(U^{233}-Th)C_2$ . A espessura da cobertura é 0,2 do raio da partícula. As seguintes especificações são consideradas:

- O SS-316 no caroço, 12% de fração de volume, é substituído pelo ferro com igual número de átomos
- o envoltório contém  $ThC_2$ , 20% de volume, e carbono com concentração total de  $6,0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$
- o refletor é de carbono com concentração de  $7,0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$
- as espessuras do envoltório e refletor são 50 e 20 cm.

Os resultados encontram-se na Figura 3.

#### 5. DISCUSSÕES, CONCLUSÕES

A) O LMFBR-METAL pode ser um bom regenerador com o tempo de dobramento do reator da ordem de 10-12 anos. Este resultado é devido ao tamanho pequeno do caroço que é possível com o refrigerante de elevada capacidade calorífica e o combustível de alta condutividade de calor. No reator EBR-II a densidade média de potência é  $943 \text{ MW/m}^2$ , que se fosse atingida num reator de 2500 MWth, corresponde a um caroço de menos que  $3 \text{ m}^3$ . O problema bem conhecido do LMFBR sobre a reatividade devido ao vazio no sódio, que se refere ao combustível do plutônio, não é problema num reator com o ciclo do tório. Combinado com a possibilidade de refrigeração de calor do decaimento pela circulação natural do sódio, o LMFBR com o ciclo do tório tem uma segurança inerente.

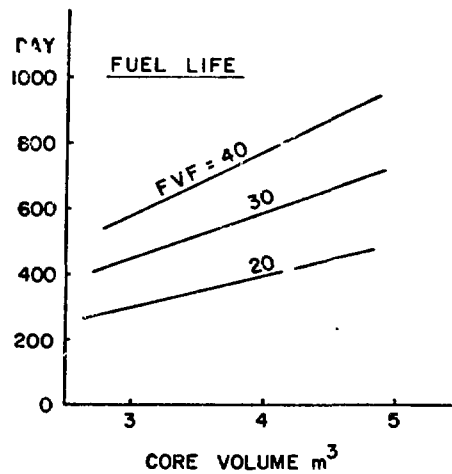
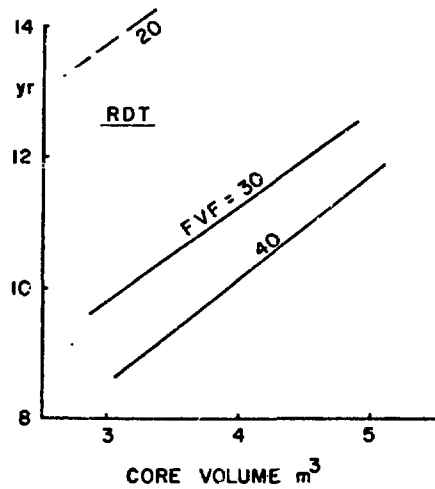
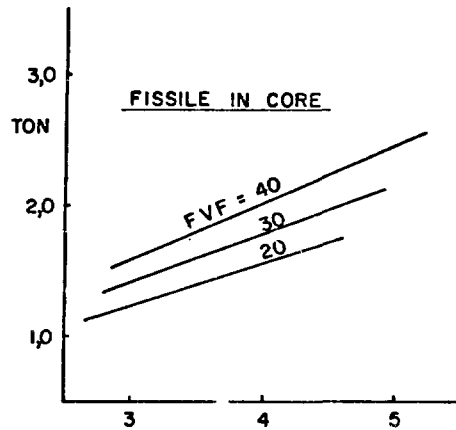
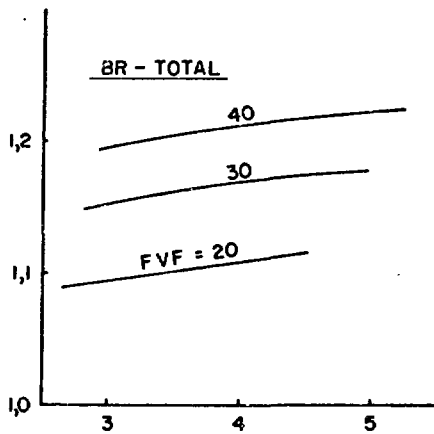
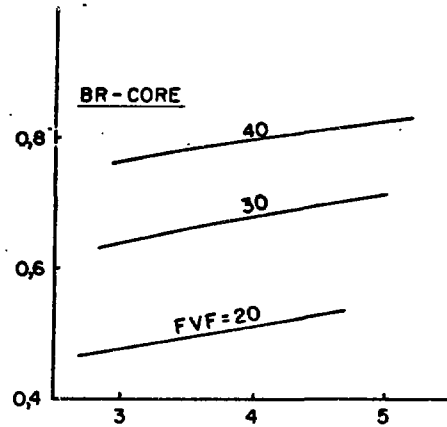
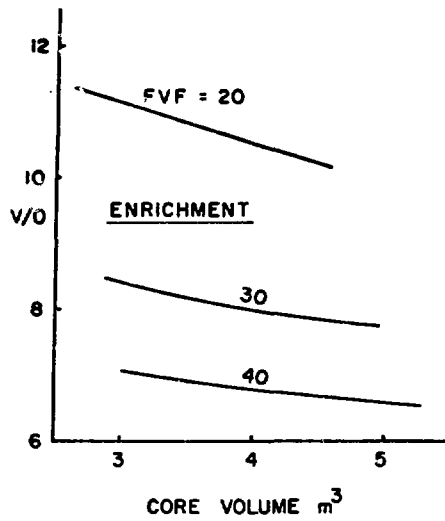


FIGURA 1 - RESULTADOS DO LMFBR

Tabela I

Estruturas aproximadas dos "pins" e arranjos do combustível para reatores LMFBR com combustível metálico

Fração de volume do combustível %		30	30	40	40	40	EBR-II MARK-II
Volume do caroço	m <sup>3</sup>	3	3	3	3	4	
Diâmetro do "pin"	cm	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.33
"Pitch" triangular	cm	0.522	0.696	0.602	0.753	0.753	0.566
Diâmetro externo da camisa	cm	0.424	0.566	0.542	0.677	0.677	0.442
Espessura da camisa	cm	0.039	0.052	0.040	0.050	0.050	0.030
Número de "pins"	10 <sup>3</sup>	127	72	94	61	82	
Densidade média de potência linear	W/cm	196	349	266	409	307	< 280

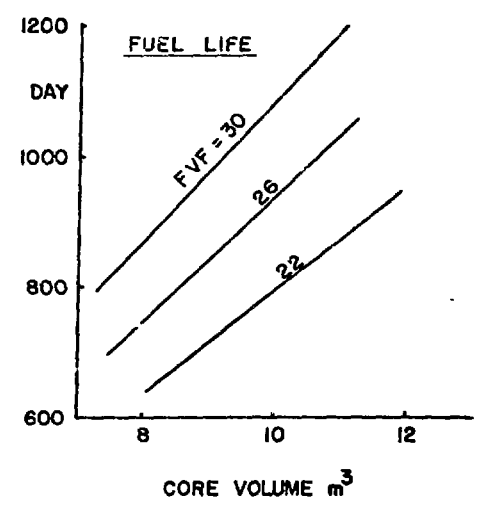
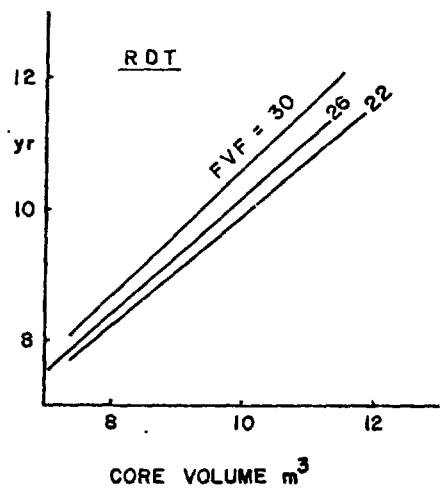
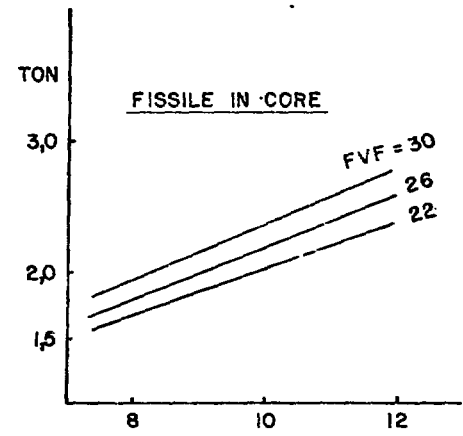
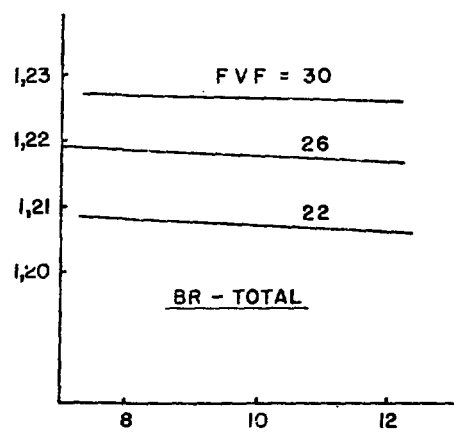
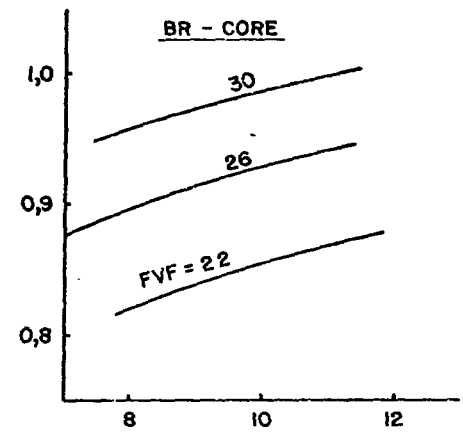
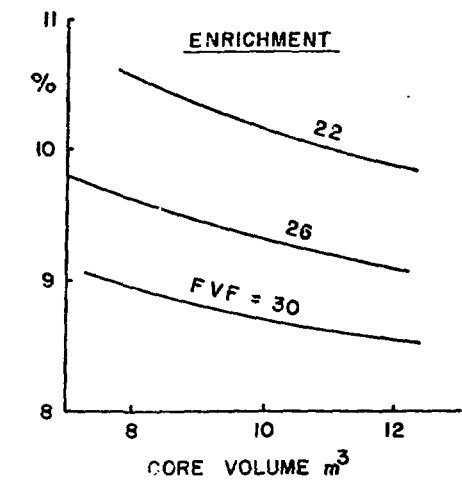


FIGURA 3 - RESULTADOS DO GCFR-CP



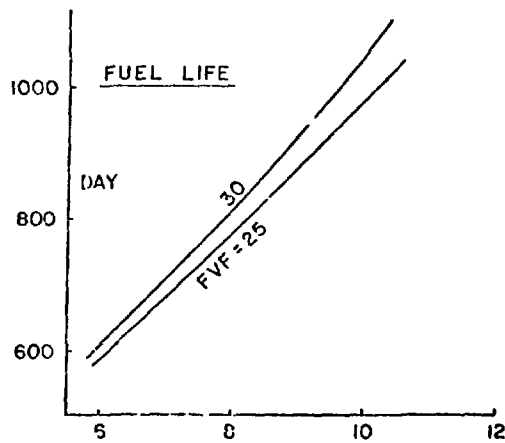
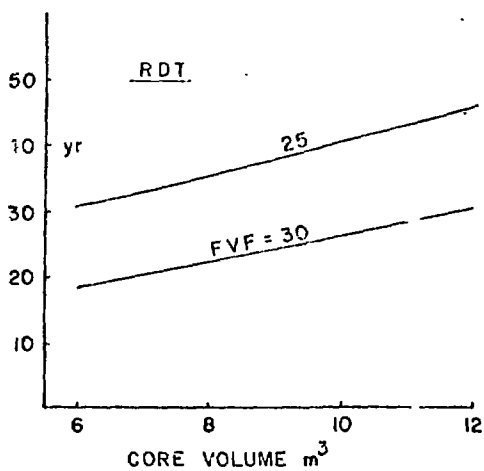
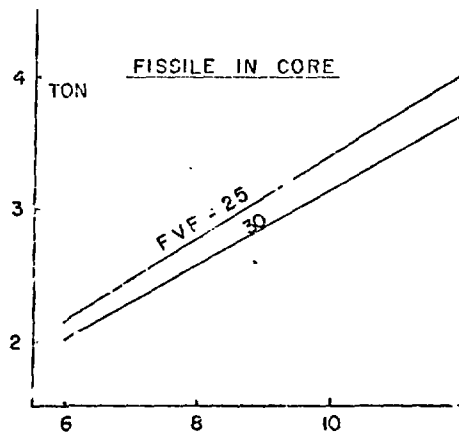
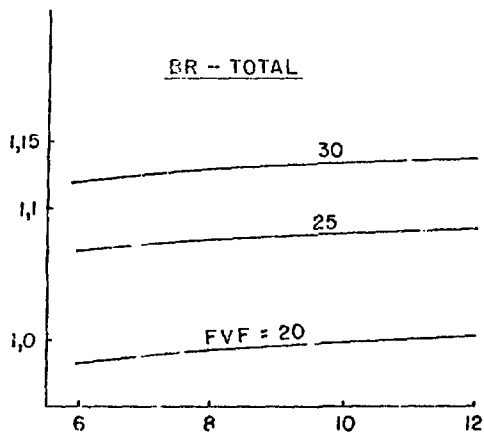
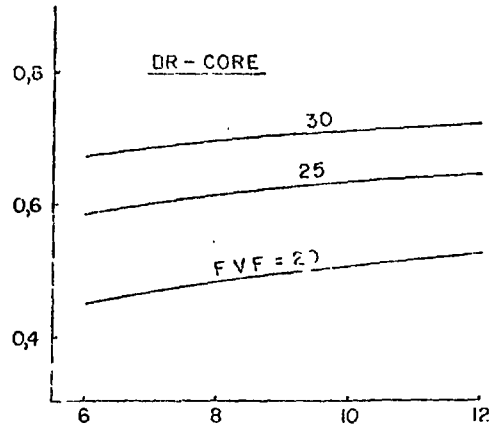
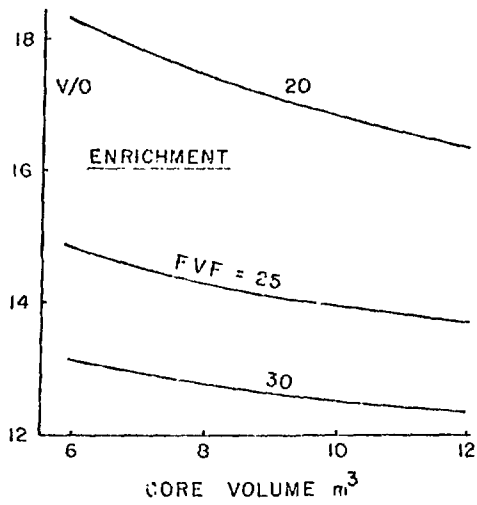


FIGURA 2 - RESULTADOS DO GCFR - PIN

## REFERÊNCIAS

- 1 - D.R. Haffner e R.W.Hardie, "Reactor physics parameters of alternate fueled fast breeder reactor core designs", Nucl. Technol. 42, 123 (1973).
- 2 - D.R.Marr, et al, "Performance of thorium-fueled fast breeders", Nucl. Technol., 42, 133 (1979).
- 3 - C.J.Hamilton, et al, "The thorium cycle in fast breeders and thermal converters", Trans. Am. Nucl. Soc., 27, 963 (1977).
- 4 - P.S.K.Lam e S.F.Su, "Pin-diameter optimization of homogeneous and tightly coupled heterogeneous  $^{233}\text{U}$ -Th Metal-fueled LMFBRs", "Trans. Am. Nuc. Soc. 27, 755 (1977).
- 5 - L.D.Felton, et al, "Large plant thorium-fueled reactor system characteristics", Trans. Am. Nucl. Soc., 27, 456 (1977).
- 6 - J.R.White e T.J.Burns, "Alternative heterogeneous GCFR fuel Cycle", Trans. Am. Nucl. Soc., 32, 403 (1979).
- 7 - R.A.Karam, "The  $^{233}\text{U}$   $^{232}\text{Th}$  fuel cycle as an alternative to LMFBRs", Trans. Am. Nucl. Soc., Soc., 27, 957 (1977).
- 8 - R.A.Karam, et al, "Suspended-bed reactor preliminary design ( $\text{U}^{233}$  -  $\text{Th}^{232}$  cycle)", a report prepared for ERDA under contract No. E(40-1) - 5273 (May 1977).
- 9 - Y.Ishiguro e A.S. de Gouvêa, "Estudo inicial das características de regeneração dos GCFR com  $\text{U}^{233}$  -Th", EAV/NT-014/80.
- 10 - L.C.Walters e J.H.Kittel, "Development and performance of metal fuel elements for fast breeder reactors", Nucl. Technol., 48, 273 (1980).
- 11 - R.E.Eizinger e B.R.Seidel, "Irradiation performance of metallic driver fuel in Experimental Breeder Reactor II to high burnup", "Nucl. Technol., 50, 25 (1980).