



Industria nuclear basada en el Torio. Principios, ventajas e inconvenientes y estado de la cuestión

Francisco Durán Parejo
Jesús López Pitel



Índice



1. ¿Qué es el Torio?
2. Principios
3. Ventajas e inconvenientes
4. Estado de la cuestión

¿Qué es el torio?



El Torio es un elemento de la tabla periódica perteneciente a la serie de los actínidos

Símbolo: Th

Número atómico (Z): 90

Elemento de baja radiactividad

$$T_{1/2} = 1.41 \cdot 10^{10} \text{ años}$$

LANTÁNIDOS

57 138.91 La LANTANO	58 140.12 Ce CERIO	59 140.91 Pr PRASEODIMIO	60 144.24 Nd NEODIMIO	61 (145) Pm PROMETIO	62 150.36 Sm SAMARIO	63 151.96 Eu EUROPIO	64 157.25 Gd GADOLINIO	65 158.93 Tb TERBIO	66 162.50 Dy DISPROSIO	67 164.93 Ho HOLMIO	68 167.26 Er ERBIO	69 168.93 Tm TULIO	70 173.05 Yb YTERBIO	71 174.97 Lu LUTECIO
-----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

ACTÍNIDOS

89 (227) Ac ACTINIO	90 232.04 Th TORIO	91 231.04 Pa PROTACTINIO	92 238.03 U URANIO	93 (237) Np NEPTUNIO	94 (244) Pu PLUTONIO	95 (243) Am AMERICIO	96 (247) Cm CURIO	97 (247) Bk BERKELIO	98 (251) Cf CALIFORNIO	99 (252) Es EINSTEINIO	100 (257) Fm FERMIO	101 (258) Md MENDELEVIO	102 (259) No NOBELIO	103 (262) Lr LAWRENCIO
----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

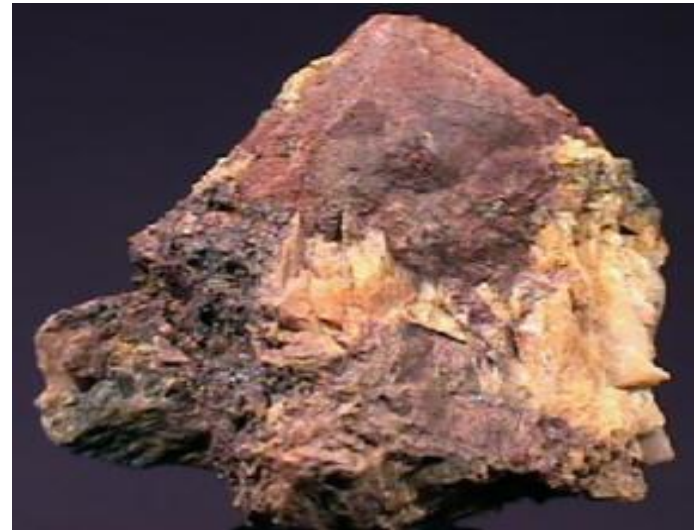
¿Qué es el torio?



Se encuentra naturalmente en minerales como:

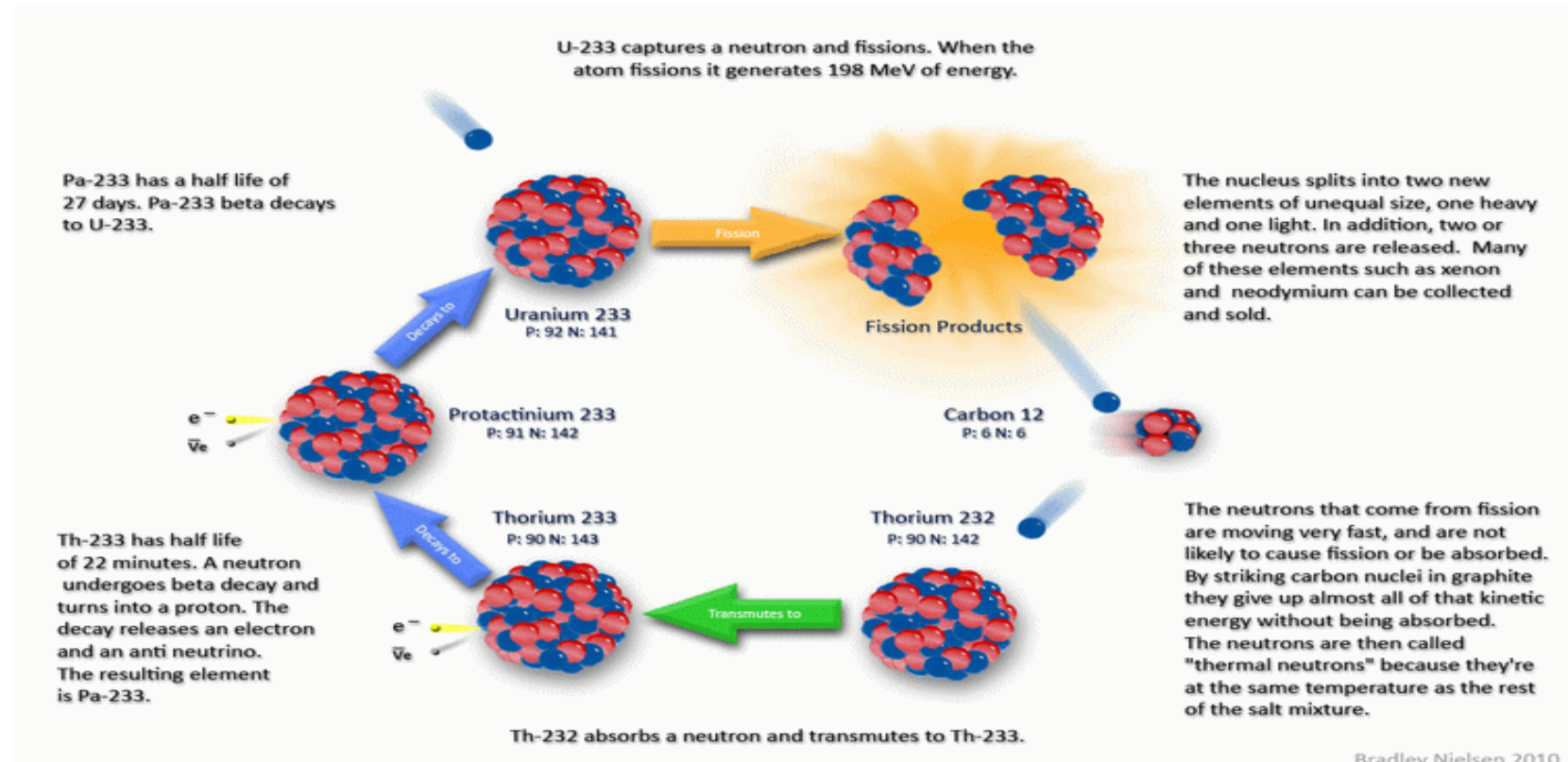
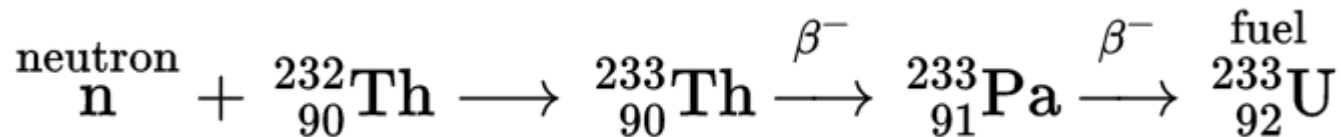
- Monacita
- Toracita
- Torianita

El isótopo Th-232 representa el 100% del Torio en la naturaleza





- El Torio es un elemento **fértil**



Principios



- Uso del Torio como combustible nuclear:



Ventajas



Proporción del
100% Th-232

- **Uranio:**
 - U-238 (99.3%)
Fértil
 - U-235 (0.7%)
Físil
- **Torio:** Th-232
(100%) Fértil

Más abundante
que el Uranio

- Reservas Th:
6.4MTn
- Reservas U:
5.7MTn

Country [hide] ⌵	Reserves ⌵
India	846,000
Brazil	632,000
Australia	595,000
United States	595,000
Egypt	380,000
Turkey	374,000
Venezuela	300,000
Canada	172,000
Russia	155,000
South Africa	148,000
China	100,000
Norway	87,000
Greenland	86,000
Finland	60,500
Sweden	50,000
Kazakhstan	50,000
Other countries	1,725,000
<i>World total</i>	6,355,000

- Sección eficaz de fisión (σ_f) comparable a la del U-238
- Sección eficaz de captura (σ_a) mucho menor que la del U-235 \implies mejor economía de neutrones

Factor de reproducción (η) > 2 , por tanto, se utiliza en reactores Breeder (reproductores)

Razón de conversión

$$C = \eta - 1$$

C < 1

Burner

C = 1

Converter

C > 1

Breeder

Ventajas



Combustible (ThO_2) con mejores propiedades físicas y químicas

No producción de Pu-239

Mayor punto de fusión: 3640°C
(seguridad)

No contaminación

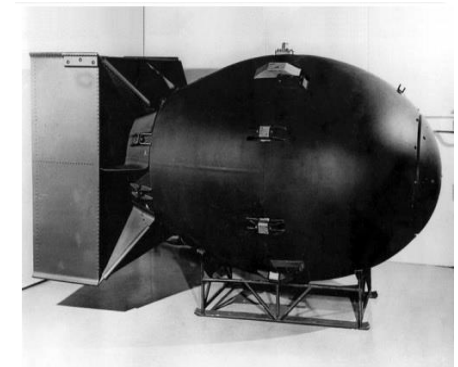
Mayor conductividad térmica: 6.2W/mk

No proliferación nuclear

Menor coeficiente de expansión térmica

Menor oxidación

Mayor estabilidad térmica



Desventajas



Al no ser un isótopo físil, necesita un motor que inicie la reacción (alcanzar la criticidad). Para ello se puede emplear Uranio o Plutonio

Procesos pre-reactor y post-reactor

En la fabricación del combustible (ThO_2) se necesitan unas altas temperaturas de sinterización (2000°C)

Problemas en el reprocesamiento al no disolverse fácilmente en ácido nítrico. Necesidad de compuestos que provocan corrosión en los equipamientos



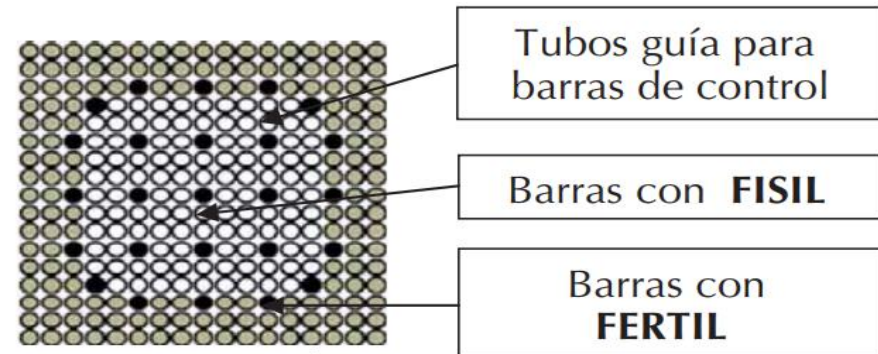
El U-232 (producto de fisión) es muy peligroso debido a los rayos gamma que emite. Necesidad de un blindaje muy severo



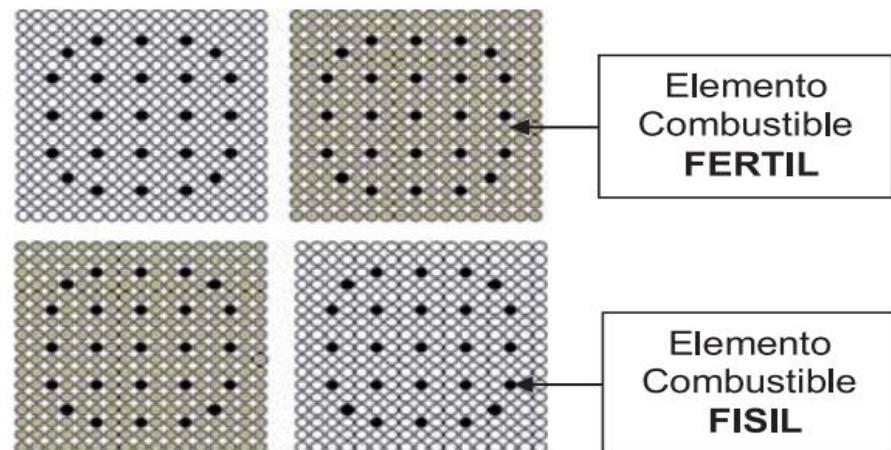
Tecnología muy poco madura (sin experiencia)

- **Iniciativa NERI** del Departamento de EEUU
 - Uso del Torio en los actuales reactores PWR:

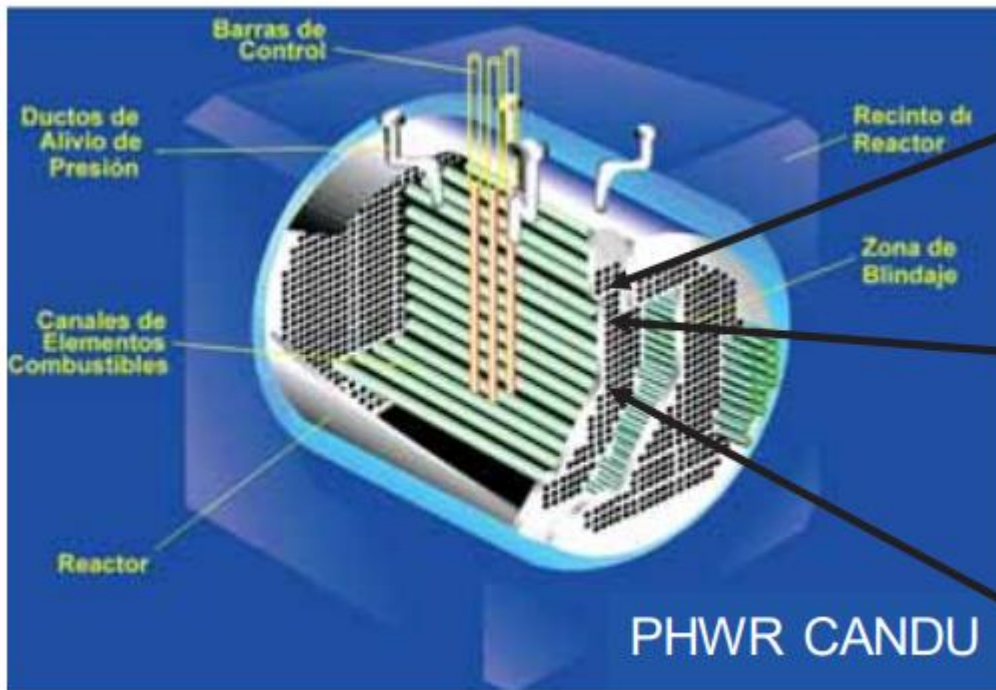
- Alternativa 1



- Alternativa 2



– Uso del Torio en reactores PHWR:



CORONA EXTERNA: 60 Canales
Combustibles homogéneos de ThO_2 (para quemado extendido de más de 50 MWd/Kg HE).

CORONA INTERMEDIA: 196 Canales
Combustibles heterogéneos
(8 pins internos con ThO_2 + 35 pins externos con SEU, 1,7% U235 usando uranio enriquecido al 20%).

CORONA INTERNA: 124 Canales
Combustibles heterogéneos
(1 pin central de ThO_2 dopado con 6% GdO_2 + 7 pins de la corona interna con ThO_2 + 35 pins externos con SEU).

- El Torio en la industria nuclear:

PAIS	Reactor	Tipo de Reactor	Potencia (MWe)	Combustible	Periodo en Operación
USA	Shippingpoint	LWBR	100	(Th-U233)O ₂	1977-82
	Indian Point	PWR	285	(Th-U233)O ₂	1962-80
	Fort Saint Vrain	HTGR	330	(Th-U235) part. recubiertas	1976-89
India	Kamini	MTR térmico	30 KWt	Al-U233	En Operación
	Cirus		40 MWt	"J"rod Th y ThO ₂	En Operación
	Dhruva		100 MWt	"J"rod ThO ₂	En Operación
	Kaps 1 y 2	PHWR	220	ThO ₂ pellets	Núcleo Inicial
	FBTR	LMFBR	40 MWt	ThO ₂ blanket	En Operación
Alemania	THTR	HTGR	300	(Th-U235) part. recubiertas	1985-89



Estado de la cuestión



- **Empresa Thor Energy**

- Empresa situada en Oslo, Noruega
- Proyecto en colaboración con el Instituto Noruego de Tecnología Energética (IFE) en Halden, Noruega

BBC

OYSTEIN ASPHJELL
Thor Energy

BBC NEWS

bbc.co.uk/news

Bibliografía

- https://en.wikipedia.org/wiki/Thorium_fuel_cycle
- <http://www.cnea.gov.ar/sites/default/files/torio.pdf>
- <http://www.energiadeltorio.es/>
- <https://www.nndc.bnl.gov/>
- <http://thorenergy.no/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=JcvZ-MZDCt4>