

Reactor Tokamak

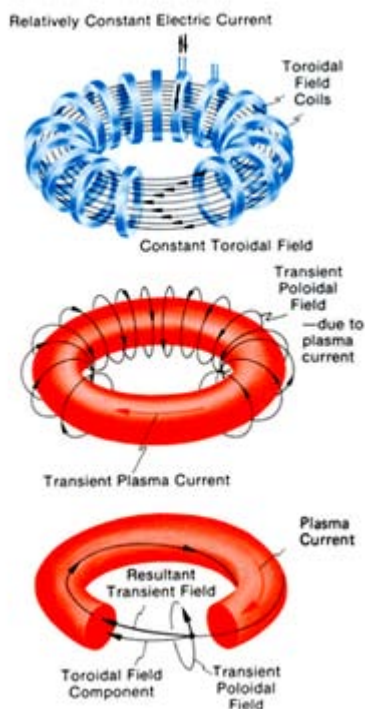
La paraula **Tokamak**, acrònim del [rus](#) **то** роидальная **ка** мера с **ма** гнитными **к** атушками - *ment roidal'naya ca mera s ma gnitnymi k atushkami* - (en català *cambra toroidal amb bobines magnètiques*), L'objectiu d'aquest aparell és obtenir la fusió de les partícules del plasma, el que generaria grans quantitats d'energia. En efecte, la reacció nuclear de [fusió](#) de dues partícules lleugeres en una partícula més estable de pes mitjà produeix una energia en relació amb l'equivalència d'[Einstein](#):

$$LTA = m \cdot c^2$$

Els avantatges de la fusió sobre la [fissió](#) (que s'utilitza avui en les centrals nuclears) són que no produeix residus radioactius directes i que no necessita d'un combustible no renovable i tan escàs com l'urani. En canvi, és molt més difícil d'iniciar. No s'ha arribat al punt d'equilibri entre l'energia que es necessita per accelerar i confinar el plasma i la que s'obté amb la fusió d'algunes partícules. No obstant això no hi ha raons teòriques per aquest fet, sinó només raons tècniques, que el projecte internacional [ITER](#) haurà de resoldre.

El Tokamak va ser creat la [dècada del 1950](#) pels [físics](#) russos [Igor Tam](#) i [Andrei Sàkharov](#).

El [1956](#), van començar les investigacions experimentals d'aquests sistemes a l'Institut d'Energia Atòmica «[I. V. Kurchatov](#)» de l'[Acadèmia de Ciències de l'URSS](#). El primer Tokamak consistir en una cambra de buit amb forma toroidal que contenia [hidrogen](#) i un dispositiu elèctric que per fortes descàrregues [ionitzava](#) el gas fins a portar a l'estat plasmàtic. Un fort camp magnètic helicoidal provocat amb potents [electroimants](#) aconseguia el confinament del plasma de elevadíssimes temperatures.



Camp magnètic i corrent d'un Tokamak. Es mostra el camp toroidal i les bobines (blau) que el generen, el corrent del plasma (vermell), amb el seu camp poloidal (produït per ell), i el camp resultant quan hi ha superposició.

Reactor nuclear de fusió

Un **reactor de fusió nuclear** és un [reactor nuclear](#) que obté [energia nuclear](#) a partir de [reaccions nuclears](#) de [fusió](#). Actualment no existeix cap central nuclear que funcioni amb reactor de fusió, ja que aquest encara està en fase de [recerca](#). El reactor [ITER](#), un *tokamak* que s'està construint a [Cadarache \(França\)](#), experimenta amb la [fusió nuclear](#).

La idea és usar [deuteri](#) com a [combustible](#), molt abundant a la [natura](#), a l'aigua del mar, per exemple, per a obtenir heli, molt estable (és un gas noble) i abundant a l'aire. Les fonts de combustible serien a priori gairebé renovables i els residus en principi no [radioactius](#) ni nocius per a la salut.

El principal inconvenient de construir un reactor de fusió és el seu [rendiment](#): es gasta més [energia](#) en fer el [combustible](#) que l'energia que es produeix, de manera que en comptes d'obtenir energia el que fem és consumir-la. Un altre greu inconvenient és que, segons el criteri de Lawson, es necessita una temperatura d'ignició, o de començament de la reacció de fusió en cadena, molt elevada, de l'ordre de 100.000.000°C^[1] i un combustible ([heli](#), per exemple, molt abundant a l'aire) calent en estat de [plasma](#), cosa que fondria qualsevol recipient on es volgués retenir. A les estrelles els materials queden "subjectats" per la [gravetat](#), que impedeix que es dissipin. Als reactors s'està investigant de "subjectar" o confinar el combustible en estat de [plasma](#) i les seves reaccions nuclears bé per confinament [magnètic](#), en sistemes amb formes [toroidals](#), com el *tokamak* i l'*stellarator*; bé per confinament [inercial](#), als quals la ignició ocorre al centre i es propaga vers l'exterior fins que s'acaba el combustible.

Principis de funcionament

La idea del reactor de fusió seria utilitzar-lo més o menys de la mateixa manera que [el de fissió](#), és a dir per a obtenir [energia](#) en forma de [calor](#), en una [central nuclear](#). La calor podria extreure's del reactor amb un [refrigerant](#), que s'escalfaria en passar per ell i podria moure una [turbina](#). Un [alternador](#) transformaria part de l'[energia mecànica](#) de la turbina en [electricitat](#), que es podria emmagatzemar i injectar a la xarxa elèctrica quan convingui. S'haurien d'estudiar unes noves mesures de seguretat, ja que la fusió és molt més [exoenergètica](#) i per tant més perillosa.

Per a obtenir energia hom pensa a basar-se en [reaccions nuclears](#) de [fusió en cadena](#). La fusió nuclear consisteix a unir dos nucleïds petits per a obtenir un de més gran, i de vegades també altres partícules elementals. Els nucleïds fusionables poden ser diferents parelles, de les quals les que més s'estudien són formades per nucleïds d'[hidrogen](#) o d'alguns dels seus [isòtops](#) (el [proti](#) o hidrogen "normal", que té un [nucli](#) format per un sol [protó](#); el [deuteri](#), un hidrogen amb un protó i un [neutró](#) al nucli; o el [triti](#); un hidrogen que té un protó i dos neutrons), que formen un àtom d'[heli-3](#) o d'[heli-4](#) i un neutró o un protó. Altres alternatives serien possibles, per exemple formar tres àtoms d'[heli-4](#) a partir d'un de [bor-11](#) i un d'[hidrogen-1](#).

Els criteris per escollir uns reactius o altres són el balanç d'energia, o quanta energia neta es guanya a cada reacció, tenint en compte l'emprada per a produir cada un dels reactius, l'energia lliurar, la [secció eficaç](#), la [temperatura](#) necessària per a la seva ocurrència, la disponibilitat del nucleïd a la natura o el procés de la seva obtenció, etc.

Avantatges i inconvenients

El major inconvenient que els reactors de fusió presenten ara per ara és que són un projecte teòric, però que encara no és viable [tècnica](#) ni [econòmicament](#). Tot i que es poden postular idees molt utòpiques quant al seu funcionament, el cert és que encara no se sap com obtenir de manera segura i efectiva les condicions d'ignició necessàries, i tampoc no s'ha establert encara com se'n podria fer l'explotació comercial, cosa que pot portar tant avantatges com greus inconvenients [socials](#) a escala mundial segons com es faci. En aquest sentit, i en un context de [globalització](#) i d'acumulació extrema de poder per part de poques persones, s'ha de tenir en compte que els experiments que requereix la investigació i desenvolupament d'aquesta tecnologia requereix una extraordinària quantitat de recursos, que avui només pot obtenir un consorci format per l'agrupació de les majors potències tecnològiques. Això portaria a un [monopoli](#) de la seva posterior explotació i per tant segurament de l'energia, amb les conseqüències [polítiques](#), econòmiques i socials que això comporta.

Respecte als avantatges, encara és massa aviat per a predir com funcionaria, però ja sabem, i és per això que la seva investigació pot ser interessant, que els [combustibles nuclears](#) utilitzats, al contrari que l'[urani](#) i el [plutoni](#) usats als reactors nuclears de fissió, no són radioactius i a més són molt abundants a la natura. Aquests també produiran [residus radioactius](#), però aquests en principi es reduirien als d'activació de la reacció en cadena per mitjà de [neutrons](#) i, a diferència dels produïts als [reactors de fissió](#), la seva [semivida](#) és molt curta, de menys d'un centenar d'anys.