

---

# Resum

En el present treball s'ha estudiat i analitzat àmpliament el procés de producció de pastilles de combustible d' $UO_2$ . Els objectius d'esta investigació foren comprendre i analitzar la influència de distints additius i la variació de les etapes del procés de producció en la microestructura y, per tant, en la resistència mecànica de la pastilla de combustible nuclear.

Per altra banda, també es pretén aconseguir una millora de les característiques qualitatives de les pastilles de combustible ceràmic. Per a este propòsit, s'han produït pastilles d' $UO_2$  sense additius, anomenades pastilles estàndard, pastilles que contenen com a additiu *AZB* (Azodicarbonamid),  $U_3O_8$  negre (d'urani oxidat de pastilles de deixalla - *OS*),  $U_3O_8$  verd (pols d'urani oxidat-*OP*), o fibres queratíniques (un additiu no convencional).

La introducció d'estos additius en la mescla de pols d' $UO_2$  abans o després de la etapa de granulació i en diferents concentracions, ha produït distintes configuracions de microestructura. Com no és possible analitzar totes les configuracions, durant els pre-tests d'investigació s'han separat algunes per a estudiar-les amb més detall.

Les pastilles amb *AZB* afegit després de la granulació presenten grans de majors dimensions i porus més grans que aquelles amb *AZB* afegit abans de la granulació, així com grans lliures de porus i una estructura granulada en lloc d'homogènia. Les pastilles amb *OS* presenten una porositat fina distribuïda en tota la matriu de la pastilla amb alguns grups de porositat, mentre que les pastilles que contenen *OP* mostren en la matriu una porositat aglomerada en forma de ganxos. Pel que fa a les dimensions dels grans, es pot observar una distribució més uniforme de les dimensions del gra en les pastilles d'*OS* que en les pastilles amb *OP*.

Les variacions en la quantitat de fibres de queratina afegides, temps de permanència en la sinterització i densitat de les pastilles verdes donen lloc a diferents microestructures. No obstant això, s'observaren algunes característiques comunes entre elles, tals com la presència de porus allargats, grups de porositat i grans de majors dimensions situats en les vores de les pastilles, mentre que els més xicotets es van concentrar més en la part central de la pastilla. Esta distribució dels grans es va identificar com a estructura bi-modal.

Els aspectes de la microestructura esmentats tenen certament influència en les propietats mecàniques de la pastilla de combustible. No obstant això, els paràmetres de sinterització, la

densitat de la pastilla verda i sinteritzada i les dimensions de les pastilles també tenen influència en les característiques mecàniques de les pastilles. Per a l'estudi de la influència de tots estos paràmetres sobre les propietats mecàniques de les pastilles es van utilitzar quatre procediments d'assaig: el denominat "squirrel-cage", on es va provar la resistència mecànica de les pastilles no sinteritzades mitjançant xocs mecànics; la prova de compressió diametral ("Brazilian Test") on es va estudiar la resistència de les pastilles sinteritzades i no sinteritzades; la "Vickers indentation technique", i l'assaig de fluència on es va analitzar la plasticitat de les pastilles a temperatura ambient i elevada, respectivament.

Els resultats de la "squirrel-cage" van mostrar que les pastilles amb fibres de queratina eren molt més resistents mecànicament que les pastilles sense ella, la qual cosa significa que les fibres de queratina van actuar, abans de la sinterització, com una pols aglutinant augmentant la cohesió entre els grans de pols i proporcionant a les pastilles verdes major resistència mecànica contra impactes.

"Brazilian Test" va avaluar la influència de la longitud de la pastilla enfront del seu diàmetre (relació  $L/D$ ), la influència de diferents additius barrejats amb la pols d' $UO_2$  i els diferents processos de producció de pastilles. L'anàlisi de la influència de  $L/D$  va mostrar que si es fixa el diàmetre de les pastilles i s'augmenta la longitud, també augmentarà el mòdul de Weibull (una mesura de la fiabilitat del lot de pastilles). Mitjançant la comparació de les pastilles amb *OS*, *OP* i 0,3% de fibres de queratina es va observar que les pastilles amb *OS* presenten el major volum de porus de menys de  $10\ \mu m$ , mentre les pastilles amb *OP* i queratina presenten el major volum de porus més grans de  $20\ \mu m$ . Sembla que esta rellevant característica afavoreix el més alt valor de la força Weibull en pastilles amb *OS*.

En el test "Vickers indentation", es van provar pastilles estàndard, pastilles amb *OS* i pastilles amb fibres de queratina. Els resultats van mostrar que la duresa calculada per a les pastilles estàndard és lleugerament inferior, en comparació dels valors obtinguts per a les pastilles amb fibres de queratina. També les pastilles que contenen *OS* tenen en la majoria dels casos, una duresa inferior en comparació amb les pastilles amb fibres de queratina. La resistència a la fractura calculada i els valors de l'energia superficial de fractura mostren també un millor comportament mecànic per a les pastilles amb fibra de queratina que per a les estàndard.

Les pastilles estàndard, les que tenen un 30% *OP*, amb la grandària més xicoteta de gra, les pastilles amb fibres de queratina, amb estructura bi-modal i les pastilles amb òxid de crom, amb la grandària de gra més gran, es van assajar en el forn de fluència. Els resultats van mostrar que totes les pastilles amb additius presenten un millor comportament de fluència que les pastilles estàndard. Entre les pastilles preparades amb additius la comparació va mostrar clarament que per a tensions inferiors les pastilles amb grans més xicotets tenen una millor taxa de fluència. En augmentar les tensions aplicades s'observa una millora de la velocitat de fluència de les pastilles

amb òxid de crom i fibra de queratina fins i tot superant lleugerament a les pastilles amb 30 % *OP* en l'esforç més alt aplicat.