

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>3. VENENOS COMBUSTIBLES.....</b>	<b>9</b>
3.1. GENERALIDADES .....	9
3.2. TIPOS DE VENENOS CONSUMIBLES .....	10
3.3. VENENOS CONSUMIBLES INTEGRALES.....	13
3.3.1. Gadolinio ( $Gd_2O_3$ ).....	13
3.3.2. Diboruro de Zirconio ( $ZrB_2$ ) .....	14
3.3.3. Erblio ( $Er_2O_3$ ).....	15
3.4. COMPARACIÓN DE LOS VENENOS CONSUMIBLES INTEGRALES .....	15
4.1. PASTILLAS CON ÓXIDO DE GADOLINIO .....	17
4.1.1. Co-precipitación.....	17
4.1.2. Mezcla mecánica.....	18
4.1.2.1. MEZCLA MECÁNICA DE $Gd_2O_3$ CON $UO_2$ OBTENIDO POR VÍA HÚMEDA .....	18
4.1.2.2. MEZCLA MECÁNICA DE $Gd_2O_3$ CON $UO_2$ OBTENIDO MEDIANTE UNA VÍA SECA .....	19
4.2. PASTILLAS CON CAPA DE DIBORURO DE ZIRCONIO .....	20
4.3. PASTILLAS CON ÓXIDO DE ERBIO .....	22
5.1. PROCESO ACTUAL DE FABRICACIÓN DE PASTILLAS DE $UO_2$ .....	23
5.2. MODIFICACIONES AL PROCESO ACTUAL PARA LA INCORPORACIÓN DE VENENOS CONSUMIBLES A LAS PASTILLAS COMBUSTIBLES .....	24
5.2.1. Pastillas con óxido de gadolinio .....	24
5.2.2. Pastillas con capa de diboruro de zirconio.....	26
<b>6. MODIFICACIONES EN LAS PROPIEDADES DEL <math>UO_2</math> DEBIDO A LA INCORPORACIÓN DE LOS VENENOS CONSUMIBLES .....</b>	<b>27</b>
6.1. PASTILLAS CON ÓXIDO DE GADOLINIO .....	27
6.1.1. Parámetro de la red cristalina.....	27
6.1.2. Relación O/U y O/M en las soluciones solidas de $(U,Gd)O_2$ .....	27
6.1.3. Propiedades Físicas .....	27
6.1.3.1. DENSIDAD TEÓRICA Y DENSIDAD DEL SINTERIZADO.....	27
6.1.3.2. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	27
6.1.3.3. CAPACIDAD CALORÍFICA.....	28
6.1.3.4. DIFUSIVIDAD TÉRMICA.....	28
6.1.3.5. EXPANSIÓN TÉRMICA .....	29
6.1.3.6. TEMPERATURA DE FUSIÓN .....	29
6.1.3.7. CRECIMIENTO DE GRANO .....	29
6.1.3.8. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	30
6.1.4. Propiedades mecánicas .....	30
6.1.4.1. MÓDULO ELÁSTICO.....	30
6.1.4.2. CREEP.....	30
6.1.5. Propiedades neutrónicas.....	30
6.1.5.1. SECCIÓN EFICAZ.....	30
6.1.5.2. AUTOBLINDAJE.....	31
6.2. PASTILLAS CON ÓXIDO DE ERBIO .....	31
6.2.1. Parámetro de la red cristalina.....	31
6.2.2. Propiedades físicas .....	31
6.2.2.1. DENSIDAD.....	31
6.2.2.2. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	32
6.2.2.3. CAPACIDAD CALORÍFICA.....	32
6.2.2.4. EXPANSIÓN TÉRMICA .....	32
6.2.2.5. TEMPERATURA DE FUSIÓN .....	32
6.2.3. Propiedades mecánicas .....	32
6.2.3.1. MÓDULO DE YOUNG .....	32

## VENENOS CONSUMIBLES EN ELEMENTOS COMBUSTIBLES PWR

<b>7. ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD</b> .....	<b>33</b>
7.1.1.1. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LAS PASTILLAS DE $UO_2$ .....	33
7.2. PASTILLAS CON ÓXIDO DE GADOLINIO .....	34
7.2.1. Pastillas combustibles .....	34
7.2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LAS PASTILLAS QUE NO SE MODIFICAN POR LA INCORPORACIÓN DEL GADOLINIO. ....	34
7.2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LAS PASTILLAS QUE SE MODIFICAN POR LA INCORPORACIÓN DEL GADOLINIO. ....	35
7.3. PASTILLAS CON CAPA DE DIBORURO DE ZIRCONIO .....	37
7.3.1. Pastillas combustibles .....	37
7.3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LAS PASTILLAS QUE NO SE MODIFICAN POR LA INCORPORACIÓN DEL DIBORURO DE ZIRCONIO. ....	37
7.3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LAS PASTILLAS QUE NO SE MODIFICAN POR LA INCORPORACIÓN DEL DIBORURO DE ZIRCONIO. ....	37
<b>8. DENSIDAD DE LAS PASTILLAS CON ÓXIDO DE GADOLINIO</b> .....	<b>38</b>
8.1. PROPUESTAS PARA MEJORAR LA DENSIDAD DE LA PASTILLA SINTERIZADA .....	38
8.1.1. Uso de aditivos .....	38
8.1.1.1. $Cr_2O_3$ o $Cr_2O_3-SiO_2$ .....	38
8.1.1.2. $TiO_2$ o $Al(OH)_3$ .....	39
8.1.2. Modificación de los parámetros en el proceso de fabricación de pastillas .....	40
8.1.2.1. AJUSTES EN EL CICLO DE SINTERIZACIÓN .....	40
8.1.2.2. AJUSTE DE LA ACTIVIDAD DEL POLVO DE $UO_2$ (AUC).....	40
8.1.2.3. HOMOGENEIZACIÓN.....	41
8.1.3. Características de la atmósfera de sinterizado .....	41
<b>9. EFECTO SOBRE EL COMPORTAMIENTO TERMO-MECÁNICO DE LAS BARRAS COMBUSTIBLES CON VENENOS CONSUMIBLES</b> .....	<b>43</b>
9.1. BARRAS COMBUSTIBLES CON PASTILLAS CON ÓXIDO DE GADOLINIO.....	43
9.1.1. Experiencia operativa .....	43
9.1.1.1. TEMPERATURA.....	43
9.1.1.2. LIBERACIÓN DE GASES DE FISIÓN.....	45
9.1.2. Simulación para barras combustibles con pastillas con óxido de gadolinio .....	45
9.1.2.1. TEMPERATURA.....	45
9.1.2.3. DIÁMETRO EXTERIOR DE LAS PASTILLAS .....	45
9.1.3. Comportamiento en casos accidentales .....	46
9.2. PASTILLAS CON CAPA DE DIBORURO DE ZIRCONIO .....	46
<b>10. CONCLUSIONES</b> .....	<b>47</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>50</b>
<b>FIGURAS</b> .....	<b>55</b>