



MX0400351

Congreso Internacional Conjunto Cancún 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR/International Joint Meeting Cancun 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR  
XV Congreso Anual de la SNM y XXII Reunión Anual de la SMSR/XV SNM Annual Meeting and XXII SMSR Annual Meeting  
Cancún, Q.R., México, 11-14 de Julio, 2004/Cancún, Q.R., Mexico, July 11-14, 2004

## Aproximación a Criticidad en Frío de la Unidad 1 del Ciclo 10 de la CLV con Barras de Control de Diseño Similar al Original y Avanzadas

**R. Perusquía, J. R. Ramírez, J. J. Ortiz, J. L. Hernández, J. L. Montes**  
*Departamento de Sistemas Nucleares, Gerencia de Ciencias Aplicadas*  
*Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*

*Carr. México-Toluca Km. 36 ½, Salazar, Estado de México.*

[rpc@nuclear.inin.mx](mailto:rpc@nuclear.inin.mx), [jrrs@nuclear.inin.mx](mailto:jrrs@nuclear.inin.mx), [jjortiz@nuclear.inin.mx](mailto:jjortiz@nuclear.inin.mx), [jlhm@nuclear.inin.mx](mailto:jlhm@nuclear.inin.mx),  
[jlmt@nuclear.inin.mx](mailto:jlmt@nuclear.inin.mx)

### **Resumen**

En la Central Laguna Verde (CLV) se han estado reemplazando barras de control gastadas por barras de control de diseño avanzado. Actualmente de las 109 barras de diseño similar al original de la Unidad 1 de la CLV, 14 de ellas han sido sustituidas con dos tipos de barras de control avanzadas diferentes. Al igual que las barras originales las barras avanzadas usan carburo de boro como elemento controlador de neutrones, pero adicionalmente usan hafnio, con esto, logran una mayor vida media útil. Las barras de diseño similar al original son homogéneas axialmente en cambio las avanzadas presentando varias zonas. En principio las barras avanzadas se diseñaron para que fueran compatibles neutrónicamente a las barras originales. Sin embargo las diferencias en el diseño y de constituyentes presuponen considerar un desempeño diferente durante la operación. Dado que el número de barras avanzadas está creciendo con el número de ciclos del reactor la CLV ha solicitado al Instituto de Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) evaluar en forma detallada el desempeño de las barras de control. Anteriormente los cálculos y análisis de diseño de ciclo que se han venido realizando asumen que se trata de barras de control de diseño similar al original. Usando el sistema HELIOS/CM-PRESTO se analizó el efecto de la inclusión de barras avanzadas en la aproximación de la criticidad en frío (20 C) en el ciclo 10 de la unidad 1. Se propusieron 4 escenarios donde se varió el tipo de la barra de control de reemplazo. Se calculó el valor en reactividad de las barras de diseño similar al original y avanzado y, por comparación, se encontró que el valor de reactividad de las barras de control de los diseño avanzado era superior a las barras similares a las originales en un 7.6% para una de los diseños avanzados y del 13.6% para la otra.

### **1. INTRODUCCIÓN**

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) colabora con la Comisión Nacional de Electricidad (CFE) el año pasado en la administración del combustible dentro del núcleo de los reactores de la Central de Laguna Verde (CLV), el objetivo general consistente en [1]:

Desarrollar una metodología de modelación estática, con el código CM-PRESTO, del núcleo del ciclo 10 de la unidad 1 de la Central Laguna Verde con mezcla de barras de control del diseño similar al original junto con dos tipos de barras de control de diseño avanzado diferentes.

El presente trabajo tiene como finalidad presentar específicamente la simulación realizada con el sistema de códigos HELIOS/CM-PRESTO [2] relacionadas con:

La determinación del efecto de las barras de control avanzadas en la aproximación a criticidad en frío libre de Xenón de la secuencia de extracción de las barras establecidas para el inicio del ciclo (BOC) para el Ciclo 10 de la Unidad 1 de la CLV. [3]

A partir del ciclo 5 de la unidad 1 de la CLV se inició el reemplazo de las barras de control agotadas. En ello se ha utilizado dos diseños de barras de control avanzadas diferentes que denominaremos como 1AV y 2AV. Estas barras avanzadas contienen Hafnio para controlar la población neutrónica en adición al Carburo de Boro tradicional ( $B_4C$ ). La longitud de la vida útil de estas barras de avanzada es mayor y presentan un diseño axial diferente su contenido de absorbentes axialmente es no homogéneas como lo son las barras de diseño similar al original. En una de los diseños avanzados la sección inferior de la barra, aproximadamente  $\frac{3}{4}$  partes, está compuesta de  $B_4C$  y la última sección está compuesta por Hafnio. Aunque el diseño de las nuevas barras de se realizó con el criterio de ser compatibles neutrónicamente con las barras originales, es lógico suponer que posibles diferencias en el diseño puedan afectar el desempeño del núcleo.

Dado que ciclo a ciclo el número de barras de control avanzado está creciendo se requiere iniciar la evaluación del núcleo de manera exacta puesto que al momento todos los cálculos y análisis de diseño de ciclo se han venido realizando asumiendo que se trata de barras de control de diseño similar al original.

Ya que con el sistema HELIOS y CM-PRESTO de Studsvick, se cuenta con la herramienta adecuada para realizar este tipo de estudios, CFE ha considerado conveniente realizar estos trabajos con el apoyo del ININ.

## 2. METODOLOGÍA

De acuerdo a información de la CLV en el ciclo 10 de la unidad 1 está controlado por 95 barras de control tipo original, 10 de un de tipo de diseño avanzado y 4 de otro tipo avanzado diferente con una distribución dentro del núcleo mostrada en la Figura 1.

En este mapa de la figura 1 los tres primeros caracteres del identificador de la barra de control especifican el tipo; ORG = original, 1AV = barra avanzada 1, 2AV = barra avanzada 2. Para estimar el cambio originado por usar barras de control avanzado se realizaron cuatro estudios [4], llamados CASOS 57, 58, 59 y 60. Usando el código CM-PRESTO para simular el arranque en frío al inicio del ciclo 10 de cada uno de los cuarto casos los cuales difieren en la asignación del tipo de barra de control consideradas para las barras de control de reemplazo. A continuación se describen estos casos:

- CASO 57, estudio representativo de la unidad 1 ciclo 10 usando solamente barras de diseño similar al original. Se toma como el caso de referencia y en las tablas de la siguiente sección se denota como ORG.

- CASO 58, estudio representativo de la unidad 1 ciclo 10 usando 95 barras de diseño similar al original y 14 tipo 1AV. En las tablas siguientes se denota como 1AV.
- CASO 59, estudio representativo de la unidad 1 ciclo 10 usando 95 barras de diseño similar al original y 10 tipo 1AV y 4 tipo 2AV. En las tablas se denota como 1y2AV.
- CASO 60, estudio representativo de la unidad 1 ciclo 10 usando 95 barras de diseño similar al original y 14 tipo 2AV. En las tablas se denota como 2AV.

Mapa de las Barras de Control de la Unidad 1 Ciclo 10 con 95 barras de control originales (OGR) y avanzadas 10 tipo 1AV y 4 tipo 2AV

	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	
43			ORG051	ORG072	ORG039	ORG055	1AV004	ORG061	1AV010			43
39		ORG094	ORG073	ORG084	ORG062	1AV006	ORG040	ORG018	ORG029	ORG008		39
35	ORG103	ORG096	ORG085	ORG074	ORG063	ORG083	ORG041	ORG030	ORG050	ORG010	ORG001	35
31	ORG052	ORG095	ORG086	2AV001	ORG064	ORG028	ORG042	2AV002	ORG020	ORG009	ORG002	31
27	1AV001	ORG097	ORG087	ORG076	ORG065	ORG054	ORG043	ORG032	ORG021	ORG011	ORG004	27
23	ORG088	1AV009	ORG093	ORG108	ORG066	1AV005	ORG044	ORG033	ORG017	1AV007	1AV003	23
19	ORG105	ORG099	ORG089	ORG078	ORG067	ORG056	ORG045	ORG034	ORG023	ORG013	ORG022	19
15	ORG107	ORG101	ORG090	2AV003	ORG068	ORG038	ORG046	2AV004	ORG024	ORG015	ORG003	15
11	ORG109	ORG100	ORG091	ORG080	ORG069	ORG027	ORG047	ORG036	ORG025	ORG014	ORG007	11
7		ORG102	ORG081	ORG092	ORG070	1AV008	ORG048	ORG026	ORG037	ORG016		7
3			ORG098	ORG082	1AV002	ORG058	ORG071	ORG049	ORG059			3

**Figura 1. Mapa para CM-PRESTO de las barras de control similares a las originales y avanzadas de la unidad 1 del ciclo 10.**

Con CM-PRESTO se simuló el arranque en frío al inicio del ciclo 10. Se partió de las condiciones de fin de ciclo 9 del seguimiento operativo de la unidad 1 que se viene realizando en el Departamento de Gestión de Combustible de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en colaboración del ININ y del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

En el seguimiento se sigue no sólo los movimientos de combustible y la inserción de nuevos combustibles en el núcleo, sino también de los movimientos e inserciones correspondientes a las 109 barras de control que constituyen el control de la reactividad del núcleo del reactor. En el seguimiento con CM-PRESTO se incluye el quemado de las barras de control. Asunto importante en la estimación adecuada del impacto de los nuevos diseños avanzados de barras de control utilizados como reemplazo en la Unidad 1. CM-PRESTO es capaz de simular el agotamiento de las mismas, primero acumula la exposición promedio de los cuatro nodos de los combustibles adyacentes al nodo de la barra de control. Después, mediante un polinomio de segundo grado se estima el agotamiento porcentual nodal del <sup>10</sup>B en función de la exposición promedio acumulada.

La estimación del impacto de los diseños avanzados de barra de control se realiza comparando la reactividad que presenta el núcleo de cada uno de los cuatro casos considerados en este estudio.

En el apartado siguiente se presenta los principales resultados obtenidos con el sistema HELIOS/CM-PRESTO, así como del cálculo para evaluar el impacto de las barras avanzadas en la aproximación a criticidad en condiciones frías (20° C).

### 3. RESULTADOS

En la Tabla 1 se proporcionan los 198 pasos de extracción de las barras de control para la aproximación a criticidad en frío. En ella se muestran las diferencias de reactividad en pcm (un pcm es equivalente a  $10^{-5} \Delta k/k$ ) entre el CASO 57, CASO 59 y CASO 60, respecto al CASO 58. La tabla está dividida en 2 conjuntos de columnas, la primera columna (Sec) de cada conjunto es el número de secuencia de extracción de las barras de control, la segunda, tercera, cuarta y quinta columnas (ORG-CLV, 1AV-CLV, 1y2AV-CLV y 2AV-CLV) muestran las diferencias de reactividad entre el CASO 57, CASO 58, CASO 59 y CASO 60 respecto a lo informado por la CLV. La sexta, séptima y octava columnas (ORG-1AV, ORG-1y2AV y ORG-2AV) muestran las diferencias de reactividad entre los, CASO 58, CASO 59 y CASO 60 respecto al CASO 57.

En la Figura 2 se muestran las curvas del factor de multiplicación efectiva ( $K_{eff}$ ) de aproximación a criticidad al inicio del ciclo (BOC) estimadas para el ciclo 10 comparadas con las calculadas por CM-PRESTO para los CASOS 57 al 60.

En la Figura 3 se grafican las diferencias de reactividad en el arranque en frío en el BOC del Ciclo 10 para el CASO 57 (sólo barras de diseño similar al original ) comparado con los CASOS 58, 59 y 60.

En la Tabla II se presenta la secuencia de extracción de barras de control en el cual se alcanza la criticidad en frío en los diferentes puntos de exposición del ciclo 10 de los CASOS 58 al 60. En la primera columna se muestra el quemado promedio del núcleo en MWD/TM, en la segunda y tercera columna el quemado promedio del ciclo en MWD/TM y MWD/ST respectivamente, en la cuarta, quinta, sexta y séptima columnas (ORG\_57, 1AV\_58, 1AVy2AV\_59 y 2AV\_60) muestran el número de la secuencia de extracción de barras de control en que el reactor alcanza la criticidad en frío de los CASOS 57 al 60.

Figura 4 se presenta la secuencia de extracción de barra de control de aproximación a criticidad en frío a través del ciclo 10 de la unidad 1 de los CASOS 57 al 58.

En la Figura 5 se muestra el Margen de Apagado en Frío (SDM del inglés Shut Down Margin) de la Unidad 1 Ciclo 10 reportados y los correspondientes a los CASOS 57 al 60.

En la Tabla III se proporcionan los primeros 43 pasos de aproximación en criticidad en frío del arranque de la unidad 1 ciclo 10 del CASO 59 en diferentes puntos de quemado a través del ciclo 10 de la unidad 1. La primera columna es la secuencia de extracción y las siguientes columnas son las  $K_{eff}$ 's en los pasos de quemado del ciclo 10 desde el BOC hasta el final del ciclo (EOC).

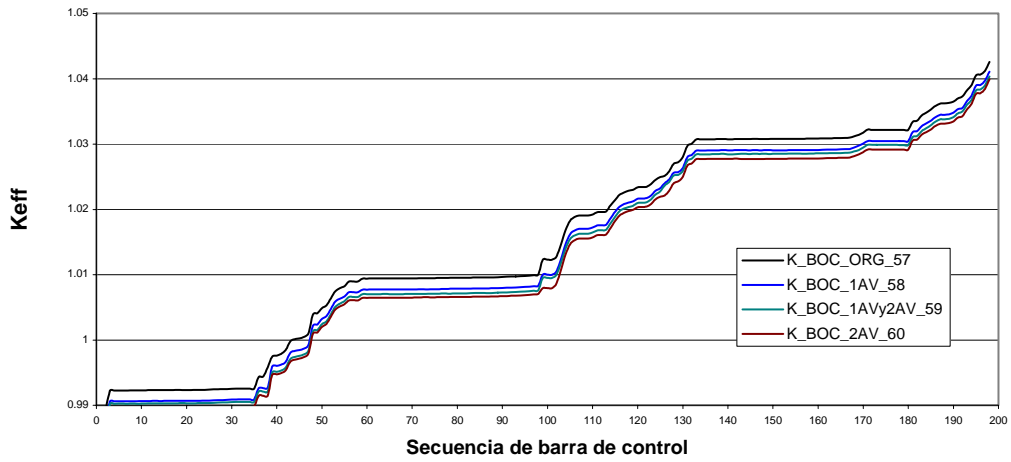
En la Figura 6 se grafica la  $K_{eff}$  en el arranque en frío dadas para el ciclo en el BOC junto con las  $K_{eff}$  calculadas con CM-PRESTO del CASO 59 en los diferentes puntos de quemado del ciclo 10 Unidad 1.

**Tabla I Diferencias de la aproximación a criticidad Unidad 1 ciclo 10 CASO 57, CASO 58, CASO 59 CASO 60 respecto a informado por la CLV y respecto al caso barras de control similares a originales .**

sec.	ORG-CLV	1AV-CLV	1y2AV-CLV	2AV-CLV	ORG-1AV	ORG-1y2AV	ORG-2AV	sec.	ORG-CLV	1AV-CLV	1y2AV-CLV	2AV-CLV	ORG-1AV	ORG-1y2AV	ORG-2AV
1	1255	1064	982	922	191	273	333	51	719	555	476	437	164	243	282
2	473	335	303	241	138	170	232	52	765	605	525	487	160	240	278
3	92	-71	-109	-182	163	201	274	53	789	629	552	510	160	237	279
4	95	-69	-107	-179	164	202	274	54	804	644	568	526	160	236	278
5	97	-67	-105	-177	164	202	274	55	766	607	534	488	159	232	278
6	97	-69	-105	-178	166	202	275	56	745	581	510	458	164	235	287
7	96	-70	-106	-179	166	202	275	57	676	511	440	389	165	236	287
8	98	-68	-104	-177	166	202	275	58	656	491	419	368	165	237	288
9	99	-67	-106	-177	166	205	276	59	669	502	431	376	167	238	293
10	99	-66	-104	-176	165	203	275	60	660	492	421	366	168	239	294
11	90	-76	-113	-185	166	203	275	61	662	494	423	368	168	239	294
12	92	-74	-111	-183	166	203	275	62	662	494	423	368	168	239	294
13	93	-72	-110	-182	165	203	275	63	661	493	422	368	168	239	293
14	92	-74	-111	-183	166	203	275	64	663	494	424	369	169	239	294
15	95	-71	-108	-181	166	203	276	65	662	493	423	368	169	239	294
16	95	-71	-109	-181	166	204	276	66	662	493	423	368	169	239	294
17	94	-72	-109	-182	166	203	276	67	662	493	422	368	169	240	294
18	96	-73	-111	-183	169	207	279	68	662	494	423	368	168	239	294
19	94	-70	-107	-180	164	201	274	69	664	495	425	370	169	239	294
20	93	-70	-108	-180	163	201	273	70	663	495	424	369	168	239	294
21	94	-70	-108	-180	164	202	274	71	654	486	415	362	168	239	292
22	97	-71	-108	-180	168	205	277	72	656	488	417	363	168	239	293
23	97	-70	-107	-179	167	204	276	73	655	486	417	365	169	238	290
24	99	-68	-105	-177	167	204	276	74	646	478	408	352	168	238	294
25	91	-76	-114	-186	167	205	277	75	636	467	398	342	169	238	294
26	93	-73	-111	-183	166	204	276	76	629	460	391	334	169	238	295
27	95	-71	-109	-180	166	204	275	77	620	451	382	326	169	238	294
28	97	-68	-106	-177	165	203	274	78	611	441	371	315	170	240	296
29	100	-65	-104	-175	165	204	275	79	603	434	364	308	169	239	295
30	103	-63	-100	-172	166	203	275	80	605	435	365	309	170	240	296
31	95	-71	-108	-180	166	203	275	81	595	425	354	299	170	241	296
32	98	-69	-107	-179	167	205	277	82	594	425	354	299	169	240	295
33	97	-69	-107	-179	166	204	276	83	585	416	346	290	169	239	295
34	97	-69	-107	-179	166	204	276	84	579	409	339	283	170	240	296
35	88	-78	-115	-188	166	203	276	85	568	399	329	272	169	239	296
36	244	70	19	-46	174	225	290	86	558	389	319	263	169	239	295
37	240	62	10	-54	178	230	294	87	558	389	318	263	169	240	295
38	370	56	2	-63	314	368	433	88	549	382	312	256	167	237	293
39	516	368	274	235	148	242	281	89	532	363	294	236	169	238	296
40	520	366	272	234	154	248	286	90	507	337	268	211	170	239	296
41	529	365	270	232	164	259	297	91	489	320	248	193	169	241	296
42	587	407	316	274	180	271	313	92	462	293	223	167	169	239	295
43	482	307	210	169	175	272	313	93	424	255	185	129	169	239	295
44	504	324	232	191	180	272	313	94	397	228	159	103	169	238	294
45	514	336	246	204	178	268	310	95	371	202	133	75	169	238	296
46	517	339	251	209	178	266	308	96	345	176	107	50	169	238	295
47	503	326	236	195	177	267	308	97	334	164	96	39	170	238	295
48	642	470	387	346	172	255	296	98	312	143	72	16	169	240	296
49	650	479	395	355	171	255	295	99	500	270	219	64	230	281	436
50	697	532	452	412	165	245	285	100	421	190	140	-15	231	281	436

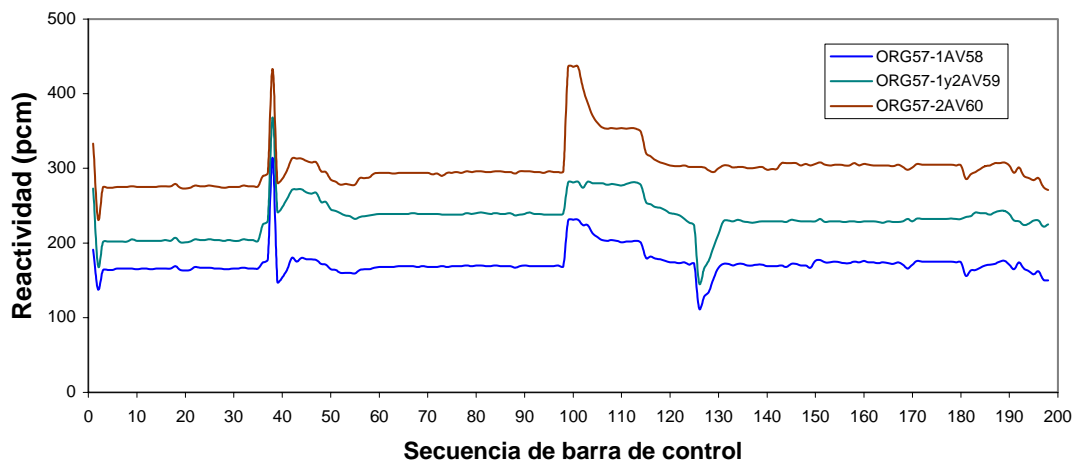
Tabla I Diferencias de la aproximación a criticidad Unidad 1 ciclo 10								.....continuación .							
sec.	ORG-CLV	1AV-CLV	1y2AV-CLV	2AV-CLV	ORG-1AV	ORG-1y2AV	ORG-2AV	sec.	ORG-CLV	1AV-CLV	1y2AV-CLV	2AV-CLV	ORG-1AV	ORG-1y2AV	ORG-2AV
101	411	180	129	-25	231	282	436	150	890	714	661	584	176	229	306
102	428	204	154	20	224	274	408	151	892	715	660	584	177	232	308
103	525	301	243	137	224	282	388	152	880	706	652	575	174	228	305
104	659	446	379	288	213	280	371	153	880	706	651	576	174	229	304
105	737	529	457	376	208	280	361	154	882	707	653	577	175	229	305
106	752	548	472	397	204	280	355	155	872	698	643	567	174	229	305
107	767	564	489	414	203	278	353	156	871	698	643	567	173	228	304
108	698	494	419	344	204	279	354	157	861	688	632	557	173	229	304
109	677	474	399	324	203	278	353	158	864	689	635	557	175	229	307
110	682	481	405	328	201	277	354	159	863	689	635	559	174	228	304
111	686	484	407	333	202	279	353	160	856	680	627	550	176	229	306
112	691	489	410	337	202	281	354	161	847	673	618	542	174	229	305
113	688	485	407	335	203	281	353	162	838	664	609	534	174	229	304
114	684	484	407	336	200	277	348	163	829	656	601	525	173	228	304
115	652	472	397	331	180	255	321	164	821	647	594	517	174	227	304
116	674	492	422	358	182	252	316	165	813	640	584	509	173	229	304
117	680	501	432	369	179	248	311	166	804	632	576	501	172	228	303
118	693	515	446	385	178	247	308	167	798	624	570	493	174	228	305
119	690	514	446	384	176	244	306	168	777	606	548	475	171	229	302
120	658	484	418	354	174	240	304	169	742	576	510	444	166	232	298
121	661	487	422	358	174	239	303	170	737	566	508	436	171	229	301
122	657	484	420	354	173	237	303	171	720	544	487	414	176	233	306
123	648	474	416	344	174	232	304	172	719	544	487	414	175	232	305
124	635	464	408	333	171	227	302	173	689	514	457	384	175	232	305
125	636	464	413	334	172	223	302	174	609	434	377	304	175	232	305
128	717	582	540	420	135	177	297	177	369	194	137	64	175	232	305
129	734	581	539	439	153	195	295	178	299	124	66	-6	175	233	305
130	774	607	562	474	167	212	300	179	258	84	26	-46	174	232	304
131	874	702	645	570	172	229	304	180	248	74	16	-56	174	232	304
132	889	717	659	585	172	230	304	181	301	145	66	15	156	235	286
133	902	732	673	601	170	229	301	182	311	148	75	19	163	236	292
134	904	732	673	602	172	231	302	183	309	145	68	14	164	241	295
135	904	732	675	602	172	229	302	184	303	136	63	4	167	240	299
136	903	733	675	603	170	228	300	185	286	116	46	-17	170	240	303
137	904	734	677	604	170	227	300	186	264	93	26	-40	171	238	304
138	906	735	678	605	171	228	301	187	258	86	17	-49	172	241	307
139	908	737	679	606	171	229	302	188	262	87	19	-45	175	243	307
140	904	735	675	606	169	229	298	189	261	85	18	-47	176	243	308
141	904	735	675	605	169	229	299	190	262	91	23	-42	171	239	304
142	906	737	677	607	169	229	299	191	199	34	-31	-95	165	230	294
143	898	728	669	591	170	229	307	192	199	25	-30	-102	174	229	301
144	898	730	670	591	168	228	307	193	223	57	-1	-67	166	224	290
145	898	726	667	591	172	231	307	194	273	111	47	-14	162	226	287
146	899	727	669	592	172	230	307	195	371	213	141	87	158	230	284
147	896	726	667	592	170	229	304	196	377	215	147	90	162	230	287
148	888	718	659	582	170	229	306	197	412	261	190	137	151	222	275
149	887	720	658	583	167	229	304	198	500	350	275	229	150	225	271
<b>Promedio (pcm) =</b>									541	368	307	240	173	234	301
<b>Promedio ABSOLUTO(pcm) =</b>									541	392	344	308	173	234	301

**Arranque en frío en el BOC de Unidad 1 Ciclo 10 BOC  
CASO 57 BC similar original, CASO 58 BC 95 similar original y 14 1AV  
CASO 59 BC 95 Similar Original, 10 tipo 1AV y 4 tipo 2AV  
CASO 60 BC 95 Similar Original y 14 tipo 2AV**



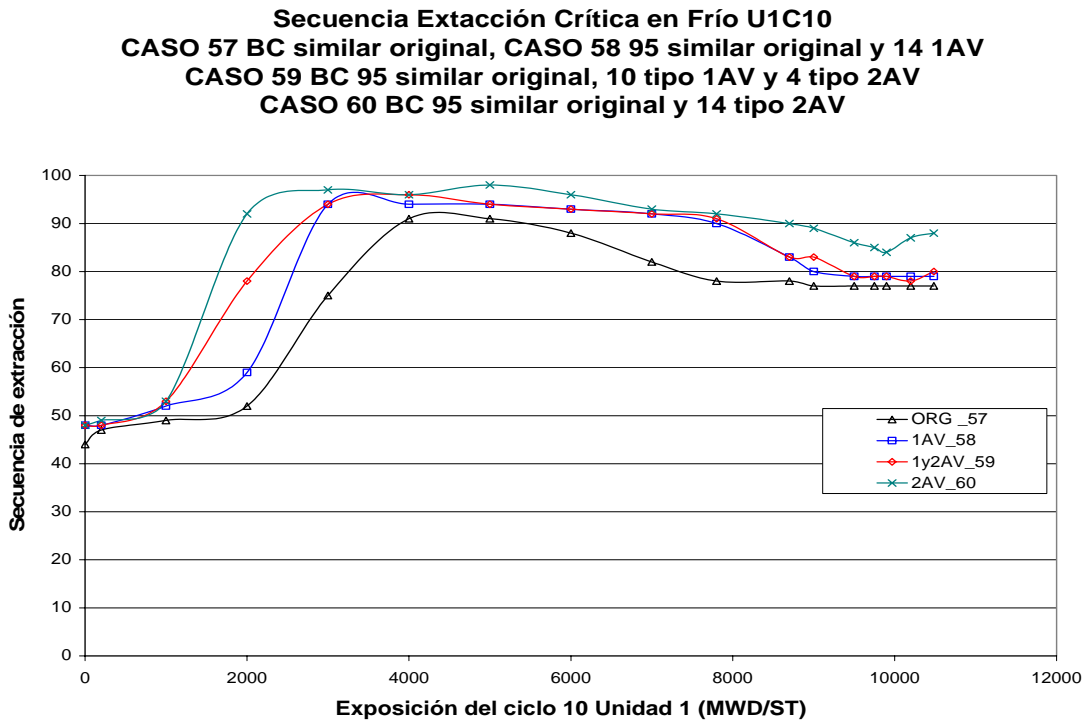
**Figura 2 Curvas de  $K_{eff}$  de aproximación a criticidad en el BOC, calculadas por CM-  
PRESTO para los CASO 57 al 60.**

**Valores Diferenciales de reactividad Arranque en frío U1C10 BOC  
CASO 58 BC 95 Similar original y 14 tipo 1AV  
CASO 59 BC 95 Similar original, 10 tipo 1AV y 4 tipo 2AV  
CASO 60 BC 95 Similar original y 14 tipo 2AV  
Contra CASO 57 BC Similar a Originales**



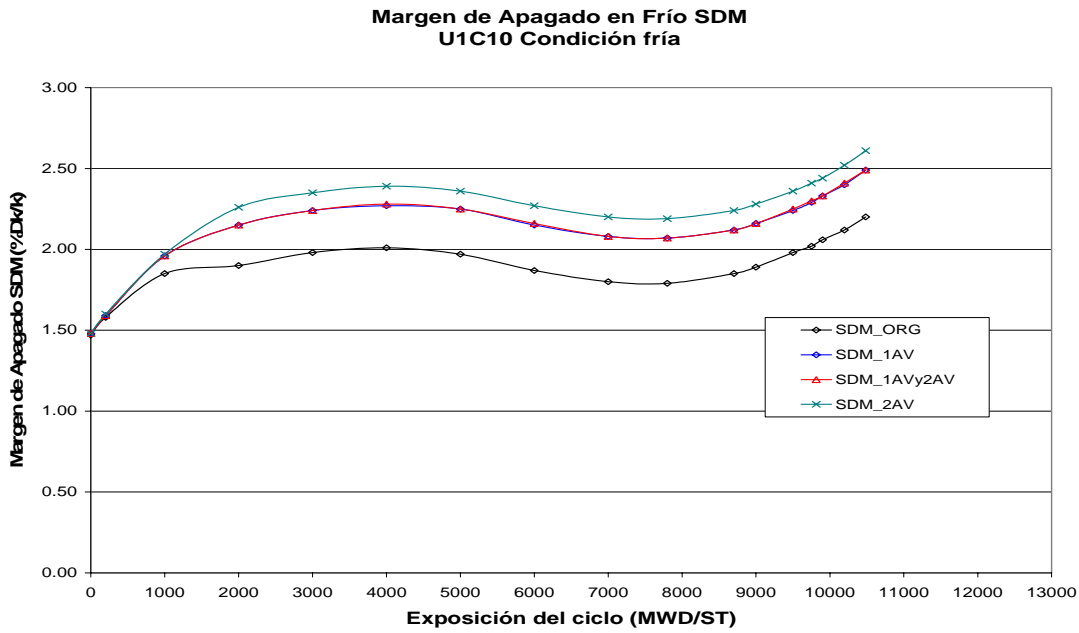
**Figura 3. Diferencia de reactividad en el arranque en frío en el BOC de la U1C10 de los  
CASOS 58, 59 y 60 comparados con caso 57 (sólo Barras de diseño similar al original).**

TABLA II Secuencia de extracción crítica en frío U1C10 de los CASOS 57 al 58						
Quemado del núcleo	Quemado del ciclo		Número de secuencia crítica			
	MWD/MT	MDW/ST	ORG _57	1AV_58	1AVy2AV_59	2AV_60
18927	0	0	44	48	48	48
19141	214	200	47	48	48	49
20002	1075	1000	49	52	53	53
21076	2149	2000	52	59	78	92
22152	3225	3000	75	94	94	97
23231	4304	4000	91	94	96	96
24310	5383	5000	91	94	94	98
25390	6463	6000	88	93	93	96
26472	7545	7000	82	92	92	93
27341	8414	7800	78	90	91	92
28321	9394	8700	78	83	83	90
28649	9722	9000	77	80	83	89
29198	10271	9500	77	79	79	86
29472	10545	9750	77	79	79	85
29636	10709	9900	77	79	79	84
29962	11035	10197	77	79	78	87
30276	11349	10483	77	79	80	88



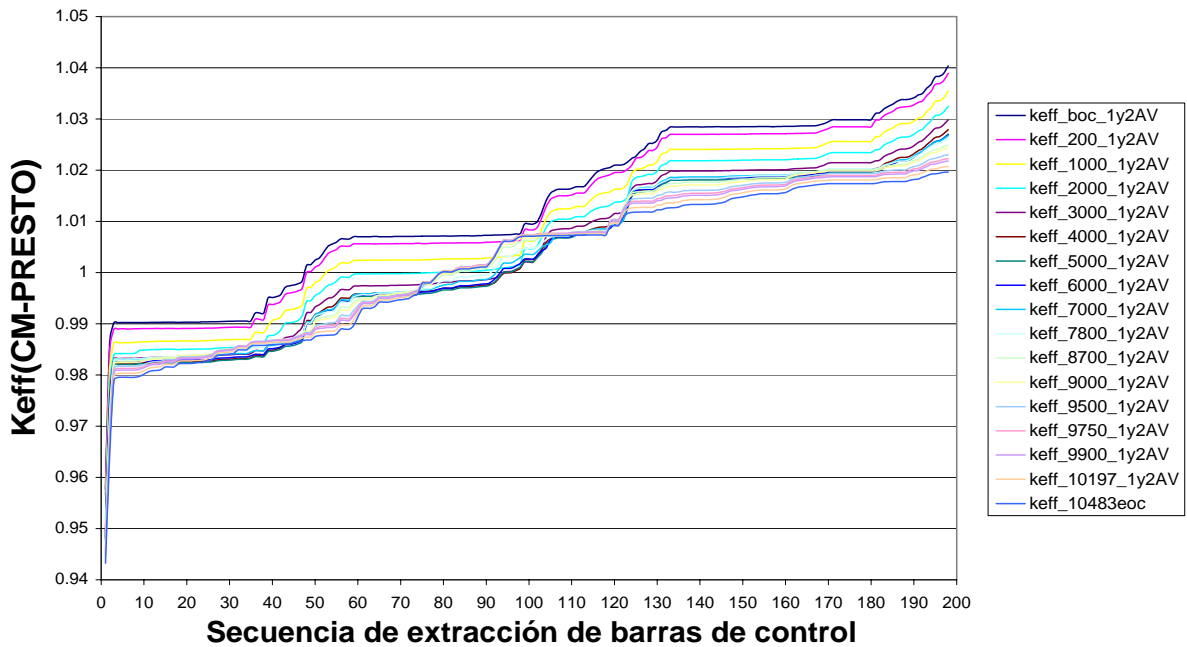
**Figura 4. Secuencia de extracción crítica en frío a través del ciclo 10 de la unidad 1 de los CASOS 57 al 60.**





**Figura 5. Margen de Apagado en Frío (SDM) U1C10 los correspondientes a los CASOS 57 al 60.**

**Arranque en frío U1C10 (110c\_70m.hms) barras de control  
CASO 59, BC 95 similar original, 10 tipo 1AV y 4 tipo 2AV  
diferentes puntos quemado a través ciclo 10 de la Unidad 1**



**Figura 6. Keff Arranque en frío BOC del CASO 59 barras de control 95 similar a originales , 10 tipo 1AV y 4 tipo 2AV a diferentes puntos de exposición del ciclo 10.**

TABLA III. Arranque UIC10 barras de control 95 similar a originales, 10 barras de control tipo 1AV y 4 tipo 2AV (CASO 59)

Sec.	kBOC	keff 200	keff 1000	keff 2000	keff 3000	keff 4000	keff 5000	keff 6000	keff 7000	keff 7800	keff 9000	keff 9900	keff 10197	kEOC 10483
1	0.9576	0.9565	0.9539	0.9516	0.9495	0.9482	0.9477	0.9481	0.9484	0.9482	0.9469	0.9449	0.9441	0.9432
2	0.9864	0.9850	0.9815	0.9784	0.9757	0.9739	0.9728	0.9727	0.9726	0.9722	0.9702	0.9672	0.9659	0.9646
3	0.9902	0.9890	0.9862	0.9840	0.9831	0.9821	0.9820	0.9824	0.9829	0.9830	0.9822	0.9805	0.9798	0.9790
4	0.9902	0.9890	0.9863	0.9842	0.9832	0.9822	0.9821	0.9825	0.9831	0.9831	0.9824	0.9809	0.9803	0.9795
5	0.9903	0.9890	0.9863	0.9842	0.9832	0.9823	0.9821	0.9825	0.9831	0.9831	0.9824	0.9810	0.9803	0.9796
6	0.9903	0.9890	0.9863	0.9842	0.9832	0.9823	0.9821	0.9825	0.9831	0.9831	0.9824	0.9810	0.9803	0.9796
7	0.9902	0.9890	0.9863	0.9842	0.9832	0.9823	0.9821	0.9825	0.9831	0.9831	0.9824	0.9810	0.9803	0.9795
8	0.9903	0.9890	0.9864	0.9842	0.9833	0.9823	0.9821	0.9826	0.9831	0.9832	0.9825	0.9810	0.9803	0.9796
9	0.9902	0.9890	0.9864	0.9848	0.9833	0.9824	0.9822	0.9826	0.9831	0.9832	0.9826	0.9811	0.9805	0.9797
10	0.9903	0.9890	0.9865	0.9849	0.9833	0.9824	0.9822	0.9827	0.9832	0.9833	0.9827	0.9814	0.9808	0.9801
11	0.9903	0.9890	0.9865	0.9849	0.9834	0.9825	0.9822	0.9827	0.9832	0.9834	0.9829	0.9818	0.9812	0.9806
12	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9834	0.9825	0.9823	0.9828	0.9833	0.9835	0.9831	0.9820	0.9815	0.9808
13	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9835	0.9825	0.9823	0.9828	0.9833	0.9835	0.9831	0.9821	0.9815	0.9809
14	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9835	0.9825	0.9823	0.9828	0.9833	0.9835	0.9832	0.9822	0.9816	0.9810
15	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9835	0.9826	0.9824	0.9828	0.9834	0.9836	0.9833	0.9825	0.9821	0.9816
16	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9835	0.9826	0.9824	0.9828	0.9834	0.9836	0.9833	0.9825	0.9821	0.9816
17	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9835	0.9826	0.9824	0.9828	0.9834	0.9835	0.9833	0.9825	0.9821	0.9816
18	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9835	0.9826	0.9824	0.9829	0.9835	0.9837	0.9837	0.9831	0.9827	0.9822
19	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9835	0.9826	0.9825	0.9829	0.9835	0.9837	0.9838	0.9832	0.9828	0.9823
20	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9835	0.9826	0.9825	0.9829	0.9835	0.9837	0.9838	0.9832	0.9828	0.9823
21	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9835	0.9826	0.9825	0.9829	0.9835	0.9837	0.9838	0.9832	0.9828	0.9823
22	0.9903	0.9891	0.9866	0.9850	0.9836	0.9827	0.9824	0.9829	0.9835	0.9838	0.9839	0.9832	0.9828	0.9823
23	0.9903	0.9891	0.9867	0.9851	0.9836	0.9827	0.9825	0.9830	0.9835	0.9838	0.9839	0.9833	0.9829	0.9824
24	0.9904	0.9891	0.9867	0.9851	0.9836	0.9827	0.9825	0.9830	0.9836	0.9838	0.9839	0.9833	0.9830	0.9825
25	0.9904	0.9892	0.9867	0.9851	0.9836	0.9827	0.9825	0.9830	0.9836	0.9839	0.9840	0.9836	0.9832	0.9828
26	0.9904	0.9892	0.9868	0.9851	0.9837	0.9828	0.9826	0.9831	0.9837	0.9840	0.9842	0.9838	0.9835	0.9831
27	0.9904	0.9892	0.9868	0.9852	0.9838	0.9829	0.9828	0.9833	0.9839	0.9843	0.9848	0.9845	0.9842	0.9838
28	0.9904	0.9892	0.9868	0.9853	0.9839	0.9830	0.9828	0.9833	0.9840	0.9844	0.9849	0.9846	0.9843	0.9839
29	0.9905	0.9893	0.9869	0.9853	0.9839	0.9831	0.9829	0.9834	0.9840	0.9845	0.9850	0.9847	0.9844	0.9840
30	0.9905	0.9893	0.9869	0.9854	0.9839	0.9831	0.9829	0.9834	0.9840	0.9845	0.9851	0.9848	0.9845	0.9841
31	0.9905	0.9893	0.9870	0.9854	0.9840	0.9832	0.9830	0.9835	0.9841	0.9846	0.9852	0.9850	0.9847	0.9842
32	0.9905	0.9894	0.9870	0.9854	0.9841	0.9832	0.9831	0.9835	0.9842	0.9848	0.9856	0.9856	0.9853	0.9849
33	0.9905	0.9894	0.9870	0.9854	0.9841	0.9832	0.9831	0.9835	0.9842	0.9848	0.9856	0.9856	0.9853	0.9849
34	0.9905	0.9893	0.9870	0.9854	0.9841	0.9832	0.9831	0.9835	0.9842	0.9848	0.9856	0.9856	0.9853	0.9849
35	0.9906	0.9894	0.9870	0.9855	0.9842	0.9834	0.9833	0.9838	0.9845	0.9852	0.9862	0.9863	0.9860	0.9856
36	0.9921	0.9909	0.9883	0.9864	0.9848	0.9838	0.9836	0.9841	0.9848	0.9854	0.9864	0.9865	0.9862	0.9858
37	0.9921	0.9909	0.9883	0.9864	0.9848	0.9838	0.9836	0.9840	0.9848	0.9854	0.9864	0.9865	0.9862	0.9858
38	0.9921	0.9909	0.9883	0.9864	0.9848	0.9838	0.9836	0.9841	0.9848	0.9854	0.9864	0.9864	0.9862	0.9858
39	0.9950	0.9937	0.9896	0.9876	0.9858	0.9847	0.9845	0.9850	0.9857	0.9860	0.9867	0.9866	0.9863	0.9859
40	0.9951	0.9937	0.9907	0.9877	0.9859	0.9849	0.9846	0.9851	0.9858	0.9861	0.9867	0.9866	0.9864	0.9859
41	0.9953	0.9940	0.9909	0.9880	0.9862	0.9850	0.9848	0.9853	0.9859	0.9862	0.9868	0.9867	0.9864	0.9860
42	0.9958	0.9944	0.9913	0.9888	0.9865	0.9853	0.9851	0.9855	0.9861	0.9863	0.9869	0.9867	0.9864	0.9860
43	0.9971	0.9957	0.9925	0.9901	0.9873	0.9859	0.9856	0.9859	0.9864	0.9866	0.9870	0.9868	0.9864	0.9860

#### 4. CONCLUSIONES

Se presentan a continuación el análisis y conclusiones de la determinación de la aproximación a criticidad en frío UIC10 considerando mezcla de barras de diseño similar al original, con dos diseños diferentes de barras de control avanzadas.

##### **Comparación de los resultados de CM-PRESTO con Barras de Control Avanzado Contra Considerar Solo Barras de Diseño Similar al Original**

Al comparar los valores de keff en el BOC de la aproximación a criticidad en frío entre lo calculado con CM-PRESTO considerando barras de diseño similar al original (ORG) y el caso donde se consideran 14 barras de control avanzada tipo 1AV, siempre la Keff del caso ORG es mayor al calculado para el caso 1AV y en promedio (en valor absoluto) la diferencia es de 173 pcm. Al examinar la Figura 3 se encuentra que esta diferencia de reactividad es aproximadamente constante a través del ciclo y sólo en algunas puntos se levantan picos angostos que no corresponden a la extracción de barras 1AV por lo que la causa de estos picos no es clara.

Se puede estimar que en promedio una barra de control 1AV es;

$$173/14 = 12.1 \text{ pcm/[barra de control]} (0.26 \text{ pcm/muesca promedio})$$

más pesada en frío que la barra de control de diseño similar al original.

Tomando como referencia el caso de sólo barras de diseño similar al original el cambio de reactividad desde la condición ARI (0.96035) al fin de secuencia de extracción de 198 pasos (1.0426) donde se extrajeron en total 52 barras de control se tendrá un valor promedio

$$100000 *(1.0426 - 0.96035)/52 = 158 \text{ pcm/ [barra de control]}$$

Se tendrá un aumento del valor de barra de control en frío de;

$$100*12.1/158 = 7.6\%$$

de la barra tipo 1AV respecto a la barra de control similar a la original.

Al comparar los valores de keff BOC de la aproximación a criticidad en frío entre lo calculado con CM-PRESTO considerando barras de diseño similar al original (ORG) y el caso donde se consideran 14 barras 2AV siempre la Keff del caso ORG es mayor al calculado para el caso 2AV y en promedio absoluto la diferencia es de 301 pcm..

Se puede estimar que en promedio una barra de control 2AV es;

$$301/14 = 21.5 \text{ pcm/[barra de control]} (0.45 \text{ pcm/muesca promedio})$$

más pesada en frío que la barra de control similar al original.

Tomando como referencia el cálculo 158pc/ [barra de control] calculado anteriormente

Se tendrá un aumento del valor de barra de control en frío de;

$$100 * 21.6 / 158 = 13.6\%$$

de la barra tipo 2AV respecto a la barra de control original.

Mientras la barra de control 2AV es del orden del 5% de mayor valor en frío que el tipo 1AV.

### **Paralelismo entre la Curva de Margen de Apagado en frío y la Curva de Secuencia de Extracción Crítica en frío.**

El examen de la figura 6 donde se presenta la aproximación en frío de la Unidad 1 Ciclo 10 obtenidos con CM-PRESTO para el CASO 59 con 95 Barras de Control similar al original, 10 tipo 1AV y 4 tipo 2AV para las diferentes exposiciones en el ciclo se observa que la criticidad se alcanza en pasos de secuencia de extracción de barras mayores al ir aumentando el quemado del ciclo. Este comportamiento es en lo general congruente con lo encontrado en el estudio del margen de apagado en frío como se puede observar en la ver figura 5. Esto se puede confirma al compararla con la figura 4 donde se presenta la secuencia de extracción crítica en frío a través del ciclo 10 de la unidad 1 para los CASOS 57 al 60 donde se aprecia cierto paralelismo que hace posible inferir que al transcurrir un ciclo:

**A mayor(menor) margen de apagado corresponde una secuencia de extracción crítica mayor (menor).**

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos el soporte por parte del DGC/CFE para la realización del presente trabajo.

### **REFERENCIAS**

1. Torres C. “Especificación Técnica “Desarrollar la metodología de modelación estática (con el código CMPRESTO) del núcleo (ciclo 6 U2, ciclo 10 U1) con mezcla de barras de control de similar a original, y avanzadas”, Archivo word otiininCABB\_26mayo03.doc.
2. “User Manual CM-PRESTO 91 Input Rev.6”; Scandpower, July 1993.
3. Información proporcionada por la CLV, Octubre 2002
4. Perusquía R., Ramírez J.R., Ortiz J.J., Hernández J.L., Montes J.L., ” Reporte del análisis resultados sexta etapa unidad 1 ciclo 10 barras de diseño similar al original, y avanzados”, IT-GCA/DSN-015/03, Noviembre de 2003.