

04.85.07  
(08.85.00)

EXPERIENCIA OPERATIVA DEL SISTEMA DE LOCALIZACION DE  
COMBUSTIBLE FALLADO EN LA CENTRAL NUCLEAR EN EMBALSE

CASTILLO, Daniel - MOSQUERA, Máximo - VÍNEZ, Juan C. -

Central Nuclear Embalse, C.N.E.A.

Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1985

INTRODUCCION

La contaminación radioactiva del sistema primario de una Central Nuclear es una de las causas más importantes de las dosis de radiación recibidas por su personal.

Con el objeto de no permitir el aumento de estas dosis, es esencial retirar del reactor los combustibles que presenten fallas.

Esta tarea es cumplida en CNE por la conjunción de dos sistemas. El sistema de detección de combustible fallado indica la existencia de combustible defectuoso en alguno de los dos lazos del circuito primario. El sistema de localización tiene como objetivo de diseño determinar el canal que contiene el combustible fallado, e identificar una pareja de elementos combustibles que incluya al fallado.

Descripción y Funcionamiento del Sistema

El sistema funciona monitoreando la actividad neutrónica en muestras continuas de agua provenientes de los 380 canales de combustible del reactor. Una actividad alta se debe fundamentalmente a la presencia en el refrigerante de productos de fisión precursores de neutrones retardados. El más importante es Br87 con una vida media de 56 segundos.

Los tubos de muestreo que traen las muestras continuas desde cada canal del reactor hasta los recintos en los que se monitorea su actividad han sido cuidadosamente calculados y montados, tanto en diámetro como en longitud. El agua circula por ellos desde la salida del reactor hasta la succión de las bombas del primario, impulsada por la diferencia de presión de las mismas. El objetivo del cuidadoso cálculo y montaje es que el tiempo de retardo desde el reactor hasta el recinto sea igual para todos los canales, para tener un mismo conteo de base y permitir el decaimiento de los fotoneutrones cuya presencia empeora la relación señal/fondo.

En cada recinto, cada tubo se enrolla en forma de bobina. Los dos conjuntos de bobinas (190 en cada recinto) se agrupan en forma de una matriz tridimensional sumergida en un tanque moderador de agua liviana.

Para que la medición de la actividad neutrónica del agua que circula por cada bobina no sea afectada por las bobinas adyacentes, se ha establecido la condición de que al medir cada bobina no esté circulando agua por las adyacentes.

Esta condición divide a la matriz de bobinas en cuatro subconjuntos (dos por cada lazo del circuito primario), que deben ser monitoreados de a uno por vez. Este objetivo es cumplido por un juego de cuatro válvulas para cada recinto con un enclavamiento que sólo permite tener abierta una por vez.

Para realizar la medición de las bobinas, cada tanque tiene un carro provisto de seis detectores de BF3 que puede deslizarse sobre él.

Los detectores penden de roldanas, y el proceso de medición de seis bobinas simultáneamente ocurre como sigue: El carro se ubica en la posición adecuada, e introduce un perno de enclavamiento para verificar el buen posicionamiento. A continuación comienza a desenrollar los detectores, que descienden introduciéndose en las bobinas que se van a medir. Cuando los detectores han alcanzado sus posiciones finales, se inicia un período de conteo durante el cual se activa la electrónica nuclear de todos los detectores, consistente en sendos preamplificadores, amplificadores, discriminadores y contadores.

Cumplido el tiempo de conteo establecido, el carro vuelve a retirar hacia arriba los detectores y extrae el perno de enclavamiento. Los contajes alcanzados por cada detector son impresos en una impresora de línea.

Esta operación se repite en ocho posiciones consecutivas a lo largo del tanque moderador. De este modo son monitoreadas todas las bobinas de uno de los cuatro subconjuntos en que está dividido la matriz de bobinas.

A continuación se selecciona otro subconjunto, abriendo su válvula correspondiente y cerrando la anterior, y el carro repite su pasada sobre el tanque.

De este modo, en cuatro pasadas, el sistema monitorea las bobinas de muestra de todos los canales de combustible del reactor, lo que se denomina un rastreo.

Es importante señalar además que el sistema cuenta con un conjunto de enclavamientos de seguridad que impiden la realización de cada una de las operaciones antes descritas hasta verificar el cumplimiento de la anterior. Los enclavamientos son obtenidos mediante una compleja lógica de relés, y posibilitan el funcionamiento automático del sistema, sin ser necesaria la presencia de un operador. Tal operación automática se alcanza mediante una computadora digital, que acciona y controla los diversos equipos por medio de un multiprogramador y una serie de interfases.

Este proceso puede llevarse a cabo también en forma manual, comandando manualmente cada una de las operaciones descritas.

Para el caso en que no se desea un rastreo completo, sino que se monitorea la descarga de un canal para identificar la pareja de combustibles donde está el fallado, existe un modo de operación semiautomático que posiciona apropiadamente los detectores.

Operando en modo automático, un rastreo completo toma entre dos y tres horas, dependiendo del período de conteo seleccionado.

### Presentación y Análisis de los Resultados Operativos Obtenidos

El sistema fue puesto en operación durante la etapa previa a la puesta en marcha del reactor. Durante la etapa de aumento progresivo de la potencia del reactor, se realizaron rastreos a nueve potencias intermedias entre cero y 100% (10, 18, 40, 50, 63, 72, 85, 90, 100%).

Para cada rastreo, los contajes presentaban una distribución típica como la que se muestra en la figura 1. Se observa que la gran mayoría de los canales se agrupa entre aproximadamente 70% y 130% del contaje promedio.

Algunos canales están claramente apartados hacia abajo de la campana, lo que indica un tiempo de retardo mayor que el de diseño. Esto podría deberse a que sus tubos de muestreo estuvieron parcialmente obstruidos, o a un defecto en el diseño.

Para eliminar la primera alternativa, los tubos de muestreo correspondientes fueron cortados y desbloqueados durante la parada de octubre '83.

Se observa también en la misma figura que algunos canales presentan contajes marcadamente superiores a los de la campana. Estos fueron los primeros canales que se empezaron a seguir con atención como sospechosos de contener combustible fallado.

Para facilitar su estudio se definió el cociente de discriminación como la relación entre el contaje de cada canal y el contaje promedio.

Este promedio se calcula a su vez tomando en cuenta sólo los canales que se agrupan en la campana y descartando los que están claramente fuera de ella.

En la figura 2 se muestran los canales que tuvieron cocientes de discriminación mayor que 1,3 para todos los rastreos realizados durante el aumento de potencia.

El criterio de identificación de fallas provisto por el diseñador, dice que un canal contendría combustible fallado cuando su contaje supera el 130% del promedio.

Si todos los canales tuvieran realmente el mismo contaje, el criterio podría ser consistente, pero en vista de las distribuciones de contaje encontradas, se lo ha puesto en tela de juicio. En efecto, para canales que presentan usualmente contajes altos, este criterio indicaría falla ante pequeños aumentos de contajes, y para canales con contajes bajos, sería necesario un gran aumento para llegar a indicar falla.

Por otra parte, dicho criterio indicó continuamente como fallados a 5 canales, mientras que el sistema de detección no indicaba fallas.

Se comenzó entonces a investigar otro posible criterio de detección de fallas que fuera independiente de los valores absolutos de los cocientes de discriminación. Este criterio consiste en observar la evolución del cociente de discriminación de cada canal a lo largo de los diferentes rastreos.

Tal tratamiento permite hacer un seguimiento "anticipativo" del comportamiento del contaje de cada canal, detectando canales que estén progresando hacia regiones de alto con\*

Con objeto de materializar el criterio se define el coeficiente histórico de cada canal como la relación entre el cociente de discriminación de cada canal y su valor promedio en los rastreos anteriores.

En la figura 3 se observan los canales que han presentado un coeficiente histórico mayor que 1.1 en el primer rastreo al 100%.

Para realizar estos análisis se ha desarrollado un sistema de tratamiento de datos fuera de línea. Las figuras 4, 5 y 6 muestran una salida típica del programa de análisis de datos, representando con la forma de la matriz de canales de combustible los contajes, cocientes de discriminación y coeficientes históricos del rastreo.

Este aprovechamiento de la experiencia operativa del sistema ha otorgado una comprensión de su comportamiento de suficiente profundidad como para iniciar un trabajo interactivo con el diseñador. Esta interacción tiene por objeto la definición de criterios de falla que se adecuen al verdadero comportamiento que el sistema está presentando.

La flexibilidad de las herramientas de análisis que se han desarrollado permitirá (como se hizo con los criterios originales) determinar la bondad de los criterios de falla que pueden ser propuestos.

La sensibilidad que se ha observado en el sistema permite suponer que el sistema es capaz de cumplir su objetivo de diseño. En otras palabras, es capaz de señalar el canal que presente una falla detectada por el sistema de detección de combustibles fallados, y a continuación ubicar durante la descarga del canal, la pareja de elementos combustibles que contenga al fallado.

Se ha tenido una confirmación de esto durante la prueba de recambio de combustible que se realizó al llegar al 100% de potencia.

Un canal sería descargado y sus elementos combustibles cargados en otro canal. Los combustibles de este último irían a pileta.

Se eligió para descargar el primero en la lista de sospechosos: el F-17, que en el último rastreo había presentado un cociente discriminación de 2.85.

Al descargar la segunda pareja de combustibles de este canal, el conteo bajó abruptamente, para estabilizarse finalmente en un cociente de discriminación de 1,16.

En el canal Q4, que recibió esos combustibles, el conteo aumentó significativamente al entrar esa misma pareja en la región de flujo neutrónico. Su cociente de discriminación pasó de 0,32 a 0,82.

La experiencia operativa acumulada hasta el momento hace aparecer como muy probable la capacidad del sistema de reemplazar inclusive al sistema de detección de combustibles fallados, si este quedara indisponible. Para esto sería necesario aumentar la frecuencia de rastreos de uno por semana a tres o cuatro.

Los conteos obtenidos en todos los rastreos se van registrando en cinta magnética. Esto permite disponer en todo momento de toda la información para someterla a diferentes tratamientos que se vayan ideando, o que resulten convenientes en base a la información que se desee obtener.

### Conclusiones

Si bien el criterio de falla está en proceso de elaboración, la sensibilidad observada en el sistema permite suponer que será capaz de cumplir con su objetivo de diseño.

Es de hacer notar la capacidad del sistema de reemplazar al sistema de detección de combustibles fallados.

El sistema proveerá valiosa información para evaluar el comportamiento del combustible de la C.N.E. y permitirá un seguimiento detallado de los elementos combustibles nacionales que se introduzcan en el reactor. Se concluye que este sistema proveerá una valiosa información en los aspectos del diseño.

Resulta muy importante puntualizar la experiencia adquirida en las etapas de montaje, puesta en marcha y operación, que fueron lideradas por el personal de C.N.E.A., destacándose la magnitud y la importancia del trabajo en equipo que permitirá asumir responsabilidades similares en proyectos futuros.

SFS.

CONDICIONES HISTÓRICAS

Relación entre el cociente de discriminación de cada canal y su promedio histórico.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
A								1.01	1.05	1.01	1.00	0.95	0.95											
B					1.07	*0.70*	1.51**	1.23*	1.01	1.02	0.95	1.01	0.94	*1.14**	0.66*	0.94								
C				0.99	0.95	0.94	0.99	1.02	1.00	1.01	0.98	1.02	*0.82**	0.86*	1.00	1.01								
D			0.99	0.99	1.09	1.02	*0.86*	1.07	1.02	1.01	0.97	0.97	1.02	*0.85**	0.86*	0.99	0.97	1.02						
E		0.93	1.03	1.00	1.02	1.05	1.02	1.07	1.03	1.03	0.95	0.94	0.99	0.97	0.99	0.97	0.99	0.97	0.99	0.97	0.93			
F		0.99	1.01	1.03	1.01	1.03	1.01	1.05	1.02	1.07	0.99	0.97	1.00	1.01	0.95	1.02	0.95	1.02	0.95	0.96	0.98			
G	1.06	1.02	1.03	1.05	1.02	1.04	1.03	0.99	1.03	0.99	1.03	1.01	0.96	0.92	1.01	0.92	0.94	0.96	0.99	1.04	0.96	0.94		
H	0.99	1.00	1.02	1.04	1.00	0.99	1.09	1.09	1.02	1.02	1.02	1.02	0.99	0.94	1.01	*0.93*	0.95	1.01	1.01	1.05	0.91	0.92		
J	1.04	1.01	1.01	1.04	1.01	1.04	0.93	1.02	1.05	1.01	1.03	0.94	0.94	0.97	0.99	0.96	1.04	1.01	1.02	0.97	1.01	0.97		
K	1.01	1.07	1.00	1.04	1.07	1.03	1.03	1.05	1.00	0.98	1.07	0.98	0.98	1.02	1.00	0.96	1.00	1.02	1.03	0.99	1.00	0.95		
L	1.05	1.03	0.99	1.01	1.02	1.01	1.10	1.07	1.02	0.96	1.04	0.97	0.98	0.99	0.92	0.98	0.95	0.95	0.95	0.95	1.02	1.01	0.99	
M	1.01	1.03	*1.12*	1.08	1.09	1.06	0.98	1.06	1.01	1.00	1.04	1.02	1.01	0.98	0.99	1.02	0.96	1.01	1.02	0.94	0.97	0.97	1.06	
N	1.03	1.00	1.03	1.01	1.09	1.07	*0.37*	1.04	1.00	1.04	1.01	0.97	1.01	0.94	0.97	0.97	1.02	0.94	0.95	1.01	0.96	0.93		
O	0.99	1.02	1.03	1.02	1.02	1.03	1.04	0.98	*1.55*	1.01	1.02	0.98	1.03	0.97	0.98	1.01	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.92	
P	1.01	1.04	0.98	1.05	1.05	0.94	1.05	1.02	0.95	1.02	*1.45*	0.94	1.00	1.00	0.99	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	1.01	0.96	0.93	
Q	*0.90**	0.29**	*0.76*	0.92	1.02	1.03	1.03	1.05	1.05	1.02	0.98	0.98	0.97	0.93	0.99	0.98	0.96	0.92	*0.31**	0.52*	0.90			
R	*0.23**	0.80*	0.95	0.96	0.96	1.01	1.05	1.00	0.98	0.98	0.97	0.96	1.04	1.01	1.03	1.00	0.97	*0.33**	0.66*					
S	0.91	1.03	1.01	1.08	1.01	1.04	1.01	1.04	1.03	1.06	1.01	0.99	0.97	0.94	1.00	0.95	0.95	0.99	1.02	1.02				
T		1.03	1.03	0.97	1.02	1.01	1.00	1.06	1.05	1.04	0.98	0.98	0.97	0.96	1.00	0.97	1.01	0.97	1.01	0.97				
U			1.00	1.08	0.97	1.06	1.02	1.00	1.03	1.00	0.99	1.00	0.99	0.99	1.02	0.94	0.95	0.95						
V			1.01	1.03	1.01	1.04	1.03	1.03	1.04	1.03	1.01	0.98	1.01	0.95	0.98	1.03	0.96							
W											0.97	1.01	1.01	0.94	0.97	0.96								

\* \* indica valores fuera del intervalo [ 0,9 , 1,1 ]

SOCIEDES DE DISCRIMINACION

Relacion entre el conteaje de cada canal y el proveido.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
A									0.82	1.90	0.38	0.77	0.76	0.71									
B						0.81	*0.13**0.17**2.36*	1.91	0.75	0.81	0.99	0.36	*0.19**0.15* 0.96										
C				0.76	0.97	*0.47**0.51* 0.92	1.24	1.04	1.06	1.16	0.93	*0.40**0.40* 1.00	0.90										
D			0.86	1.05	0.97	*0.48**0.55* 1.08	1.03	1.12	1.09	0.89	1.12	*0.59**0.38* 0.94	0.97	0.90									
E		1.08	0.93	0.87	0.55	1.07	1.01	1.03	1.00	1.05	0.91	1.06	1.20	1.01	1.06	1.10	0.97	0.89	0.94				
F		0.91	0.84	1.05	0.94	1.16	1.00	0.95	1.10	1.20	1.24	0.99	1.12	1.14	*1.35**2.85* 1.11	0.95	1.06						
G		1.03	1.16	0.92	1.02	1.10	0.98	1.02	1.07	1.10	0.99	0.99	1.13	0.88	0.99	1.26	1.22	0.92	0.94	0.90			
H		0.91	0.72	1.02	1.10	1.10	0.97	*1.36* 0.96	0.99	1.09	1.27	1.18	1.10	1.23	*0.08* 1.28	1.12	1.11	0.85	0.80				
J	0.85	1.01	1.03	1.21	1.00	0.96	1.00	0.96	0.98	1.91	1.01	0.92	1.03	0.94	0.98	1.03	1.24	1.14	1.25	1.07	0.93	0.91	
K	0.80	1.03	1.05	1.14	1.09	1.17	1.05	0.99	0.94	0.93	0.98	1.14	1.04	1.12	1.00	1.14	1.21	1.24	*1.32* 1.03	1.04	0.77		
L	1.02	0.97	1.21	1.27	1.00	0.94	1.02	1.04	0.99	1.89	0.95	1.20	1.22	0.95	0.95	0.97	1.15	1.17	1.20	1.14	1.06	0.97	
M	0.93	1.19	1.18	*1.30* 1.09	1.13	0.93	1.04	0.95	1.04	0.95	0.89	1.18	1.11	1.09	1.12	1.12	1.90	1.15	1.15	1.19	0.83	1.12	
N	1.02	0.34	1.29	0.97	1.15	1.09	1.08	*0.18* 1.14	1.00	1.00	0.76	0.92	1.13	0.91	1.19	1.17	1.17	0.97	*1.37* 1.27	0.92	1.00		
O	1.04	0.96	0.99	1.15	1.09	1.09	1.08	1.02	*1.67* 1.05	0.86	1.12	*1.31* 1.10	1.01	1.01	1.17	1.04	1.11	1.18	1.18	0.98	0.91		
P	*0.67*	1.09	0.93	1.16	0.83	1.08	0.83	1.08	0.83	1.06	1.83	*1.94* 0.95	0.99	1.15	1.17	*1.68* 1.05	1.26	1.10	0.98	0.83			
Q	*0.43**0.03**0.32**0.44*	1.05	0.97	0.92	0.86	1.03	0.84	1.10	1.14	1.07	0.99	1.22	1.12	*0.55**0.35**0.03**0.65*									
R	*0.03**0.35**0.50* 0.86	0.92	0.89	1.02	0.88	0.93	0.99	1.02	1.12	1.15	1.22	1.14	0.81	*0.50**0.11*									
S	*1.98* 0.86	0.96	0.95	0.77	1.00	1.00	1.94	0.82	0.98	1.15	1.12	1.05	0.91	0.89	0.97	0.86	1.02						
T		0.71	0.80	0.75	0.89	0.95	0.89	0.95	0.98	1.05	1.01	0.83	1.03	0.97	1.05	0.97	0.84						
U		0.96	0.87	0.70	0.93	0.86	1.03	0.71	0.87	0.92	1.05	0.98	0.89	0.91	0.90								
V		0.79	0.93	0.71	0.76	0.89	0.80	0.74	0.97	0.74	0.93	0.84	0.74										
W						*0.68*	0.86	0.84	0.77	0.90	0.92												

\* \* indica valores fuera del intervalo [ 0,7 , 1,3 ]

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS  
 SISTEMA DE LOCALIZACIÓN DE INDUSTRIAS FALLADAS

CONTAR DE CADA UNO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
A									1790	1993	1932	1707	1671	1555									
B						1794	* 274**	370**5197*	2006	1646	1757	2175	1900	* 493**	341*	2111							
C					1677	2131	*1047**1126*	2034	2733	2269	2331	2548	2052	* 893**	878*	2215	1773						
D				1892	2316	2133	*1067**1223*	2396	2373	2491	2411	1957	2468	*1304**	844*	2073	2137	1988					
E			2382	2043	1929	2094	2363	2218	2262	2203	2322	1936	2327	2654	2223	2345	2424	2146	1952	2062			
F			2014	1845	2315	2066	2356	2202	2165	2430	2424	2332	2175	2476	2510	*2979**	6205*	2233	2096	2344			
G		2278	2555	2035	2251	2427	2606	2168	2251	2142	2424	2130	2185	2491	1950	2176	2777	2468	2031	1857	1987		
H		2002	1577	2258	2424	2434	2145	*2991*	2127	2185	2397	2792	2607	2434	2795	* 169*	2828	2460	2439	1878	1760		
J	1872	2235	2251	2675	2211	2124	2202	2115	2172	2002	2236	2331	2264	2071	2160	2273	2732	2524	2756	2350	2053	2098	
K	1756	2282	2321	2517	2393	2535	2317	2180	2053	2055	2162	2508	2295	2465	2200	2524	2672	2740	*2993*	2275	2295	1688	
L	2255	2142	2652	2994	2386	2073	2256	2265	2175	1960	2097	2642	2688	2102	2091	2137	2527	2595	2639	2515	2341	2150	
M	2180	2624	2594	*2371*	2405	2486	2052	2260	2092	2093	1972	2597	2444	2396	2476	2480	2196	2538	2544	2634	1833	2475	
N	2404	1445	2441	2138	2532	2565	* 394*	2514	2202	2195	1670	2024	2491	2010	2623	2573	2576	2124	*3923*	2734	2037	2214	
O	2303	2112	2193	2539	2399	2407	2392	2253	*3693*	2321	1905	2475	*2996*	2135	2222	2577	2239	2438	2599	2603	2152	2013	
P		*1431*	2412	2057	2565	1831	2393	1942	2339	1838	*4277*	2110	2184	2535	2598	*3713*	2321	2787	2429	2154	1925		
Q		* 956**	77**	794**	981*	2309	2141	2333	1906	2276	1863	2415	2505	2357	2179	2698	2450	*1431**	776**	178**	1431*		
R			* 57**	753**	1120*	1904	2032	1970	2250	1847	2954	2131	2239	2467	2532	2647	2510	1793	*1101**	246*			
S			*226**	1893	2123	2030	1702	2247	2207	2074	1817	2160	2539	2451	2310	1990	1969	2140	1390	2245			
T			1571	1765	1650	1857	1985	1972	2088	2153	2324	2236	1934	2277	2138	2217	2147	1956					
U			2113	1912	1517	2051	1906	2277	1572	1494	2033	2310	2171	1969	2609	1773							
V				1740	2084	1576	1666	1757	1637	2139	1635	1922	1947	1629									
X											*1462*	1399	1942	1995	1809								

NOTA: \* 100 % \* indica valores fuera del intervalo [4544 , 2867]

SISTEMA DE LOCALIZACION DE  
COMBUSTIBLE FALLADO

DISTRIBUCION DE CONTAJES

POTENCIA REACTOR : 40%

TEMPO DE CONTEO : 3 min.

FECHA: 20/6/83

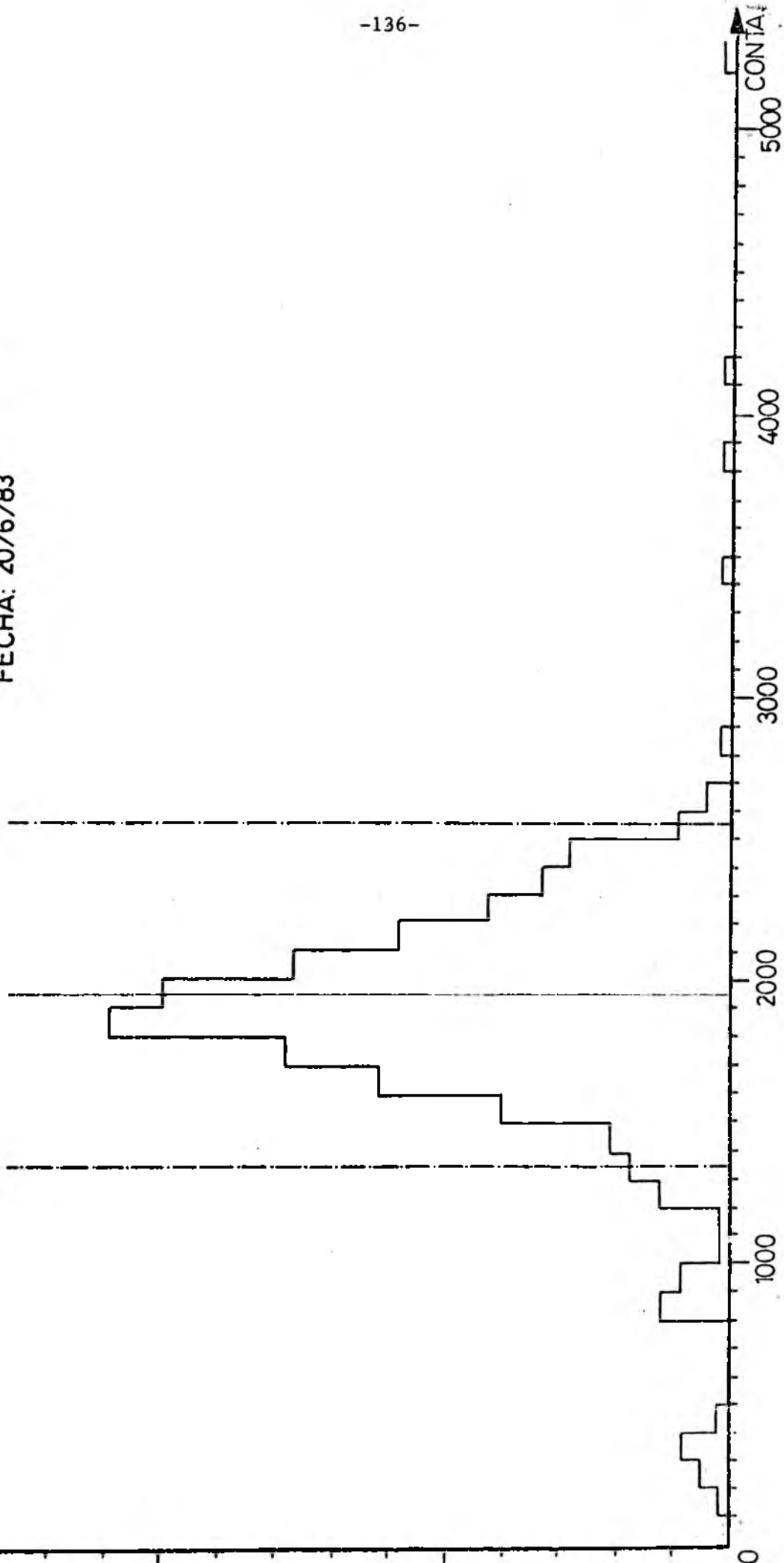
75  
NUMERO  
DE CANALES

75

50

25

0



CANALES CON ALTO COCIENTE DE DISCRIMINACION

POTENCIA	CANAL				
	B9	F17	N19	P16	S3
10%	2.59	3.22	1.32	1.71	2.59
18%	2.48	2.87	1.43	1.80	2.31
25%	2.16	2.63	1.42	1.67	2.13
40%	1.98	2.69	1.38	1.77	2.14
50%	1.50	3.00	1.42	1.82	2.07
63%	1.56	2.84	1.45	1.72	1.88
72%	1.91	2.53	1.41	1.74	2.01
85	1.99	2.56	1.45	1.71	1.95
100%	2.36	2.85	1.37	1.68	1.98

Figura 2

CANALES CON ALTO COEFICIENTE HISTORICO AL 100% P.P.

CANAL	PROMEDIO DE LOS COCIENTES DE DISCRIMINACION DE LAS POTENCIAS ANTERIORES A LA DE 100% P.P.	COCIENTE DE DISCRIMINACION AL 100% P.P.
B8	0.11	0.17
B9	2.09	2.36
B15	0.15	0.18
M3	1.05	1.18
P11	1.31	1.94
09	1.08	1.67

Figura 3