

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
MATEMÁTICA
ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA



**“CÁLCULO DEL FACTOR PICO AXIAL Y VALOR
MEDIO DEL FLUJO NEUTRÓNICO DE UN
ELEMENTO COMBUSTIBLE DEL REACTOR RP-10”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
LICENCIADO EN FÍSICA**

VIERA CASTLLO, VICTOR MANUEL

Callao, 2019

PERÚ

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

"CALCULO DEL FACTOR PICO AXIAL Y VALOR MEDIO DEL FLUJO NEUTRONICO DE UN ELEMENTO COMBUSTIBLE DEL REACTOR RP-10"

Victor Manuel Viera Castillo

Tesis presentada a consideración del Cuerpo Docente de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la Universidad Nacional del Callao, como parte de los requisitos para obtener el título profesional de Licenciado en Física. Aprobado por:



Presidente

Mg. MENDEZ VELASQUEZ, Juan Abraham



Vocal

Mg. GODIER AMBURGO, Jorge Luis




Secretario

Mg. LÉVANO HUAMACCTO, Carlos Alberto



Dr. WALTER FLORES VEGA

Asesor



Dr. AGUSTIN ZUÑIGA GAMARRA

Co-asesor

Callao – Perú
Junio - 2019

DEDICATORIA

A mi madre Mirtha Castillo Velásquez y a mi padre Víctor Viera Peña, por todo el esfuerzo y apoyo emocional brindado, que sirvió para poder ser un buen profesional.

A mi hermano Cristian Viera Castillo, por todos los consejos brindados para seguir adelante y no desvanecerme, asimismo por la incesante preocupación en mi persona para no rendirme en el proceso.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por darme las fuerzas necesarias para llegar hasta el final de mi carrera con mucho éxito.

A mis padres y hermano por brindarme el apoyo incondicional para poder cumplir todo lo que me he propuesto a lo largo de mi vida y no dejarme derrumbar por problemas que siempre se presentaron a lo largo de este periodo.

A mis asesores por su compromiso, su dedicación y su paciencia para asistirme en el desarrollo de mi trabajo de investigación.

A mi amigo Javier Quispe por brindarme sus conocimientos y paciencia siempre cuando lo requería para cualquier duda o revisión, y más que todo brindarme su amistad para los momentos más complicados de mi trabajo de investigación.

Y también a todos los compañeros del grupo de Calibración y Seguridad Nuclear que participaron a lo largo de esta travesía, con sus enseñanzas, conocimientos brindados y a la vez por el apoyo otorgado para poder llegar hasta donde estoy ahora.

INDICE

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN ...	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
INDICE	6
RELACIÓN DE FIGURAS	9
RELACIÓN DE TABLAS Y CUADROS	16
RESUMEN	18
ABSTRACT	19
INTRODUCCIÓN	20
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	22
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	23
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	23
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	24
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	24
1.4 LIMITANTES DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.4.1 TEÓRICO	24
1.4.2 TEMPORAL.....	24
1.4.3 ESPACIAL.....	25
II. MARCO	26
2.1 ANTECEDENTES	26
2.2 MARCO TEÓRICO	29
2.2.1 REACTOR NUCLEAR DE INVESTIGACIÓN	29
2.2.2 LA FISIÓN NUCLEAR	31
2.2.3 NEUTRÓNICA	32
2.2.4 FUENTE DE NEUTRONES	36
2.2.5 REACCIÓN EN CADENA.....	38
2.2.6 CRITICIDAD	44
2.2.7 FLUJO NEUTRÓNICO	48
2.2.8 SECCIÓN EFICAZ.....	49
2.2.9 MÉTODO DE ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA	50
2.2.10 ESPECTRO DEL FLUJO NEUTRÓNICO.....	55

2.2.11 SISTEMAS DE DETECCIÓN.....	60
2.2.12 MÉTODO WESTCOTT.....	62
2.2.13 CALCULO DE ERRORES	65
2.2.14 FACTOR PICO AXIAL	68
2.2.15 POTENCIA NEUTRÓNICA	68
2.2.16 CÓDIGO SERPENT.....	70
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	77
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	80
3.1 HIPÓTESIS.....	80
3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	80
IV. METODOLOGÍA.....	82
4.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	82
4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	83
4.2.1 POBLACIÓN.....	83
4.2.2 MUESTRA.....	83
4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCION DE LA INFORMACION DOCUMENTAL.....	83
4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO.....	83
4.4.1 MÉTODOS Y/O TÉCNICAS	84
4.4.2 INSTRUMENTOS Y MATERIALES	95
4.5 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	104
4.5.1 ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA	104
4.5.2 FLUJOS NEUTRONICOS – INDICADORES TIPO HOJUELA	105
4.5.3 FLUJOS NEUTRONICOS – INDICADORES TIPO ALAMBRE	112
4.5.4 PROCESAMIENTO EXPERIMENTAL.....	124
V. RESULTADOS.....	133
5.1 RESULTADOS DESCRIPTIVOS	133
5.1.1 PERFIL DEL FLUJO TÉRMICO - EXPERIMENTAL	133
5.1.2 FLUJOS NEUTRONICOS – CÁLCULO SERPENT	135
5.2 RESULTADOS INFERENCIALES.....	141
5.2.1 FLUJOS NEUTRONICOS.....	141
5.2.2 MAPEO DE FLUJOS NEUTRONICOS DEL NÚCLEO 46	147
5.2.3 FACTOR PICO AXIAL NEUTRONICO	165
5.3 RESULTADOS DE ACUERDO A LA NATURALEZA DEL PROBLEMA Y LA HIPÓTESIS.....	166
5.3.1 RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DEL GeHP:	167
5.3.2 TIEMPO DEL PROCEDIMIENTO:	168
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	171

6.1 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	171
6.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS CON ESTUDIOS SIMILARES	172
6.3 RESPONSABILIDAD ÉTICA	174
CONCLUSIONES.....	174
RECOMENDACIONES	176
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	178
ANEXO A.....	180
ANEXO B.....	182
ANEXO C.....	191

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura N° 2.1	
REACTOR DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE ISÓTOPOS	29
Figura N° 2.2	
REACTOR DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR	30
Figura N° 2.3	
EVOLUCIÓN DE LA FISIÓN NUCLEAR DE UN NUCLEÍDO FISIONABLE.....	31
Figura N° 2.4	
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE NEUTRONES INSTANTÁNEOS.....	33
Figura N° 2.5	
TIPOLOGÍA DE FRACCIÓN EFECTIVA.....	35
Figura N° 2.6	
SECCIÓN EFICAZ NEUTRÓNICA POR FISIÓN DE URANIO Y PLUTONIO.....	37
Figura N° 2.7	
GRÁFICO DE CANTIDAD DE NEUTRONES ES SUBCRÍTICO SIN FUENTE DE NEUTRONES ...	46
Figura N° 2.8	
GRÁFICO DE CANTIDAD DE NEUTRONES ES CRÍTICO CON FUENTE DE NEUTRONES.....	47
Figura N° 2.9	
GRÁFICO DE FRACCIÓN DE ACTIVIDAD DE SATURACIÓN VS TIEMPO EN PERIODOS.....	52
Figura N° 2.10	
GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE FLUJO NEUTRÓNICO SEGÚN SU ENERGÍA	56
Figura N° 2.11	
GRÁFICO DE EFECTO PRODUCCIÓN DE PARES	61
Figura N° 2.12	
GRÁFICO DE EFECTO FOTOELECTRICO	61
Figura N° 4.1	
ESTRUCTURA DEL SOFTWARE GENIE	84
Figura N° 4.2	
GEOMETRÍA DEL DETECTOR – VENTANA DEL TIEMPO DE MEDICIÓN	89
Figura N° 4.3	
GRAFICA DE CALIBRACIÓN, CANAL VS ENERGÍA	89

Figura N° 4.4	
GRAFICA DE CALIBRACIÓN, EFICIENCIA VS ENERGIA.....	91
Figura N° 4.5	
SISTEMA DE DETECCIÓN DEL GEHP	92
Figura N° 4.6	
SISTEMA DE DETECCIÓN DEL NaI	95
Figura N° 4.7	
INDICADORES METÁLICOS Y COBERTORES	99
Figura N° 4.8	
MATERIALES SECUNDARIOS DE IRRADIACIÓN	99
Figura N° 4.9	
MATERIALES VARIOS.....	100
Figura N° 4.10	
CONFIGURACION N°46 AL INICIO DEL CICLO.....	101
Figura N° 4.11	
GEOMETRIA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES	102
Figura N° 4.12	
GEOMETRÍA DE LA ESPADA Y EL INDICADOR TIPO ALAMBRE PARA CÁLCULO.....	103
Figura N° 4.13	
FLUJO TÉRMICO (E4X) - CORRIENTE	106
Figura N° 4.14	
FLUJO TÉRMICO (E4Y) - CORRIENTE	106
Figura N° 4.15	
FLUJO TÉRMICO (E5 [5-6]) - CORRIENTE	107
Figura N° 4.16	
FLUJO EPITÉRMICO (E4X) - CORRIENTE.....	107
Figura N° 4.17	
FLUJO EPITÉRMICO (E4Y) - CORRIENTE	108
Figura N° 4.18	
FLUJO EPITÉRMICO (E4Y) - CORRIENTE	108
Figura N° 4.19	
ACTIVIDAD TÉRMICA (E4X) - CORRIENTE	110

Figura N° 4.20	
ACTIVIDAD TÉRMICA (E4Y) - CORRIENTE.....	110
Figura N° 4.21	
ACTIVIDAD TÉRMICA (E5 [5-6]) - CORRIENTE	111
Figura N° 4.22	
PERFIL TÉRMICO E5 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	113
Figura N° 4.23	
PERFIL TÉRMICO E5 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	113
Figura N° 4.24	
PERFIL TÉRMICO F2 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE.....	114
Figura N° 4.25	
PERFIL TÉRMICO F2 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE.....	115
Figura N° 4.26	
PERFIL TÉRMICO F2 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE.....	115
Figura N° 4.27	
PERFIL TÉRMICO F2 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE.....	116
Figura N° 4.28	
PERFIL TÉRMICO C4 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	116
Figura N° 4.29	
PERFIL TÉRMICO C4 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	117
Figura N° 4.30	
PERFIL TÉRMICO C4 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	117
Figura N° 4.31	
PERFIL TÉRMICO C4 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	118
Figura N° 4.32	
PERFIL TÉRMICO E6 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	118
Figura N° 4.33	
PERFIL TÉRMICO E6 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	119
Figura N° 4.34	
PERFIL TÉRMICO E6 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	119
Figura N° 4.35	
PERFIL TÉRMICO E6 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	120

Figura N° 4.36	
PERFIL TÉRMICO E5 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	123
Figura N° 4.37	
PERFIL TÉRMICO E5 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	124
Figura N° 4.38	
UBICACIÓN DE LOS INDICADORES METÁLICOS PARA IRRADIACIÓN*	126
Figura N° 4.39	
SISTEMA MÓVIL DE ESCANEADO DE INDICADORES TIPO ALAMBRES	128
Figura N° 4.40	
MODELO 3D DEL NÚCLEO N°46	129
Figura N° 4.41	
ESQUEMA DE CÁLCULO.....	130
Figura N° 5.1	
PERFIL TÉRMICO E5 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	134
Figura N° 5.2	
PERFIL TÉRMICO E5 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	134
Figura N° 5.3	
PERFIL TÉRMICO F2 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE.....	135
Figura N° 5.4	
PERFIL TÉRMICO F2 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE.....	136
Figura N° 5.5	
PERFIL TÉRMICO F2 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE.....	136
Figura N° 5.6	
PERFIL TÉRMICO F2 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE.....	137
Figura N° 5.7	
PERFIL TÉRMICO C4 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	137
Figura N° 5.8	
PERFIL TÉRMICO C4 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	138
Figura N° 5.9	
PERFIL TÉRMICO C4 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	138
Figura N° 5.10	
PERFIL TÉRMICO C4 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	139

Figura N° 5.11	
PERFIL TÉRMICO E6 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	139
Figura N° 5.12	
PERFIL TÉRMICO E6 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	140
Figura N° 5.13	
PERFIL DE FLUJOS TÉRMICOS E6 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	140
Figura N° 5.14	
PERFIL DE FLUJOS TÉRMICOS E6 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE	141
Figura N° 5.15	
PERFIL DE FLUJOS MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICOS F2 (EJE Z)	145
Figura N° 5.16	
PERFIL DE FLUJOS MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICOS C4 (EJE Z)	145
Figura N° 5.17	
PERFIL DE FLUJOS MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICOS E6 (EJE Z)	146
Figura N° 5.18	
CONFIGURACIÓN DEL NÚCLEO N°46 AL INICIO DE ETAPA	147
Figura N° 5.19	
POSICIÓN DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES PARA EL CÁLCULO EN SERPENT.....	147
Figura N° 5.20	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE D2 POR CANAL..	151
Figura N° 5.21	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE E2 POR CANAL ..	151
Figura N° 5.22	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE F2 POR CANAL ..	152
Figura N° 5.23	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE G2 POR CANAL..	152
Figura N° 5.24	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE C3 POR CANAL ..	153
Figura N° 5.25	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE D3 POR CANAL..	153
Figura N° 5.26	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE E3 POR CANAL ..	154

Figura N° 5.27	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE F3 POR CANAL ..	154
Figura N° 5.28	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE G3 POR CANAL..	155
Figura N° 5.29	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE C4 POR CANAL ..	155
Figura N° 5.30	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE D4 POR CANAL..	156
Figura N° 5.31	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE F4 POR CANAL ..	156
Figura N° 5.32	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE G4 POR CANAL..	157
Figura N° 5.33	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE C5 POR CANAL ..	157
Figura N° 5.34	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE D5 POR CANAL..	158
Figura N° 5.35	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE E5 POR CANAL ..	158
Figura N° 5.36	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE F5 POR CANAL ..	159
Figura N° 5.37	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE G5 POR CANAL..	159
Figura N° 5.38	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE C6 POR CANAL ..	160
Figura N° 5.39	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE D6 POR CANAL..	160
Figura N° 5.40	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE E6 POR CANAL ..	161
Figura N° 5.41	
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE F6 POR CANAL ..	161
Figura N° 5.42	

FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS MEDIOS DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES PARA EL CÁLCULO EN SERPENT.....	162
Figura N° 5.43	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS AXIALES EN LAS POSICIONES “X2” POR CANAL	162
Figura N° 5.44	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS AXIALES EN LAS POSICIONES “X3” POR CANAL	163
Figura N° 5.45	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS AXIALES EN LAS POSICIONES “X4” POR CANAL	163
Figura N° 5.46	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS AXIALES EN LAS POSICIONES “X5” POR CANAL	164
Figura N° 5.47	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS AXIALES EN LAS POSICIONES “X6” POR CANAL	164
Figura N° 5.48	
FACTOR PICO AXIAL – POSICIÓN DE ELEMENTO COMBUSTIBLE	166
Figura N° 5.49	
TIEMPO DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE FLUJOS NEUTRONICOS TÉRMICOS	170

RELACIÓN DE TABLAS Y CUADROS

Tabla N° 2.1	
GRUPO DE PRECURSORES DE NEUTRONES RETARDADOS	34
Tabla N° 2.2	
FRACCIÓN DE NEUTRONES RETARDADOS.....	35
Tabla N° 2.3	
PRODUCCIONES PRODUCIDAS POR FISIÓN ESPONTANEA	36
Tabla N° 2.4	
ESTADO DE LA POBLACIÓN NEUTRÓNICA EN SUBCRÍTICO	45
Tabla N° 3.1	
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	81
Tabla N° 4.1	
TIPO DE REACCIÓN Y PROPIEDADES NUCLEARES DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS	97
Cuadro N° 4.1	
CODIFICACIÓN DE INDICADORES TIPO HOJUELA	98
Cuadro N° 4.2	
CODIFICACIÓN DE INDICADORES TIPO MICRO - HOJUELA	98
Cuadro N° 4.3	
FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EPITERMICOS.....	105
Cuadro N° 4.4	
FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EPITERMICOS.....	105
Cuadro N° 4.5	
FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EPITERMICOS.....	109
Cuadro N° 4.6	
FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EPITERMICOS.....	111
Cuadro N° 4.7	
FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EPITERMICOS.....	112
Cuadro N° 4.8	
PERFIL TÉRMICO EN EL EJE AXIAL DEL ELEMENTO E5 [(1-2); (5-6)].....	120
Tabla N° 4.2	
PARÁMETROS DE ENTRADA PARA EL AU-198	127
Tabla N° 4.3	

PARÁMETROS DE ENTRADA PARA EL CU-64	127
Tabla N° 4.4	
REACTIVIDAD DE LAS BARRAS DE CONTROL EN EL NÚCLEO 46 NUCLEO INICIAL	131
Tabla N° 4.5	
REACTIVIDAD DE LAS BARRAS DE SEGURIDAD EN EL NÚCLEO 46 NUCLEO INICIAL	131
Tabla N° 5.1	
COMPARACIÓN ENTRE LO EXPERIMENTAL Y EL CÁLCULO	142
Cuadro N° 5.1	
FLUJOS MEDIOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS ZONA DEL MEAT – EXP. (EJE Z)	142
Cuadro N° 5.2	
FLUJOS MEDIOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS EN LA ZONA DEL MEAT – CAL. (EJE Z)	143
Cuadro N° 5.3	
FLUJOS MEDIOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EN LA ZONA DEL MEAT (EJE Z)	144
Cuadro N°5.4	
FLUJOS MEDIOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EN LA ZONA DEL MEAT (EJE Z)	146
Cuadro N° 5.5	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN D2, E2, F2 Y G2 (EJE Z)	148
Cuadro N° 5.6	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN C3, D3, E3, F3 Y G3 (EJE Z)	148
Cuadro N° 5.7	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN C4, D4, F4 Y G4 (EJE Z)	149
Cuadro N° 5.8	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN C5, D5, E5, F5 Y G5 (EJE Z)	149
Cuadro N° 5.9	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN C6, D6, E6 Y F6 (EJE Z)	150
Cuadro N° 5.10	
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN C6, D6, E6 Y F6 (EJE Z)	165
Cuadro N° 5.10	
EVALUACIÓN DE PRECISIÓN DE DETECTOR DE GEHP	167
Cuadro N° 5.11	
TIEMPO DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE FLUJOS	169

RESUMEN

La eficiencia del Reactor RP-10 es un factor determinante que contribuye a la fuente de investigación energética y potencial del país; por ende, la operación segura del RP-10 es la condición principal previa a su utilización. Para este fin deben realizarse mediciones de criticidad, distribución de neutrones, reactividad, reacciones nucleares y potencia; estos resultados son obtenidos mediante vías de cálculo o mediciones experimentales. Además, la distribución de neutrones posee una relación proporcional al punto máximo de calor en la configuración del Reactor nuclear (factor pico)

En lo concerniente a esta distribución de neutrones, una determinación muy requerida es el factor pico axial y valor medio de flujo en un elemento combustible, esta metodología suele ser absoluta, pero muy trabajosa; se utilizó combustibles de óxido de uranio enriquecido al 20%, y según la grilla del núcleo del reactor se utilizó la configuración N°46

Los indicadores que se utilizaron en el proceso de activación neutrónica fueron indicadores metálicos tipo hojuelas (Au) y alambres (Cu), estos fueron ubicados en 3 posiciones de acuerdo a la configuración N°46, además se comparó el resultado experimental del flujo medio neutrónico con la determinación por cálculo mediante el código Serpent. De la misma manera, el resultado experimental del factor pico axial en los 3 elementos combustibles elegidos se comparó con la determinación mediante cálculo del factor pico axial según el código Serpent.

ABSTRACT

The efficiency of the RP-10 Reactor is a determining factor that contributes to the country's energy and potential research source; therefore, the safe operation of the RP-10 is the main condition prior to its use. For this purpose, criticality, neutron distribution, reactivity, nuclear reactions and potency measurements should be made; These results are obtained by means of calculation or experimental measurements. In addition, the distribution of neutrons has a ratio proportional to the maximum heat point in the configuration of the nuclear reactor (peak factor) Regarding this distribution of neutrons, a very required determination is the axial peak factor and average flow value in a fuel element, this methodology is usually absolute, but very laborious; 20% enriched uranium oxide fuels were used, and according to the reactor core grid configuration No. 46 was used The indicators that were used in the neutron activation process were metallic indicators type flakes (Au) and wires (Cu), these were located in 3 positions according to configuration N^o46, in addition the experimental result of the neutron medium flow was compared with the determination by calculation using the Serpent code. In the same way, the experimental result of the axial peak factor in the 3 fuel elements chosen was compared with the determination by calculation of the axial peak factor according to the Serpent code.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este trabajo de investigación tiene como finalidad el poder determinar el flujo medio neutrónico y factor pico axial mediante un elemento combustible en el núcleo del reactor RP-10 a fin de realizar un análisis para la puesta en servicio.

Se eligieron los elementos combustibles ubicados en una grilla alfanumérica dentro del núcleo del reactor, las posiciones fueron F2, C4 y E6; además se utilizó el contaje de la corriente de arranque obtenidas de las cámaras de fisión ubicadas dentro del reactor, esto como parámetro inicial de operación para la irradiación. Por otro lado, las cámaras de ionización cumplen los procedimientos de: Aislamiento neutrónico, medición de corriente de fondo, verificación de conectores e instrumentación; con estas cámaras podemos obtener las corrientes de marcha u operación para cada operación de pre puesta en servicio y calibrar de este modo la potencia de operación.

La primera pre puesta en servicio se utilizó el promedio de la corriente de marcha de la cámara de ionización ICM4: 1.02×10^{-10} A, 2.00×10^{-10} A, 1.05×10^{-9} A y 2.15×10^{-9} A; estas fueron registradas en el SAD (sistema de adquisición de datos), además esta corriente fue una condición inicial para evaluar los flujos térmicos y epitérmicos en las posiciones E4 – E5 de los elementos combustibles. Mediante la segunda pre puesta en servicio se utilizaron corrientes de operación de la cámara de fisión y fue de: 2.10×10^{-8} A, 2.10×10^{-7} A, la cual sirvió para evaluar flujos neutrónicos térmicos y epitérmicos en las posiciones E4 – E5 a corrientes más altas; y además sirvió como referencia para el desarrollo de otra investigación “calibración de la potencia”

Para un mapeo de flujo neutrónico más eficaz, mediante la tercera pre puesta en servicio a una corriente de operación de 2.08×10^{-9} se obtuvo flujo neutrónico medio térmico para los elementos en las posiciones F2[(1-

2); (5-6); (11-12); (15-16)]; C4[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] y E6[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]; y también se determinó el factor pico axial. De igual manera mediante el código Serpent se obtuvo los resultados de los elementos F2, C4, E6; y de esta manera se comparó ambos métodos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El problema de investigación surgió de una propuesta al análisis de la eficiencia del núcleo del Reactor RP-10; ya que es necesario determinar la situación de distribución neutrónica para todo el núcleo compuesto por placas de oxido $U_{\text{enriquecido}}^{235}$. Esto sería posible mediante el análisis de los flujos neutrónicos térmico y epitérmico de los elementos combustibles que conforman en núcleo del Reactor.

El método de activación neutrónica que se desarrolló en diferentes reactores de investigación y de potencia evidencia un resultado positivo para el análisis neutrónico de los flujos; como por ejemplo en la Universidad Autónoma de México¹. El método de activación neutrónica que se usó para la solución al problema de investigación (que es determinar el flujo térmico y epitérmico neutrónico) se apoya gran parte en el METODO WESTCOTT para obtener resultados de acuerdo a parámetros iniciales establecidos. De esta manera el IPEN² utiliza la activación de indicadores de Au como fuente principal de análisis del flujo y activación de Indicadores de Cu como fuente normalizadora.

Una de las dificultades que presenta el análisis del factor pico axial y el valor medio del flujo es la validez de la metodología, debido a que se usa indicadores de neutrones irradiados que poseen actividades muy bajas y solamente pueden ser captadas por detectores de alta precisión. Lo cual involucra tener una metodología que sea confiable y posea la menor cantidad de errores de incertidumbre.

Se requiere que el flujo neutrónico se apoye de la evaluación del cálculo de la distribución neutrónica y de las propiedades de los elementos combustibles

¹ García Flores A, Determinación de flujos en función de la potencia en el Dedar Central del Reactor Triga Mark III, México, 2016

² Instituto Peruano de Energía Nuclear

que conforman el Reactor (Quemado de Combustible); debido a que este factor afectaría a la hora de irradiar los indicadores para su posterior medición. Por ende, es relevante realizar este tipo de investigación periódicamente, ya que involucra nuevas distribuciones de energía o calor (Factor Pico de Potencia).

En relación al título establecido que es cálculo del factor pico axial y valor medio del flujo epitérmico en un elemento combustible del Reactor RP-10, si los resultados de esta problemática son favorables se estaría determinando nuevos cálculos para parámetros del nuevo núcleo formado de Siliciuro de uranio en puesta en Servicio; además de aportar dicha información al análisis de Configuraciones posteriores del Reactor.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

- ¿Será posible determinar el valor del Flujo medio neutrónico mediante un elemento combustible en el núcleo del reactor RP-10 a fin de realizar un análisis para la puesta en servicio?
- ¿Será posible obtener el Factor pico axial mediante un elemento combustible en el núcleo del reactor RP-10?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Se podrá obtener un factor que correlacione la distribución neutrónica dentro de un elemento combustible y el flujo medio neutrónico térmico obtenido mediante el cálculo, habrá una aparente linealidad?
- ¿Se podrá determinar la efectividad del procedimiento experimental usado para el cálculo del Factor Pico Axial y la determinación del valor medio del Flujo Neutrónico Térmico?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Calcular el Factor Pico Axial mediante un elemento combustible en el núcleo del reactor RP-10
- Determinar el valor medio del Flujo Neutrónico Térmico a fin de realizar un análisis para contribuir con la puesta en servicio.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la distribución de los factores pico para cada combustible mediante cálculo.
- Analizar el valor promedio del Flujo Neutrónico Térmico utilizando indicadores metálicos

1.4 LIMITANTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 TEÓRICO

- La mayor dificultad presente en la recopilación del fundamento teórico es la vigencia de algunas definiciones, experiencias y resultados en relación con dicho trabajo de investigación.
- El fundamento teórico y/o experimental recopilado mayormente para este trabajo de investigación fue mayormente de Argentina, debido a que existe un reactor de investigación gemelo al RP-10 (RA-6).

1.4.2 TEMPORAL

- Los días de la pre PES³ para realizar activación neutrónica son de corta duración; esto debido que el reactor cumple varias funciones a lo largo de cada semana.
- Se requirió un tiempo adicional para analizar, clasificar y ordenar

³ Pre puesta en servicio. Operación antes de la puesta en servicio.

información obtenida en cada pre puesta en servicio. Además del tiempo para implementación de materiales y/o servicios no presentes en el laboratorio.

1.4.3 ESPACIAL

- Los ambientes de las áreas de física de reactores (laboratorio y oficinas poseen dimensiones establecidas para 3 o 4 profesionales del área; tener más profesionales dificulta el proceso de medición

II. MARCO

2.1 ANTECEDENTES

- Zúñiga A., Lamas J., Cerrón E., Huapaya I. (2002). Medición del Factor Pico y la Potencia Neutrónica de un Reactor Nuclear

Para mantener la operación segura de los reactores nucleares es necesario evaluar su operatividad para situaciones extremas, esto se realiza en la etapa de diseño cuanto durante la operación comercial. Una manera de hacerlo es determinar el punto donde la generación de calor es máxima y cuanto mayor respecto al promedio del núcleo. Ese cociente se denomina el factor de pico (K), usualmente conocido únicamente por cálculo. Sin embargo, algunas veces, hay oportunidad de medirlos, como es el caso cuando los reactores son puestos en servicio y se dispone de núcleos frescos y tiempo para las irradiaciones. [...] se presentan los resultados de las mediciones realizadas en el reactor peruano RP10, mediante la técnica de activación de monitores metálicos (hojuelas): Factor de pico total $K_t = 2.9 \pm 0.1$, factor de pico axial, $K_a = 1.3 \pm 0.1$ y factor de pico radial, $K_r = 2.3 \pm 0.1$. También se determinó el flujo térmico medio del núcleo, $\hat{\phi} = 3.7 \pm 0.2 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ y la potencia del reactor para la configuración 14, $P = 88 \pm 5 \text{ W}$, corresponde a la corriente de marcha CM-4, $3.0 \times 10^{-10} \text{ A}$.

- Wentzeis L. (2008). Medición del Espectro Neutrónico en la Columna Térmica del Reactor Nuclear RA-1. Mediante un Método Deconvolución directo.

Se midieron los flujos neutrónicos térmico, epitérmico y rápido en la columna térmica del reactor RA-1, mediante la técnica de activación de hojuelas y usando un método de Deconvolución directo. Para lo cual se desarrolló un modelo MCNP⁴ de la columna térmica y de un conjunto de hojuelas con sus recubrimientos, para poder estimar el espectro neutrónico a partir de la actividad gamma medida de las hojuelas irradiadas por

⁴ Código de transporte Monte Carlo N- Partícula

neutrones de distintas energías. Se verifico que los valores medidos del flujo neutrónico fueron coincidentes con los valores obtenidos anteriormente y con los valores estimados usando el formalismo Westcott

- Medina Calderón R. (2004). Desarrollo de Software para el cálculo neutrónico en el reactor RP-10.

Se presenta el desarrollo del Software WIMCIT; el cual ha sido producido tomando como base el CPC (Código para Cálculo de Reactores), que realiza la simulación, automatiza las entradas numéricas y genera el modelamiento matemático en formato estándar, para el código de cálculo neutrónico CITATION del reactor nuclear peruano RP-10 en 2 y 3 dimensiones para varios grupos de energía. Dicho código se encarga de hallar la solución numérica de la ecuación de transporte en su aproximación de difusión, mediante el método de diferencias finitas y muestra sus salidas para un análisis posterior con el Software WIMCIT [...]

- García Flores A. (2010). Determinación del perfil de flujos en función de la potencia en el Dedar Central del Reactor Triga Mark III.

El objetivo general del proyecto de tesis es determinar los perfiles de flujos sub cádmico y epicadmico en el Dedal Central (DC) a diferentes potencias y tiempos de operación del Reactor Triga Mark III, usando como detectores laminillas de activación. En la operación de un reactor, es necesario conocer el perfil de flujo de neutrones para realizar otros trabajos como; la producción de radioisótopos, investigación en física de los reactores y quemado de combustible. La distribución del flujo de neutrones, refleja con exactitud lo que esta sucediendo en el núcleo del Reactor, además el valor de los flujo en esta distribución esta relacionado directamente con la potencia generada [...]

El método empleado se conoce como activación de laminillas, el cual consiste en formar arreglos, colocando laminillas (de 3 mm de diámetro y de 0.0508 mm de espesor) de un determinado material (ya sea de Au, In, Cu, Mn, etc.) dentro de un tubo de aluminio de diámetro exterior igual a 6.35 mm, alternando laminillas descubiertas y cubiertas con tapas de cadmio (de

3.4 mm de diámetro y 0.508 mm de espesor) y separadas por piezas de Lucita de 3 mm de diámetro y 25.4 mm de longitud.

Después de irradiar las laminillas durante un cierto tiempo, se mide la actividad gamma de cada una de ellas [...]. Ya conocida la actividad gamma, se procede a calcular los flujos sub cadmico y epi cadmico mediante el uso de un programa de cómputo en lenguaje Fortran, llamado Cau.

- Vidal-Ferrándiz, Sofia Carlos, G. Verdú (2017). Estudio del flujo neutrónico en un reactor cilíndrico.

Dentro del Grado de Ingeniería de la Energía, impartido en la Universidad Politécnica de Valencia, se encuentra la asignatura de Tecnología Nuclear, en la que los alumnos adquieren los conocimientos básicos sobre esta tecnología. Un objetivo primordial en este tipo de generación energética es el conocimiento de la distribución de la población neutrónica dentro de un reactor, con la finalidad de mantener la reacción en cadena. [...] los modelos matemáticos son de gran importancia para lograr este objetivo. Así, una de las prácticas que se propone a los alumnos es la obtención del perfil del flujo neutrónico en una geometría cilíndrica, que es un modelo aproximado del núcleo de un reactor, de forma analítica aprovechando para introducir las funciones de Bessel y dar un ejemplo de su utilización. Como método alternativo para obtener una aproximación de la solución del problema se utiliza el método de diferencias finitas. Se estudian distintas discretizaciones del reactor cilíndrico y se comparan las soluciones obtenidas

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 REACTOR NUCLEAR DE INVESTIGACIÓN

Existen diversos tipos de reactores nucleares y estos son usados suministrar electricidad y/o investigación. Los Reactores Nucleares de Investigación son aquellos que aprovechan la radiación producida mediante el núcleo del reactor como herramienta para procesos de fabricación de radioisótopos y/o investigación⁵. Los reactores nucleares de fisión producen reacciones nucleares de manera autosostenible y controlada; y la principal fuente de partícula utilizada en los reactores de investigación son los neutrones, aquellos se generan de la fisión del núcleo-combustible del reactor y sirven como fuente para generar radioisótopos o estudiar los efectos en diversos materiales. Generan una fuente intensa de neutrones a temperaturas no tan altas, el combustible utilizado generalmente es Uranio-235, Plutonio-239 y Uranio-233; dependiendo del tipo de reactor se elige al combustible adecuado.

Figura N° 2.1

REACTOR DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE ISÓTOPOS



Fuente: www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/121241-ique-es-un-reactor-de-investigacion

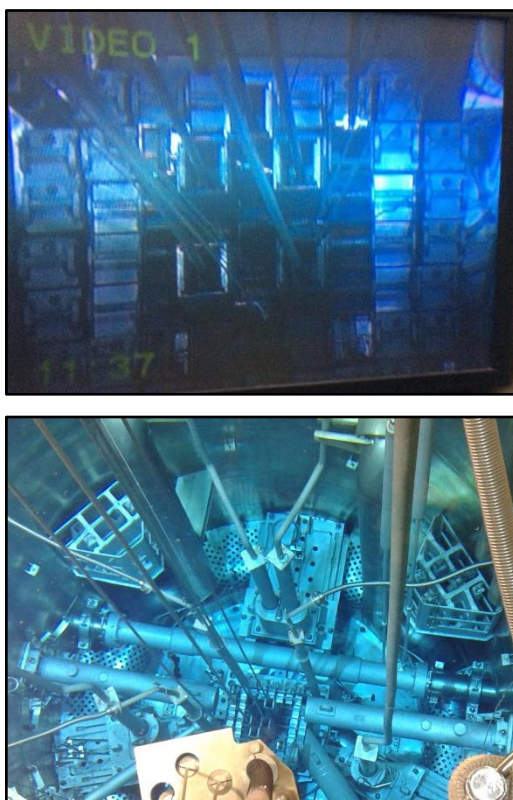
⁵ Esto ayuda a mejorar la tecnología y rendimiento de los reactores de investigación.

Los Reactores de Investigación poseen además reflectores para reducir la pérdida de neutrones del núcleo durante su producción. Las reacciones de Fisión generadas por los reactores de investigación generan energía que se manifiesta en forma de calor, en consecuencia, de la operación del reactor aparece una Potencia Térmica⁶ que en función de la potencia máxima del reactor esta debe ser evacuada.

El RP-10 es un claro ejemplo de un reactor de investigación que mantiene una operatividad segura durante su utilización, contando con un núcleo de combustible óxido de uranio; como fuente de generación de neutrones.

Figura N° 2.2

REACTOR DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA
NUCLEAR



Fuente: Informe Interno del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear (CASE), 2019

⁶ Unidad medible para las operaciones de un reactor de investigación.

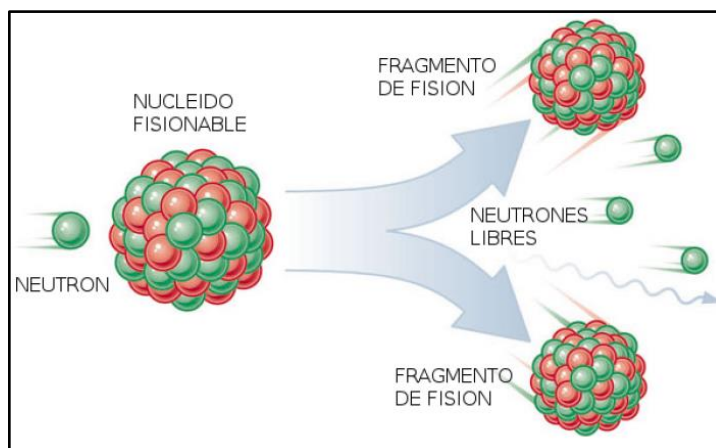
La Figura 2.2. Muestra al Núcleo del RP-10. Donde en la parte izquierda aparece la Vista Axial de una cámara de video al núcleo y en la parte derecha aparece perspectiva de otra cámara. No olvidar que las imágenes vistas se tomaron cuando el reactor de investigación no estaba en operación; debido a motivos de seguridad.

2.2.2 LA FISIÓN NUCLEAR

Es un tipo de reacción que se produce al interaccionar neutrones con núcleos muy pesados, la partición del núcleo en dos fragmentos es lo que se conoce como fisión nuclear. Los núcleos que pueden fisionarse al ser bombardeados con neutrones son: Torio-232, Uranio-233, Uranio-235, Uranio-238, Plutonio-239 y Plutonio-241. Como resultado de esta fisión nuclear se obtienen: Fragmentos de Fisión (siempre radiactivos), neutrones libres (2 a 5 en promedio por fisión) y energía de 200MeV por fisión.

Figura N° 2.3

EVOLUCIÓN DE LA FISIÓN NUCLEAR DE UN NUCLEÍDO FISIONABLE.



Fuente: Curso de “Reactores Y Centrales Nucleares” del Centro Universitario de Tecnología Nuclear, Universidad de Cuyo, Argentina, 2018.

Para el caso del uso del Uranio-235 como combustible, la cantidad promedio de neutrones rápidos generados por cada neutrón que produce fisión es 2.5.

Las características energéticas de los neutrones rápidos generados por fisión son la principal causa de que la reacción en cadena del reactor de

investigación sea auto sostenible. La energía total consiste en la energía liberada de acuerdo a las fisiones nucleares, la energía que liberan los decaimientos radiactivos de los fragmentos y productos de fisión; en promedio es de 200MeV, los cuales se distribuyen en:

Energía Cinética de los fragmentos de fisión MeV	167
Energía de la radiación gamma de fisión	5 MeV
Energía cinética de los neutrones	5 MeV
Energía de desintegración – gamma	5 MeV
Energía de desintegración – beta	5 MeV
Energía gamma de captura de neutrones	10 MeV
Energía de los neutrinos	3 Mev

La energía de los neutrinos no se toma mucho en cuenta; ya que no aportan al aprovechamiento energético (debido a que son partículas subatómicas sin carga y con una masa del orden de la milmillonésima parte del Hidrogeno). Pero por efectos prácticos se considera 200 Mev/fisión, aunque existen diferencias dependiendo del blanco a considerar.

2.2.3 NEUTRÓNICA

Los neutrones libres que aparecen luego del proceso de fisión se suman algunos neutrones del radio nucleído formado del producto de fisión. Según el resultado del proceso de fisión existen dos tipos de neutrones: Neutrones Instantáneos y Neutrones Diferidos

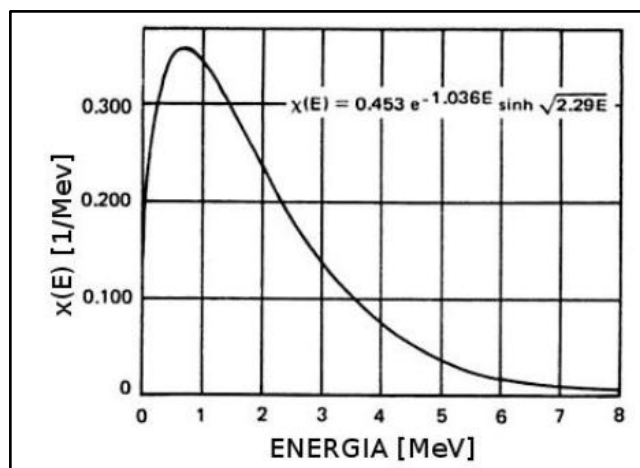
- NEUTRONES INSTANTÁNEOS

Los Neutrones Instantáneos son aquellos que aparecen inmediatamente después de la fisión, estos son casi el 99% de los neutrones que aparecen por fisión con un espectro energético de 0.05 a 17 MeV. En la siguiente

figura se puede observar la curva de probabilidad de distribución energía de los neutrones instantáneos

Figura N° 2.4

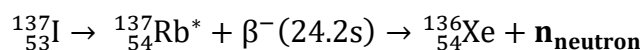
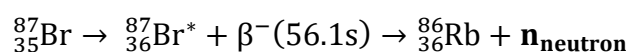
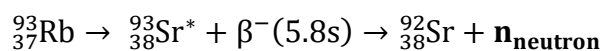
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE NEUTRONES INSTANTÁNEOS.



Fuente: Curso de “Reactores Y Centrales Nucleares” del Centro Universitario de Tecnología Nuclear, Universidad de Cuyo, Argentina, 2018.

- NEUTRONES RETARDADOS

Los Neutrones Retardados son aquellos emitidos por los fragmentos de fisión inmediatamente después de su decaimiento beta negativo. Algunos de los fragmentos de fisión que realizan decaimiento beta negativo son: Rb-93, Br-87, I-137, etc. La mayoría de fragmentos de fisión que realizan el decaimiento beta negativo decaen un porcentaje por emisión beta negativo a un estado fundamental; mientras que el porcentaje restante alcanzan un estado excitado para la emisión de un neutrón, debido a que la energía de excitación supera a la energía de enlace del neutrón. Las siguientes relaciones simbolizan aquellos fragmentos de fisión en decaimiento de fisión beta negativo con emisión de neutrón:



Los radionucleídos después del decaimiento beta son llamados PRECURSORES de neutrones retardados. Según la cantidad de precursores que aparecen en el núcleo del reactor, se suelen dividir en m grupos (generalmente 6 grupos) de acuerdo al semiperiodo de desintegración:

Tabla N° 2.1

GRUPO DE PRECURSORES DE NEUTRONES RETARDADOS

Grupo	Precursor	Energía Promedio [MeV]	Semiperiodo del nucleído Precursor [s]		
			U-235	Pu-239	U-233
1	Br-Rb-As	-	0,23	0,257	0,277
2	I-140, Cs-145	0,42	0,61	0,618	0,615
3	Xe-143, Br-90, Br-92, I-139, Kr-93, Kr-94	0,62	2,3	2,13	2,13
4	I-138, Br-89, Rb-93, Rb-94	0,43	6,22	5,60	5,00
5	I-137, Br-88	0,56	22,72	23,04	20,57
6	Br-87, Cs-142	0,25	55,72	54,28	55,0

Fuente: Curso de “Reactores Y Centrales Nucleares” del Centro Universitario de Tecnología Nuclear, Universidad de Cuyo, Argentina, 2018.

• FRACCIÓN DE NEUTRONES RETARDADOS

La fracción de neutrones retardados suele ser un parámetro importante en la física de reactores, útil para los calculistas y suele simbolizarse con la letra β .

$$\beta = \frac{\text{neutrones retardados}}{\text{neutrones retardados} + \text{neutrones instantaneos}} \cdot 100 \quad \dots 2.1$$

La fracción de neutrones retardados β_i para cada grupo de núcleos fisiles como para los grupos de precursores se define en la siguiente tabla:

Tabla N° 2.2

FRACCIÓN DE NEUTRONES RETARDADOS

Grupo	Precursores	Semiperiodo del nucleído Precursor [s]		
		U-235	Pu-239	U-233
1	Br-Rb-As	0,027	0,0093	0,0087
2	I-140, Cs-145	0,074	0,018	0,0135
3	Xe-143, Br-90, Br-92, I-139, Kr-93, Kr-94	0,252	0,0685	0,073
4	I-138, Br-89, Rb-93, Rb-94	0,126	0,0444	0,0658
5	I-137, Br-88	0,140	0,0626	0,0786
6	Br-87, Cs-142	0,021	0,0072	0,0226
Total			0,21	0,26

Fuente: Curso de “Reactores Y Centrales Nucleares” del Centro Universitario de Tecnología Nuclear, Universidad de Cuyo, Argentina, 2018.

• FRACCIÓN EFECTIVA DE NEUTRONES RETARDADOS

Los neutrones retardados tienen una energía menor a 1 MeV mucho menor al de los neutrones instantáneos; por lo que en un reactor de grandes dimensiones se genera una fracción de neutrones retardados ideales (sin fuga de neutrones). Para la proporción de neutrones retardados en un reactor finito; existe entonces un β_{efec} cuyo valor es mayor a la proporción real de neutrones retardados en el núcleo $\beta_{nuclear}$, debido a la alta probabilidad de escape que presentan los neutrones instantáneos en el reactor finito.

Figura N° 2.5.

TIPOLOGÍA DE FRACCIÓN EFECTIVA

REACTOR INFINITO => $\beta_{EFECTIVO} = \beta_{NUCLEAR}$
REACTOR FINITO => $\beta_{EFECTIVO} > \beta_{NUCLEAR}$

Fuente: Curso de “Reactores Y Centrales Nucleares” del Centro Universitario de Tecnología Nuclear, Universidad de Cuyo, Argentina, 2018.

Por lo que al final el β_{efec} para un reactor finito depende de la geometría del reactor y del tipo de configuración del combustible, que por lo general es para el U-235.

2.2.4 FUENTE DE NEUTRONES

Los neutrones fuente son importante porque proporciona el equilibrio de la población neutrónica durante la secuencia del arranque. Según el tipo de fuente que se necesite para iniciar la reacción en cadena autosostenible en un reactor nuclear, existen dos tipos: Fuentes Intrínsecas y Fuentes Externas

Tabla N° 2.3.

PRODUCCIONES PRODUCIDAS POR FISIÓN ESPONTANEA

Nucleído	$T_{1/2}$ (fisión)	$T_{1/2}$ (dec. alfa)	[Neutrones/seg/g]
$^{235}_{92}\text{U}$	$1,8 \cdot 10^{17}$ años	$6,8 \cdot 10^8$ años	$8,0 \cdot 10^{-4}$
$^{238}_{92}\text{U}$	$8,0 \cdot 10^{15}$ años	$4,5 \cdot 10^9$ años	$1,6 \cdot 10^{-2}$
$^{239}_{94}\text{Pu}$	$5,5 \cdot 10^5$ años	$2,4 \cdot 10^4$ años	$3,0 \cdot 10^{-2}$
$^{240}_{94}\text{Pu}$	$1,2 \cdot 10^{11}$ años	$6,6 \cdot 10^3$ años	$1,0 \cdot 10^3$
$^{252}_{98}\text{Cf}$	66 años	2,65 años	$2,3 \cdot 10^{12}$

Fuente: Curso de “Reactores Y Centrales Nucleares” del Centro Universitario de Tecnología Nuclear, Universidad de Cuyo, Argentina, 2018.

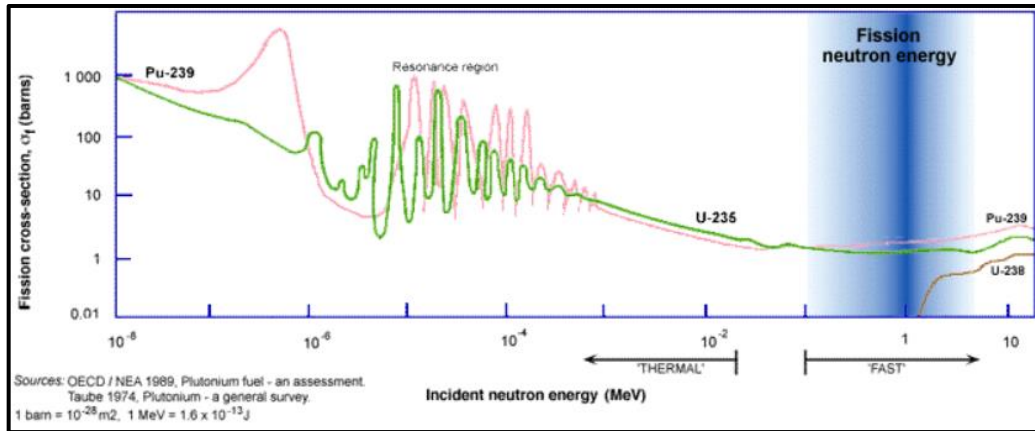
- **FUENTES INTRÍNSECAS**

Una parte de los neutrones producidos provienen de materiales que están presentes en el reactor debido a reacciones provocadas por materiales del reactor. Existe un número limitado de neutrones siempre presente, incluso en un reactor que nunca ha sido operado esto debido a la fisión espontánea de algunos nucleídos.

Un tipo de fuentes intrínsecas se originaria de núcleos pesados: U-238, U-235 y Pu-239 son las principales fuentes espontaneas, y dependen de la sección eficaz microscópica y de la energía del neutrón a interaccionar para su fisión.

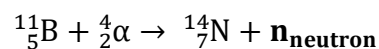
Figura N° 2.6.

SECCIÓN EFICAZ NEUTRÓNICA POR FISIÓN DE URANIO Y PLUTONIO

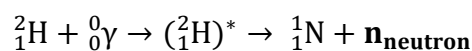


Fuente: www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/physics-of-energy.aspx

Otro tipo de fuente intrínseca es una reacción originada por el Boro natural y por decaimiento de nucleídos pesados en el combustible, en los reactores convencionales el boro natural sirve como absorbente de neutrones o incrementar la vida del neutrón. El Boro-11 y el combustible posee una reacción con partículas alfa, para ello deben estar a un corto alcance uno del otro debido al corto alcance que poseen las partículas alfa. Para un núcleo con una configuración que utilice Boro es una fuente importante de neutrones para el arranque del reactor y tendría que cumplir la reacción (α, n)



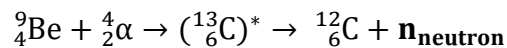
Otro tipo de fuente intrínseca es el deuterio, ya que una reacción con estas partículas y los rayos gamma origina fotoneutrones. Todos los reactores refrigerados con agua poseen una fracción de deuterio en el refrigerante, el tipo de refrigerante y la cantidad de rayos gamma ayudan a determinar la producción de fotoneutrones:



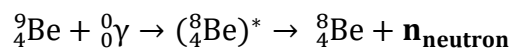
Todos los tipos de fuentes intrínsecas originan neutrones que interactúan con núcleo fisible produciendo la fisión espontánea autosostenible.

- FUENTES EXTERNAS

Las fuentes externas son fuentes artificiales de neutrones instaladas que sirven como apoyo a las fuentes intrínsecas que suelen tener una naturaleza muy débil. Un ejemplo de fuente artificial es el del Californio – 252, esta emite una tasa $2.00 \cdot 10^{12}$ neutrones por segundo por gramo de fuente, resultado por las fisiones espontánea; su alto costo es una desventaja para su adquisición. Otro tipo de fuentes externas utiliza al berilio como fuente instalada, compuestas de una mezcla de berilio metálico (100% Berilio-9) con una pequeña cantidad de emisor alfa, la reacción que ocurre es:



Otro tipo de fuente foto neutrónica también utiliza el berilio; ya que su isotopo Berilio-9 tiene un neutrón débilmente ligado con una energía de 1.66 MeV y un gamma superior a esa energía emitirá un neutrón:



2.2.5 REACCIÓN EN CADENA

Según la sección 2.2.2. se mencionó que la fisión libera una energía del orden de 200 MeV. Si es necesario lograr energía en forma sustentable a través del tiempo, debe lograrse una reacción en cadena que sea autosostenible. Para este caso la importancia de los neutrones liberados conlleva a generaciones de neutrones que fisionan en núcleos de U-235 (combustible más usado para reactores nucleares).

Si suponemos que en la primera generación de fisión se generan 3 neutrones del combustible pesado de U-235, entonces la generación de neutrones se impone que:

- Cada neutrón posee una energía para volver a fisionar núcleos de U-235
- Solo habrá la fisión como única reacción nuclear.

- Todos los neutrones que se producen vuelven a producir fisiones con núcleos de U-235. No existe escape de neutrones.

Entonces las nuevas generaciones de neutrones son:

1ª Generación	3 neutrones
2ª Generación	9 neutrones
3ª Generación	27 neutrones
4ª Generación	81 neutrones
5ª Generación	243 neutrones
6ª Generación	729 neutrones

El factor de multiplicación se define como factor de multiplicación de neutrones y se define como:

$$k = \frac{\text{cantidades de neutrones de una generacion}}{\text{cantidad de neutrones de la generacion anterior}} = \frac{n_i}{n_{i-1}} \quad \dots \mathbf{2.2}$$

$$k = \frac{n_i}{n_{i-1}} = \frac{729}{243} = \frac{81}{27} = \frac{9}{3} = 3$$

Entre una generación y otra existe un tiempo medio (l)⁷ o vida media entre generación de neutrones, este tiempo es el tiempo que transcurre una fisión y el momento de todos los neutrones generados de esa fisión sean absorbidos. Teniendo en cuenta el tiempo entre generaciones y el incremento del número de neutrones, se tiene lo siguiente:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{n_i - n_{i-1}}{\Delta t} = \frac{k \cdot n_{i-1} - n_{i-1}}{l} = \frac{(k - 1) \cdot n_{i-1}}{l}$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{(k - 1) \cdot n_{i-1}}{l}$$

$$n(t) = n_0 \cdot e^{\frac{(k-1) \cdot t}{l}} \quad \dots \mathbf{2.3}$$

⁷ Tiempo entre generaciones de neutrones, valor utilizado en ecuaciones.

La población neutrónica depende del factor de multiplicación y del tiempo entre generaciones, para un reactor de tamaño infinito el factor de multiplicación efectivo (k_{efec}) tendría 4 factores, mientras si el reactor fuera de dimensiones finitas tendría 6 factores debido a las contribuciones de las fugas de los neutrones térmicos y rápidos. Interpretando la potencia se incrementa siguiendo la misma ley, se tiene que:

$$P(t) = P_0 \cdot e^{\frac{(k-1)t}{l}} \quad \dots 2.4$$

Tomando de la ecuación 2.4. el cociente de $l/(k - 1)$ como "Periodo del Reactor" la expresión de población neutrónica y potencia queda de la siguiente manera:

$$n(t) = n_0 \cdot e^{\frac{t}{\bar{T}}}$$

$$P(t) = P_0 \cdot e^{\frac{t}{\bar{T}}} \quad \dots 2.5$$

Según la ecuación 2.5. se puede observar que mientras el periodo se incrementa, la evolución del reactor crecerá lentamente, y la evolución del reactor es esencial para clasificarlo en crítico, sub crítico o súper crítico⁸.

Ahora el tiempo entre generaciones según neutrones instantáneos y neutrones retardados; así como el grupo de neutrones de generación en generación influyen en el control del Reactor. Los sistemas de control actuales (barras de control) deben tener un tiempo de respuesta congruente con el tiempo de respuesta que se origina cuando se incrementan los neutrones (fisión controlada).

El tiempo entre generaciones en neutrones instantaneos es 0.001

El tiempo entre generaciones en neutrones retardados es 0.085

Teniendo en consideración el tiempo entre generaciones para los dos tipos de neutrones, una cantidad de 100 neutrones en la primera generación y un factor de multiplicación cercano a 1.

⁸ Estado del reactor donde ocurre una reacción en cadena.

$$n(t) = 100 \cdot e^{\frac{(1.005-1) \cdot t}{0.086}} = 100 \cdot e^{0.058(t)}$$

$$P(t) = P_0 \cdot e^{\frac{(1.005-1) \cdot t}{0.086}} = P_0 \cdot e^{0.058(t)}$$

Desde un punto de vista de control, el tiempo de operación cercano a 1 segundo asegura que el sistema tendrá un aumento insignificativo en la población neutrónica y en la potencia. De esta manera teniendo una reacción en cadena controlada y auto sostenible.

- FORMULA DE LOS 6 FACTORES

El factor de multiplicación efectiva para un reactor de dimensiones finitas posee 6 factores. Esta fórmula evalúa el proceso de evolución entre dos generaciones de grupos de neutrones próximos en una expresión más detallada.

$$k_{efec} = \varepsilon \cdot P_{pr} \cdot \rho \cdot P_{pt} \cdot f \cdot \eta \quad \dots 2.6$$

Donde:

ε : Factor de fisiones rápidas

ρ : Probabilidad de escape a la resonancia

P_{pr} : Probabilidad de permanencia de los neutrones rápidos

f : Factor de utilización térmica

P_{pt} : Probabilidad de permanencia de los neutrones térmicos

η : Factor de reproducción

Según la evolución del neutrón, desde su aparición (neutrones instantáneos) hasta la utilización en nuevas fisiones; tenemos lo siguiente:

- Factor de fisiones rápidas (ε): La cantidad de neutrones iniciales debido a fisiones logradas a partir de neutrones térmicos se ve incrementada debido a la producción de neutrones rápidos provenientes de fisiones rápidas. El factor de fisiones rápidas es la razón entre los neutrones rápidos producidos por todas las fisiones y los neutrones rápidos producidos por fisiones térmicas

- Probabilidad de permanencia de neutrones rápidos (P_{pr}): De la totalidad de neutrones rápidos algunos fugan. La probabilidad de permanencia de neutrones rápidos es la razón entre los neutrones rápidos que no fugan y los neutrones rápidos producidos por todas las fisiones
- Probabilidad de escape a la resonancia (ρ): Los neutrones que no escapan o no fugan pasan un proceso de termalización debido a las colisiones elásticas presentes con el moderador. Al entrar en una zona de energía intermedias se produce la absorción de estos neutrones, esta zona llamada "Zona de Resonancia" (sección con sección eficaz alta) del combustible y donde se absorbe gran cantidad de neutrones moderados. La probabilidad de escape a la resonancia es la razón entre los neutrones rápidos que alcanzan energías térmicas y los neutrones que inician el proceso de termalización.
- Probabilidad de permanencia de neutrones térmicos (P_{pt}): Algunos neutrones después de ser termalizados tienden a escapar del reactor al igual que en su momento lo hicieron los neutrones rápidos; por ende, la probabilidad de no fuga o de permanencia de neutrones térmicos es la razón entre los neutrones térmicos que no fugan y los neutrones que alcanzan energías térmicas
- Factor de utilización térmica (f): Los neutrones térmicos que no escapan del reactor son absorbidos en todos los materiales del reactor. Tanto en el combustible como en materiales estructurales. Entonces la relación existente entre los neutrones absorbidos en el combustible y el total es llamado factor de utilización térmica. El factor de utilización térmica es la razón entre los neutrones térmicos absorbidos en el combustible y los neutrones térmicos absorbidos

Para este caso el proceso de absorción neutrónica incluye el proceso de captura radiactiva, captura no radiactiva, captura de activación o proceso de fisión. El número de neutrones térmicos absorbidos es proporcional a la tasa de reacciones⁹, y para un flujo mono energético de neutrones y una superficie homogénea de blanco, la tasa de reacción es:

$$R = \Sigma \cdot \phi = \sigma \cdot N \cdot \phi \text{ [interacc. s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-3}] \quad \dots 2.7$$

Donde:

Σ : Sección eficaz macroscópica [cm^{-1}]

ϕ : Flujo neutrónico homogéneo [$\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

N: Numero de átomos blanco por unidad de volumen [cm^{-3}]

σ : Sección eficaz microscópica [cm^2]

Entonces el factor de utilización térmica de acuerdo a los materiales presentes en el reactor, para los materiales fisiles en el combustible son el U-238, U-235 y Pu-239.

$$f = \frac{\sigma_a^{238} \cdot N^{238} \cdot \phi + \sigma_a^{235} \cdot N^{235} \cdot \phi + \sigma_a^{239} \cdot N^{239} \cdot \phi}{\sigma_a^{239+238+235} \cdot N^{239+238+235} \cdot \phi + \sigma_a^{NC} \cdot N^{NC} \cdot \phi} = \frac{\Sigma_a^{235+238+239}}{\Sigma_a^{235+238+239} + \Sigma_a^{N.C.}}$$

Donde:

N. C.: Elementos que no conforman el combustible

- Factor de Reproducción (η): De todos los neutrones absorbidos en el combustible, algunos producirán fisión nuclear, la probabilidad que estos generen fisión nuclear es la razón entre los neutrones rápidos producidos por fisión térmica y los neutrones térmicos absorbidos en el combustible.

Se debe diferenciar el factor de reproducción con la cantidad de neutrones emitidos por fisión (ν); ya que la cantidad de neutrones por fisión es la entre los neutrones rápidos producidos por fisión térmica y los neutrones térmicos

⁹ Alcalá Ruiz F, Notas sobre medidas de flujos neutrónicos, Madrid, 1984, pág. 2

absorbidos que producen fisión en el combustible. Siempre es menor que el factor de reproducción. ($\eta < \nu$)

Entonces para una cantidad inicial de neutrones rápidos debido a fisiones térmicas de una determinada generación N_0 , conlleva a una cantidad N_f de la siguiente generación de neutrones rápidos debido a fisiones térmicas:

$$N_f = N_0 \cdot k_{efec} = N_0 \cdot \epsilon \cdot P_{pr} \cdot \rho \cdot P_{pt} \cdot f \cdot \eta \quad \dots 2.8$$

2.2.6 CRITICIDAD

La población neutrónica afecta a la potencia de reactor directamente; además la energía provocada por la fisión, productos de fisión y reacciones ya vistas en este informe contribuyen en la criticidad del reactor. La evolución de la distribución neutrónica en el núcleo está determinada por ende de dos simples factores: La reactividad y la presencia de una fuente de neutrones en el núcleo.

- REACTIVIDAD

La reactividad es un factor que cuantifica el estado de criticidad de un reactor, esta expresada según el factor de multiplicación y posee una simbología única con unidades de conversión:

$$\rho = \frac{k-1}{k}; \quad \rho_{pcm} = \rho \cdot 100000 ; \quad \rho_{\$} = \frac{\rho}{\beta_{efec}} \quad \dots 2.9$$

Donde:

ρ : Reactividad

ρ_{pcm} : Reactividad en pcm

$\rho_{\$}$: Reactividad expresada en Dólares

k : Factor de multiplicación

- ESTADOS DE CRITICIDAD

Según la reactividad y presencia de una fuente de neutrones podemos definir los estados de criticidad que posee un reactor nuclear: subcrítico con

fuente, subcrítico sin fuente, crítico con fuente, crítico sin fuente, supercrítico sin fuente y supercrítico con fuente.

- Subcrítico

Para que el estado del reactor sea de subcrítico, necesita poseer una reactividad menor a cero ($\rho < 0$) o un factor de multiplicación menor a 1. Sin embargo, no solo dependerá de la reactividad inicial que presente, para determinar la evolución neutrónica o potencia del reactor se tiene que involucrar la presencia de una fuente de neutrones, que pueden ser intrínsecas o externas. Esta fuente de neutrones nos detallara si el sistema alcanzara un equilibrio aparente o posee una disminución en el contaje neutrónico. Si poseemos un factor de multiplicación de 0.7 para un sistema de 100 neutrones inicialmente, y además posee una fuente de neutrones que proporciona continuamente 100 neutrones¹⁰, la evolución del sistema será Subcrítico con un estado en equilibrio de neutrones.

Tabla N° 2.4

ESTADO DE LA POBLACIÓN NEUTRÓNICA EN SUBCRÍTICO

GENERACION	FUENTE	NEUTRO. INICIAL	MULTIPLICACION	TOTAL
0	50	100	0	150
1	50	0	35+70	155
2	50	0	35+25+49	159
3	50	0	35+25+17+34	161
4	50	0	35+25+17+12+24	163
5	50	0	35+25+17+12+8+17	164
6	50	0	35+25+17+12+8+6+12	165
7	50	0	35+25+17+12+8+6+4+8	165
8	50	0	35+25+17+12+8+6+4+3+6	166
9	50	0	35+25+17+12+8+6+4+3+2+4	166
10	50	0	35+25+17+12+8+6+4+3+2+1+3	166
11	50	0	35+25+17+12+8+6+4+3+2+1+1+2	166
12	50	0	35+25+17+12+8+6+4+3+2+1+1+1+1	166

Fuente: Elaboración propia

¹⁰ Es un sistema de referencia, ya que en un reactor real hay miles de millones de neutrones.

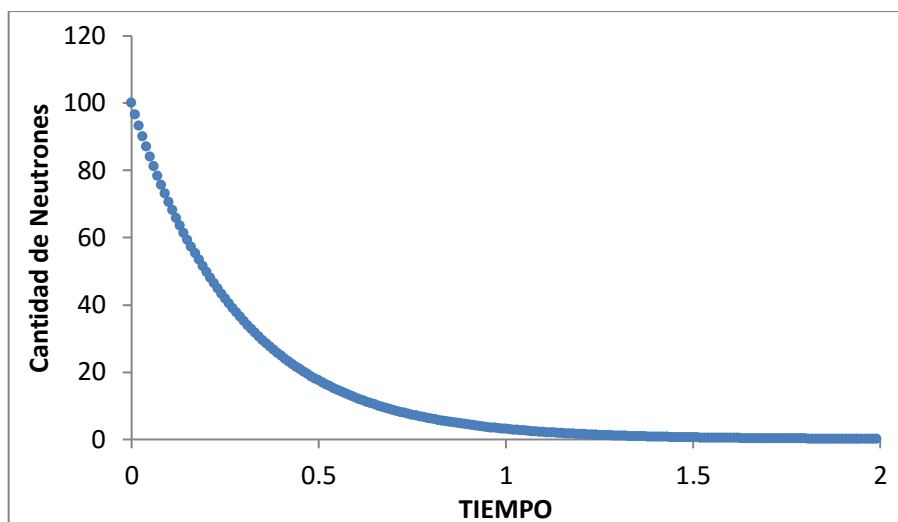
En el estado Subcritico con una fuente que genera 50 neutrones por generación y con 100 neutrones iniciales, el estado de equilibrio se alcanza con 166 neutrones.

Sin embargo, si el sistema se encontrara sin fuente de neutrones este se comporta según la ecuación 2.3., quedando una función de decreciente exponencialmente respecto al tiempo.

$$n(t) = 100 \cdot e^{\frac{(0.7-1) \cdot t}{0.086}}$$

Figura N° 2.7.

GRÁFICO DE CANTIDAD DE NEUTRONES ES SUBCRÍTICO SIN FUENTE DE NEUTRONES



Fuente: Elaboración propia

Para un estado Subcritico con 100 neutrones iniciales sin una fuente de neutrones al cabo de 1 segundos la cantidad de neutrones es casi nula.

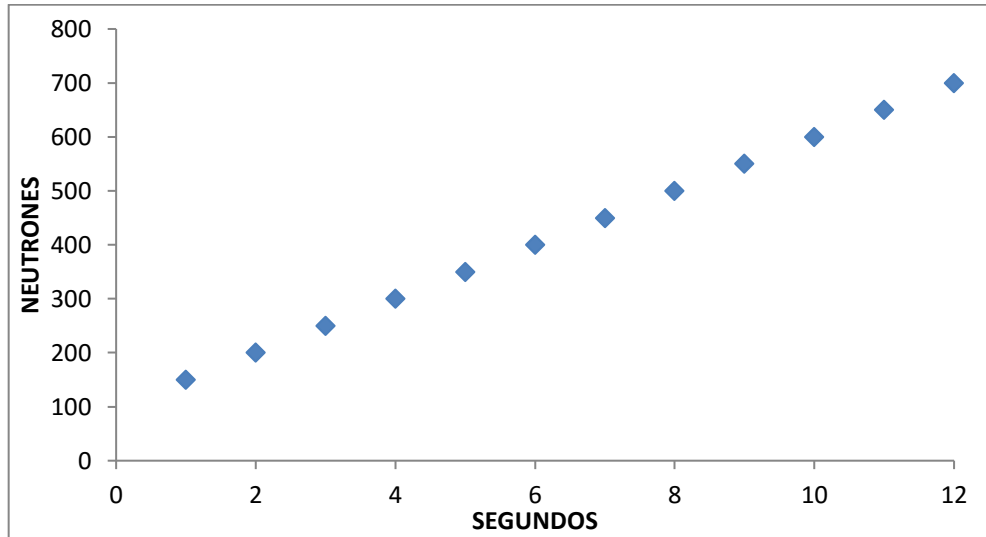
- Critico

Para que el estado del Reactor sea de Subcritico, necesita poseer una reactividad igual a cero ($\rho = 0$) o un factor de multiplicación igual a 1. En este caso el sistema con una fuente de neutrones tendrá una forma lineal, teniendo una fuente inicial de neutrones (n_0) y con una fuente de neutrones constante (S), tenemos:

$$n(t) = n_0 + S \cdot t \quad \dots 2.10$$

Figura N° 2.8.

GRÁFICO DE CANTIDAD DE NEUTRONES ES CRÍTICO CON FUENTE DE NEUTRONES



Fuente: Elaboración propia

En el caso de un sistema crítico sin fuentes se toma la ecuación 2.3. quedando una función constante de neutrones.

$$n(t) = n_0 \cdot e^{\frac{(1-1) \cdot t}{0.086}} = n_0$$

- Supercrítico

Para que el estado del Reactor sea de Supercrítico, necesita poseer una reactividad mayor a cero ($\rho > 0$) o un factor de multiplicación mayor a 1¹¹. En este caso el sistema con una fuente de neutrones constante (S) tendrá la siguiente forma:

$$n(t) = n_0 \cdot e^{\frac{(k-1) \cdot t}{l}} + \frac{S \cdot l}{k-1} [e^{\frac{(k-1) \cdot t}{l}} - 1] \quad \dots 2.11$$

¹¹ Es importante señalar que el factor de multiplicación mayor a 1 indica una reactividad (\$) positiva.

Posee un incremento exponencial mucho más rápido que sin fuente de neutrones, ya que sin fuente de neutrones la forma de este sistema Supercrítico será:

$$n(t) = n_0 \cdot e^{\frac{(k-1)t}{l}}$$

- Prompt critical¹²

Es un estado no deseado, también se le conoce como estado accidental. En este estado la cantidad de neutrones se dispara a cada momento que acontece¹³. Solo se da en las condiciones de:

$$k > 1 + \beta \qquad \rho > \beta$$

2.2.7 FLUJO NEUTRÓNICO

El flujo neutrónico representa a las partículas (neutrones) que fluyen a través de una superficie durante la unidad de tiempo (s). Se define mediante la siguiente expresión:

$$F = \int_0^{\infty} v \cdot n(v) dv = \bar{v} \cdot n \qquad \dots 2.12$$

Donde:

- n(v) dv:** Numero de neutrones por unidad de volumen
- v:** Velocidad de neutrones
- \bar{v} :** Velocidad media de los neutrones en la distribución n (v)
- n :** Densidad total de neutrones

El espectro neutrónico n(v) dependen de la velocidad de los neutrones como la distribución energética de estos mismos; además el espectro posee 3 regiones energéticas características para un reactor nuclear.

¹² Estado Crítico, reacción en cadena incontrolable.

¹³ Es indiferente si en este estado exista fuente de neutrones o no, ya que es una reacción en cadena no controlada.

2.2.8 SECCIÓN EFICAZ

Parámetro muy usado para cálculos neutrónicos, se define como la probabilidad por la cual una partícula incidente reaccione con un núcleo. Depende del tipo de partícula, de su energía y de la reacción a considerar. Son dependientes de un flujo homogéneo y constante que atraviese una sección monoatómica que contiene N núcleos.

$$R = \int \sigma(v) \cdot v \cdot n(v) dv = \hat{\sigma} \cdot F$$

$$\hat{\sigma} = \frac{R}{N \cdot \phi} = \frac{\text{\#NUMERO DE REACCIONES PRODUCIDOS}}{\text{\#NUMERO PARTICULAS INCIDENTES}} \quad \dots \mathbf{2.13}$$

Las dimensiones de la sección eficaz son de orden superficial y su unidad es el Barn, su equivalencia es $1 \text{ barn} = 10^{-24} \cdot \text{cm}^2$

Los valores de sección eficaz no solo varían en función del tipo de reacción nuclear, sino también para una variación en la energía cinética de la partícula incidente. En general las secciones eficaces más grandes interaccionan con neutrones de bajas energías, los llamados neutrones lentos o térmicos. A medida que aumenta su energía cinética, los neutrones más energéticos afectan a secciones eficaces menores. La explicación es muy somera y simple, mientras los neutrones vayan mucho más rápidos, es mucho menor el tiempo que permanecerán dentro del campo de acción de las fuerzas nucleares y por ende la probabilidad de que ocurra una reacción nuclear es menor (la sección eficaz).

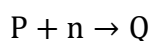
2.2.9 MÉTODO DE ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA

- GENERALIDADES

Se define a la activación neutrónica como un fenómeno que transforma a un núclido en otro artificialmente radiactivo, mediante captura neutrónica. Para provocar la activación de un material es necesario el bombardeo con neutrones. Estos últimos pueden ser producidos por reactores nucleares, aceleradores de partículas cargadas o por fuente de neutrones de laboratorio. Para el caso de captura neutrónica además existe una desintegración característica de rayos gamma con altas energías dependiendo del núclido radiactivo activado.

- ECUACIÓN GENERAL DE ACTIVACIÓN

Cuando un indicador mono isotópico es bombardeado por un flujo de neutrones se produce una reacción nuclear característica con una cierta probabilidad, de acuerdo a su sección eficaz correspondiente. En una muestra en la que existen varios isotopos del mismo elemento, cada uno sufre reacciones nucleares correspondientes con su respectiva sección eficaz, cuando la reacción nuclear es del tipo (n, γ) o de captura de neutrones:



Donde:

P: Núcleo de átomos del isotopo estable (A_ZX)

Q: Núcleo de átomos del isotopo radioactivo (${}^{A+1}_ZX$)

El número de átomos del elemento que se producen por unidad de tiempo es:

$$A_Q = \sigma \cdot \Phi \cdot N_0 \quad \dots 2.14$$

Y este a su vez es proporcional al flujo neutrónico y al número de átomos existentes en el isotopo con una sección eficaz característica.

Durante la activación de los núcleos radioactivos por unidad de tiempo de los átomos del isotopo "Q", ocurren dos procesos, y estos son los más

importantes cuando se irradia una muestra: La formación de núcleos radioactivos en N_Q por captura radioactiva y la segunda es la desintegración de las mismas.

La razón es porque al mismo tiempo que se crean núcleos radioactivos de igual manera se desintegran.

$$\frac{dN_Q}{dt} = [\text{velocidad de formación}] - [\text{velocidad de desintegración}]$$

$$\frac{dN_Q}{dt} = \sigma \cdot \Phi \cdot N_0 - \lambda \cdot N_Q$$

$$\frac{dN_Q}{dt} + \lambda \cdot N_Q = \sigma \cdot \Phi \cdot N_0$$

$$N_Q = \frac{\sigma \cdot \Phi \cdot N_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda \cdot t_i})$$

$$\lambda \cdot N_Q = \sigma \cdot \Phi \cdot N_0 (1 - e^{-\lambda \cdot t_i}) \quad \dots 2.15$$

Considerando que $\lambda \cdot N_Q$ pertenece a la actividad del isotopo radioactivo en el tiempo t_i . Además consideramos que una desintegración por segundo tiene su valor de conversión en Curie por ende está relacionado con la actividad - DPS¹⁴: 1Curie = 3.7×10^{10} DPS

La siguiente expresión es la actividad producida por el isotopo "Q" expresado en desintegraciones por segundo.

$$A'_Q = \sigma \cdot \Phi \cdot N_0 \cdot F_i \quad \dots 2.16$$

Donde:

F_i : Factor de saturación o factor al tiempo de irradiación

N_0 : Número de átomos del monitor presentes por unidad de área

$$N_0 = \frac{N_A \cdot W \cdot a \cdot C}{\bar{M}} \quad \dots 2.17$$

Donde:

N_A : Número de Avogadro

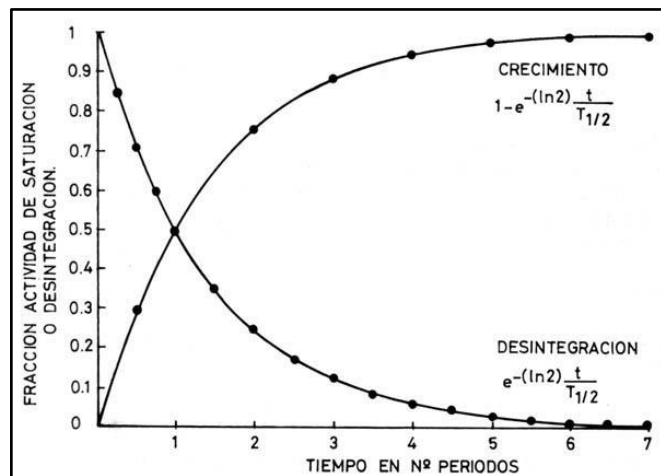
¹⁴ Desintegración por segundo

- a: Fracción del isótopo activado
- W: Peso de la muestra irradiada
- C: Concentración de la muestra
- \bar{M} : Peso moléculas de la muestra

• ACTIVIDAD DE SATURACIÓN

La actividad de saturación es la máxima cantidad de actividad¹⁵ que puede resultar después de un proceso de activación neutrónica; de acuerdo a la masa, el volumen, las propiedades isotópicas de cada indicador el límite de la actividad de saturación depende además de la constante de semidesintegración y del tiempo de irradiación.

Figura N° 2.9
GRÁFICO DE FRACCIÓN DE ACTIVIDAD DE SATURACIÓN VS TIEMPO EN PERIODOS



Fuente: Elaboración Propia

$$A_0 = A_{\infty} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_i}) \quad \dots 2.18$$

Existen dos tipos de actividades de saturación por unidad atómica del isótopo (indicador); estas son las actividades de saturación del indicador desnudo y del indicador cubierto por cadmio; nos detallan la cantidad de

¹⁵ La actividad de saturación depende de las características del material.

desintegraciones por segundo por unidad atómica del isótopo que se obtiene.

$$A_{sb} = \frac{C_{\gamma b}}{F_i \cdot F_{eb} \cdot F_{mb} \cdot \epsilon \gamma \cdot I_{\gamma} \cdot N_b} \quad \dots 2.19$$

$$A_{scd} = \frac{C_{\gamma cd}}{F_i \cdot F_{ecd} \cdot F_{mcd} \cdot \epsilon \gamma \cdot I_{\gamma} \cdot N_{cd}} \quad \dots 2.20$$

Donde:

A_{sb} : Actividad de saturación por unidad atómica del isótopo desnudo

A_{scd} : Actividad de saturación por unidad atómica del isótopo desnudo

$C_{\gamma b}$: Numero de cuentas por unidad de tiempo para indicador desnudo

$C_{\gamma cd}$: Numero de cuentas por unidad de tiempo para indicador cubierto con cadmio

N_b, N_{cd} : Número de átomos presentes en los indicadores desnudo y con cadmio.

I_{γ} : Intensidad del rayo gamma

ϵ : Eficiencia del fotopico

F_i : Factor al tiempo de irradiación

F_{mb} : Factor de corrección tiempo de medición

F_{eb} : Factor de corrección (tiempo de espera

- ACTIVIDAD TÉRMICA

La actividad térmica es un indicador de la relación entre la cantidad de actividad inducida por neutrones epitermicos, y se determina mediante la diferencia entre la actividad producida por la del indicador bare¹⁶ y la actividad del indicador cubierto con cadmio. Esta se determina mediante el

¹⁶ Refierese al indicador desnudo, no cubierto con cadmio

número de cuentas por unidad de tiempo para cada indicador indicado por el detector de Germanio Hiperpuro.

$$A_{th} = A_b - A_{Cd} = C_{\gamma b} - C_{\gamma cd} \quad \dots \quad \mathbf{2.21}$$

- ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

La actividad EXPERIMENTAL medida por un detector de rayos Gamma, vendrá tener esta dinámica:

$$A = \frac{\text{AREA NETA DEL PERFIL DEL CUENTAS}}{I_{\gamma} \cdot \epsilon \cdot F_m \cdot F_e \cdot F_i} \quad \dots \mathbf{2.22}$$

Donde:

I_{γ} : Intensidad del rayo gamma

ϵ : Eficiencia del fotópico

F_i : Factor al tiempo de irradiación

F_m : Factor de corrección tiempo de medición

F_e : Factor de corrección (tiempo de espera)

$$F_m = \frac{1 - e^{-\lambda \cdot t_{mb}}}{\lambda} \quad F_e = e^{-\lambda \cdot t_{eb}} \quad F_i = (1 - e^{-\lambda \cdot t_i})$$

La eficiencia del detector espectroscópico de neutrones es dada por la siguiente formula:

$$\epsilon = \frac{\text{AREA NETA DEL PERFIL DEL CUENTAS DEL PATRÓN}}{I_{\gamma} \cdot A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_r}} \quad \dots \mathbf{2.23}$$

Donde:

A_0 : Actividad inicial de la fuente patrón

t_r : Tiempo antes de la medición

La actividad absoluta por el número de átomos presentes en la muestra activada después de ser irradiados lo definimos entonces:

$$A_{ABS} = \frac{C_{\gamma} \text{ (numero de cuentas por unidad de tiempo)}}{F_m \cdot F_e \cdot F_i \cdot \epsilon_{\gamma} \cdot I_{\gamma} \cdot N_0} \quad \dots 2.24$$

Donde:

ϵ_{γ} : Eficiencia del detector

2.2.10 ESPECTRO DEL FLUJO NEUTRÓNICO

Los neutrones son partículas que no poseen carga, lo cual evita interaccionar con electrones; sin embargo, afecta directamente con los núcleos de los átomos de la materia. Debido a la ABSORCIÓN de neutrones por parte del núcleo, el nuevo átomo proporciona un núcleo compuesto muy inestables con emisiones de energía de un orden de 10^{-12} a 10^{-16} segundos. De esta manera los neutrones tienen un tiempo de semi desintegración de solo minutos, estos no existirían libremente; a causa que son absorbidos rápidamente por algún material cercano (captura neutrónica). La reacción neutrón-gamma se puede representar mediante:



La energía que poseen los neutrones que se generan en la fisión nuclear del reactor RP-10 es importante, para poder elegir al indicador metálico que se activara. Existen 3 grandes grupos de neutrones que se generan en el núcleo del reactor RP-10, de los cuales los que nos interesarán serán: Los flujos de neutrones térmicos, epitermicos y rápidos. Los neutrones que se producen en la fisión nuclear, tienen energías muy altas de alrededor de 0.5-20 MeV, pero esta decrece a causa de los moderadores y barras de control presentes que llegan a controlar el flujo de neutrones más energéticos.

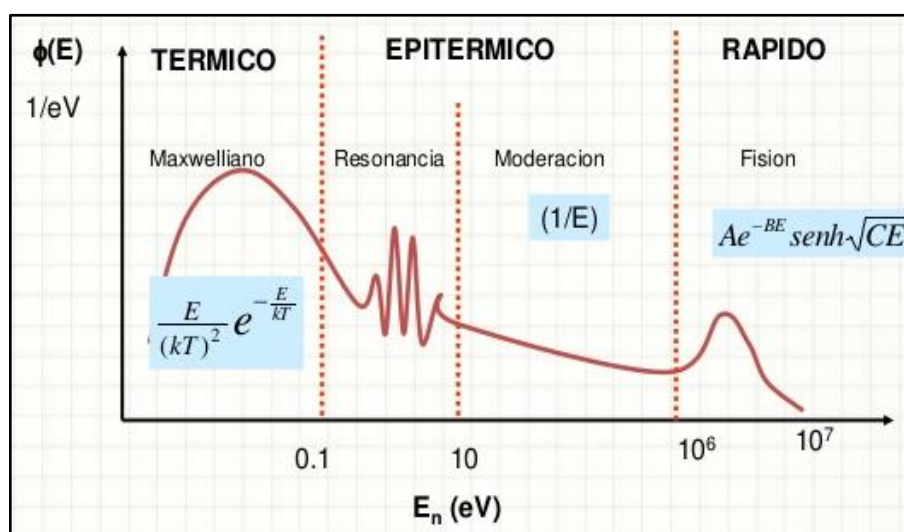
La energía que poseen los neutrones que se generan en la Fisión nuclear del Reactor RP-10 es importante, para poder elegir al indicador metálico que se activara. Existen “3 grandes grupos de neutrones”¹⁷ que se generan

¹⁷ El espectro neutrónico predominante en el núcleo de un reactor de investigación.

en el núcleo del reactor RP-10, de los cuales los que nos interesaron fueron: Los flujos de neutrones térmicos, epitermicos y rápidos. Los neutrones que se producen en la fisión nuclear, tienen energías muy altas de alrededor de 0.5-20 MeV, pero esta decrece a causa de los moderadores y barras de control presentes que llegan a controlar el flujo de neutrones más energéticos.

Figura N° 2.10

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE FLUJO NEUTRÓNICO SEGÚN SU ENERGÍA



Fuente: Curso de Seguridad Radiológica en el uso de las facilidades de Investigación en el Reactor Nuclear RP10, 2013, Diap. 43

- NEUTRONES TÉRMICOS

Para neutrones cuyas energías están comprendidas en de 0,002 eV y los 0,1 eV, poseen la forma de un espectro maxwelianos (región térmica). La región maxweliana se presenta cuando los neutrones alcanzan el equilibrio térmico con el moderador¹⁸, su energía es determinada por la “distribución de energía termal de los átomos del moderador”¹⁹. Por ende la densidad neutrónica se presenta como una función de la velocidad de los neutrones $n(v)$:

¹⁸ El moderador del RP10 es agua pesada

¹⁹ Según el factor KT del material moderador, $KT = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

$$n(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{m}{2KT}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot v^2 \cdot e^{\left(\frac{-mv^2}{2KT}\right)} \quad \dots 2.25$$

Donde:

- n(v): Densidad neutrónica
 K: Constante de Boltzmann
 T: Temperatura del neutrón
 m: Masa del neutrón
 v: Velocidad del neutrón

El flujo neutrónico como una función de energía $F = \phi(E)$ será de la siguiente manera:

$$\phi(E) = \frac{E}{KT^2} \cdot e^{\left(\frac{-E}{KT}\right)} \quad \dots 2.26$$

Donde:

- $\phi(E)$: Flujo neutrónico según espectro maxweliano

Tanto la densidad neutrónica como el flujo neutrónico están normalizados a la unidad, entonces derivando la ecuacion 2.24. se obtiene la velocidad más probable de los neutrones térmicos:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2KT}{m}} \quad \dots 2.27$$

Donde:

- v_0 : Velocidad más probable del neutrón térmico

De la ecuacion 2.26. podemos obtener la velocidad más probable tomando en consideración que el moderador oscila entre los 20°C y 21°C, que corresponden a energías de 0.025eV en esta distribución. La velocidad mas probable o promedio seria 2200 m/s, esta podría variar dependiendo de la sección eficaz del elemento diferente al agua, ya que la velocidad probable

o promedio maxweliana es solo para elementos con secciones eficaces concordantes con las energías de los neutrones térmicos. El espectro maxweliano posee buena aproximación para posiciones en el RP-10, y su dependencia es debido a los neutrones retardados del espectro intermedio

- NEUTRONES EPITÉRMICOS

Para neutrones con energías comprendidas entre 0,1 eV y los 100 keV con una distribución d energía aproximada a 1/E. El espectro intermedio de este tipo de neutrones puede derivarse si se considera el caso en la cual la absorción de neutrones no es considerada. El número de colisiones por segundo es de la siguiente manera:

$$D(E) = \phi(E) \cdot N \cdot \sigma_D \quad \dots 2.28$$

Donde:

D(E) : Colisiones por segundo (tasa de neutrones)

N: Densidad atómica del elemento a colisionar

σ_D : Sección eficaz de dispersión

De la ecuacion 2.27. podemos obtener el flujo neutrónico epitermico (intermedio)

$$\phi_{epi}(E) = \frac{q_0}{\xi \cdot N \cdot \sigma_D} \cdot \frac{1}{E} \quad \dots 2.29$$

Donde:

$\phi_{epi}(E)$: Flujo neutrónico según espectro intermedio

E: Energía en zona del espectro intermedio

q_0 : Tasa de neutrones por intervalo de energia

ξ : Constante de proporcionalidad²⁰

De esta manera para energías intermedias el espectro maxweliano sufre una corrección comportándose el espectro neutrónico de la forma $1/E$. por ende el flujo epitérmico para zonas intermedias de energía queda definida matemáticamente como:

$$\Phi_{\text{epi}}(E) = \int_{\mu\text{KT}}^{\infty} \phi(E) dE \quad \dots 2.30$$

Donde:

μKT Energía a partir donde el espectro se comporta de la forma $1/E$

- NEUTRONES RÁPIDOS

Para neutrones con energías comprendidas entre 100 keV y los 10MeV. Adopta la forma de un espectro de fisión, determinada por elementos fisiles; la forma as usada es:

$$S(E) = A \cdot e^{-E} \cdot \sinh \sqrt{2 \cdot E} \quad \dots 2.31$$

$S(E)$: Numero de neutrones por unidad de intervalo de energía

E : Energía en MeV

A : Constante de normalización²¹

E : Energía en MeV

Tomando la ecuacion 2.29. y dándole la forma de un espectro maxweliano tenemos a la densidad neutrónica $n(E)$ ²² como lo siguiente:

²⁰ Esta constante de proporcionalidad, debida a los cálculos se define como cambio del $\ln(E)$

²¹ Según el cálculo esta constante es de la forma $\sqrt{2/\pi} \cdot e$

²² No olvidar que la densidad neutrónica por el valor de la velocidad nos origina el flujo neutrónico.

$$n(E) = \frac{N(E) \cdot \tau(E)}{dA \cdot dr} = \frac{S(E)}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v} \quad \dots 2.32$$

Donde:

$N(E)$: Neutrones entrando en una superficie esférica infinitesimal en un instante de tiempo.

$\tau(E)$: Tiempo que utiliza el neutrón para salir del volumen infinitesimal

r : Trayectoria por donde se mueve el neutrón²³

Esto solo es válido para un medio donde no se consideran absorciones ni moderaciones. A fin de tener aproximaciones por encima de 1,5 MeV.

2.2.11 SISTEMAS DE DETECCIÓN

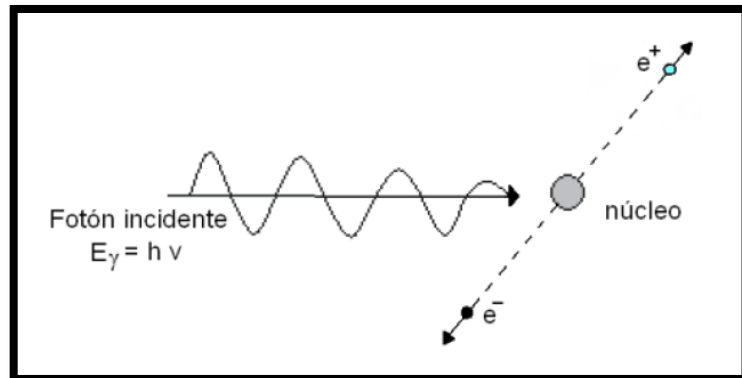
La detección de la radiación gamma en un detector es un proceso de dos tipos de efecto: "efecto de Producción de Pares y Efecto Fotoeléctrico"²⁴.

La radiación gamma al interactuar con las paredes efectúa la producción de pares (>1.02 MeV) los detectores de radiación gamma captan los electrones; y mediante el efecto fotoeléctrico (511 KeV), cuantifican la radiación gamma existente. Tomar en consideración que la medición de la radiación gamma sería la actividad experimental ocasionada por las muestras activadas.

²³ También se tomaría como el radio del volumen esférico infinitesimal

²⁴ Son los dos efectos más preponderantes para la detección de radiación gamma.

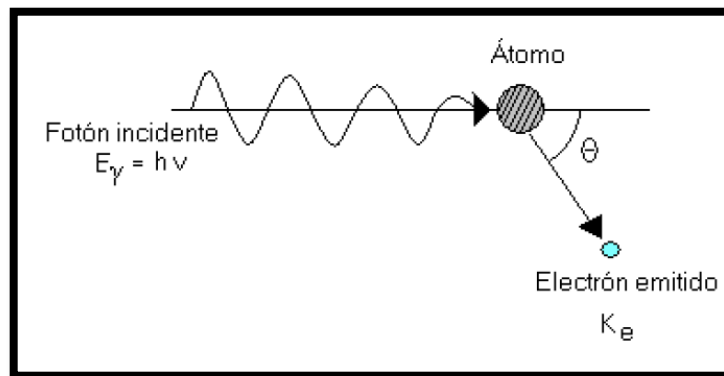
Figura N° 2.11
GRÁFICO DE EFECTO PRODUCCIÓN DE PARES



Fuente: Elaboración propia

Como la radiación no es detectada por nuestros sentidos (no poseen olor, sabor ni color), existe una cantidad cuantificable mediante instrumentos especializados. Estos hacen uso de algún mecanismo de transducción para dar una indicación del campo de radiación existente.

Figura N° 2.12
GRÁFICO DE EFECTO FOTOELECTRICO



Fuente: Elaboración propia

La detección por parte de estos instrumentos se puede dividir en 3 partes:

- Determinar la existencia de radiación, sin importar su naturaleza y cantidad

- Cuantificar la radiación, donde su función básica es medir la cantidad de radiación
- Cualificar la radiación, consiste en medir la cantidad de energía emitida y el tipo de radiación.

Existen varios tipos de detectores, algunos son: Películas Fotográficas, Cámaras de Ionización, Detectores Geiger Muller, Detectores de Centelleo, Detectores Semiconductores, TLD²⁵, etc.

- DETECTOR DE CENTELLEO

Permite medir la radiación gamma, mediante su conversión en energía luminosa producida en el centellador. Esto debido a la red cristalina presente en el centellador. El detector centellador que se utiliza en A.A.N. es el de NaI (Ioduro de Sodio). El tubo multiplicador convierte la energía lumínica en impulso eléctrico; mediante el efecto fotoeléctrico. El impulso eléctrico es amplificado mediante equipos electrónicos característicos (amplificadores electrónicos), para luego ser convertido en voltaje. Las ventajas es que posee una alta eficiencia de detección, pero muy baja resolución a comparación de otros detectores.

- DETECTOR DE GeHP

Es un detector que consiste de un semiconductor (HPGe), donde las propiedades físicas son descritas mediante las estructuras de bandas del sólido. (Banda de valencia y banda de conducción). Son muy ventajosos en aplicaciones de espectroscopia gamma. El ancho de banda prohibida es relativamente pequeño, lo que provoca la migración de portadores de carga que ocasionan que el cristal semiconductor tenga relativa eficiencia.

2.2.12 MÉTODO WESTCOTT

Método que permite calcular la tasa de reacción a partir del espectro neutrónico de la muestra y su sección eficaz del radioisótopo. En un

²⁵ Dosimetr5o termoluminiscente

modelo bien riguroso para sistemas neutrónicos bien termalizados $\frac{\Phi_{th}}{\Phi_{epi}} >$

1 . Su ventaja es que no requiere que los isotopos sigan la ley del $(1/v)$. La actividad de saturación es dada según el formalismo Westcott como:

$$A = \Phi_w \cdot \hat{\sigma} \cdot N \quad \dots 2.33$$

Donde:

Φ_w .: Flujos Westcott

$\hat{\sigma}$: Sección eficaz Westcott

N: Numero de átomos monitor

Como podemos ver este formalismo, utiliza la misma base teórica que se usa en la activación neutrónica y se logra obtener mediante el ejecutable realizado por LABFER (Laboratorio de Física de Reactores)

Método comúnmente utilizado para el cálculo de la tasa de reacción por átomo a partir del espectro neutrónico de la muestra y su sección eficaz; los monitores irradiados nos indican indirectamente este espectro mediante su actividad.

$$\frac{R}{N} = \int_0^{\infty} \sigma(v) \cdot \varphi(v) dv \quad \dots 2.34$$

Además de las sección 2.2.10. la forma general del flujo Westcott tendría la contribución térmica epitérmica y rápida, vale decir todo el espectro maxweliano, intermedio y de fisión. Sin embargo como para el método de activación que utilizaremos solo contribuyen neutrones de energías intermedias y térmicas, el flujo rápido es cero; mientras que la demás contribuciones agregadas por las respectivas regiones nos origina un flujo térmico Westcott de la siguiente manera:

$$\Phi_w = \Phi_{th} \cdot [M(E)] + \Phi_{epi} \left(\frac{1}{E}\right) \cdot \Delta\left(\frac{E}{KT}\right) \quad \dots 2.35$$

Donde:

$\Delta\left(\frac{E}{KT}\right)$:: Factor de ligazón que une el espectro maxweliano y $(1/v)$

- RAZÓN DE CADMIO

Mediante la razón de cadmio obtendremos la relación entre las actividades de los indicadores desnudo y cubierto con cadmio, esto nos ayudara a tener una expresión más simplificada de la actividad térmica.

$$R_{cd} = \frac{C_{\gamma b}}{C_{\gamma cd}} \quad \dots 2.36$$

$$A_{th} = A_b \left(1 - \frac{1}{R_{cd}}\right) = A_b \cdot F_{Cd}$$

Donde:

F_{Cd} : Factor de Cadmio

A_b : Actividad de saturación Bare

A_{th} : Actividad térmica²⁶

- Obs: Existe la razón de cadmio de saturación, la cual es el cociente de las actividades de saturación por unidad atómica entre el isotopo desnudo y el isotopo cubierto con cadmio. Pero no se toma en cuenta ya que es un estado que no se requiere alcanzar (Estado de saturación de la muestra).

- INDICE EXPECTRAL WESTCOTT

El índice espectral Westcott es un parámetro muy importante para el cálculo del flujo neutrónico térmico y epitérmico, involucra constantes relacionadas con el neutrón, el espectro neutrónico y parámetros termodinámicos del medio.

²⁶ Esta actividad es definida para los indicadores Bare (desnudos, sin cubierta de cadmio)

$$rW = \frac{G_{th} \sqrt{\frac{T_0}{T}}}{(R_{cd} \cdot F - 1) \cdot S_0 \cdot \frac{G_{epi}}{g(T)} + R_{cd} \cdot \left(V - F \cdot \frac{W}{g(T)} \right)} \quad \dots 2.37$$

$$T_0 = \frac{E_0}{k} \quad S_0 = \frac{2 \cdot I_v}{\sqrt{\pi} \cdot \sigma_{th}} \quad V = \frac{4 \cdot \sqrt{E_0}}{\sqrt{\pi} \cdot \sqrt{E_{cd}}} \quad W = \frac{2 \cdot I_r}{\sqrt{\pi} \cdot \sigma_{th}} \quad b = 10^{-24}$$

Donde:

- E₀:** Energía cuando alcanza el equilibrio térmico (0.0253 eV)
- k:** Constante de Boltzmann
- T:** Temperatura Del neutrón (300K)
- F:** Factor que considera la absorción de neutrones térmicos en el Cadmio (0.998)
- I_v:** Integral epitérmico de resonancia excluyendo la contribución 1/v (1550b)
- σ_{th}:** Sección eficaz microscópica térmica de activación del isotopo blanco (98.8 b)
- F:** Energia de corte de cadmio (0.52eV)
- σ_{th}:** Sección eficaz microscópica térmica de activación del isotopo blanco (98.8 b)
- I_r:** Integral epitérmico de resonancia por debajo de E_{cd} (7.8b)
- g(T):** Factor que toma en cuenta el apantallamiento de 1/v para la sección eficaz (1.0078)

2.2.13 CALCULO DE ERRORES

El principal parámetro utilizado cuando se realiza una medición sería el valor de la incertidumbre de la medición asociada a la medida. La incertidumbre utilizada será la del Tipo A, para el proceso de medición; ya

que depende de la aleatoriedad de la variable. Algunas definiciones prescindibles conocer para determinar la incertidumbre Tipo A:

- Incertidumbre de la Medida: Es una cantidad que se asocia al resultado de una medición determinada, caracteriza la dispersión respecto al valor del mensurando.
- Mensurando: Es la magnitud física, el cual es el objeto de la medición, siempre viene acompañada de una función que relaciona magnitudes de entrada.
- Magnitudes de Entrada Xi: Pueden ser aquellas que se determinan durante la medición y desde allí se obtienen sus incertidumbres. También pueden provenir de fuentes externas manuales, certificados, etc.
- Valor Estimado: Son los resultados obtenidos en las mediciones, así que el estimado del mensurando se obtiene en base de la relación del modelo usado.
- Varianza, Desviación Estándar: Como las variables de entrada (X) y la magnitud de salida (Y) siguen distribuciones determinadas de probabilidad, por lo que un indicador de dispersión sería la varianza y la desviación estándar (raíz cuadrada de la varianza).

• EVALUACIÓN INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR TIPO A

Estas fuentes provienen de la aleatoriedad de la variable y puede ser evaluada por métodos estadísticos. Si tenemos una variable medida “n” veces, bajo las mismas condiciones y por el mismo observador se puede demostrar que el valor promedio de todos los valores observados será:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j \quad \dots 2.38$$

Donde: q_j : Valores observados

De esta manera la incertidumbre asociada al valor promedio se determina mediante la desviación estándar experimental de la media, definida por:

$$s(\bar{q}) = \sqrt{\frac{s^2(q)}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \left[\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \right]} \quad \dots 2.39$$

- EVALUACIÓN INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR TIPO B

Esta incertidumbre está asociada a un estimado x_i de una magnitud por X_i otros medios distintos al análisis estadístico de una serie de observaciones. Una evaluación tipo B de la incertidumbre que tiene una base sólida puede ser tan fiable como una Tipo A. Se distinguen los siguientes casos:

- Cuando se conoce el valor único de la magnitud X_i , la incertidumbre típica $u(x_i)$ debe adoptarse siempre se conozca. En caso contrario, se calcula de datos inequívocos de la incertidumbre.
- Cuando se pueda suponer una distribución de probabilidad para la magnitud X_i , ya sea basándose en la teoría o en la experiencia, se debe tomar el valor esperado y la raíz cuadrada de la varianza como el estimado de x_i y la incertidumbre típica asociada $u(x_i)$.
- Si solo puede estimarse el límite superior e inferior para la magnitud X_i (especificaciones del fabricante, intervalo de temperaturas, error de redondeo, etc), puede suponerse una distribución de probabilidad constante entre dichos límites

- CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE

Si las magnitudes de entrada no están correlacionadas, la incertidumbre de salida, con las incertidumbres estándares de entrada x_i es:

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad ; \quad u_i(y) = c_i \cdot u(x_i) \quad \dots 2.40$$

El segundo término es debido a la incertidumbre estándar de la estimación de la variable de entrada x_i multiplicado por el coeficiente de sensibilidad del modelo correspondiente.

La expresión completa del resultado de la medición, debe ser estimado del mensurando “y” y de la incertidumbre expandida “U”, de la forma “ $y \pm U$ ”:

$$U = k \cdot u(y) \quad \dots 2.41$$

Donde U contiene al factor de cobertura el cual es $k=2$ si la distribución es normal con cubrimiento hasta el 95%, de acuerdo a que se utilice otro factor de cobertura deberá señalarse cuantos grados de libertad tiene.

2.2.14 FACTOR PICO AXIAL

El factor de pico axial o factor de canal caliente nuclear axial; en reactores de agua de ebullición es el cociente de la potencia nodal en un elemento combustible y la potencia nodal media del elemento. Para reactores de agua en ebullición, este factor pico axial es el cociente entre la máxima potencia nodal y la potencia nodal media en el EE.CC. de máxima potencia.

$$K_a = \frac{\text{Potencia maxima nodal por placa de los EECC}}{\text{Potencia media nodal por placa en el EECC}} = \frac{P_{\max}}{P_{\text{placa}}} \quad \dots 2.42$$

Donde la potencia nodal (P_{placa}) se ubica en el EE.CC. mas exigido; es decir la máxima potencia media por placa.

2.2.15 POTENCIA NEUTRÓNICA

La potencia de operación del reactor quedara definida cuando por las que alcanza el punto máximo (o el canal más caliente) y podemos decir que está por encima del valor medio. La potencia (energía liberada por unidad de tiempo) producida por las fisiones en el reactor va a corresponder a todas las fisiones que se realicen; por lo que se debe tener en consideración las fisiones térmicas, epitérmicos y rápidas. La expresión de la potencia resulta en la versión operativa:

$$P(W) = 1,60 \cdot 10^{-13} \cdot E_R \cdot \frac{N_A \cdot M^{235}}{A^{235}} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot g(T)^{235} \cdot \sqrt{\frac{T_0}{T}} \cdot \sigma_f^{235} \cdot f_D \cdot \widehat{\Phi} (1 + \alpha_{\text{epi}} + \alpha_{\text{rap}}) \quad \dots 2.43$$

Donde:

E_R :	Energía por reacción (192.9 MeV)
N_A :	Número de avogadro ($6,023 \cdot 10^{23}$)
M^{235} :	Masa del combustible (5.53 kg)
A^{235} :	Numero atómico del combustible (235)
$g(T)^{235}$:	Factor que toma en cuenta el apantallamiento (0.97)
T :	Temperatura Del neutrón (para bajas potencias $T \sim T_0$)
σ_f^{235} :	Sección eficaz de fisión para el Uranio -235 ($582,2 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$)
f_D :	Factor de corrección por posicionamiento (varios indicadores)
$\widehat{\Phi}$:	Flujo neutrónico medio
α_{epi} :	Contribución epitérmica
α_{rap} :	Contribución rápida ($\alpha_{\text{rap}} \sim 0$)

Sin embargo esta expresión de potencia operativa queda definida por:

$$P(W) = \text{cte.} \cdot \widehat{A}_{\text{th}} (1 + \alpha_{\text{epi}}) \quad \dots 2.44$$

Teniendo en cuenta que prácticamente la contribución rápida es aproximadamente 0 debido a que el indicador seleccionado posee una sección eficaz mayormente térmica con contribución pequeña epitérmico. Y donde para el elemento combustible con mayor cantidad energía liberada (potencia); y el canal más caliente de ese elemento, nos originan un factor pico axial de la siguiente manera:

$$K_a = \frac{\text{cte.} \cdot \widehat{A}_{\text{th,max}} (1 + \alpha_{\text{epi,c}})}{\text{cte.} \cdot \widehat{A}_{\text{th,placa}} (1 + \alpha_{\text{epi,c}})} = \frac{\widehat{A}_{\text{th,max}}}{\widehat{A}_{\text{th,placa}}} = \frac{\widehat{\Phi}_{\text{th,max}}}{\widehat{\Phi}_{\text{th,placa}}} \quad \dots 2.45$$

Además tener en cuenta que la actividad térmica $\widehat{A_{th,placa}}$ esta íntimamente relacionada con la cantidad de neutrones térmicos medios por elemento combustible (para el factor pico axial sería el elemento más caliente), por ende se relaciona con el $\widehat{\phi_{th,medio \text{ por placa}}}$

2.2.16 CÓDIGO SERPENT

Serpent es un código multipropósito tridimensional de transporte de partículas Monte Carlo de energía continua, desarrollado en el Centro de Investigación Técnica de Finlandia. El desarrollo comenzó en 2004 y el código ha sido distribuido públicamente por el Banco de Datos de la OCDE / NEA y RSICC desde 2009. Serpent comenzó como un código de física de reactor simplificado, pero las capacidades de la versión de desarrollo actual, Serpent 2, se extienden mucho más allá del modelado de reactor. Las aplicaciones se pueden dividir aproximadamente en tres categorías:

- 1) Aplicaciones tradicionales de la física de reactores, incluida la homogeneización espacial, cálculos de criticidad, estudios del ciclo del combustible, modelos de reactores de investigación, validación de códigos de transporte deterministas, etc.
- 2) Simulaciones multifísicas, es decir, cálculos acoplados con hidráulica térmica, CFD²⁷ y códigos de rendimiento de combustible
- 3) Simulaciones de transporte de neutrones y fotones para cálculos de tasa de dosis de radiación, blindaje, investigación de fusión y física médica.

- GEOMETRÍA Y SEGUIMIENTO DE PARTÍCULAS.

Al igual que en otros códigos de Monte Carlo, la descripción de la geometría básica en Serpent se basa en un modelo de geometría sólida constructiva (CSG) en un universo-base, que permite la descripción de prácticamente cualquier configuración de combustible o reactor bidimensional o tridimensional. La geometría CSG consiste en celdas de material

²⁷ Dinámica de fluidos computacional

homogéneas, definidas por tipos de superficie derivada y elemental que se combinan utilizando operadores booleanos (intersecciones, uniones y complementos). Serpent soporta simetrías cuadradas y hexagonales convencionales, y proporciona tipos de geometría especial para CANDU y combustible de partículas dispersas al azar. Además de los universos de tipo CSG, Serpent tiene la opción de importar geometrías basadas en malla no estructurada y CAD.

- TIPOS DE GEOMETRÍA BASADA EN MALLA NO ESTRUCTURADA Y CAD

Serpent tiene la capacidad de importar CAD y geometrías no estructuradas basadas en malla como parte de la estructura del universo. Los modelos CAD²⁸ se leen en el formato de estereolitografía (STL), en el que las superficies de los cuerpos geométricos se representan mediante una malla de triángulos planos. El formato de archivo STL se usa ampliamente para la impresión 3D y, por lo tanto, es compatible con la mayoría de las herramientas CAD.

- FISICA DE INTERACCION

Serpent lee las secciones transversales de energía continua de las bibliotecas de datos en formato ACE. La física de interacción se basa en la cinemática de colisión clásica, las leyes de reacción y el muestreo de tablas de probabilidad en la región de resonancia no resuelta. También está disponible un tratamiento mejorado para el núcleo de dispersión de gas libre cerca de las resonancias, basado en el método de corrección de rechazo de doppler.

Las bibliotecas de secciones transversales de formato ACE basadas en JEF-2.2, JEFF-3.1, JEFF-3.1.1, ENDF / B-VI.8 y ENDFB / B-VII se incluyen en el paquete de instalación de Serpent 1. Los datos de interacción son Disponible para 432 núclidos a 6 temperaturas entre 300 y 1800K. Se

²⁸ Diseño asistido por computadora

incluyen datos de dispersión térmica de átomos unidos para agua ligera y pesada y grafito. Dado que el formato de datos se comparte con MCNP, cualquier biblioteca de datos de formato ACE de energía continua generada para MCNP también se puede usar con Serpent. El formato de los datos determina las "leyes de la física" para las interacciones de los neutrones, y se puede esperar que los resultados de los cálculos de Serpent concuerden con MCNP dentro de las estadísticas.

- **FORMATO DE GRILLA ENERGÉTICA SINDICALIZADA**

Las secciones transversales de energía continua leídas de los archivos de la biblioteca se reconstruyen en una red de energía sindicalizada, utilizada para todos los modos de reacción. El uso de una sola red de energía da como resultado una mayor aceleración en el cálculo, ya que el número de iteraciones de búsqueda de la red que consumen tiempo de CPU se reduce al mínimo. Las secciones transversales macroscópicas de cada material se generan previamente antes de la simulación de transporte. En lugar de calcular las secciones transversales sumando los núclidos constituyentes durante el seguimiento, los valores se leen de las tablas generadas previamente, que es otro medio eficaz para mejorar el rendimiento.

- **DOPPLER-ENSANCHAMIENTO DE SECCIONES TRANSVERSALES**

Una rutina incorporada de preprocesador es la de ampliación Doppler que permite ajustar las temperaturas de las secciones transversales de formato ACE.²⁹ Esta capacidad da como resultado una descripción más precisa de la física de interacción en aplicaciones sensibles a la temperatura, ya que los datos en las bibliotecas de sección transversal están disponibles solo en intervalos de 300K. El método se ha validado con buenos resultados y la rutina funciona de manera eficiente sin una sobrecarga computacional significativa. El ajuste de la sección transversal de dispersión térmica de

²⁹ Formato DE fichero de comprensión de datos.

neutrones y las distribuciones de ángulo de energía en formato S (α , β) se basa en la interpolación entre los datos tabulares.

- MODO DE TRANSPORTE DE FOTONES

Las rutinas de física de fotones se implementaron en Serpent 2 en 2015. El modelo de física actualmente cubre las interacciones básicas (dispersión de Rayleigh y Compton, efecto fotoeléctrico y producción de pares de electrones y positrones) para energías de fotones que van de 1 keV a 100 MeV. Los fotones secundarios se producen mediante relajación atómica y bremsstrahlung, que se manejan utilizando la aproximación de TTB³⁰. El modelo de física es comparable a los métodos utilizados en otros códigos de transporte de Monte Carlo (por ejemplo, MCNP6, PENELOPE, Geant4, EGS5, EGSnrc, FLUKA). Además de las bibliotecas de sección transversal de formato ACE estándar, Serpent lee los datos de interacción de fotones de los archivos de datos complementarios, por lo que el modelo de física no es totalmente compatible con el que se usa en MCNP.

La distribución de la fuente para las simulaciones de transporte de fotones se puede obtener de una fuente de desintegración radiactiva. En este modo fuente, Serpent combina las composiciones de materiales activados en espectros de emisión de fotones leídos de archivos de datos de desintegración radiactiva del formato ENDF. La generación de la fuente se puede combinar con un cálculo de quemado o activación realizada mediante rutinas de cálculo automatizadas integradas. La metodología se ha aplicado, por ejemplo, a los cálculos de barriles de transporte de combustible gastado y la evaluación de las tasas de dosis de cierre después de una inyección de plasma en el reactor de fusión ITER.

El incentivo original para desarrollar un modo de transporte de fotones era tener en cuenta el calentamiento gamma en simulaciones multifísica acopladas. El modelado de la deposición de calor precisa en refrigerante y

³⁰ THICK-TARGET BREMSSTRAHLUNG

materiales estructurales requiere tener en cuenta la contribución directa de los neutrones y la fisión y la captura de gammas. Se implementó un modo de transporte de fotones de neutrones en Serpent 2 en 2017, y el desarrollo de modelos avanzados de deposición de calor está en marcha. La implementación de rutinas de física de fotones también ha permitido ampliar el alcance de las aplicaciones Serpent, desde los cálculos tradicionales de física de reactores hasta el transporte de radiación y el blindaje.

- PARALELIZACIÓN

Serpent se puede ejecutar en paralelo en clústeres de computadoras y estaciones de trabajo de múltiples núcleos. La paralelización a nivel de núcleo se maneja mediante OpenMP basado en subprocesos, que tiene la ventaja de que todos los núcleos de CPU dentro del nodo computacional están accediendo al mismo espacio de memoria. Los cálculos se pueden dividir en varios nodos mediante paralelización MPI de memoria distribuida.

Además de la simulación de transporte de partículas, la paralelización en el modo de cálculo de quemado también divide las rutinas de pre procesamiento y agotamiento entre varias CPU.

- RESULTADOS

La homogeneización espacial fue la principal aplicación prevista para Serpent cuando se inició el proyecto en 2004. La capacidad de generación constante del grupo en Serpent 2 cubre actualmente:

- Secciones homogéneas de reacción de pocos grupos.
- Matrices de producción de dispersión y dispersión.
- Cortes transversales de transporte y coeficientes de difusión calculados utilizando varios métodos.
- Factores de discontinuidad.
- Factores de forma para la reconstrucción de pin-power.

- Albedos y albedos parciales.
- Secciones transversales de veneno para Xe-135 y Sm-149 y sus precursores
- Fracciones de neutrones retardadas efectivas
- Secciones transversales de transmutación para micro-agotamiento.

Serpent también tiene un solucionador de flujo de difusión homogéneo incorporado para calcular los factores de discontinuidad en regiones donde la corriente neta sobre los límites no se reduce a cero por las condiciones de los límites reflectantes. Este es el caso, por ejemplo, en las configuraciones de conjuntos de colores de reflectores y conjuntos. El cálculo de las constantes grupales homogeneizadas está completamente automatizado, y Serpent proporciona una secuencia de quemado automatizada capaz de realizar cálculos de bifurcaciones para la variación de estado-punto.

Los detectores definidos por el usuario (registros) se pueden configurar para calcular varias tasas de reacción integrales para neutrones y fotones. El dominio de integración espacial se puede definir mediante una combinación de celdas, universos, celosías y materiales, o utilizando una malla superpuesta tridimensional. Los resultados se pueden dividir en un número arbitrario de contenedores de energía y tiempo. Los tipos de recuento estándar se basan en la estimación de colisión del flujo de partículas, y los detectores especiales están disponibles para calcular las corrientes de superficie y las velocidades de reacción dentro de los tipos de superficie simples utilizando el estimador de la longitud de la pista. Las cuentas de fotones también incluyen un detector de altura de pulso.

Se encuentran disponibles diversas funciones de respuesta para el cálculo de las tasas de reacción integrales, incluidas las secciones transversales microscópicas macroscópicas e isotópicas de materiales, datos de dosimetría de formato ACE y funciones definidas por el usuario. Los

coeficientes de atenuación de masa-energía incorporados están disponibles para calcular las tasas de dosis de fotones. La deposición de energía y la dosis de radiación también se pueden evaluar utilizando tipos de detectores analógicos, que en algunos casos proporcionan más resultados físicos en comparación con el uso de factores de conversión de flujo a dosis.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **AAN:** Es un método analítico que utiliza el proceso de activación de una muestra mediante un flujo de neutrones (por lo generalmente térmicos) para poder identificarla y cuantificarla.
- **EE.CC.:** Siglas de los “Elementos Combustibles”. Pueden ser normales o de control.
- **Código Serpent:** Serpent es un código de física de tipo simulación Monte Carlo con energía continua capaz de realizar cálculos de quemado tridimensional altamente detallados. Está se desarrolló en el Centro de Investigación Técnica VTT de Finlandia desde 2004 bajo el nombre original de "Probabilistic Scattering Game". Además, se usa a menudo para generar secciones transversales para códigos deterministas de física del reactor.
- **CAN:** Recipiente metálico ubicado en las cajas de irradiación con testigos metálicos dentro de éstas, para el cálculo de flujo térmico y epitérmico testigo.
- **Indicador:** Material metálico con una alta sección eficaz y con mayor probabilidad de activación neutrónica, generalmente se utilizan los indicadores de Au, Cd, Zn, Cu para la activación neutrónica. Se ubican en las diferentes posiciones de los elementos combustibles para el cálculo mapeo neutrónico.
- **SAD:** Sistema de adquisición de datos, es un conjunto de cadenas de marcha que indican la corriente de marcha para la posición a crítico; según esta corriente se estima el valor de la potencia de operación del reactor.
- **Elemento Combustible:** Sistema metálico ubicado en el Núcleo del Reactor, contiene canales para el ingreso de espadas porta muestras y además elementos combustibles de Óxido de Uranio.
- **Método WESTCOTT:** Es un método que permite calcular la tasa de reacción a partir del espectro neutrónico de la muestra y su sección eficaz del radioisótopo.

- **Actividad de Saturación:** Es la actividad máxima alcanzada por el indicador metálico cuando se realiza la activación neutrónica, además la actividad por saturación depende del flujo neutrónico incidente, la sección eficaz del indicador metálico y el número de partículas del indicador; además del tiempo de irradiación.
- **Potencia Térmica:** Es la energía disipada por tiempo que emite el núcleo del reactor en una determinada puesta en servicio. Los principales contribuyentes para la potencia térmica son: el decaimiento de los productos de fisión, las fisiones nucleares del elemento combustible y la energía de los neutrones que se producen por fisión.
- **Razón de Cadmio:** Es la razón entre la actividad del indicador desnudo respecto a la actividad del indicador cubierto por cadmio.
- **Actividad Térmica:** Es la actividad inducida por los neutrones epitermicos, vendría a ser específicamente la diferencia entre actividad del indicador desnudo respecto al cubierto con cadmio.
- **Macros de Excel:** Es un pequeño programa, un conjunto de instrucciones que se puede configurar en la aplicación ofimática de Excel; y cuya finalidad principal es automatizar ciertas actividades rutinarias y repetitivas.
- **Varianza:** Es una medida de dispersión definida como la esperanza al cuadrado, la unidad de medida corresponde al cuadrado de la unidad de medida de la variable. El valor mínimo que se le puede asignar a la varianza es 0, y es usado para expresar las medidas de dispersión de resultados experimentales y/o calculados.
- **Prueba Anova:** Es un análisis de varianza o prueba paramétrica donde se prueba la hipótesis de que las medidas de dos o más poblaciones son iguales. Su estudio no es solo para analizar dispersiones o varianzas de los grupos, sino para estudiar sus medias y la posibilidad de crear subconjuntos de grupos con medias iguales.

- **Factor pico Axial:** Es la razón de la potencia máxima y la potencia de la placa axial, se realiza mediante la medición de la distribución del flujo neutrónico térmico en cada punto de la configuración nuclear, conocida como distribución espacial.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 HIPÓTESIS

- Es posible interpretar el comportamiento del Factor Pico Axial en un elemento combustible del núcleo del reactor, además de cuantificar el valor del flujo medio térmico neutrónico en valores representativos.
- Es posible encontrar un comportamiento lineal del flujo térmico en corrientes bajas e intermedias.
- Es posible que el error que diferencia al resultado teórico y experimental de los variables incógnita pruebe la confiabilidad de la metodología.
- Es posible comparar los resultados del código Serpent con los resultados experimentales, y se podrá encontrar un comportamiento continuo para los flujos térmicos medios en los elementos combustibles.

3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Utilizaremos detectores de precisión muy fina para poder recolectar los datos que necesita la investigación. La medición debe ser planificada cuidadosamente para que reúna los requisitos de validez y confiabilidad. Esta nos llevara de una manera sistemática a los registros de datos, diferenciando claramente de los datos significativos y los que no tienen importancia alguna.

Tabla N° 3.1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TEMA: " Cálculo del factor pico y valor medio del flujo neutrónico térmico en un elemento combustible del Reactor RP-10"							
PROBLEMA: ¿Será posible obtener el Factor pico axial y el valor medio del Flujo Neutrónico Térmico en un elemento Combustible, para la configuración Ne47 del RP10?							
VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	Escala	VALOR FINAL
FLUJO NEUTRÓNICO TÉRMICO	Es la cantidad de neutrones con energías térmicas o que fluyen a través de una superficie durante una unidad de tiempo.	Es el nivel de distribución de neutrones térmicos en un reactor nuclear medido de forma indirecta.	Determinación del flujo neutrónico térmico axial	Actividad radiactiva del alambre activado	Neutrones / centímetro ² por segundo	De intervalo	Muy Bueno: 98% a mas
			Determinación del flujo neutrónico térmico puntual	Actividad radiactiva de la hojuela de oro activado	Neutrones / centímetro ² por segundo	De intervalo	Bueno: 98% - 95% Malo: 95% a menos
FACTOR PICO AXIAL	Es el factor que relaciona el flujo neutrónico térmico promedio en un canal respecto a todo el núcleo.	Factor que indica el índice de criticidad para un manejo seguro de un reactor nuclear.	Factor pico axial del elemento más caliente	Flujo térmico del elemento más caliente.	Adimension al	De intervalo	Bueno: 90% a mas
			Factor pico axial de cualquier elemento	Flujo térmico de los elementos más calientes.	Adimension al	De intervalo	Malo: 90% a menos

IV. METODOLOGÍA

4.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo cuasi-experimental, básica y se basa en una estructura de acuerdo a diversos métodos que permitan una mejor gestión en las configuraciones de los reactores nucleares de investigación. Además, según el enfoque experimental la investigación es cuantitativa; ya que queremos determinar las variables en función de cantidades determinadas, con estas haremos una comparación con el código de cálculo computacional (Serpent). Tiene un carácter retrospectivo; ya que se usa formulismos planteados hace 15 años para configuraciones del Reactor RP-10; además de un carácter prospectivo por ser base para el estudio de investigaciones posteriores. Por ejemplo: determinar el factor pico axial del reactor y valor del flujo neutrónico epitérmico en los siguientes núcleos del RP-10 con nuevos elementos combustibles de siliciuro de uranio.

En la primera etapa de esta Investigación, se realizará la recopilación de datos bibliográficos en donde se espera obtener información sobre Cálculo de Parámetros en Reactores de Investigación; y más acorde a nuestro tema: Factor pico axial y valor medio del flujo térmico vinculados a configuraciones anteriores del reactor RP-10. En la segunda etapa, se elaborarán indicadores para neutrones mediante el proceso de activación nuclear; tener en cuenta que en esta etapa se definirá las dimensiones apropiadas de los indicadores para que vaya anexa a una espada metálica que se introducirá en el elemento combustible. Los indicadores radiactivos emitirán una determina actividad; por lo cual se medirán lo más inmediatamente posible con los detectores de espectroscopia gamma (GeHP, INa). En la tercera etapa se realizarán los cálculos respectivos para determinar los parámetros incógnitos.

En la cuarta etapa se ejecuta un código de cálculo para determinar las distribuciones del flujo neutrónico térmico en la caja de combustible; de acuerdo al código SERPENT. Tener en cuenta que la ecuación general de

activación que se usará será para flujos neutrónicos. En la última etapa se realizará una Inter comparación entre el método calculo – experimental para poder obtener un porcentaje de error e incertidumbre. Además, Revisaremos las hipótesis principales que se deseaban obtener y ver si tuvimos éxito en dichas afirmaciones, además de concluir los resultados de la investigación respectivamente en ese orden.

4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

4.2.1 POBLACIÓN

No es requerido.

4.2.2 MUESTRA

No es requerido.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCION DE LA INFORMACION DOCUMENTAL

No aplica. Toda la información documental fue obtenida de las: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores (Labfer), Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear y el centro de información interna del IPEN.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO

Los métodos e instrumentos utilizados en esta investigación pertenecen al Labfer (Laboratorio de Física de Reactores) bajo la dirección de CASE, aquellos han sido validados según la repetibilidad de casos en la utilización por el ámbito de instrumentos, y los métodos usados son validados según la Dirección de Calidad del IPEN bajo la modalidad de Informes Técnicos o Utilitarios.

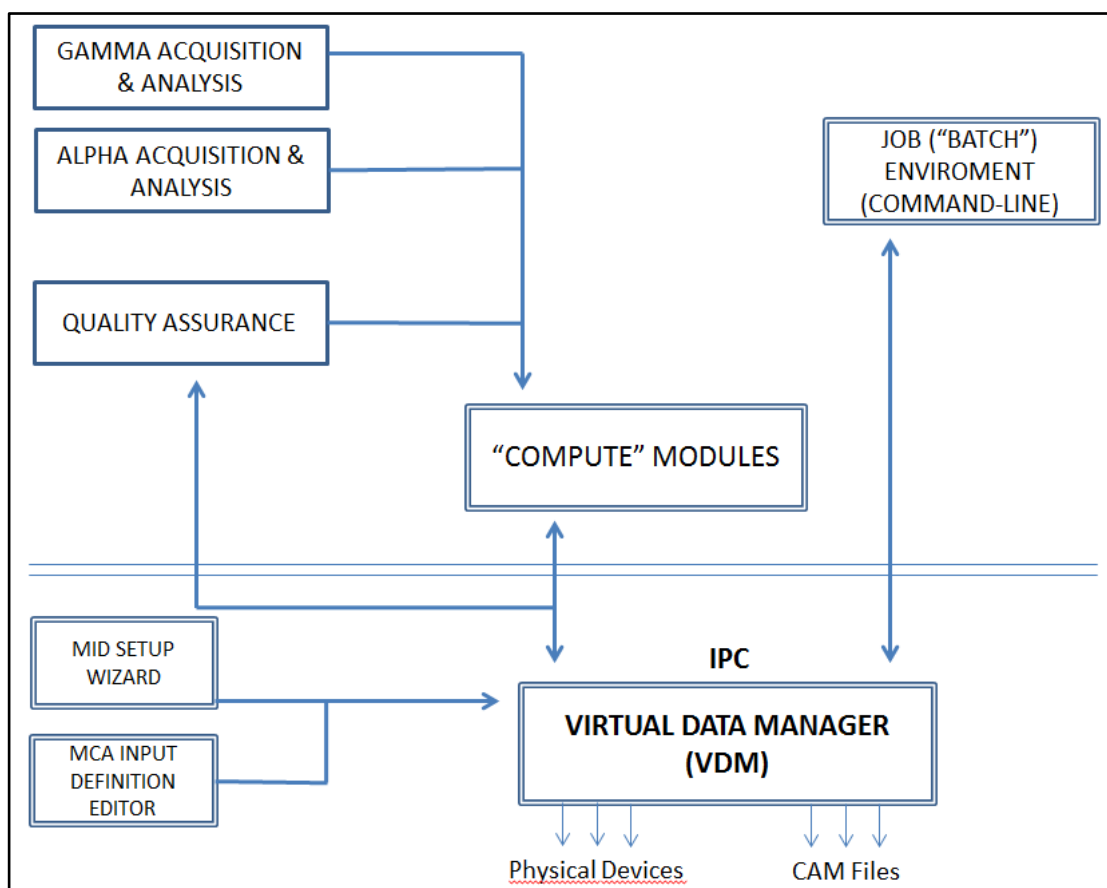
4.4.1 MÉTODOS Y/O TÉCNICAS

- SOFTWARE GENIE 2000

Genie 2000 es un software comprensible para la adquisición y análisis de espectros de analizadores multicanal (MCAs), donde se utiliza para detectores de GeHP. Su función incluye control del MCA, spectral display y manipulación del análisis y reporte de un espectro básico. Las opciones adicionales incluyen comprender el análisis espectral para espectroscopia alfa y gamma, garantía de calidad, sistema de automatización.

Figura N° 4.1

ESTRUCTURA DEL SOFTWARE GENIE



Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores (LABFER), IPEN, 2019

El núcleo del Software Genie 2000 es un módulo conocido como Virtual Data Manager o VDM. El VDM gestiona todo el flujo de información dentro del sistema. Es responsable de la comunicación tanto de los “data file”³¹ como de los dispositivos MCA³²; además de presentar información a las siguientes etapas del software de una manera consistente. De este modo. El VMD hace posible para el usuario operar en todo el espectro – ya sea en el data file o de un producto hardware MCA de apoyo. El VDM y sus controladores de hardware adjuntos mantienen todo nivel bajo en comunicaciones para los MCA tales como transferencia de datos de MCA para archivos de datos.

El VDM está diseñado para comunicarse con las capas subsiguientes de software a través de una capa llamada Inter Process Communication o IPC. IPC está diseñado para funcionar tanto en una sola computadora como en una red. Por lo tanto, se puede acceder a un dispositivo de hardware MCA conectado a un VDM de una computadora para controlar, mostrar y analizar a través de una red desde otra computadora.

Lo siguiente que es importante son los módulos de cómputo. Estos son pequeños programas modulares que realizan funciones básicas: inicio / finalización de la adquisición, transferencia de espectro de MCA a disco, búsqueda de picos, etc. Esta naturaleza modular hace posible la gran flexibilidad en Genie 2000: los módulos individuales se pueden operar juntos en una secuencia Para cumplir con requisitos específicos de aplicación.

Al unir los módulos de cálculo hay dos entornos de interfase de usuario completamente separados: el entorno interactivo y el entorno de procedimiento por lotes. Los distintos entornos se desarrollaron para necesidades muy diferentes, en reconocimiento del hecho de que puede haber usos muy diferentes de un solo sistema.

³¹ Archivos de datos

³² Analizador multicanal

El entorno interactivo, incorporado en la Ventana de Adquisición y Análisis Gamma y (opcionalmente) en la Ventana de Adquisición y Análisis Alfa, está pensado para el manejo directo de todos los aspectos del sistema. Desde una ventana integrada con menús desplegable, una barra de herramientas, páginas de estado, una ventana de informe y una pantalla espectral, el usuario puede hacer prácticamente cualquier cosa con el sistema. El control de adquisición y la manipulación del espectro de análisis son muy interactivos y están disponibles para el usuario todo el tiempo. Esto hace que el entorno sea muy poderoso para el usuario experto: el experimentado espectroscopista revisa los espectros difíciles, prueba el rendimiento del sistema en muestras únicas, optimiza las rutinas de análisis, etc.

Sin embargo, muchas operaciones de laboratorio consisten principalmente en operaciones repetitivas de rutina que utilizan operadores menos capacitados: usuarios que no están capacitados como científicos o radioquímicos, pero técnicos que están capacitados para contar muestras mediante procedimientos específicos. Estos usuarios no necesitan acceso inmediato a todo, de hecho, su acceso a funciones de configuración confidenciales debe ser controlado. Para este grupo de usuarios, el entorno de procedimientos por lotes proporciona una guía paso a paso a través del proceso de conteo de muestras, así como otras operaciones. Además, el entorno de procedimientos por lotes cuenta con un sistema de seguridad que impide el acceso a diversas funciones por parte de operadores no calificados para operarlos.

Tanto el entorno interactivo como el de interfaz de usuario por lotes operan en un conjunto común de módulos de cómputo, de modo que se garantiza la consistencia de la operación y los resultados independientemente del entorno utilizado. Pueden (y generalmente lo hacen) coexistir en un sistema dado, con el entorno de lotes utilizado para las operaciones de rutina y el modo interactivo que se usa para la rutina de nueve.

La potencia del entorno de lotes es explotada por una gama de software de aplicaciones dedicadas para aplicaciones específicas. Si está involucrado en aplicaciones como el conteo rutinario de muestras alfa y gamma, conteo de cuerpo entero, medidas de confirmación de salvaguardas, análisis de desechos o una gran cantidad de otros, los paquetes de aplicaciones creados en el entorno de lotes abordan los requisitos únicos de esas aplicaciones de manera muy específica.

- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DEL GeHP**

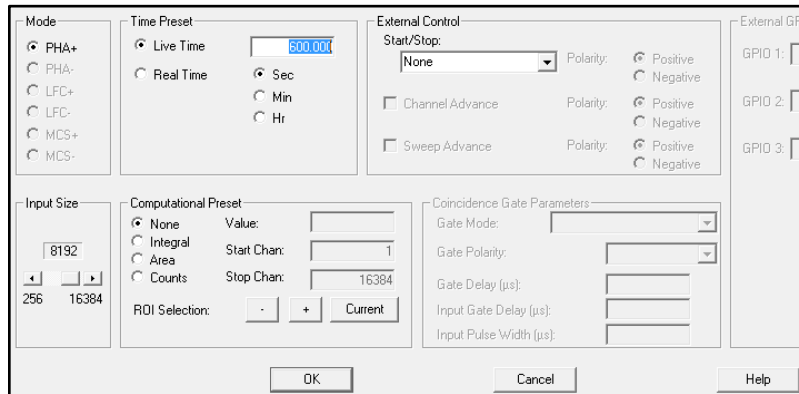
El procedimiento de calibración del detector de GeHP se establece cada cierto periodo de tiempo y tiene por finalidad explicar los pasos para la calibración del detector de GeHP. Existe dos maneras de calibración: Por energía y por eficiencia.

- **CALIBRACION POR ENERGIA**

- 1) Se fija el voltaje de operación incrementando el valor desde cero v hasta llegar a 3.5 kv en un periodo no menor a 12 minutos
- 2) Se establece la geometría del detector, eligiendo una distancia que depende de la actividad de las muestras a medir.
- 3) Se elige como primera fuente de calibración al cobalto-60.
- 4) Se conecta el detector al pc mediante los siguientes pasos:
 - Se ejecuta el software de adquisición de datos, pulsando dos veces el icono “gamma acquisition & análisis”
 - Se selecciona la opción “open datasource”
 - Se elige detector.
 - Luego se marca el icono mp2_mca1 y pulsa open.
- 5) Se fija el tiempo de contaje en 600 segundos mediante los siguientes pasos:
 - Clic izquierdo en la pestaña mca.
 - Se selecciona la opción “acquire setup”
 - En la ventana “time preset” se fija el tiempo en 600 segundos.

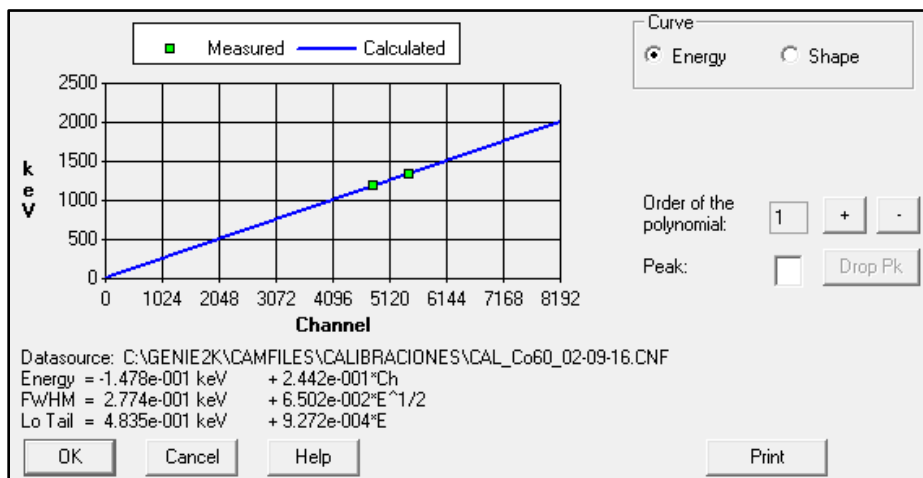
- 6) Se borra la lectura anterior con el botón clear.
- 7) Se borran las regiones de interés (rois)
- 8) Finalmente, en la ventana “acquire” se pulsa el botón “star”
- 9) Una vez terminado el proceso de contaje seguimos los siguientes pasos:
 - Clic izquierdo en la pestaña “calibrate”.
 - Se selecciona la opción “energy full” seguidamente la opción “by certificate file”.
 - Entramos en la carpeta camfiles y ubicamos el archivo co60.ctf.
 - Pulsamos el botón “open”
 - Pulsamos el botón “auto” y luego ok.
- 10) Observamos el grafico de calibración haciendo clic izquierdo en la pestaña “calibrate” seguidamente elegimos la opción “energy show”
- 11) Se elige la segunda fuente de calibración cesio-137.
- 12) Se ejecutan los pasos del 5 al 8
- 13) Una vez terminado el proceso de contaje seguimos los siguientes pasos:
 - Clic izquierdo en la pestaña “calibrate”.
 - Se selecciona la opción “energy full” seguidamente la opción “by certificate file”.
 - Entramos en la carpeta camfiles y ubicamos el archivo cs137.ctf.
 - Habilitamos la opción “append to existing calibration”
 - Pulsamos el botón “open”
 - Pulsamos el botón “auto”
 - Finalmente presionamos el botón ok.
- 14) Observamos el grafico de calibración haciendo clic izquierdo en la pestaña “calibrate” seguidamente elegimos la opción “energy show”
- 15) Finalmente se guarda la calibración en la carpeta camfiles con el nombre
cal_enrg_co60_cs137_fecha.

Figura N° 4.2
 GEOMETRÍA DEL DETECTOR – VENTANA DEL TIEMPO DE MEDICIÓN



Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores (LABFER), IPEN, 2019

Figura N° 4.3
 GRAFICA DE CALIBRACIÓN, CANAL VS ENERGÍA



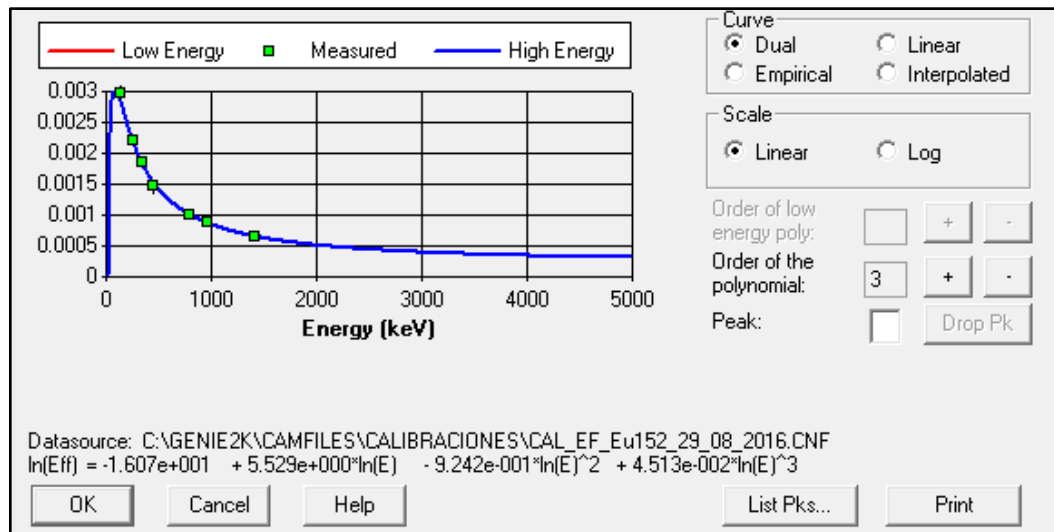
Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores, IPEN, 2019

- **CALIBRACION POR EFICIENCIA**

- 1) Se elige como fuente de calibración al europio-152.
- 2) Se fija el tiempo de contaje en 900 segundos.
- 3) Se borra la lectura anterior con el botón clear.
- 4) Se borran las regiones de interés (rois)
- 5) Finalmente, en la ventana “acquire” se pulsa el botón “star”
- 6) Una vez terminado el proceso de contaje seguimos los siguientes pasos:
 - Clic izquierdo en la pestaña “calibrate”.
 - Se selecciona la opción “efficiency” seguidamente la opción “by certificate file”.
 - Entramos en la carpeta camfiles y ubicamos el archivo eu152.ctf.
 - Pulsamos el botón “open”
 - Pulsamos el botón “auto” y luego presionamos ok
- 7) Observamos el grafico de calibración haciendo clic izquierdo en la pestaña “calibrate” seguidamente elegimos la opción “efficiency show”
- 8) Finalmente se guarda la calibración en la carpeta camfiles con el nombre cal_eff_eu152_fecha.

Figura N° 4.4

GRAFICA DE CALIBRACIÓN, EFICIENCIA VS ENERGIA



Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores, IPEN, 2019

- PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN GeHP

La cadena de medición del detector GeHP es de tipo inmediato – ion, posee bandas de valencia y de conducción; por lo que debe refrigerarse constantemente al semiconductor. El transductor como el detector está en forma vertical y conectados a la cadena electrónica (ver Fig. N° 4.5). Según el procedimiento de calibración establecido por LABFER (laboratorio de física de reactores), se toman los siguientes pasos:

- 1) Primeramente se fija el voltaje de operación incrementando el valor desde cero V hasta llegar a 3.5 kV en un periodo no menor a 12 minutos
- 2) Se establece la geometría del detector para la medición de los patrones de referencia.
- 3) Se realiza una primera medición con la fuente de Co-60 (661.7 eV) en 600 s para ajustar los canales
- 4) Se elige la fuente a medir según la geometría del detector.

- 5) Se conecta el detector a la PC, ejecutando el software de adquisición de datos “Gamma Acquisition & Análisis”
- 6) Se fija el tiempo de contaje en 600 segundos
- 7) En la ventana “Acquire” se pulsa el botón “Star”
- 8) Presionamos el icono del disquete para guardar la medición según: (Elemento del indicador)_(Codigo del indicador)_(Fecha actual de la medición)

Figura N° 4.5
SISTEMA DE DETECCIÓN DEL GEHP



Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores, IPEN, 2019

La Figura 4.5 nos muestra el Sistema de detección del GeHP. La parte izquierda es el posicionamiento físico del detector de GeHP (círculo rojo) para una medición de flujos la parte derecha se puede visualizar la zona electrónica del detector H.V.Power (fuente de poder), AMP/TSCA (amplificador de pulsos) y el MULTIPORT (multipuerto para varios detectores)

- PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN NaI

La cadena de instrumentación nuclear consta de una aplicación WSCAN en una pc y un detector de NaI montado sobre un dispositivo móvil que permite desplazar la o las muestras colocadas.

1. Se enciende el UPS y las zapatillas, o tomacorrientes, que alimentan la cadena de instrumentación y PC.
2. Se enciende la porta módulos BNC (PORTANIM) y seguidamente se enciende la fuente de alto voltaje.
3. Se verifica en el voltímetro analógico de la fuente de alto voltaje indique un valor aproximado de 0.9 que equivale a 900 voltios.
4. Se enciende la PC y se ejecuta la aplicación WSCAN. verifique que se muestra una interfaz como en la figura y que no se muestra ningún mensaje de error.

El patrón a usar para el ajuste de la ventana del SCA es un hilo de 65.5 cm del mismo material que las muestras a medir. Se puede utilizar una de las muestras a medir pues el ancho del fotópico (y por lo tanto el ancho de la ventana a fijar en el SCA) es característico para cada isotopo.

Las muestras a medir deben tener las siguientes características:

- Los hilos de cobre u otro material que se utilice deben medir 65.5 cm de largo.
- En los extremos de los hilos se debe agregar un accesorio que permita sujetarlo fácilmente a la base móvil del escáner de alambres. estos accesorios pueden ser uno ojales que puedan sujetarse a 2 ganchos que se encuentran en la base móvil, el diámetro de los ganchos es de 0.5mm.

La selección de la ventana de energía correspondiente al fotópico de las muestras de interés para determinar el perfil de flujo relativo del núcleo se debe realizar utilizando una fuente del mismo material que las muestras y

se recomienda usar fuentes con un solo fotópico (un fotópico principal de mayor intensidad que el resto).

- 1) Con la muestra coloca en la base móvil del escáner, se ejecuta la aplicación WSCAN en la PC.
- 2) En la ventana inicial se ingresan los parámetros requeridos, y presiona el botón ACEPTAR VALORES. Debe esperar unos minutos hasta que la aplicación muestre el mensaje de LISTO. Imagen de la ventana inicial.
- 3) Cambie de ventana a la ventana de configuración. en la parte inferior de la ventana está la casilla de opciones que inicialmente estará en "INICIO", debe cambiarlo a "CONFIGURACION".
- 4) Ingrese el parámetro requerido (número de canales, se recomienda dejarlo entre 50 y 100) y presione iniciar medición. la aplicación realizará las mediciones necesarias para graficar el espectro de energía de la muestra.
- 5) Cuando se finalice la medición se mostrará el espectro obtenido. identifique los fotopicos de interés. Imagen de la ventana de configuración.
- 6) Mediante dos cursores verticales que proporcione la aplicación, seleccione los límites superior e inferior del rango de energía (canal) que abarca el fotopico de interés. presione en "AJUSTAR SCA" para finalizar.
- 7) Si el espectro obtenido no permite seleccionar una "ventana" de energía adecuado (porque el fotopico no se observa claramente o está fuera de rango) finalice la aplicación presionando el botón "SALIR", luego proceda a ajustar la ganancia del amplificador si es necesario y repita los pasos del 2 al 6, cambiando los parámetros si fuese necesario.

Figura N° 4.6
SISTEMA DE DETECCIÓN DEL NaI



Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores, IPEN, 2019

La Figura 4.6 nos muestra el Sistema de detección del NaI. La parte izquierda es el posicionamiento físico del detector de NaI (círculo rojo) para una medición de flujos la parte derecha se puede visualizar la zona electrónica del detector H.V.P.S. (fuente de poder), ARCAL/OIEA (Sistema de escaneo de alambres) y el AMP/TSCA (amplificador de pulsos)

4.4.2 INSTRUMENTOS Y MATERIALES

Los instrumentos utilizados tanto como los materiales que se dispusieron para el proceso de activación neutrónica son los siguientes:

- Detectores de espectroscopia gamma: INa (Ioduro de Sodio), GeHP (Germanio Hiperpuro). Los diseños de los dos detectores necesitan de un pre – amplificador y un amplificador. El contador de impulsos es diferente para cada detector; ya que cada uno tiene una característica específica.
- Hojuelas de Oro con número de masa 197 g/mol y pureza química del 99.99 %
- Alambres de cobre de aproximadamente 65.5 cm

- Cobertores de cadmio para cubrir las hojuelas de oro, de número de masa 114 g/mol
- Tijeras, cintas adhesivas, espadas metálicas, guantes, equipo de protección radiológica (dosímetros TLD), blindajes de plomo, guardapolvo, activímetro, termohigrómetro, dosímetro electrónico, etc.

Las Indicadores propuestos son elaboradas de planchas de un material con una sección eficaz apropiada para la activación neutrónica, tratadas mediante un análisis físico-químico para luego ser convertidas en hojuelas con una pureza de un 99.99% con un diámetro de 1.27 mm y espesor de 0.025 gr. (Para que se ubiquen en los porta muestras de la caja de combustible)

La preparación de muestras y los estándares requeridos en la investigación serán tomados de acuerdo a la bibliografía (Agustín Zúñiga, y otros, 2002, pag. 4), su trabajo fue realizado con Hojuelas metálicas desnudas y también cubiertas con cobertores de cadmio para el análisis del Flujo Epitérmico Neutrónico. Para el desarrollo de las muestras en este trabajo, se buscó tener un metal con una sección eficaz viable entre las energías térmicas de los Neutrones generados por el núcleo del Reactor RP-10, el cual contiene Uranio 235 enriquecido ($U_{\text{enriquecido}}^{235}$); por ende, las características físicas del Oro lo hacen un buen elemento para la Activación con Neutrones Epitérmicos. Además, el material que se utilizara para la activación neutrónica, necesita ser un indicador con las siguientes características:

- El material a elegir debe producir después de la activación neutrónica, un radionúclido que tenga periodo de semi desintegración conveniente para el cálculo
- Debe tener un gran porcentaje de radiación gamma que emite.
- La vida media del radionúclido ($T_{1/2}$) debe ser conveniente para realizar un conteo de actividad con buena estadística

- El material debe tener alta pureza, para que la activación de las posibles impurezas no interfiera con la medida de actividad
- Debe tener una resistencia a las condiciones del medio (temperatura, humedad, etc.) donde se va a irradiar, para que no sufra daños morfológicos durante la irradiación
- Debe tener una alta sección eficaz de captura neutrónica

El Indicador debe presentar características físico-químicas de acuerdo a las condiciones del núcleo del Reactor RP-10; el elemento del indicador debe de ser un metal denso y blando, el material indicado para esta experiencia sería el oro; el cual posee número atómico 79 y su masa atómica es 196.967 uma. Solo es soluble al cloro o agua regia.

El oro tiene un punto de fusión de 1064°C, un punto de ebullición de 2970°C y una densidad relativa de 19.3 g/cm³. El Au también tiene 34 radioisótopos de los cuales el Au¹⁹⁷ es estable y tiene una alta abundancia en estado natural, los demás radioisótopos son inestables y decaen. Algunas referencias de algunos indicadores y materiales utilizados en el método de análisis por activación neutrónica:

Tabla N° 4.1.

TIPO DE REACCIÓN Y PROPIEDADES NUCLEARES DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS

ELEMENTO	REACCIÓN	T1/2 DEL PRODUCTO [t]	SECCION EFICAZ DE CAPTURA [barns]
Aluminio	$Al^{127}(n, \gamma)Al^{128}$	2,3 m	0,53
Cobalto	$Co^{59}(n, \gamma)Co^{60}$	5,27 a	37
Cobre	$Cu^{63}(n, \gamma)Cu^{64}$	12,8 h	4,1
Oro	$Au^{197}(n, \gamma)Au^{198}$	2,70 d	98,8
Indio	$In^{115}(n, \gamma)In^{116m}$	54,29 m	132
Sodio	$Na^{23}(n, \gamma)Na^{24}$	15 h	0,21
Europio	$Eu^{151}(n, \gamma)Eu^{152m}$	19,2 h	1400

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.1

CODIFICACIÓN DE INDICADORES TIPO HOJUELA

HOJUELA	MASA [g]	HOJUELA	MASA [g]	HOJUELA	MASA [g]
L01	0.00510	L21	0.00522	L41	0.00528
L02	0.00525	L22	0.00519	L42	0.00523
L03	0.00533	L23	0.00520	L43	0.00531
L04	0.00526	L24	0.00516	L44	0.00519
L05	0.00524	L25	0.00528	L45	0.00528
L06	0.00515	L26	0.00516	L46	0.00523
L07	0.00525	L27	0.00522	L47	0.00524
L08	0.00529	L28	0.00528	L48	0.00521
L09	0.00510	L29	0.00532	L49	0.00522
L10	0.00529	L30	0.00528	L50	0.00522
L11	0.00515	L31	0.00524	L51	0.00516
L12	0.00529	L32	0.00526	L52	0.00525
L13	0.00529	L33	0.00523	L53	0.00518
L14	0.00525	L34	0.00528	L54	0.00529
L15	0.00525	L35	0.00533	L55	0.00525
L16	0.00527	L36	0.00522	L56	0.00526
L17	0.00534	L37	0.00511	L57	0.00530
L18	0.00517	L38	0.00523	L58	0.00531
L19	0.00519	L39	0.00514	L59	0.00534
L20	0.00528	L40	0.00534	L60	0.00517

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.2

CODIFICACIÓN DE INDICADORES TIPO MICRO - HOJUELA

HOJUELA	MASA [mg]	HOJUELA	MASA [mg]	HOJUELA	MASA [mg]
M01	0.185	M06	0.130	M11	0.120
M02	0.147	M07	0.175	M12	0.120
M03	0.123	M08	0.152	M13	0.130
M0	0.195	M09	0.110		
M05	0.147	M10	0.127		

Fuente: Elaboración propia

Para la irradiación a potencias intermedias y altas se trabajó con micro indicadores de Au; las cuales fueron medidas en una balanza analítica “Mettler Toledo AT261” (0.01mg/0.1mg). Fueron en promedio de 5 mediciones por muestra

Figura N° 4.7

INDICADORES METÁLICOS Y COBERTORES



Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores, IPEN, 2019

La Figura 4.7 nos muestra desde la izquierda Indicadores metálicos Au-198 con 99.99% de pureza, en la parte central los cobertores de cadmio, y en la parte derecha los indicadores tipo alambre de Cu.

Figura N° 4.8

MATERIALES SECUNDARIOS DE IRRADIACIÓN



Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores, IPEN, 2019

La Figura 4.8 nos muestra desde la izquierda la caja de irradiación física convencional, en la parte central se visualiza la espada de aluminio que

llevara a los indicadores metálicos, y en la parte derecha el CAN físico convencional que se ubicó en las cajas de irradiación.

Figura N° 4.9
MATERIALES VARIOS



Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores, IPEN, 2019

La Figura 4.9 nos muestra materiales varios, desde la izquierda el dosímetro detector de radiación portátil, en la parte central se visualiza pabito para las espadas, guantes de laboratorio, pinzas para agarrar los elementos activados; y en la parte derecha la fuente de calibración para las mediciones.

- CONFIGURACIÓN N°47 DEL NUCLEO

La distribución de cajas de irradiación y elementos combustibles para la colocación de indicadores en el proceso de activación neutrónica son los de las siglas: CI-E4 (caja de irradiación central), A-023/E5 (Elemento combustible normal), NN-028/F2 (Elemento combustible normal), A-007/C4 (Elemento combustible normal) y el A-015/E5 (Elemento combustible normal). Para todas las operaciones de prepuesta en servicio.

Figura N° 4.10

CONFIGURACION N°46 AL INICIO DEL CICLO

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	TN	BE-01	BE-02	BE-03	BE-04	BE-05	BCF	BE-06	CF
2	GR-01	BE-07	CI-C2	NN-030 44.49%	NC-006 52.86%	NN-028 44.78%	NN-025 46.80%	BE-08	GR-02
3	BE-09	BE-10	NN-032 33.89%	AS-001 21.16%	A-018 17.51%	NC-008 37.31%	A-008 20.33%	BE-11	BE-12
4	BE-13	BE-14	A-007 18.43%	A-017 16.91%	CI-E4	A-021 12.72%	A-009 18.88%	BE-15	BE-16
5	BE-17	BE-18	A-019 20.99%	NC-007 47.19%	A-023 17.41%	AS-005 18.80%	A-010 20.74%	BE-19	BE-20
6	GR-03	BE-21	NN-024 47.29%	NN-026 40.22%	A-015 18.05%	NN-029 43.80%	CI-G6	BE-22	GR-04
7	CI-A7	BE-23	BE-24	BE-25	BE-26	BE-27	BE-28	BE-29	CI-I7
8			GR-05	GR-06	BE-30	GR-07	GR-08		

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

Donde:

CI: Caja de Irradiación

NN,A: Elemento combustible Normal

BCF: Barras de Control Fino

TN: Tubo Neumático

GR: Elemento de Grafito

BE: Elemento de Berilio

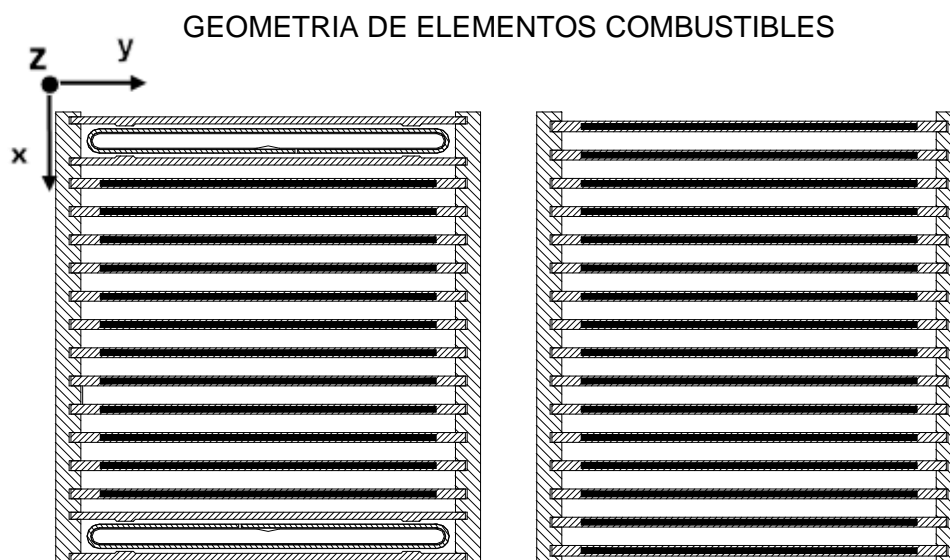
Esta configuración tomada fue la N°46 al inicio del ciclo, no se realizaron cambios estructurales en la configuración N°47. Por lo que se mantuvo la población neutrónica según las condiciones iniciales de operación

- GEOMETRIA DE UN ELEMENTO COMBUSTIBLE:

La geometría de un canal de elemento combustible posee coordenadas espaciales referenciales. Los canales de elementos combustibles siguen

las coordenadas espaciales “Y” y “Z”; ya que cada elemento combustible posee canales (ranuras) en dirección del eje “X”

Figura N° 4.11



Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

La Figura 4.10 nos muestra la geometría de un elemento combustible y elemento de barra de control y/o seguridad, desde el elemento de barra de control y/o seguridad presenta 11 ranuras para irradiación y en la parte derecha el elemento combustible con 15 ranuras para irradiación.

- GEOMETRIA DEL INDICADOR TIPO ALAMBRE

La geometría del indicador para el cálculo posee las mismas propiedades que el indicador tipo Alambre utilizado en la parte experimental, este indicador referencial del flujo térmico neutrónico nos determinara hasta 100 datos en todo el MIT (sección fuera donde ocurre reflexión de neutrones). Para el cálculo mediante Serpent es muy útil conocer la distribución axial del flujo en cada canal, por ello se simularon 9 indicadores por canal de elemento combustible; de esta manera la distribución neutrónica térmica en el eje “y” y en el eje “z” estará modelado.

Figura N° 4.12
GEOMETRÍA DE LA ESPADA Y EL INDICADOR TIPO ALAMBRE PARA
CÁLCULO.



Fuente: Elaboración propia.

- CAMARA DE IONIZACION Y FISIÓN

Las cámaras de ionización y fisión son dispositivos para la detección de radiación ionizante, en su mayoría radiación gamma y neutrones (para el caso de reactores). El diseño de la instrumentación de los detectores o cámaras (ionización o fisión) consiste esencialmente en dos electrodos dispuestos concéntricamente, uno de los cuales se encuentra recubierto de un material fisionable (puede ser boro). El espacio existente entre ambos se rellena con un gas inerte y cuando un neutrón interacciona con el mencionado material fisionable produce una fisión, generando un par de productos de fisión; los cuales, debido a la alta energía con la que emergen, son emitidos en direcciones casi opuestas. Uno de los productos de fisión es atrapado en el ánodo, mientras que el segundo es proyectado hacia el espacio inter-electrodos ionizando el gas. Los productos de fisión son isótopos con carga eléctrica por lo que el fragmento que es proyectado hacia el gas que rellena el espacio inter-electrodos produce la ionización del mismo a medida que este se desplaza a través de él, produciendo la liberación de pares electrón-ion. Estos pares, bajo la acción de un campo eléctrico producido por la aplicación de un voltaje de polarización a los electrodos de la cámara, comienzan a desplazarse en direcciones opuestas, los electrones hacia el ánodo y los iones hacia el cátodo. Este desplazamiento de cargas en el seno de un campo eléctrico produce un pulso de corriente y una caída de potencial, que pueden ser medidos por la electrónica conectada al detector. A estos pulsos de corriente los llamamos corriente de operación (para los detectores de fisión) y corrientes de marcha (para los detectores de ionización), tener en cuenta que la

diferencia entre uno y otro es el grado de precisión en la detección de los flujos neutrónicos (mas preciso con el detector de fisión)

4.5 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

En esta sección detallaremos en análisis de los datos de entrada presentados en la parte experimental, además explicaremos los métodos del procesamiento de los datos que utilizamos para todos los datos de entrada de la parte experimental.

4.5.1 ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

Los datos de entrada experimentales fueron obtenidos del software licenciado para los detectores de medición GeHP (Genius 2000) y NaI (WSCAN). Se evaluaron todos los datos en tres pre puestas en servicio a una operación de la corriente de marcha promedio de la cámara de ionización ICM4, para las siguientes cantidades 1.02×10^{-10} A, 2.00×10^{-10} A, 1.05×10^{-9} A y 2.15×10^{-9} A (primera pre puesta en servicio) evaluada en las posiciones E4 (X,Y) – E5 (5-6). Para la segunda pre puesta en servicio a 2.10×10^{-8} A, 2.10×10^{-7} A en las posiciones E4 (X,Y) – E5 (5-6).Y finalmente a 2.08×10^{-9} A en las posiciones F2[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]; C4[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] y E6[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)].

4.5.2 FLUJOS NEUTRONICOS – INDICADORES TIPO HOJUELA

Para la estimación de flujos neutrónicos en la configuración N°47 del RP10, se obtuvo para la primera y segunda pre puesta en servicio:

Cuadro N° 4.3

FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EPITERMICOS

CORRIENTE [A]	POSICION	FLUJOS TERMICOS [$n/cm^2.s$]	FLUJOS EPITERMICOS [$n/cm^2.s$]	TIEMPO DE IRR. [m]
1.02E-10	E4 / 4X	6.01E+09	2.40E+08	60
	E4 / 4Y	6.20E+09	2.37E+08	
	E5 / (5-6)	2.33E+09	2.38E+08	
2.00E-10	E4 / 4X	1.02E+10	5.06E+08	60
	E4 / 4Y	9.82E+09	5.32E+08	
	E5 / (5-6)	4.10E+09	4.97E+08	
1.05E-09	E4 / 4X	4.62E+10	2.45E+09	30
	E4 / 4Y	4.84E+10	2.36E+09	
	E5 / (5-6)	2.27E+10	2.36E+09	
2.15E-09	E4 / 4X	1.28E+11	6.96E+09	30
	E4 / 4Y	1.32E+11	6.57E+09	
	E5 / (1-2)	6.46E+10	6.48E+09	
	E5 / (5-6)	4.87E+10	6.38E+09	

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

Cuadro N° 4.4

FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EPITERMICOS

CORRIENTE [A]	POSICION	FLUJOS TERMICOS [$n/cm^2.s$]	FLUJOS EPITERMICOS [$n/cm^2.s$]	TIEMPO DE IRR. [m]
2.12E-08	E4 / 4X / CAN	1.34E+12	7.29E+10	15
	E4 / 4Y / CAN	1.22E+12	6.92E+10	
	E5 / (5-6)	8.91E+11	7.68E+10	
2.10E-07	E4 / 4X / CAN	1.56E+13	5.28E+11	15
	E4 / 4Y / CAN	1.38E+13	6.77E+11	
	E5 / (5-6)	6.15E+12	7.46E+11	

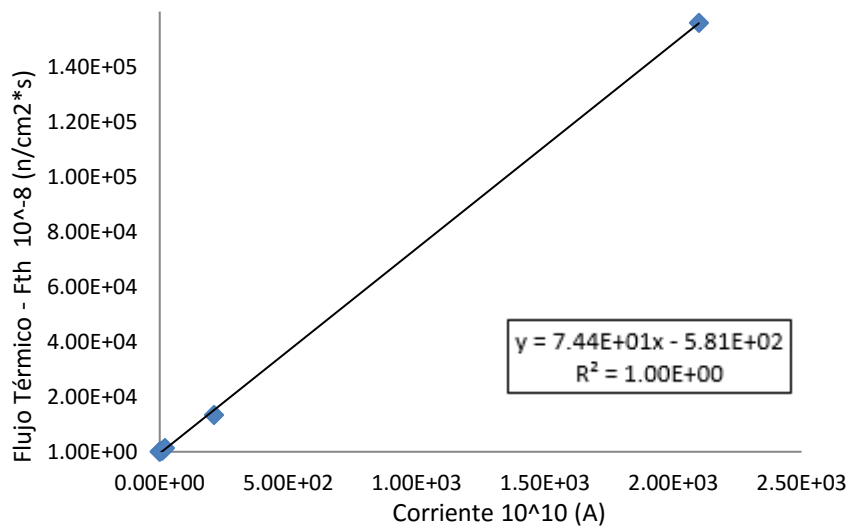
Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019.

De los dos primeras pre puestas en servicio, se tienen siguientes figuras 4.12., 4.13., 4.14., 4.15., 4.16. y 4.17 que representan una relacion entre

Flujo neutronico termico vs corriente de operación (detector de fisión, Ver seccion 4.4.2.) de las posiciones del combustible E4 (X,Y) – E5 (5-6).

Figura N° 4.13

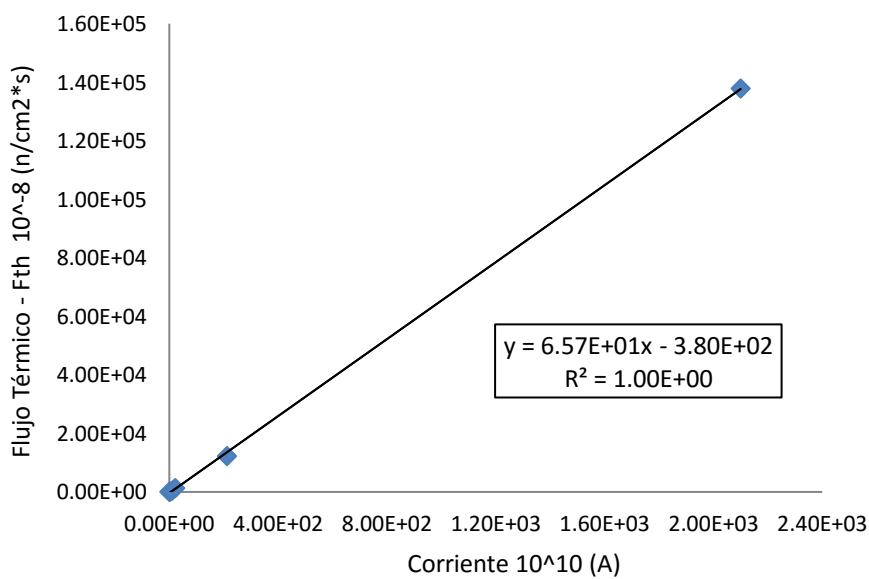
FLUJO TÉRMICO (E4X) - CORRIENTE



Fuente: Elaboración propia

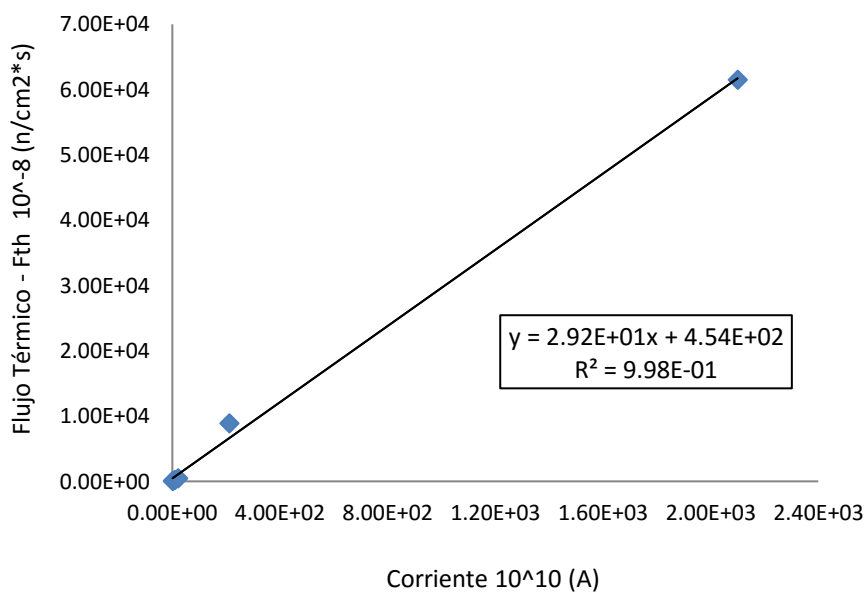
Figura N° 4.14

FLUJO TÉRMICO (E4Y) - CORRIENTE



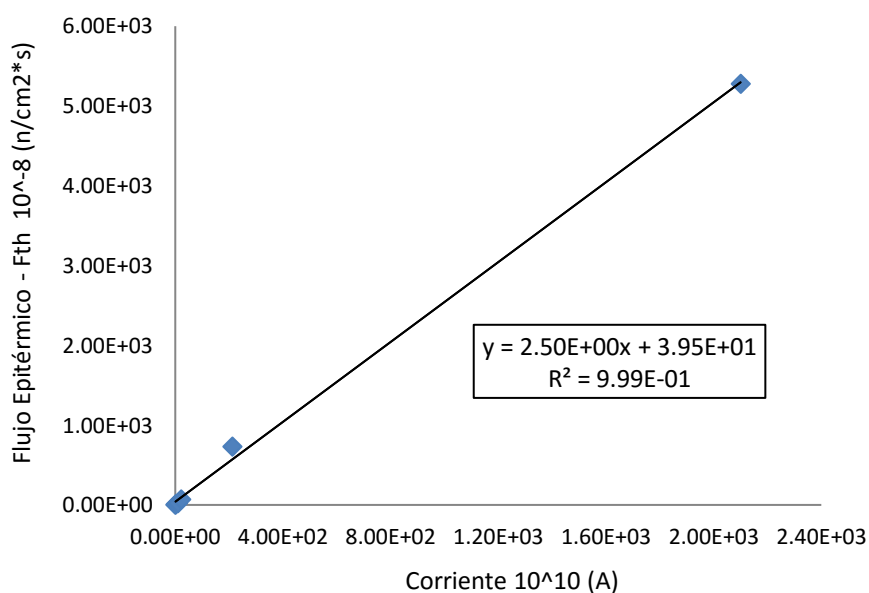
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.15
 FLUJO TÉRMICO (E5 [5-6]) - CORRIENTE



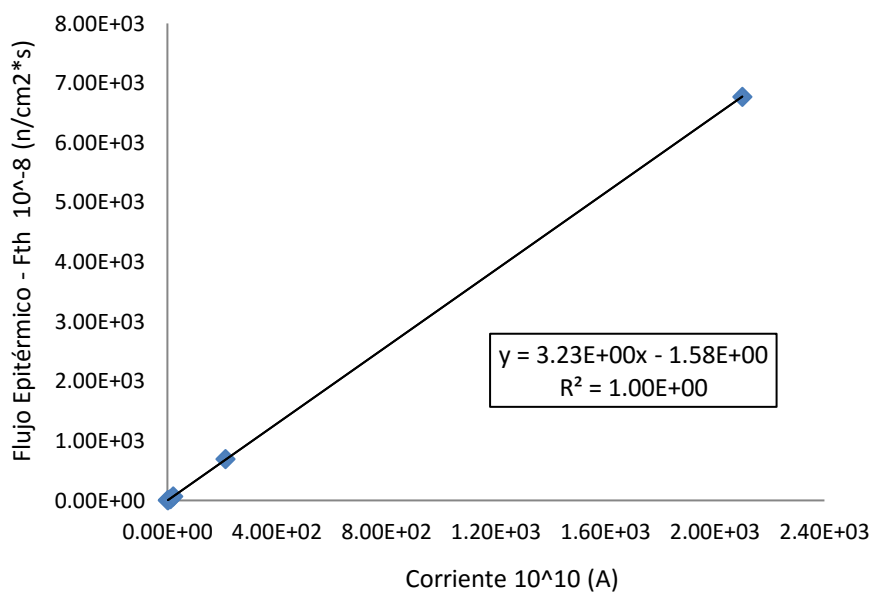
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.16
 FLUJO EPITÉRMICO (E4X) - CORRIENTE



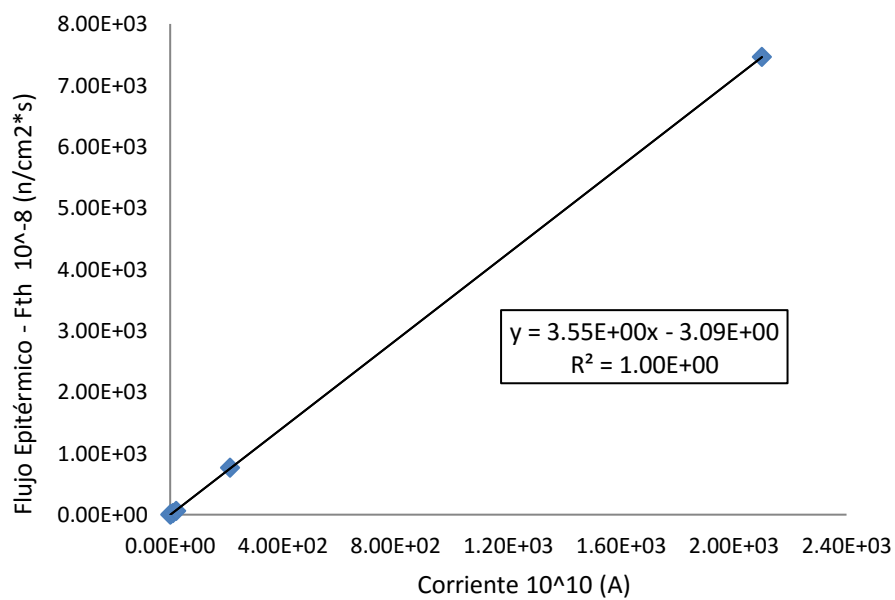
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.17
 FLUJO EPITÉRMICO (E4Y) - CORRIENTE



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.18
 FLUJO EPITÉRMICO (E4Y) - CORRIENTE



Fuente: Elaboración propia

También se obtuvieron de los parámetros más resaltantes para el método Westcott; estos son Actividad de Saturación Bare (A_B), Actividad de Saturación Cadmio (A_B), Índice Espectral Westcott, Razón de cadmio de saturación y la Actividad Térmica (A_{th})

Cuadro N° 4.5.

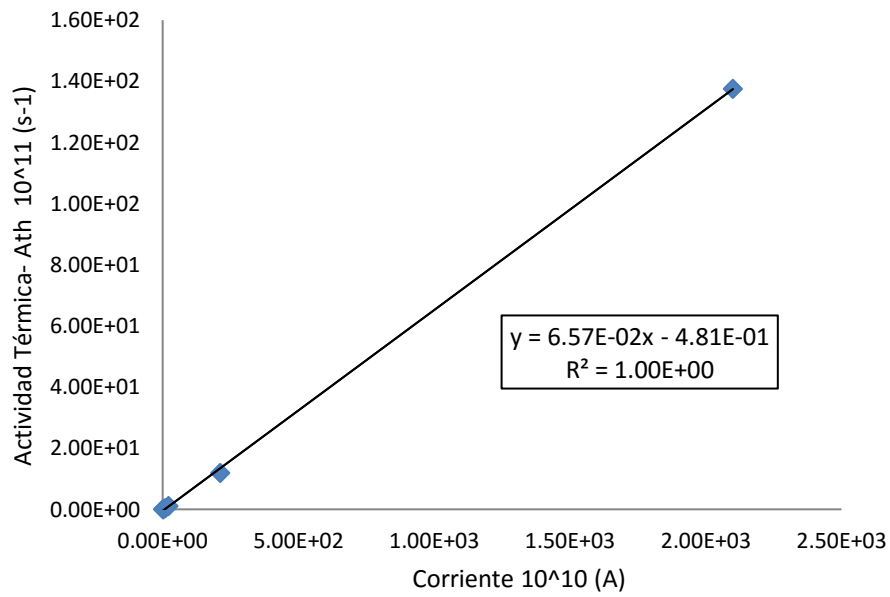
FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EPITERMICOS

CORRIENTE [A]	POSICION	INDICE ESPECTRAL WESTCOTT (RW)	RAZÓN DE CADMIO SATURACION	ACT. SAT. BARE [s^{-1}]	ACT. SAT. CD [s^{-1}]	ACTIVIDAD TERMICA [$s^{-1} \cdot 10^{11}$]
1.02E-10	E4 / 4X / CAN	3.84E-02	4.29	6.94E-13	1.62E-13	0.05
	E4 / 4Y / CAN	3.68E-02	4.44	7.08E-13	1.60E-13	0.05
	ESP E5 / (5-6)	9.24E-02	2.34	3.75E-13	1.60E-13	0.02
2.00E-10	E4 / 4X / CAN	4.73E-02	3.66	1.25E-12	3.41E-13	0.09
	E4 / 4Y / CAN	5.12E-02	3.46	1.24E-12	3.58E-13	0.09
	ESP E5 / (5-6)	1.07E-01	2.14	7.17E-13	3.34E-13	0.04
1.05E-09	E4 / 4X / CAN	5.03E-02	3.50	5.78E-12	1.65E-12	0.41
	E4 / 4Y / CAN	4.63E-02	3.72	5.90E-12	1.59E-12	0.43
	ESP E5 / (5-6)	9.35E-02	2.32	3.68E-12	1.59E-12	0.21
2.15E-09	E4 / 4X / CAN	5.16E-02	3.44	1.61E-11	4.68E-12	1.14
	E4 / 4Y / CAN	4.73E-02	3.66	1.62E-11	4.42E-12	1.18
	ESP E5 / (5-6)	1.15E-01	2.06	8.86E-12	4.29E-12	0.46
2.12E-08	E4 / 4X / CAN	5.16E-02	3.44	1.69E-10	4.90E-11	11.95
	E4 / 4Y / CAN	5.33E-02	3.36	1.56E-10	4.65E-11	10.97
	ESP E5 / (5-6)	7.90E-02	2.57	1.33E-10	5.17E-11	8.13
2.10E-07	E4 / 4X / CAN	3.27E-02	4.87	1.73E-09	3.55E-10	137.57
	E4 / 4Y / CAN	4.68E-02	3.69	1.68E-09	4.56E-10	122.68
	ESP E5 / (5-6)	1.07E-01	2.14	1.08E-09	5.01E-10	57.36

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

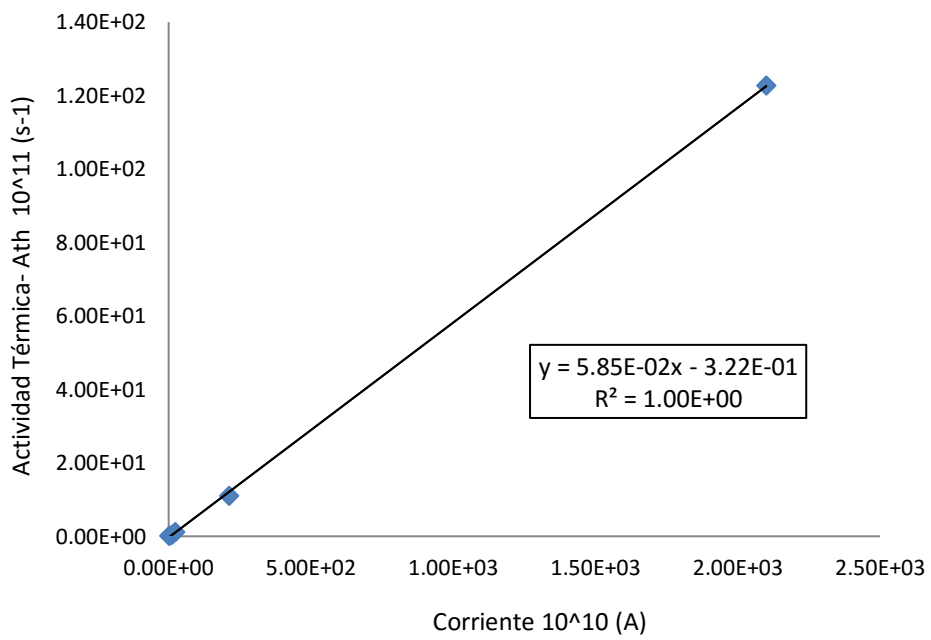
Además del cuadro 4.5., se pueden graficar las siguientes figuras 4.18., 4.19. y 4.20. que representan una relacion entre actividad térmica vs corriente de operación (calibración) en las posiciones del combustible E4 (X,Y) – E5 (5-6).

Figura N° 4.19
ACTIVIDAD TÉRMICA (E4X) - CORRIENTE



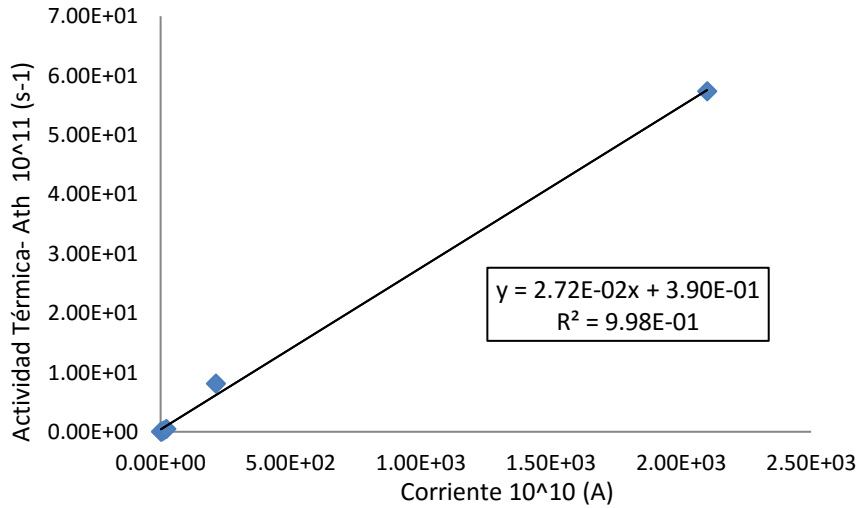
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.20
ACTIVIDAD TÉRMICA (E4Y) - CORRIENTE



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.21
ACTIVIDAD TÉRMICA (E5 [5-6]) - CORRIENTE



Fuente: Elaboración propia

En la tercera propuesta de operación se realizó un análisis en diversas posiciones de elementos combustibles pero a la misma potencia se obtuvo los siguientes datos referentes a las posiciones F2,C4 y E6.

Cuadro N° 4.6
FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EPITERMICOS

CORRIENTE [A]	POSICION	FLUJOS TERMICOS [$n/cm^2.s$]	Incert. [%]	FLUJOS EPITERMICOS [$n/cm^2.s$]	Incert. [%]	TIEMPO DE IRR. [m]
2.08E-09	ESP(F2 [1-2])	4.68E+10	3.5	4.08E+09	7.4	15
	ESP(F2 [5-6])	4.42E+10	3.7	4.57E+09	7.8	
	ESP(F2 [11-12])	5.00E+10	3.8	5.38E+09	7.9	
	ESP(F2 [15-16])	6.55E+10	3.5	5.88E+09	7.4	
	ESP(C4 [1-2])	6.74E+10	3.9	7.38E+09	8.0	
	ESP(C4 [5-6])	4.81E+10	5.4	9.93E+09	10.6	
	ESP(C4 [11-12])	6.79E+10	4.0	8.01E+09	8.2	
	ESP(C4 [15-16])	6.86E+10	4.0	8.12E+09	8.2	
	ESP(E6 [1-2])	6.30E+10	4.2	8.15E+09	8.5	
	ESP(E6 [5-6])	6.31E+10	4.2	8.35E+09	8.6	
	ESP(E6 [11-12])	6.56E+10	4.0	7.88E+09	8.2	
ESP(E6 [15-16])	6.88E+10	3.8	7.12E+09	7.8		

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

También se obtuvieron de los parámetros más resaltantes para el método Westcott; estos son Actividad de Saturación Bare (A_B), Actividad de Saturación Cadmio (A_B), Índice Espectral Westcott, Razón de cadmio de saturación y la Actividad Térmica (A_{th})

Cuadro N° 4.7

FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EPITERMICOS

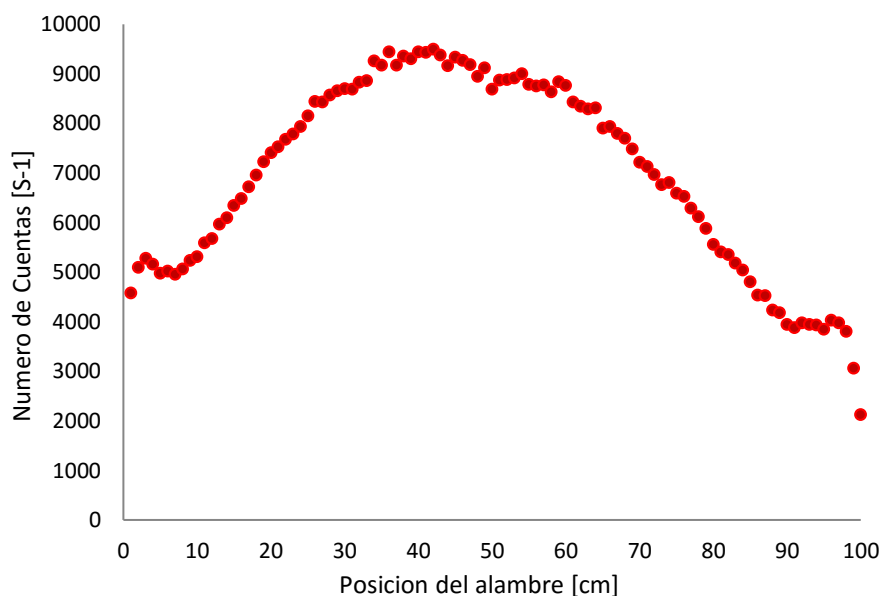
CORRIENTE [A]	POSICION	INDICE ESPECTRAL WESTCOTT (RW)	RAZÓN DE CADMIO SATURACION	ACT. SAT. BARE [s^{-1}]	ACT. SAT. CD [s^{-1}]	ACTIVIDAD TERMICA [$s^{-1} \cdot 10^{11}$]
2.08E-09	ESP(F2 [1-2])	7.97E-02	2.5581	7.01E-12	2.74E-12	0.427
	ESP(F2 [5-6])	9.30E-02	2.3286	7.15E-12	3.07E-12	0.408
	ESP(F2 [11-12])	9.64E-02	2.2794	8.24E-12	3.62E-12	0.463
	ESP(F2 [15-16])	8.20E-02	2.5137	9.95E-12	3.96E-12	0.599
	ESP(C4 [1-2])	9.81E-02	2.2570	1.12E-11	4.96E-12	0.624
	ESP(C4 [5-6])	1.69E-01	1.7064	1.14E-11	6.68E-12	0.472
	ESP(C4 [11-12])	1.05E-01	2.1725	1.17E-11	5.39E-12	0.632
	ESP(C4 [15-16])	1.05E-01	2.1692	1.18E-11	5.46E-12	0.638
	ESP(E6 [1-2])	1.14E-01	2.0772	1.14E-11	5.48E-12	0.591
	ESP(E6 [5-6])	1.16E-01	2.0549	1.15E-11	5.62E-12	0.592
	ESP(E6 [11-12])	1.07E-01	2.1536	1.14E-11	5.30E-12	0.612
	ESP(E6 [15-16])	9.32E-02	2.3251	1.11E-11	4.79E-12	0.635

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

4.5.3 FLUJOS NEUTRONICOS – INDICADORES TIPO ALAMBRE

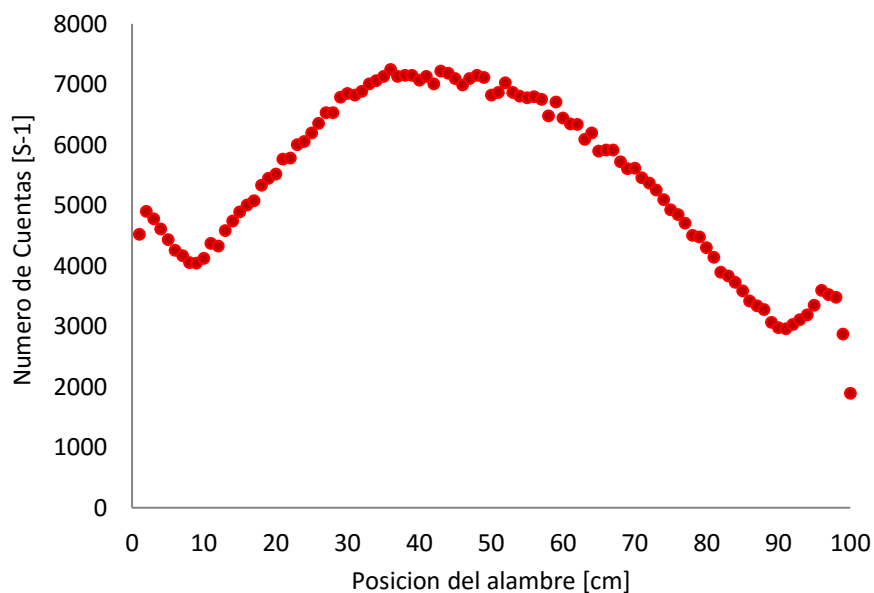
Para la estimación del perfil neutrónico en los indicadores tipo alambre (Cu) en la configuración N°46 del RP10, se obtuvo para la primera pre puesta en servicio en la posición E5 [(1-2); (5-6)] a una corriente de $2,15 \cdot 10^{-9}$ A, entonces las gráficas 4.21. y 4.22. muestran la relación de numero de cuentas de los indicadores tipo alambre con la posición del indicador (Cu)

Figura N° 4.22
 PERFIL TÉRMICO E5 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.23
 PERFIL TÉRMICO E5 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE

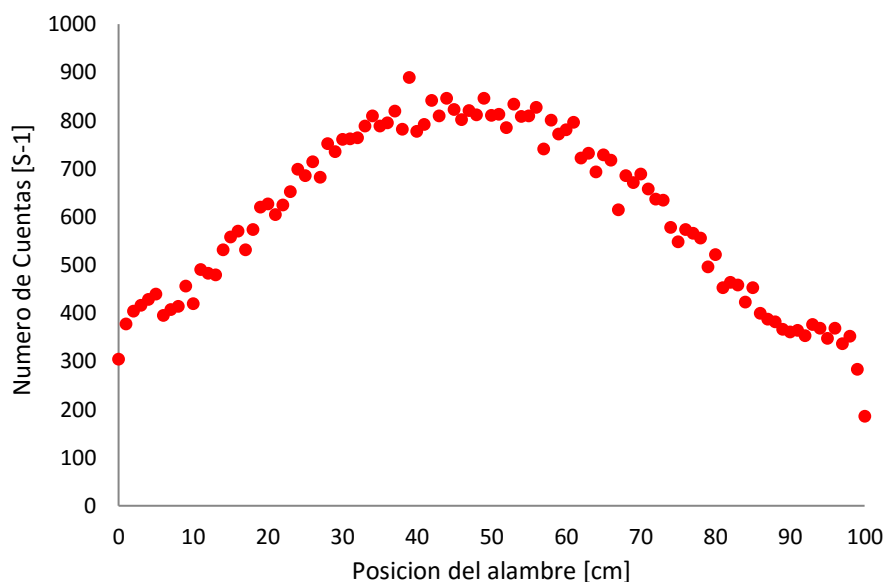


Fuente: Elaboración propia

Para la estimación del perfil térmico en los indicadores tipo alambre (Cu) en la segunda pre puesta en servicio no se irradiaron los indicadores tipo alambre debido a sobresaturación en su activación.

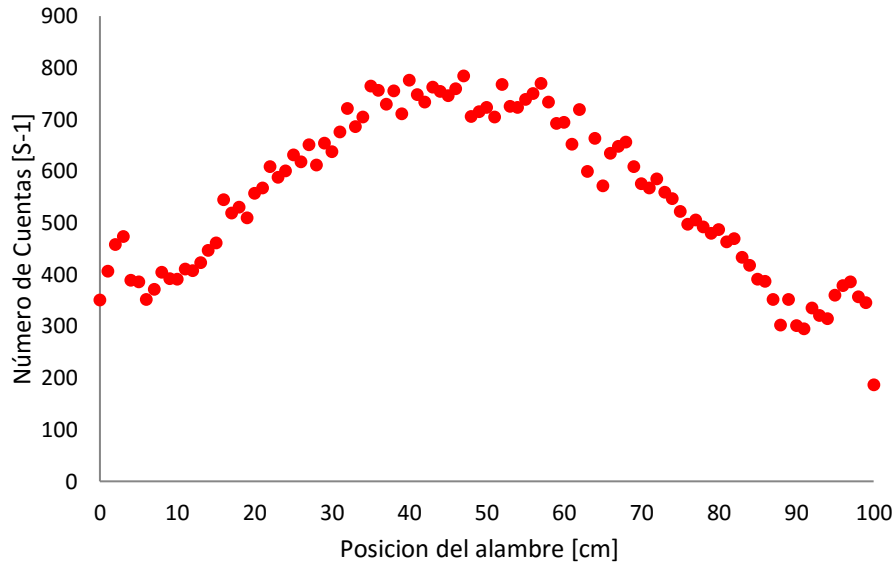
Para la estimación del perfil térmico en los indicadores tipo alambre (Cu) en la configuración N°46 del RP10, se obtuvo para la tercera pre puesta en servicio en las posiciones F2[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]; C4[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] y E6[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] a una corriente de $2,08 \cdot 10^{-9}$ A, según las figuras 4.22., 4.23., 4.24., 4.25., 4.26., 4.27., 4.28., 4.29., 4.30., 4.31., 4.32. y 4.33. muestran la relación de numero de cuentas de los indicadores tipo alambre con la posición del indicador (Cu).

Figura N° 4.24
PERFIL TÉRMICO F2 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



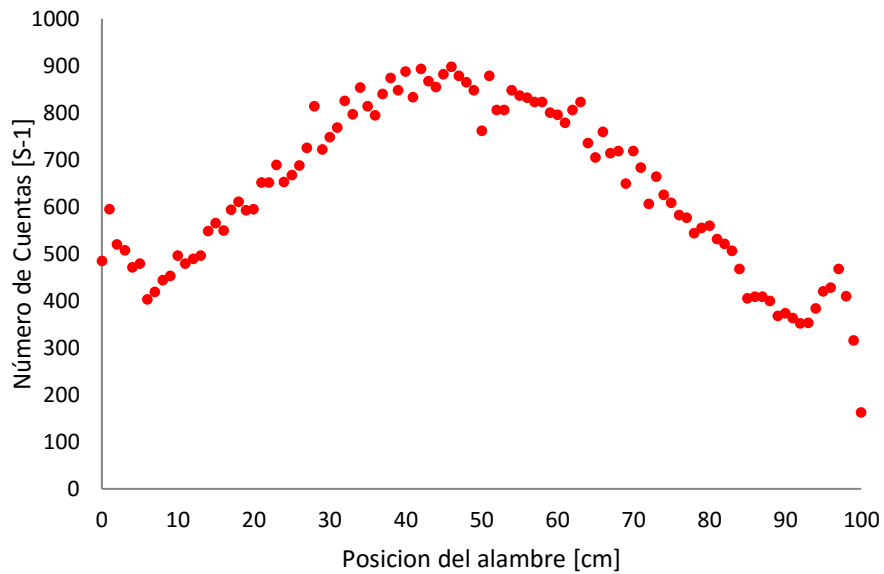
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.25
PERFIL TÉRMICO F2 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



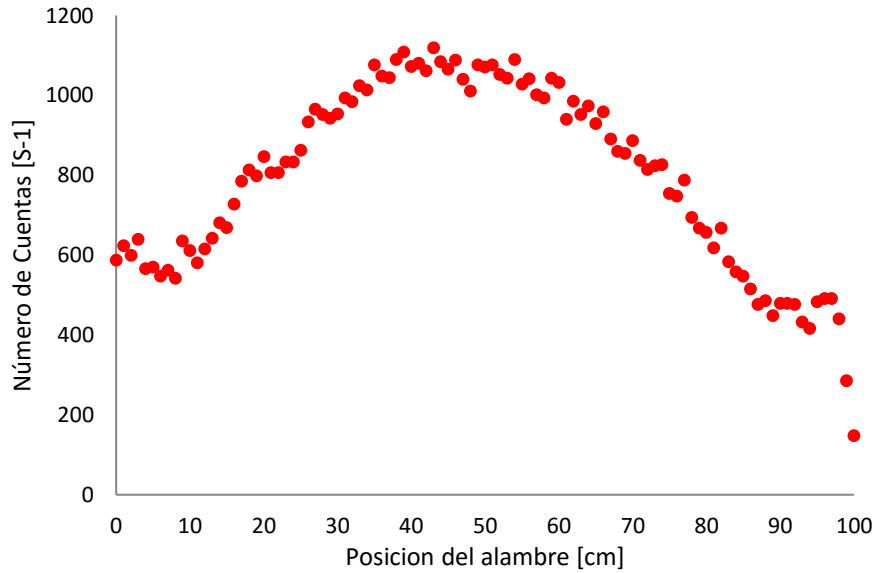
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.26
PERFIL TÉRMICO F2 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



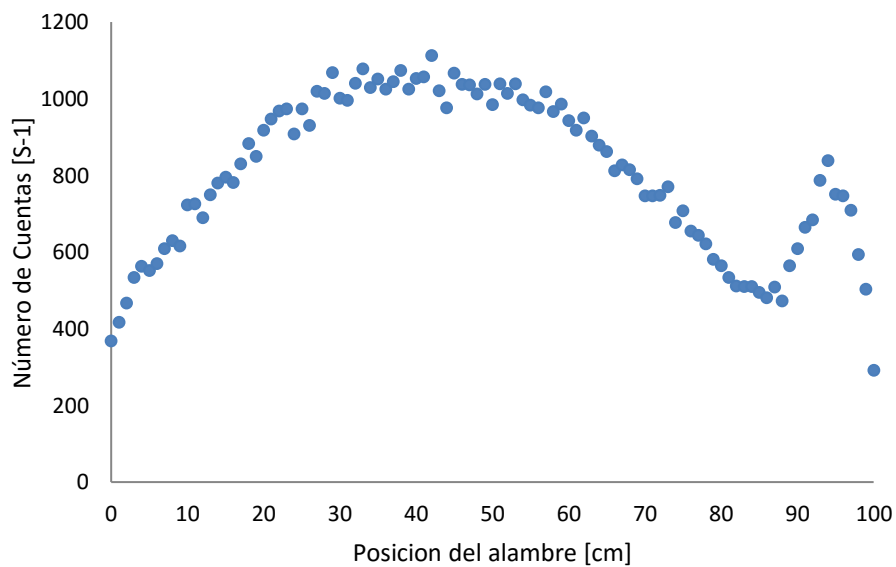
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.27
PERFIL TÉRMICO F2 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



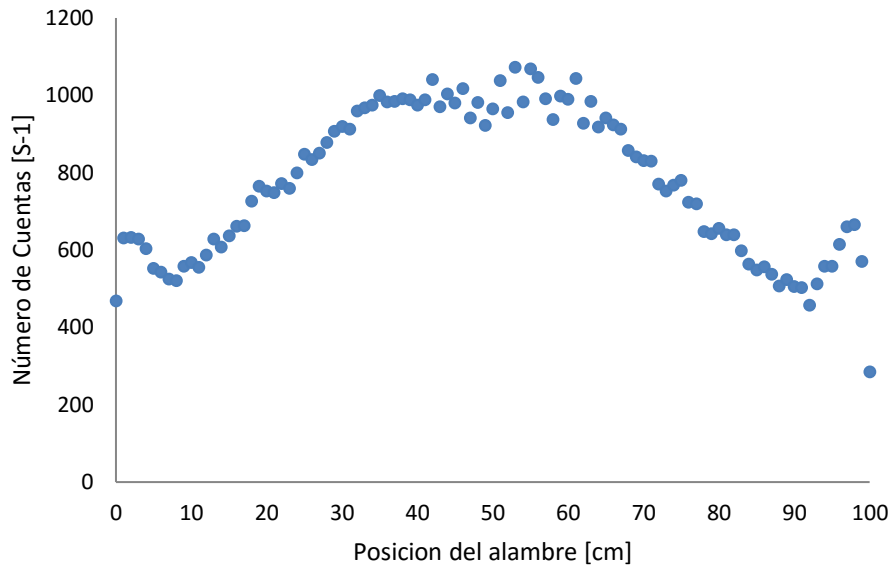
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.28
PERFIL TÉRMICO C4 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



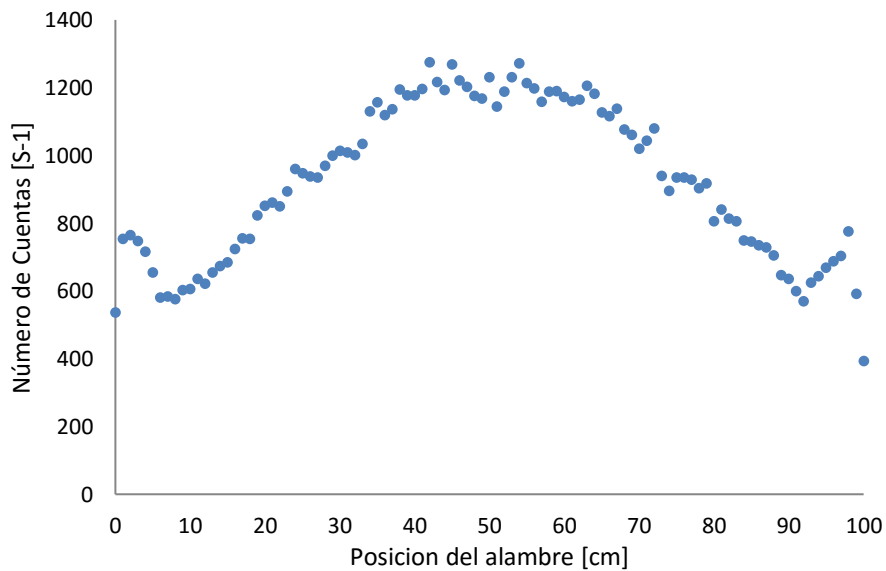
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.29
 PERFIL TÉRMICO C4 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



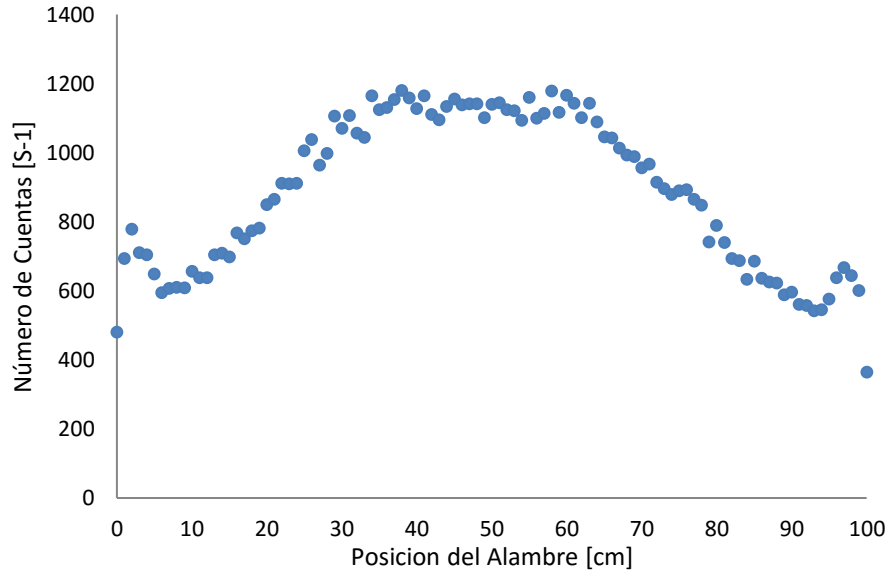
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.30
 PERFIL TÉRMICO C4 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



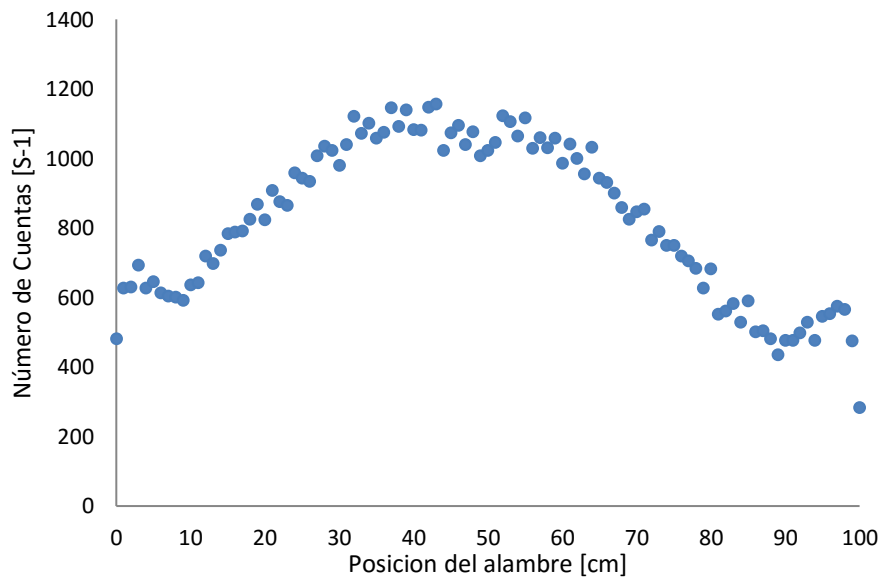
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.31
PERFIL TÉRMICO C4 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



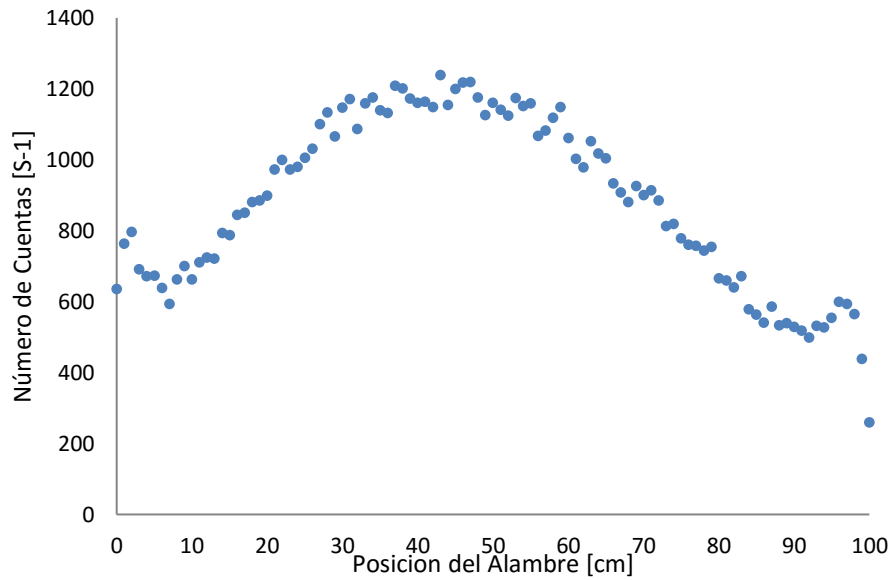
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.32
PERFIL TÉRMICO E6 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



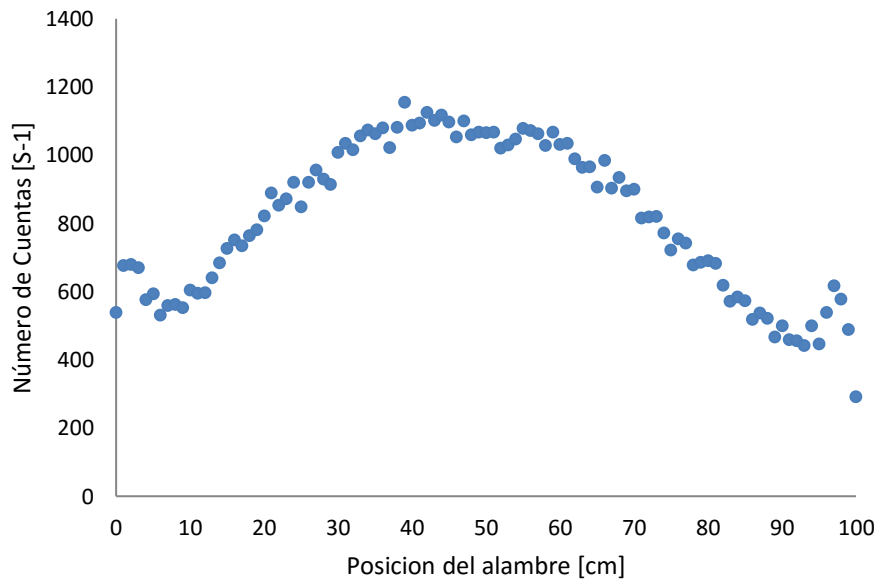
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.33
PERFIL TÉRMICO E6 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

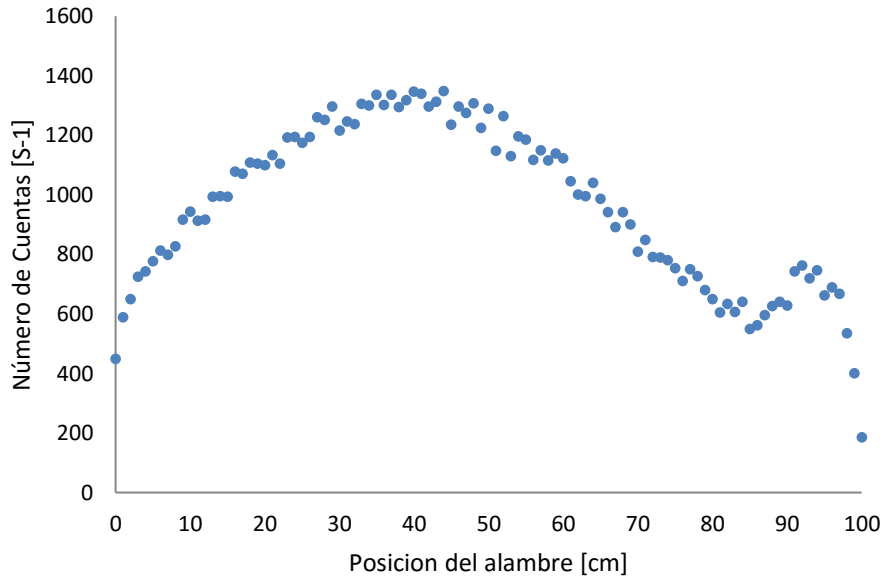
Figura N° 4.34
PERFIL TÉRMICO E6 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.35

PERFIL TÉRMICO E6 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

El perfil térmico del Cu ha servido para la normalización del flujo térmico del indicador de Au-198 tomando como referencia el eje central del indicador tipo alambre Cu.

- DATOS CALCULADOS MEDIANTE SERPENT

Para la estimación de flujos neutrónicos en la configuración N°46 del RP10 se realizó la distribución mediante el Software Serpent, se consideró la posición E5 [(1-2); (5-6)] a una corriente de operación $2,15 \cdot 10^{-9}$ A, según una geometría similar al alambre y espada experimental; se obtuvo:

Cuadro N° 4.8

PERFIL TÉRMICO EN EL EJE AXIAL DEL ELEMENTO E5 [(1-2); (5-6)]

E5 [1-2] Nro. Tramo	FLUJOS TERMICOS [n/(cm ² .s)]
1	4.68E+10
2	4.53E+10
3	4.37E+10
4	3.92E+10
5	3.71E+10
6	3.64E+10

E5 [5-6] Nro. Tramo	FLUJOS TERMICOS [n/(cm ² .s)]
1	4.52E+10
2	4.35E+10
3	3.83E+10
4	3.24E+10
5	2.87E+10
6	2.71E+10

7	3.46E+10
8	3.68E+10
9	3.71E+10
10	3.87E+10
11	4.05E+10
12	4.17E+10
13	4.34E+10
14	4.44E+10
15	4.65E+10
16	4.74E+10
17	4.98E+10
18	5.13E+10
19	5.26E+10
20	5.42E+10
21	5.51E+10
22	5.61E+10
23	5.84E+10
24	5.99E+10
25	5.95E+10
26	6.15E+10
27	6.26E+10
28	6.38E+10
29	6.51E+10
30	6.53E+10
31	6.59E+10
32	6.73E+10
33	6.82E+10
34	6.92E+10
35	7.00E+10
36	6.92E+10
37	6.99E+10
38	7.09E+10
39	7.05E+10
40	7.18E+10
41	7.12E+10
42	7.17E+10
43	7.04E+10
44	7.10E+10
45	6.97E+10
46	6.90E+10
47	7.05E+10
48	6.95E+10
49	6.90E+10

7	2.76E+10
8	2.71E+10
9	2.76E+10
10	2.88E+10
11	3.01E+10
12	3.12E+10
13	3.17E+10
14	3.31E+10
15	3.48E+10
16	3.57E+10
17	3.67E+10
18	3.78E+10
19	3.90E+10
20	4.02E+10
21	4.13E+10
22	4.35E+10
23	4.39E+10
24	4.35E+10
25	4.56E+10
26	4.58E+10
27	4.58E+10
28	4.76E+10
29	4.89E+10
30	4.94E+10
31	4.98E+10
32	4.96E+10
33	5.06E+10
34	5.04E+10
35	5.19E+10
36	5.28E+10
37	5.12E+10
38	5.16E+10
39	5.28E+10
40	5.31E+10
41	5.29E+10
42	5.30E+10
43	5.41E+10
44	5.37E+10
45	5.37E+10
46	5.28E+10
47	5.17E+10
48	5.12E+10
49	5.18E+10

50	6.77E+10
51	6.81E+10
52	6.70E+10
53	6.70E+10
54	6.66E+10
55	6.65E+10
56	6.61E+10
57	6.49E+10
58	6.32E+10
59	6.32E+10
60	6.25E+10
61	6.20E+10
62	6.09E+10
63	5.95E+10
64	5.91E+10
65	5.89E+10
66	5.74E+10
67	5.74E+10
68	5.58E+10
69	5.52E+10
70	5.43E+10
71	5.31E+10
72	5.32E+10
73	5.07E+10
74	5.03E+10
75	4.95E+10
76	4.74E+10
77	4.66E+10
78	4.56E+10
79	4.37E+10
80	4.31E+10
81	4.15E+10
82	3.94E+10
83	3.87E+10
84	3.86E+10
85	3.60E+10
86	3.45E+10
87	3.44E+10
88	3.24E+10
89	3.16E+10
90	3.00E+10
91	2.78E+10
92	2.74E+10

50	5.15E+10
51	5.15E+10
52	4.97E+10
53	4.98E+10
54	4.93E+10
55	4.81E+10
56	4.76E+10
57	4.81E+10
58	4.69E+10
59	4.68E+10
60	4.62E+10
61	4.71E+10
62	4.60E+10
63	4.53E+10
64	4.40E+10
65	4.33E+10
66	4.33E+10
67	4.26E+10
68	4.17E+10
69	4.05E+10
70	4.03E+10
71	3.89E+10
72	3.76E+10
73	3.82E+10
74	3.74E+10
75	3.65E+10
76	3.59E+10
77	3.48E+10
78	3.36E+10
79	3.31E+10
80	3.25E+10
81	3.07E+10
82	2.89E+10
83	2.86E+10
84	2.79E+10
85	2.75E+10
86	2.61E+10
87	2.52E+10
88	2.45E+10
89	2.31E+10
90	2.22E+10
91	2.14E+10
92	2.13E+10

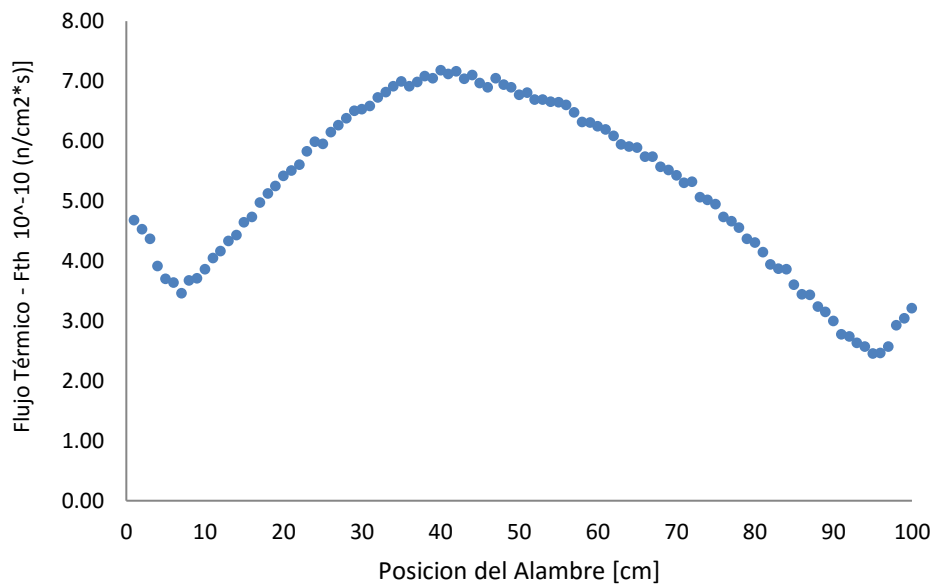
93	2.63E+10
94	2.57E+10
95	2.46E+10
96	2.47E+10
97	2.57E+10
98	2.93E+10
99	3.04E+10
100	3.22E+10
Promedio	5.22E+10

93	2.02E+10
94	1.96E+10
95	1.97E+10
96	2.01E+10
97	2.25E+10
98	2.62E+10
99	2.81E+10
100	3.08E+10
Promedio	3.95E+10

Fuente: Elaboración propia

Mediante el cuadro 4.8. se obtuvieron las gráficas 4.34. y 4.35. que representan flujo neutrónico térmico vs posición del alambre; similar a los perfiles de flujo en las posiciones E5[(1-2); (5-6)] a la misma corriente de operación experimental $2,15 \cdot 10^{-9}$ A

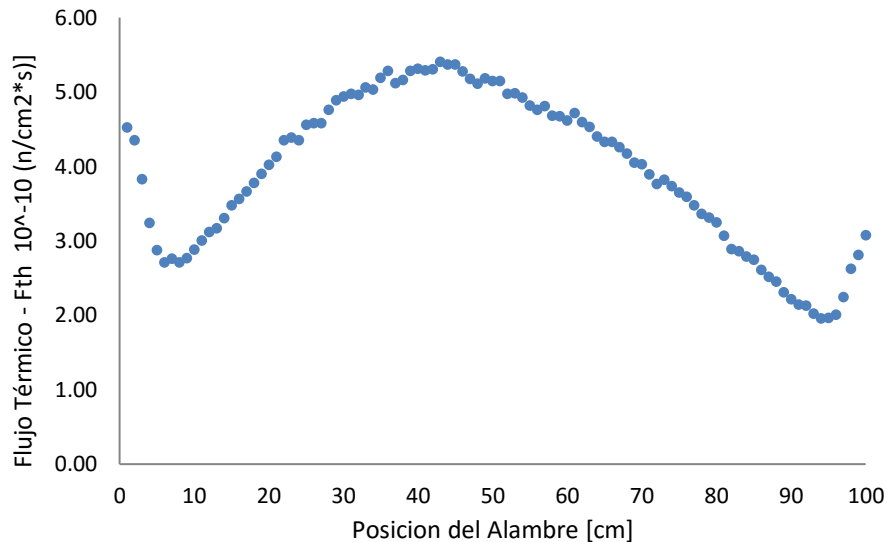
Figura N° 4.36
PERFIL TÉRMICO E5 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.37

PERFIL TÉRMICO E5 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

Para la tercera irradiación se consideró las posiciones F2[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]; C4[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] y E6[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] a una corriente de operación según “cálculo Serpent”³³ de $2,08 \cdot 10^{-9}$ A; además se tomo en cuenta lo siguiente:

- La distribución del flujo neutrónico térmico se realizó mediante una geometría indicador tipo alambre de Cu (con las mismas características), donde se utilizaron 9 alambres³⁴ por espada en canal de irradiación (solo se consideró el “MEAT”).

4.5.4 PROCESAMIENTO EXPERIMENTAL

Los tratamientos de datos que se siguieron tanto para la parte experimental como para de cálculo fueron tomados mediante procedimientos que se establecieron en Labfer, estos fueron utilizados para la toma y evaluación de los datos y son de la siguiente manera:

³³ Véase Anexo D, información de toda la información simulada en Serpent

³⁴ Véase figura 4.11.

- PROCESAMIENTO PARA MACROS:

Los datos obtenidos en un canal de elemento combustible serán de 900 datos, si el total de canales en un elemento combustible es de 15 aproximadamente. Los datos por elemento ascienden a 13500 datos en los elementos con mayor número de canales (elementos normales de combustibles). Para ello se realizó un proceso de automatización en macros para ordenar, clasificar y distribuir los datos en la posición de cada indicador establecido. La siguiente macros cumplió dicha función:

```
Sub MATRIZ()
```

```
Dim UltimaFila As Integer
```

```
Dim i As Integer
```

```
    UltimaFila = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
```

```
    For i = 1 To (UltimaFila / 9)
```

```
        Cells(i, 16).Select
```

```
        ActiveCell.FormulaR1C1 = i
```

```
        ActiveSheet.Range(Cells((9 * (i - 1)) + 1, 12), Cells(9 * i, 12)).Select
```

```
        Selection.Copy
```

```
        Cells (i, 17).Select
```

```
        Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteAll, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
```

```
        False, Transpose:=True
```

```
    Next i
```

```
End Sub
```

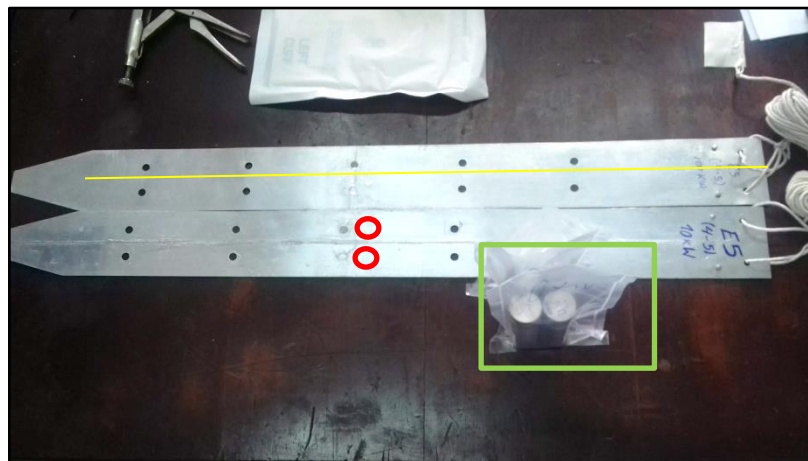
- MÉTODO DE MEDICIÓN

Para la estimación de flujos neutrónicos en la configuración N°46 del RP10, se obtuvo se procedió a realizar las siguientes actividades antes del proceso de medición en los detectores:

- Determinar las dimensiones, y las propiedades físico-químicas de los indicadores metálicos que se utilizaran (masa, número atómico, pureza, grosor, etc.) para los indicadores tipo hojuela y tipo alambre.
- Se codificó a los indicadores tipo hojuela según el índice 'L**'
- Se preparó los indicadores metálicos tipo hojuela (rojo) y tipo alambre (amarillo) [Véase Fig. 4.36] en las espadas de irradiación para cada posición de la configuración del RP10 (canal de elemento combustible). Y, además; se preparó los canes (verde) que contenían indicadores tipo hojuela Bare y Cadmio.

Figura N° 4.38

UBICACIÓN DE LOS INDICADORES METÁLICOS PARA IRRADIACIÓN*



Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores, IPEN, 2019

* Los dos indicadores tipo hojuela que se introducen en elementos combustibles posee una cobertura de cadmio y la otra esta sin cobertor; al igual cuando se introducen en las cajas de irradiación mediante canes.

- Estimar los parámetros para la activación (tiempo de irradiación, posición de irradiación, corriente a utilizar), esto se establece

previamente en la planilla de irradiación que será entregada al jefe del reactor.

- En la etapa de medición de las muestras activadas se preparó previamente los detectores de espectroscopia gamma GeHP (calibración) mediante una fuente de calibración Co-60, Cs-137
- Se estimó los parámetros nucleares de entrada para el formulismo Westcott antes de retirar las muestras del Núcleo del reactor.

Tabla N° 4.2

PARÁMETROS DE ENTRADA PARA EL AU-198

Magnitud	Valor	Error
Masa molar (g/mol)	196.9665	0.00002
Abundancia isotópica	1	-
Concentración	0.0155	0.0001
Energía de decaimiento (keV)	411.75	-
Yield γ	0.9899	-
λ (1/s)	2.9762E-06	2.98E-10
$\sigma_{(2200\text{m/s})}$ (cm ²)	98.7E-24	2.00E-26
i_{eff} (cm ²)	1.55E-21	8.00E-26
G térmico	0.989	-
G epitérmico	0.41	-
Eficiencia Total	0.00164	-

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

Tabla N° 4.3

PARÁMETROS DE ENTRADA PARA EL CU-64

Magnitud	Valor	Error
Masa molar (g/mol)	63.54	0.0003
Abundancia isotópica	0.6917	0.0015
Concentración	0.9845	0.0001
Energía de decaimiento (keV)	511.7	-
Yield γ	0.3504	0.006
λ (1/s)	1.516E-05	2.54E-07
$\sigma_{(2200\text{m/s})}$ (cm ²)	4.5E-24	2.00E-26
i_{eff} (cm ²)	4.97E-24	8.00E-26
G térmico	0.98	-
G epitérmico	0.69	-
Eficiencia Total	0.00619599	-

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

- Se mide los indicadores tipo hojuela en el Sistema de medición GeHP en un tiempo de 15 minutos; el área neta obtenido en el reporte de medición contiene el contaje neto por pulsos que es el último parámetro de entrada que se introduce en el Westcott.
- De igual manera para los indicadores metálicos tipo alambre Cu, según el procedimiento de medición del NaI () se delimita el rango de energía del Cu-64 y se fija en 100 el número de porciones del alambre de 65.5 cm de largo. Después mediante sistema móvil de escaneo de alambres se mide las cuentas por segundo de todo el indicador.

Figura N° 4.39

SISTEMA MÓVIL DE ESCANEO DE INDICADORES TIPO ALAMBRES



Fuente: Instalaciones del Laboratorio de Física de Reactores, IPEN, 2019

- Finalmente se obtiene un reporte de resultados del perfil térmico del Cu-64.
- Se determina el flujo térmico en la posición central, mediante una plantilla de Excel "Utilitario para determinar Flujo Neutrónico", luego se normaliza los valores de cada porción del alambre con el valor obtenido en la parte central (indicador Au-198)
- Se determina el flujo térmico axial para cada canal de irradiación que contenga los dos indicadores tipo hojuela (Au-198) y el indicador tipo alambre (Cu-64)

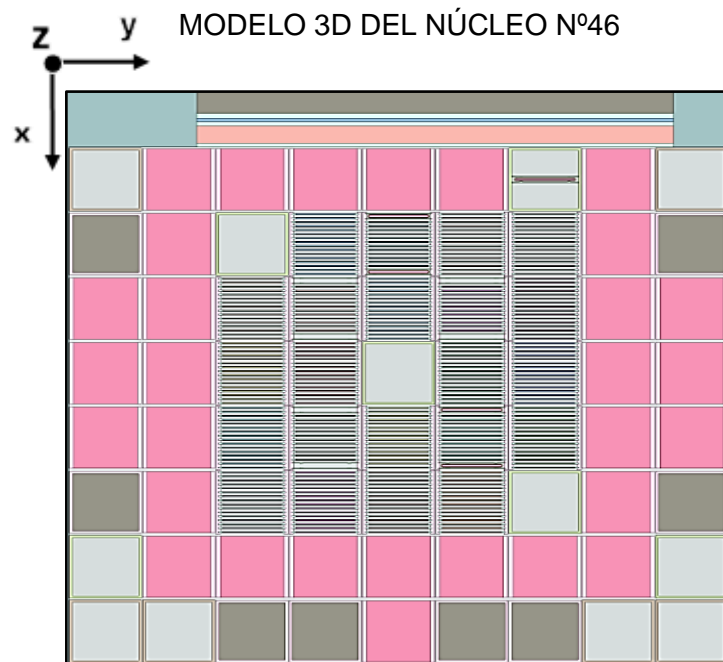
- Finalmente se determina el promedio del flujo neutrónico térmico axial para cada canal analizado. Tener en cuenta que para las dos primeras operaciones en la pre puesta en servicio se realizó el promedio del flujo neutrónico axial para la longitud de 65.5 cm, mientras que para la tercera operación de prepuesta en servicio solo se utilizó la longitud del “MEAT” (61.5 cm)

- **MÉTODO PARA EL CÁLCULO SERPENT**

Las consideraciones primordiales para la evaluación de los resultados obtenidos mediante cálculo Serpent son las condiciones iniciales, que se evalúan en el Código Serpent:

- Modelar en 3D el núcleo 46:

Figura N° 4.40



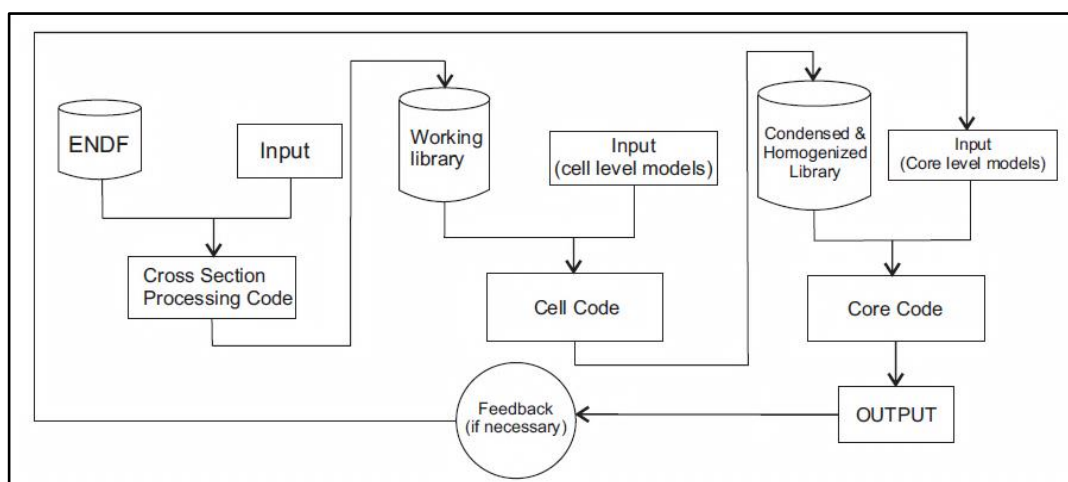
Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

- Se determina el cálculo para los parámetros cinéticos, se estableció una población inicial de 10000 neutrones con 800 ciclos activos y 20 ciclos inactivos (ciclos activos son el inicio del proceso de

compilación que toma en consideración el Código Serpent), para determinar los flujos neutrónicos se ha establecido los rangos de energía térmico [0.0 eV - 0.625 eV], epitérmico [0.625 eV - 0.821 MeV] y rápido [0.821 MeV - 10 MeV].

- Esquema de cálculo utilizado para simular el camino y las interacciones de un gran número de neutrones a través de la geometría del sistema.

Figura N° 4.41
ESQUEMA DE CÁLCULO



Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

- Los parámetros neutrónicos del núcleo 46 que se obtendrán al terminar de simular el camino e interacciones de los neutrones son: Constante de decaimiento de los neutrones retardados, fracción de los neutrones retardados, vida media de los neutrones y el beta efectivo. (parámetro usado en la criticidad del núcleo del reactor)
- El peso en reactividad de las barras de control es un parámetro importante para determinar el exceso de reactividad en el Reactor. Mediante el cálculo del Software Westcott se obtienen los pesos de las barras de control referenciales para que posteriormente se pueda llegar a la criticidad en el Reactor.

Tabla N° 4.4.
 REACTIVIDAD DE LAS BARRAS DE CONTROL EN EL NÚCLEO 46
 NUCLEO INICIAL

BARRA DE CONTROL	REACTIVIDAD (PCM)
BC1	1358
BC2	2629
BCF	127

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

Tabla N° 4.5
 REACTIVIDAD DE LAS BARRAS DE SEGURIDAD EN EL NÚCLEO 46
 NUCLEO INICIAL

BARRA DE SEGURIDAD	REACTIVIDAD (PCM)
BS1	2100
BS2	2933
BS3	2318
Exceso	2590

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

- El peso en reactividad de las barras de control es un parámetro importante para determinar el exceso de reactividad en el Reactor. Mediante el cálculo del Software Westcott se obtienen los pesos de las barras de control referenciales para que posteriormente se pueda llegar a la criticidad en el Reactor.
- Finalmente, mediante los datos obtenidos por Serpent2 se utiliza el Procedimiento para macros para separar los datos de flujo térmico, error y otros. Tener en cuenta que los datos calculados de las dos primeras operaciones pre puesta de servicio fue a una corriente de 2.15×10^{-9} A en las posiciones E4 (X, Y) – E5 (5-6), y se pudo obtener los flujos para toda la geometría del alambre (65,5). No obstante, para la tercera operación pre puesta de servicio fue a una corriente de $2,08 \cdot 10^{-9}$ A en las posiciones F2[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]; C4[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] y E6[(1-2); (5-6); (11-12);

(15-16)] para solo la zona del “MEAT” en la geometría del indicador (61,5 cm) al igual que en la parte experimental.

V. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en esta investigación son de todas las experiencias en propuesta de servicio de irradiación que se tuvieron; estos obedecen al laboratorio de Física de Reactores (Labfer) para su obtención. Además de la colaboración en conjunto con el Grupo de Cálculo y Seguridad Nuclear.

5.1 RESULTADOS DESCRIPTIVOS

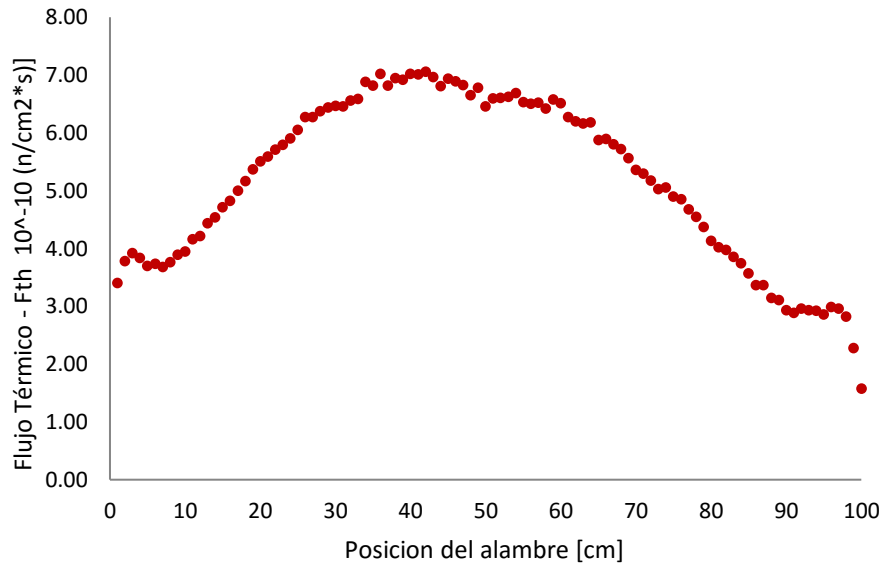
Estos resultados fueron obtenidos directamente de los datos de entradas, que fueron obtenidas del software de los detectores (Genius 2000 y WSCAN) para determinar las variables de la hipótesis planteada. No hubo ningún tratamiento adicional de los datos; más que el de los procedimientos establecido en la parte 4.5.2.

5.1.1 PERFIL DEL FLUJO TÉRMICO - EXPERIMENTAL

Según el procedimiento de medición en la sección 4.5.2., la normalización de los flujos neutrónicos térmicos del indicador tipo hojuela (Au-198) respecto a los perfiles térmicos del indicador tipo alambre (Cu-64) se realizó para la segunda operación de la prepuesta en servicio ($2.15 \times 10^{-9}A$).

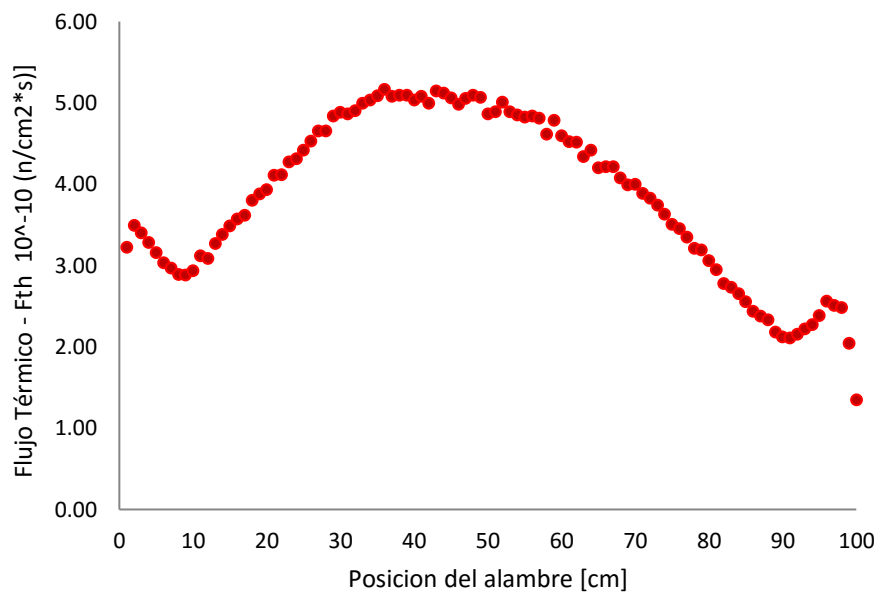
Según las figuras 5.1. y 5.2. representan una relación entre el perfil de flujo térmico vs el posicionamiento del indicador tipo alambre en las posiciones de elementos combustibles E5[(1-2);(5-6)].

Figura N° 5.1
 PERFIL TÉRMICO E5 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.2
 PERFIL TÉRMICO E5 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

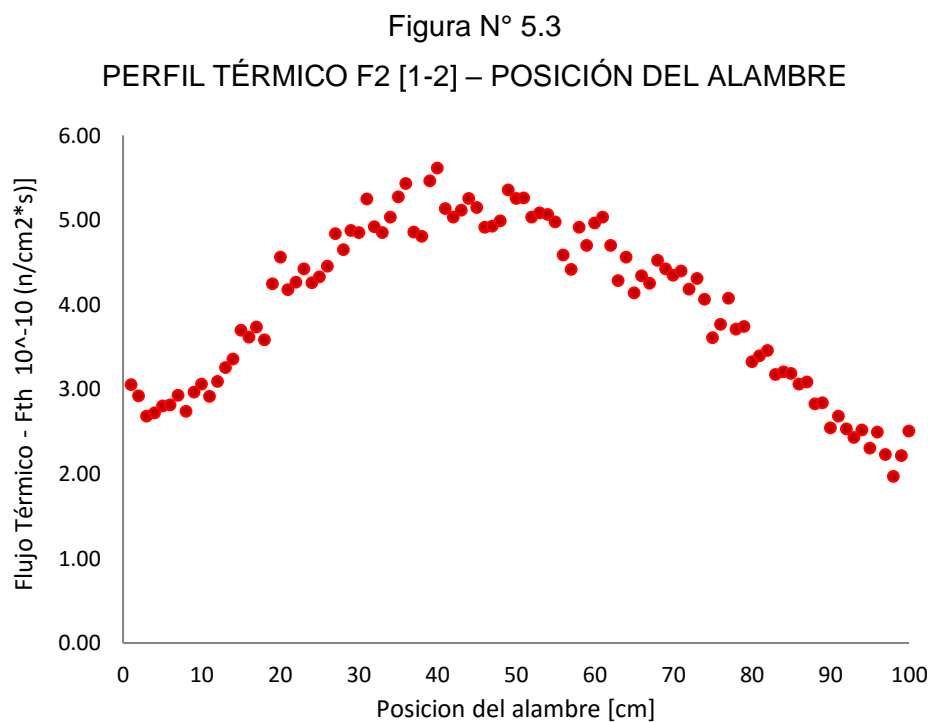
Para la estimación del perfil de flujos térmico en los indicadores tipo alambre (Au-198) que se obtuvo para la tercera pre puesta en servicio en las posiciones F2[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]; C4[(1-2); (5-6); (11-12); (15-

16)] y E6[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] a una corriente de $2,08 \cdot 10^{-9}$ A, se utilizó el mismo procedimiento de medición en la sección 4.5.2. (Normalización)

Se obtuvieron perfiles de flujos térmicos (Au-198) parecidos a la sección 4.5.2., ya que se utilizó la normalización.

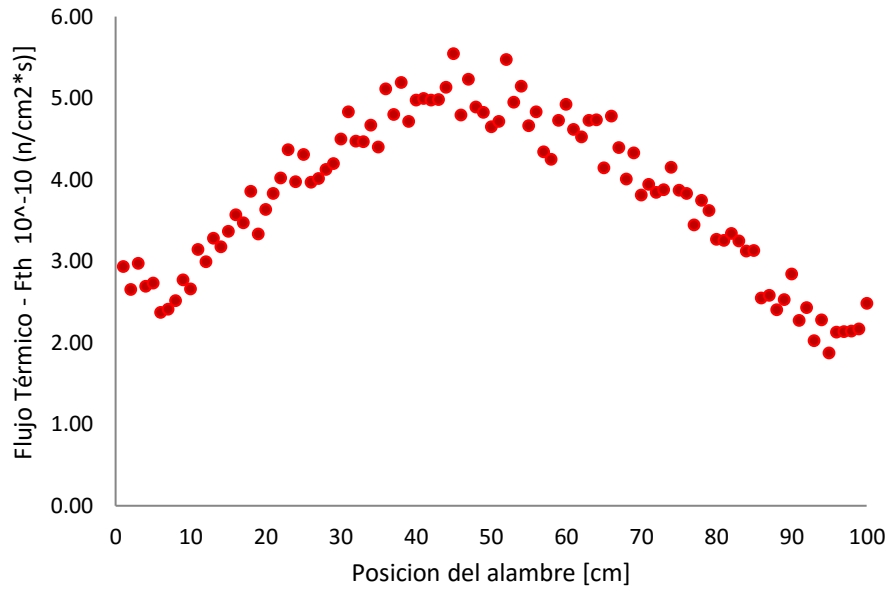
5.1.2 FLUJOS NEUTRONICOS – CÁLCULO SERPENT

Los perfiles de flujos neutrónicos térmicos calculados por Serpent, utilizan la sección de ANEXO D para su evaluación, las figuras 5.3., 5.4., 5.5., 5.6., 5.7., 5.8., 5.9., 5.10., 5.11., 5.12., 5.13. y 5.14. representan el flujo neutrónico térmico vs la posición del indicador tipo alambre según las posiciones de los elementos combustibles F2[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]; C4[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] y E6[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]



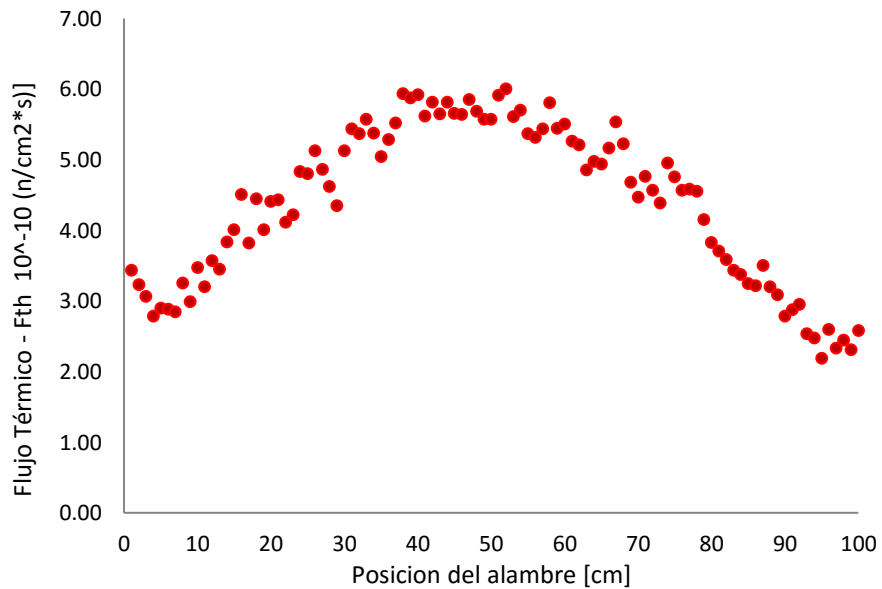
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.4
 PERFIL TÉRMICO F2 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



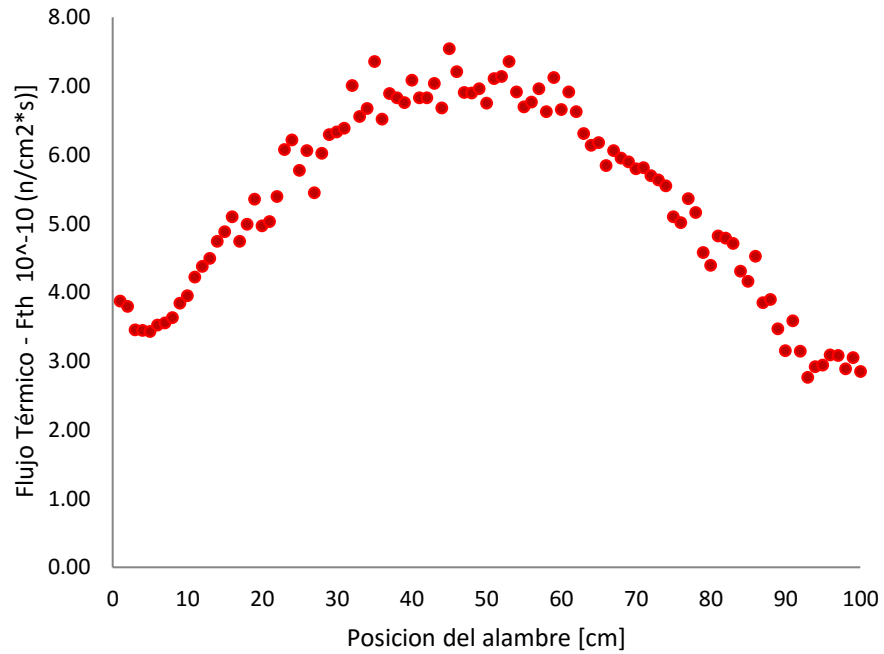
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.5
 PERFIL TÉRMICO F2 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



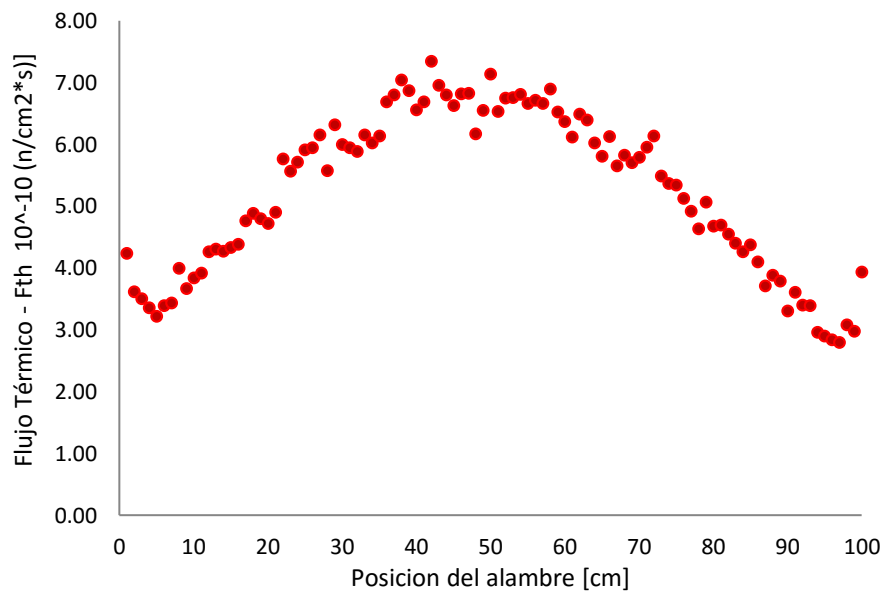
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.6
 PERFIL TÉRMICO F2 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

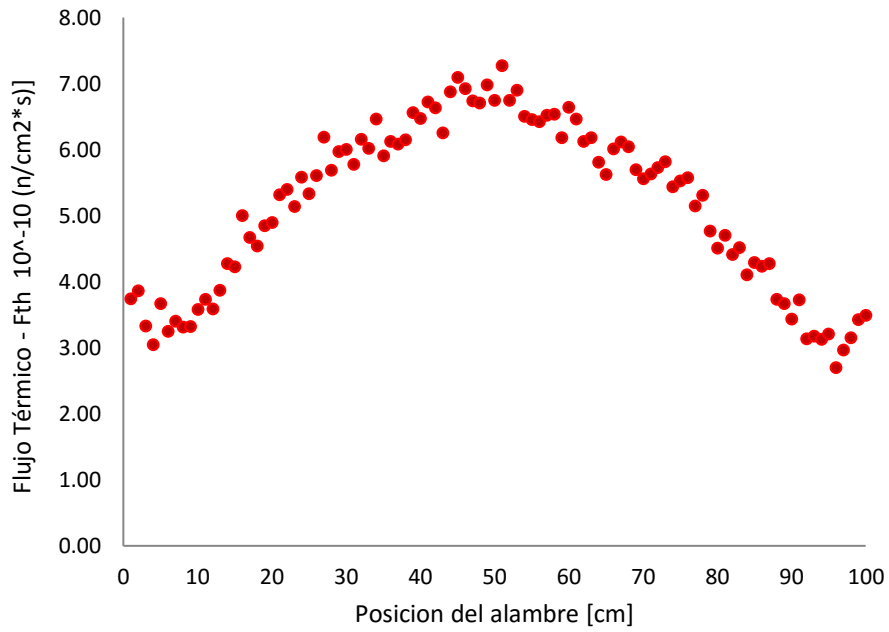
Figura N° 5.7
 PERFIL TÉRMICO C4 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.8

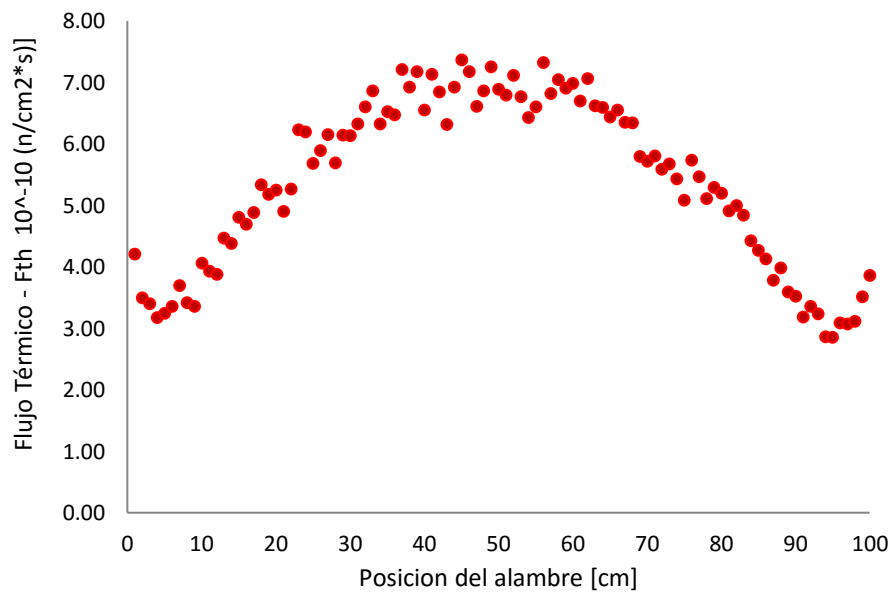
PERFIL TÉRMICO C4 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

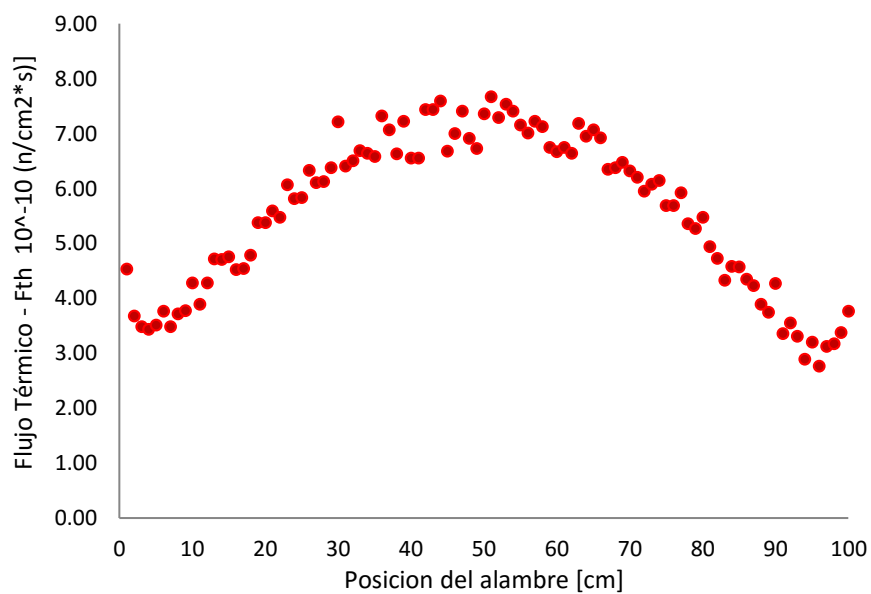
Figura N° 5.9

PERFIL TÉRMICO C4 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



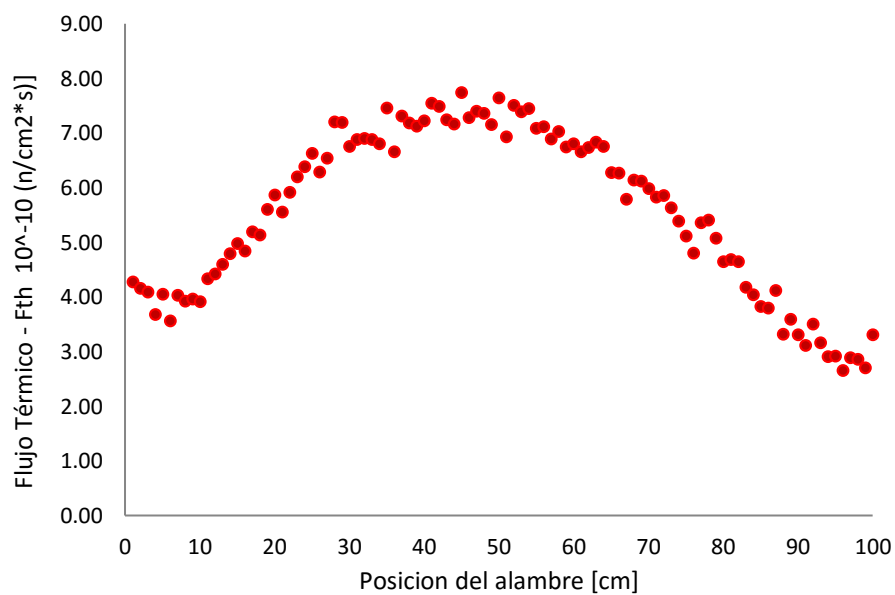
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.10
 PERFIL TÉRMICO C4 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



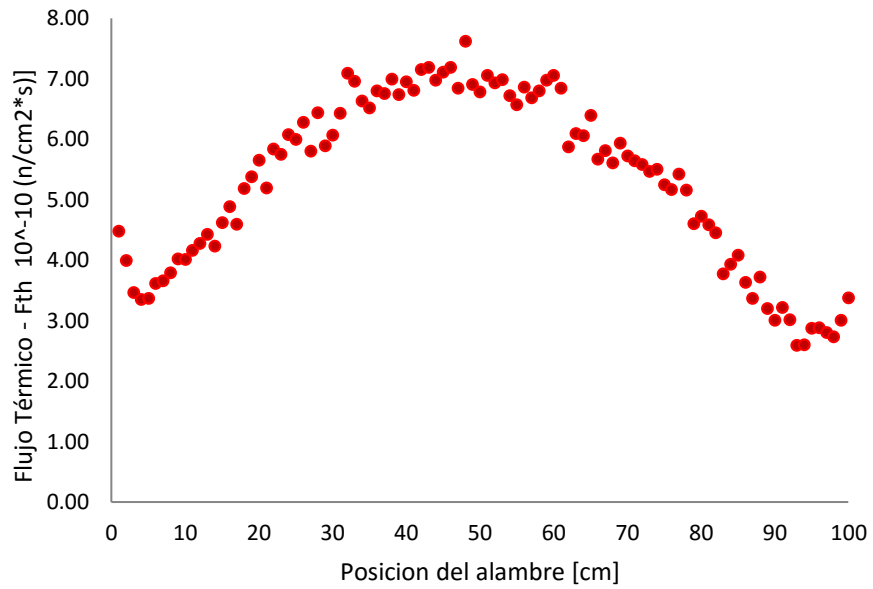
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.11.
 PERFIL TÉRMICO E6 [1-2] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



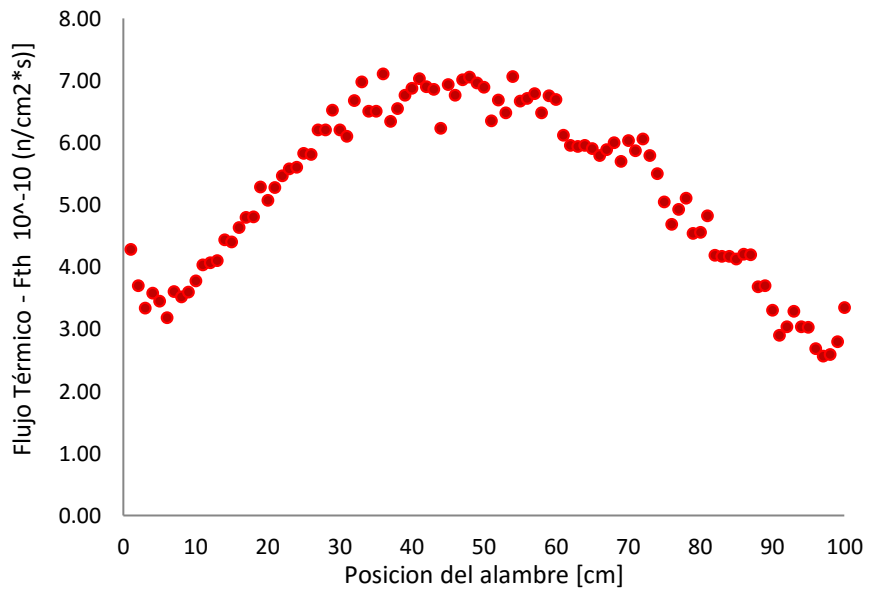
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.12
 PERFIL TÉRMICO E6 [5-6] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

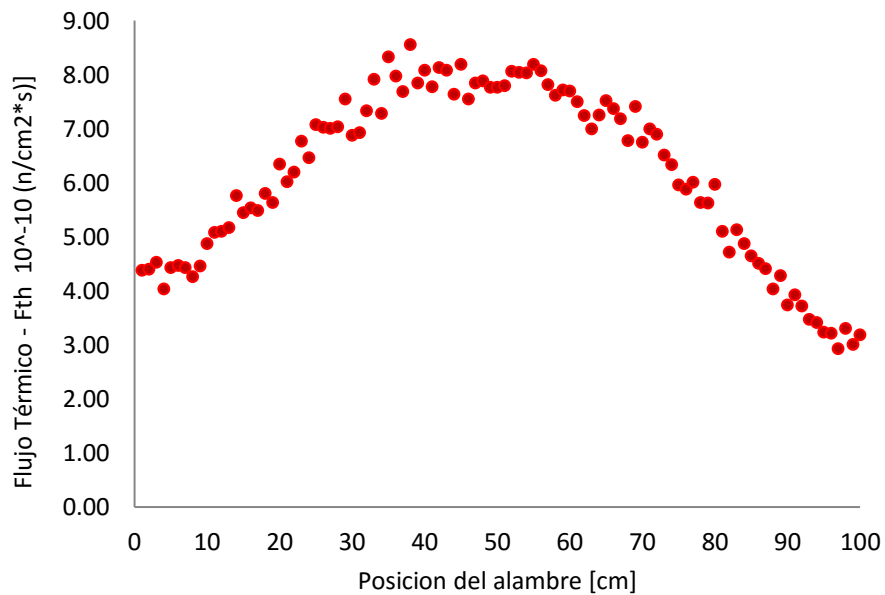
Figura N° 5.13.
 PERFIL DE FLUJOS TÉRMICOS E6 [11-12] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.14

PERFIL DE FLUJOS TÉRMICOS E6 [15-16] – POSICIÓN DEL ALAMBRE



Fuente: Elaboración propia

5.2 RESULTADOS INFERENCIALES

Estos resultados fueron obtenidos mediante el tratamiento de los datos de entrada o descriptivos, donde se utilizó la metodología descrita en el capítulo

5.2.1 FLUJOS NEUTRONICOS

Se obtuvieron los siguientes resultados, gracias a las 3 operaciones realizadas en el pre – puesta en servicio.

- METODOLOGIA HIBRIDA PARA FLUJOS TÉRMICOS

Según la segunda operación de la pre puesta en servicio, se obtuvieron los flujos promedio o medios axiales de los canales E5 [(1-2); (5-6)] a la corriente de operación de $2.15 \times 10^{-9}A$ (Véase la Fig.4.20, 4.21, 4.35, 4.36)

Por lo que ese realizó una comparación y se determinó el error relativo entre cada resultado:

Tabla N° 5.1

COMPARACIÓN ENTRE LO EXPERIMENTAL Y EL CÁLCULO

POSICIÓN	EXPERIMENTAL	CALCULO	ERROR REALATIVO (%)
E5 (1-2)	5,18.E+10	5,22.E+10	0.77
E5 (4-5)	3,85.E+10	3,95.E+10	2.50

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

Para la estimación del flujo medio neutrónico axiales en la tercera operación de la pre puesta en servicio se utilizó una corriente de operación de 2.08×10^{-9} A en las posiciones de la configuración N°46; F2[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]; C4[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] y E6[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]. (Véase la Fig.4.20, 4.21, 4.35, 4.36)

Cuadro N° 5.1

FLUJOS MEDIOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS ZONA DEL MEAT – EXP.

(EJE Z)

POSICION	FLUJOS TERMICOS MEDIO [$n/cm^2.s$]	Incert. [%]	FLUJOS TERMICOS MEDIO (MEAT) [$n/cm^2.s$]	Incert. [%]
ESP(F2 [1-2])	3.50E+10	5.9	3.84E+10	4.9
ESP(F2 [5-6])	3.40E+10	5.6	3.69E+10	4.9
ESP(F2 [11-12])	4.19E+10	5.6	4.54E+10	4.9
ESP(F2 [15-16])	4.87E+10	5.8	5.32E+10	4.8
ESP(C4 [1-2])	*	-	*	-
ESP(C4 [5-6])	3.86E+10	5.0	4.13E+10	4.6
ESP(C4 [11-12])	5.09E+10	5.0	5.48E+10	4.5
ESP(C4 [15-16])	5.33E+10	5.1	5.74E+10	4.5
ESP(E6 [1-2])	5.07E+10	5.6	5.48E+10	5.1
ESP(E6 [5-6])	4.79E+10	5.5	5.18E+10	4.9
ESP(E6 [11-12])	5.01E+10	5.5	5.43E+10	4.9
ESP(E6 [15-16])	*	-	*	-

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

Para la estimación del flujo medio neutrónico axiales en la tercera operación de la pre puesta utilizando cálculo Serpent se tuvo la misma corriente de operación simulada de 2.08×10^{-9} A en las posiciones de la configuración N°46; F2[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]; C4[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] y

E6[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]. (Véase la Fig.4.20, 4.21, 4.35, 4.36); sin embargo, la zona evaluada solamente es la zona del “MEAT”

Cuadro N° 5.2

FLUJOS MEDIOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS EN LA ZONA DEL MEAT –
CAL. (EJE Z)

POSICION	FLUJOS TERMICOS MEDIO (MEAT) [$n/cm^2.s$]	Incert. [%]
ESP(F2 [1-2])	3.88E+10	5
ESP(F2 [5-6])	3.80E+10	5
ESP(F2 [11-12])	4.39E+10	5
ESP(F2 [15-16])	5.36E+10	5
ESP(C4 [1-2])	5.23E+10	5
ESP(C4 [5-6])	5.17E+10	5
ESP(C4 [11-12])	5.38E+10	5
ESP(C4 [15-16])	5.57E+10	5
ESP(E6 [1-2])	5.56E+10	5
ESP(E6 [5-6])	5.31E+10	5
ESP(E6 [11-12])	5.23E+10	5
ESP(E6 [15-16])	6.16E+10	5

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

Al realizarse una Inter comparación entre ambos métodos se obtuvo un error relativo para ambas medidas:

Cuadro N° 5.3

FLUJOS MEDIOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EN LA ZONA DEL MEAT
(EJE Z)

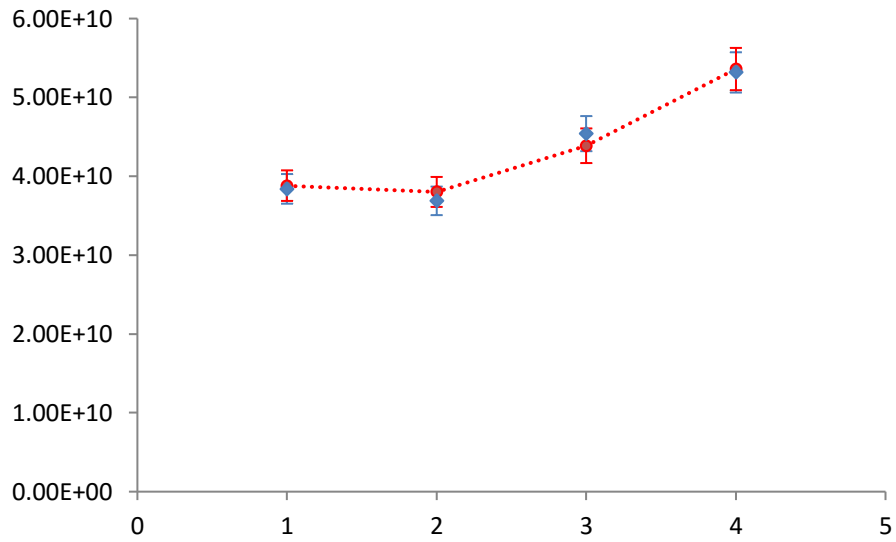
POSICION	FLUJOS TERMICOS MEDIO EXP. (MEAT) [$n/cm^2.s$]	FLUJOS TERMICOS CAL. (MEAT) [$n/cm^2.s$]	Error Relativo [%]
ESP(F2 [1-2])	3.84E+10	3.88E+10	1.07
ESP(F2 [5-6])	3.69E+10	3.80E+10	3.07
ESP(F2 [11-12])	4.54E+10	4.39E+10	-3.38
ESP(F2 [15-16])	5.32E+10	5.36E+10	0.80
ESP(C4 [1-2])	*	5.23E+10	-
ESP(C4 [5-6])	4.13E+10	5.17E+10	25,13
ESP(C4 [11-12])	5.48E+10	5.38E+10	-1,71
ESP(C4 [15-16])	5.74E+10	5.57E+10	-2,94
ESP(E6 [1-2])	5.48E+10	5.56E+10	1,50
ESP(E6 [5-6])	5.18E+10	5.31E+10	2,58
ESP(E6 [11-12])	5.43E+10	5.23E+10	-3,64
ESP(E6 [15-16])	*	6.16E+10	-

Fuente: Archivo del Departamento de Cálculo y Seguridad Nuclear, IPEN, 2019

Según las graficas 5.15., 5.16. y 5.17 se evidencia una comparación entre el método híbrido entre la parte experimental y el cálculo a una corriente de 2.08×10^{-9} A

Figura N° 5.15

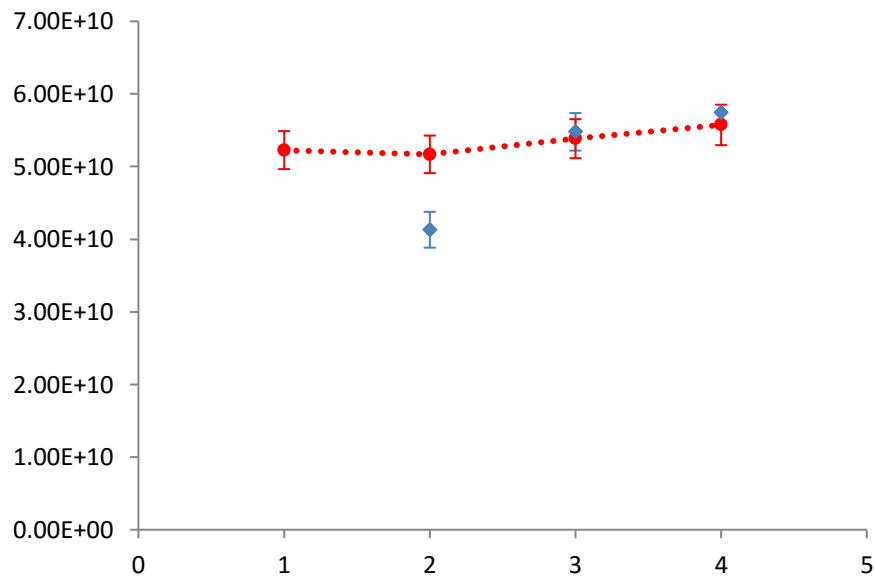
PERFIL DE FLUJOS MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICOS F2 (EJE Z)³⁵



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.16

PERFIL DE FLUJOS MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICOS C4 (EJE Z)

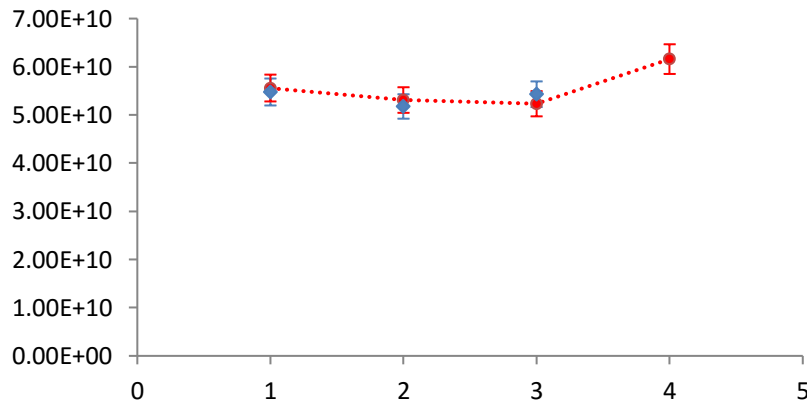


Fuente: Elaboración propia

³⁵ El eje Z, se refiere a la distribución axial del elemento combustible. Véase en geometría del combustible.

Figura N° 5.17.

PERFIL DE FLUJOS MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICOS E6 (EJE Z)



Fuente: Elaboración propia

Obs: Las ordenadas (1,2,3,4) de los gráficos 5.15., 5.16. y 5.17. pertenecen a los canales de cada elemento combustible en orden ascendente [(1-2) ;(5-6) ;(11-12), (15-16)]

Recordar que los flujos medios para los canales C4 (1-2) Y E6 (15-16) presentaban una irregularidad en el posicionamiento de la espada al introducirla en el elemento combustible para su activación, por ende, la curva se ve alterada.

De esta manera el flujo térmico por caja será el siguiente:

Cuadro N°5.4

FLUJOS MEDIOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS Y EN LA ZONA DEL MEAT
(EJE Z)

POSICIÓN	FLUJOS TERMICOS MEDIO EXP. POR ELEMENTO (MEAT) [$n/cm^2.s$]	FLUJOS TERMICOS CAL. (MEAT) POR ELEMENTO [$n/cm^2.s$]	Error Relativo [%]
F2	4.35E+10	4.36E+10	0.25
C4	5.12E+10	5.37E+10	5.00
E6	5.36E+10	5.37E+10	0.11

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 MAPEO DE FLUJOS NEUTRONICOS DEL NÚCLEO 46

Para la estimación de flujos neutrónicos mediante cálculo en la configuración N°47 del RP10, se consideró la distribución de elementos combustibles de acuerdo a la siguiente manera:

Figura N° 5.18

CONFIGURACIÓN DEL NÚCLEO N°46 AL INICIO DE ETAPA

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	TN	BE-01	BE-02	BE-03	BE-04	BE-05	BCF	BE-06	CF
2	GR-01	BE-07	CI-C2	NN-030	NC-006 (BC1)	NN-028	NN-025	BE-08	GR-02
3	BE-09	BE-10	NN-032	AS-001 (BS1)	A-018	NC-008 (BS3)	A-008	BE-11	BE-12
4	BE-13	BE-14	A-007	A-017	CI-E4	A-021	A-009	BE-15	BE-16
5	BE-17	BE-18	A-019	NC-007 (BS2)	A-023	AS-005 (BC2)	A-010	BE-19	BE-20
6	GR-03	BE-21	NN-024	NN-026	A-015	NN-029	CI-G6	BE-22	GR-04
7	CI-A7	BE-23	BE-24	BE-25	BE-26	BE-27	BE-28	BE-29	CI-I7
8			GR-05	GR-06	BE-30	GR-07	GR-08		

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.19

POSICIÓN DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES PARA EL CÁLCULO EN SERPENT

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2				0	1	2	3		
3			4	5	6	7	8		
4			9	10		11	12		
5			13	14	15	16	17		
6			18	19	20	21			
7									
8									

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de flujos neutrónicos promedio obtenidos para 22 elementos combustibles se representan en los cuadros 5.5., 5.6., 5.7., 5.8. y 5.9.

Cuadro N° 5.5

FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN D2, E2, F2 Y G2

D2	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	E2	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	F2	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	G2	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]
canal 1-2	3.89E+10	canal 1-2	-	canal 1-2	3.97E+10	canal 1-2	4.23E+10
canal 2-3	3.75E+10	canal 2-3	-	canal 2-3	3.86E+10	canal 2-3	3.98E+10
canal 3-4	3.69E+10	canal 3-4	4.55E+10	canal 3-4	3.79E+10	canal 3-4	3.85E+10
canal 4-5	3.70E+10	canal 4-5	4.74E+10	canal 4-5	3.80E+10	canal 4-5	3.81E+10
canal 5-6	3.75E+10	canal 5-6	5.06E+10	canal 5-6	3.84E+10	canal 5-6	3.81E+10
canal 6-7	3.81E+10	canal 6-7	3.41E+10	canal 6-7	3.90E+10	canal 6-7	3.83E+10
canal 7-8	3.87E+10	canal 7-8	3.54E+10	canal 7-8	3.97E+10	canal 7-8	3.88E+10
canal 8-9	3.96E+10	canal 8-9	3.64E+10	canal 8-9	4.04E+10	canal 8-9	3.96E+10
canal 9-10	4.05E+10	canal 9-10	3.66E+10	canal 9-10	4.13E+10	canal 9-10	4.05E+10
canal 10-11	4.16E+10	canal 10-11	3.61E+10	canal 10-11	4.23E+10	canal 10-11	4.15E+10
canal 11-12	4.27E+10	canal 11-12	3.50E+10	canal 11-12	4.34E+10	canal 11-12	4.23E+10
canal 12-13	4.40E+10	canal 12-13	3.29E+10	canal 12-13	4.49E+10	canal 12-13	4.33E+10
canal 13-14	4.55E+10	canal 13-14	2.93E+10	canal 13-14	4.68E+10	canal 13-14	4.42E+10
canal 14-15	4.74E+10	canal 14-15	-	canal 14-15	4.93E+10	canal 14-15	4.49E+10
canal 15-16	5.06E+10	canal 15-16	-	canal 15-16	5.25E+10	canal 15-16	4.55E+10
PROMEDIO	4.11E+10	PROMEDIO	3.81E+10	PROMEDIO	4.22E+10	PROMEDIO	4.10E+10

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 5.6

FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN C3, D3, E3, F3 Y G3

C3	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	D3	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	E3	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	F3	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	G3	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]
canal 1-2	6.30E+10	canal 1-2	-	canal 1-2	3.22E+10	canal 1-2	-	canal 1-2	4.53E+10
canal 2-3	5.82E+10	canal 2-3	-	canal 2-3	3.63E+10	canal 2-3	-	canal 2-3	4.52E+10
canal 3-4	5.52E+10	canal 3-4	5.14E+10	canal 3-4	3.96E+10	canal 3-4	5.54E+10	canal 3-4	4.53E+10
canal 4-5	5.34E+10	canal 4-5	4.96E+10	canal 4-5	4.21E+10	canal 4-5	5.40E+10	canal 4-5	4.60E+10
canal 5-6	5.26E+10	canal 5-6	4.91E+10	canal 5-6	4.43E+10	canal 5-6	5.34E+10	canal 5-6	4.65E+10
canal 6-7	5.24E+10	canal 6-7	4.92E+10	canal 6-7	4.61E+10	canal 6-7	5.35E+10	canal 6-7	4.67E+10
canal 7-8	5.26E+10	canal 7-8	4.97E+10	canal 7-8	4.77E+10	canal 7-8	5.43E+10	canal 7-8	4.74E+10
canal 8-9	5.28E+10	canal 8-9	5.02E+10	canal 8-9	4.96E+10	canal 8-9	5.52E+10	canal 8-9	4.79E+10
canal 9-10	5.33E+10	canal 9-10	5.17E+10	canal 9-10	5.15E+10	canal 9-10	5.64E+10	canal 9-10	4.89E+10
canal 10-11	5.41E+10	canal 10-11	5.35E+10	canal 10-11	5.41E+10	canal 10-11	5.81E+10	canal 10-11	4.94E+10
canal 11-12	5.50E+10	canal 11-12	5.58E+10	canal 11-12	5.73E+10	canal 11-12	6.00E+10	canal 11-12	5.01E+10
canal 12-13	5.57E+10	canal 12-13	5.91E+10	canal 12-13	6.13E+10	canal 12-13	6.27E+10	canal 12-13	5.08E+10
canal 13-14	5.64E+10	canal 13-14	6.35E+10	canal 13-14	6.66E+10	canal 13-14	6.68E+10	canal 13-14	5.14E+10
canal 14-15	5.69E+10	canal 14-15	-	canal 14-15	7.46E+10	canal 14-15	-	canal 14-15	5.20E+10
canal 15-16	5.72E+10	canal 15-16	-	canal 15-16	8.63E+10	canal 15-16	-	canal 15-16	5.26E+10
PROMEDIO	5.53E+10	PROMEDIO	5.30E+10	PROMEDIO	5.26E+10	PROMEDIO	5.73E+10	PROMEDIO	4.84E+10

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 5.7

FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN C4, D4, F4 Y G4

C4	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	D4	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	F4	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	G4	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]
canal 1-2	5.56E+10	canal 1-2	6.88E+10	canal 1-2	6.72E+10	canal 1-2	5.33E+10
canal 2-3	5.50E+10	canal 2-3	6.66E+10	canal 2-3	6.46E+10	canal 2-3	5.32E+10
canal 3-4	5.49E+10	canal 3-4	6.57E+10	canal 3-4	6.32E+10	canal 3-4	5.31E+10
canal 4-5	5.50E+10	canal 4-5	6.52E+10	canal 4-5	6.27E+10	canal 4-5	5.30E+10
canal 5-6	5.53E+10	canal 5-6	6.54E+10	canal 5-6	6.25E+10	canal 5-6	5.30E+10
canal 6-7	5.54E+10	canal 6-7	6.57E+10	canal 6-7	6.23E+10	canal 6-7	5.28E+10
canal 7-8	5.58E+10	canal 7-8	6.61E+10	canal 7-8	6.22E+10	canal 7-8	5.28E+10
canal 8-9	5.61E+10	canal 8-9	6.66E+10	canal 8-9	6.22E+10	canal 8-9	5.28E+10
canal 9-10	5.64E+10	canal 9-10	6.71E+10	canal 9-10	6.22E+10	canal 9-10	5.27E+10
canal 10-11	5.67E+10	canal 10-11	6.75E+10	canal 10-11	6.19E+10	canal 10-11	5.27E+10
canal 11-12	5.74E+10	canal 11-12	6.82E+10	canal 11-12	6.18E+10	canal 11-12	5.26E+10
canal 12-13	5.76E+10	canal 12-13	6.92E+10	canal 12-13	6.15E+10	canal 12-13	5.27E+10
canal 13-14	5.80E+10	canal 13-14	7.05E+10	canal 13-14	6.12E+10	canal 13-14	5.27E+10
canal 14-15	5.85E+10	canal 14-15	7.28E+10	canal 14-15	6.16E+10	canal 14-15	5.30E+10
canal 15-16	5.94E+10	canal 15-16	7.71E+10	canal 15-16	6.20E+10	canal 15-16	5.31E+10
PROMEDIO	5.65E+10	PROMEDIO	6.82E+10	PROMEDIO	6.26E+10	PROMEDIO	5.29E+10

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 5.8

FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN C5, D5, E5, F5 Y G5

C5	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	D5	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	E5	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	F5	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	G5	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]
canal 1-2	6.00E+10	canal 1-2	-	canal 1-2	9.38E+10	canal 1-2	-	canal 1-2	5.26E+10
canal 2-3	5.99E+10	canal 2-3	-	canal 2-3	8.20E+10	canal 2-3	-	canal 2-3	5.17E+10
canal 3-4	5.96E+10	canal 3-4	8.09E+10	canal 3-4	7.45E+10	canal 3-4	5.84E+10	canal 3-4	5.12E+10
canal 4-5	5.91E+10	canal 4-5	7.74E+10	canal 4-5	6.95E+10	canal 4-5	5.69E+10	canal 4-5	5.06E+10
canal 5-6	5.89E+10	canal 5-6	7.50E+10	canal 5-6	6.61E+10	canal 5-6	5.56E+10	canal 5-6	5.03E+10
canal 6-7	5.86E+10	canal 6-7	7.36E+10	canal 6-7	6.40E+10	canal 6-7	5.50E+10	canal 6-7	4.97E+10
canal 7-8	5.85E+10	canal 7-8	7.25E+10	canal 7-8	6.24E+10	canal 7-8	5.42E+10	canal 7-8	4.92E+10
canal 8-9	5.81E+10	canal 8-9	7.19E+10	canal 8-9	6.14E+10	canal 8-9	5.38E+10	canal 8-9	4.91E+10
canal 9-10	5.78E+10	canal 9-10	7.20E+10	canal 9-10	6.06E+10	canal 9-10	5.34E+10	canal 9-10	4.90E+10
canal 10-11	5.75E+10	canal 10-11	7.19E+10	canal 10-11	6.02E+10	canal 10-11	5.34E+10	canal 10-11	4.92E+10
canal 11-12	5.74E+10	canal 11-12	7.28E+10	canal 11-12	5.98E+10	canal 11-12	5.33E+10	canal 11-12	4.92E+10
canal 12-13	5.74E+10	canal 12-13	7.42E+10	canal 12-13	5.96E+10	canal 12-13	5.38E+10	canal 12-13	5.14E+10
canal 13-14	5.76E+10	canal 13-14	7.70E+10	canal 13-14	5.93E+10	canal 13-14	5.47E+10	canal 13-14	5.38E+10
canal 14-15	5.78E+10	canal 14-15	-	canal 14-15	5.92E+10	canal 14-15	-	canal 14-15	5.75E+10
canal 15-16	5.85E+10	canal 15-16	-	canal 15-16	5.92E+10	canal 15-16	-	canal 15-16	6.40E+10
PROMEDIO	5.84E+10	PROMEDIO	7.45E+10	PROMEDIO	6.61E+10	PROMEDIO	5.48E+10	PROMEDIO	5.19E+10

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 5.9

FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN C6, D6, E6 Y F6

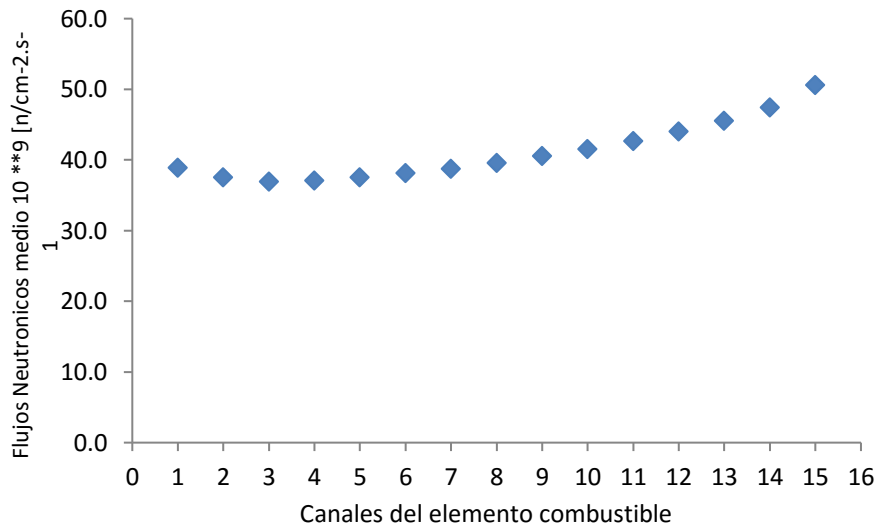
C6	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	D6	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	E6	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]	F6	Flujo Térmico [$n/cm^2.s$]
canal 1-2	6.02E+10	canal 1-2	7.34E+10	canal 1-2	5.82E+10	canal 1-2	5.93E+10
canal 2-3	5.99E+10	canal 2-3	6.95E+10	canal 2-3	5.72E+10	canal 2-3	5.87E+10
canal 3-4	5.95E+10	canal 3-4	6.66E+10	canal 3-4	5.64E+10	canal 3-4	5.86E+10
canal 4-5	5.90E+10	canal 4-5	6.46E+10	canal 4-5	5.59E+10	canal 4-5	5.84E+10
canal 5-6	5.83E+10	canal 5-6	6.32E+10	canal 5-6	5.53E+10	canal 5-6	5.81E+10
canal 6-7	5.78E+10	canal 6-7	6.20E+10	canal 6-7	5.49E+10	canal 6-7	5.77E+10
canal 7-8	5.69E+10	canal 7-8	6.11E+10	canal 7-8	5.42E+10	canal 7-8	5.74E+10
canal 8-9	5.69E+10	canal 8-9	6.04E+10	canal 8-9	5.42E+10	canal 8-9	5.70E+10
canal 9-10	5.66E+10	canal 9-10	5.99E+10	canal 9-10	5.41E+10	canal 9-10	5.69E+10
canal 10-11	5.63E+10	canal 10-11	5.95E+10	canal 10-11	5.40E+10	canal 10-11	5.69E+10
canal 11-12	5.61E+10	canal 11-12	5.99E+10	canal 11-12	5.43E+10	canal 11-12	5.69E+10
canal 12-13	5.65E+10	canal 12-13	6.05E+10	canal 12-13	5.50E+10	canal 12-13	5.72E+10
canal 13-14	5.73E+10	canal 13-14	6.15E+10	canal 13-14	5.65E+10	canal 13-14	5.84E+10
canal 14-15	5.87E+10	canal 14-15	6.36E+10	canal 14-15	5.87E+10	canal 14-15	5.99E+10
canal 15-16	6.13E+10	canal 15-16	6.65E+10	canal 15-16	6.25E+10	canal 15-16	6.28E+10
PROMEDIO	5.81E+10	PROMEDIO	6.35E+10	PROMEDIO	5.61E+10	PROMEDIO	5.83E+10

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los cuadros de datos calculados en Serpent 5.5., 5.6., 5.7., 5.8. y 5.9. se representan en las figuras 5.20., 5.21., 5.22., 5.23., 5.24., 5.25., 5.26., 5.27., 5.28., 5.29., 5.30., 5.31., 5.32., 5.33., 5.34., 5.35., 5.36., 5.37., 5.38., 5.39., 5.40. y 5.41.; estas figuras evidencian la relación entre flujo neutrónico térmico medio por elemento combustible vs los canales de cada elemento³⁶.

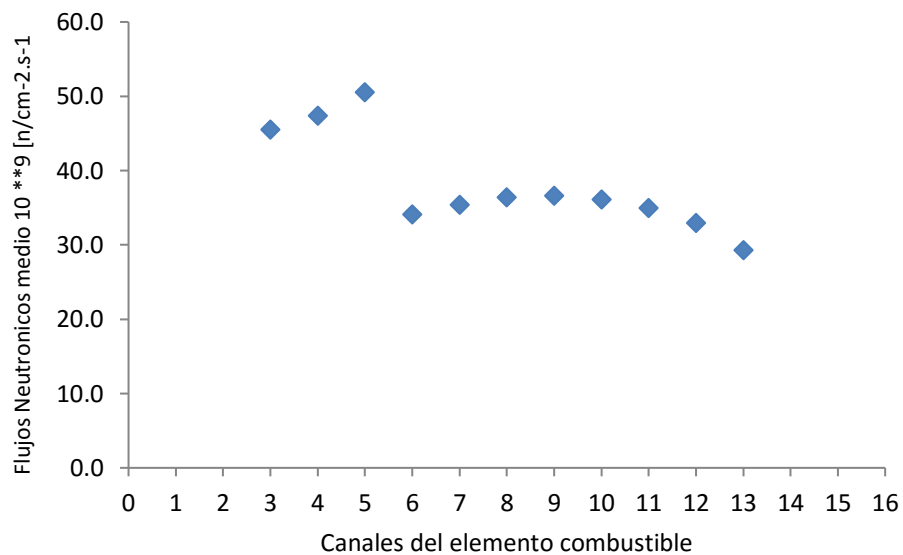
³⁶ Los elementos combustibles son 22: D2, E2, F2, G2, C3, D3, E3, F3, G3, C4, D4, F4, G4, C5, D5, E5, F5, G5, C6, D6, E6 Y F6.

Figura N° 5.20
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE D2
 POR CANAL



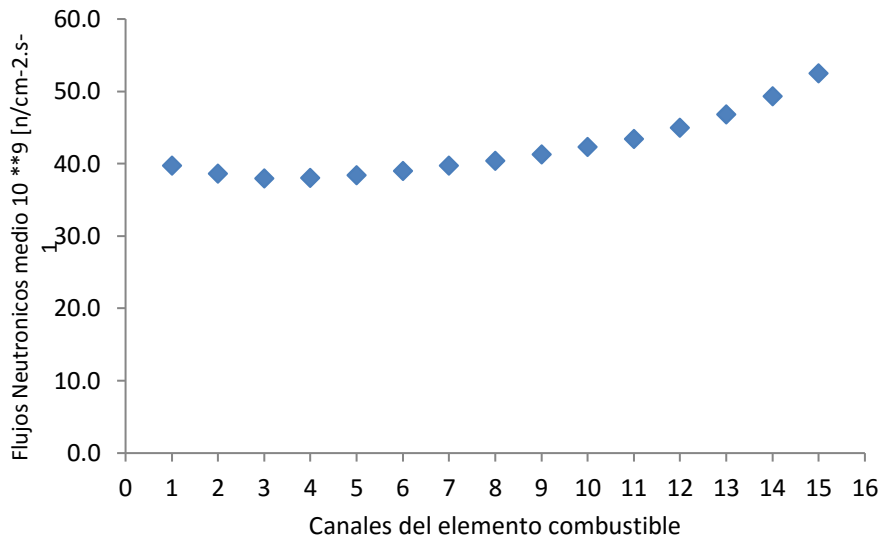
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.21
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE E2
 POR CANAL



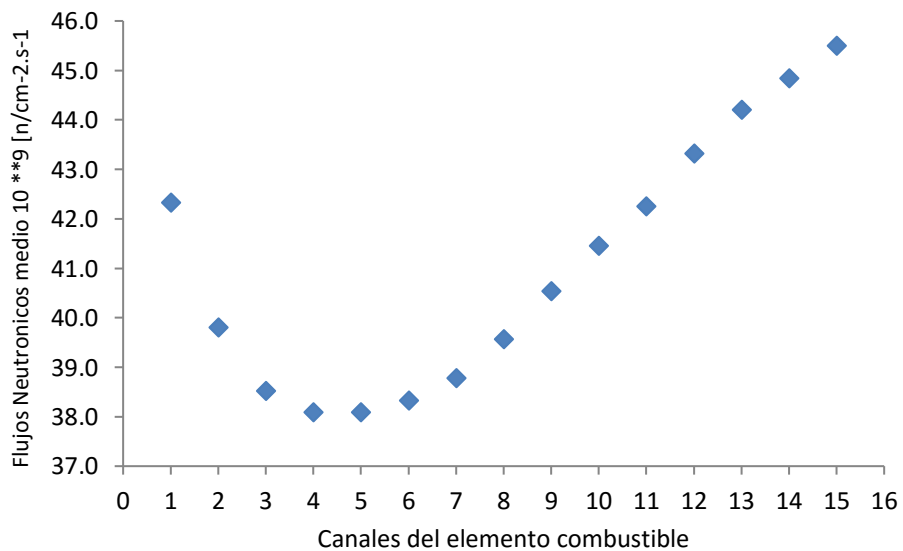
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.22
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE F2
 POR CANAL



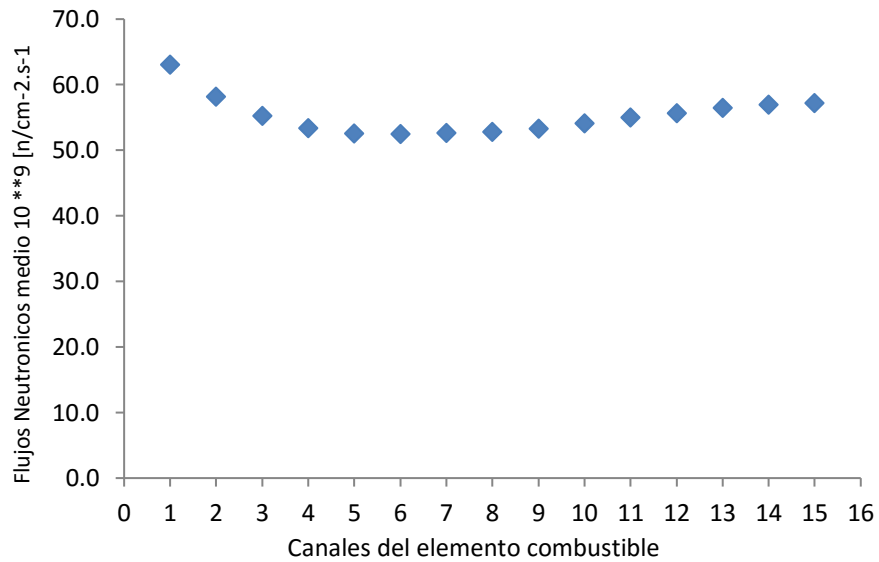
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.23
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE G2
 POR CANAL



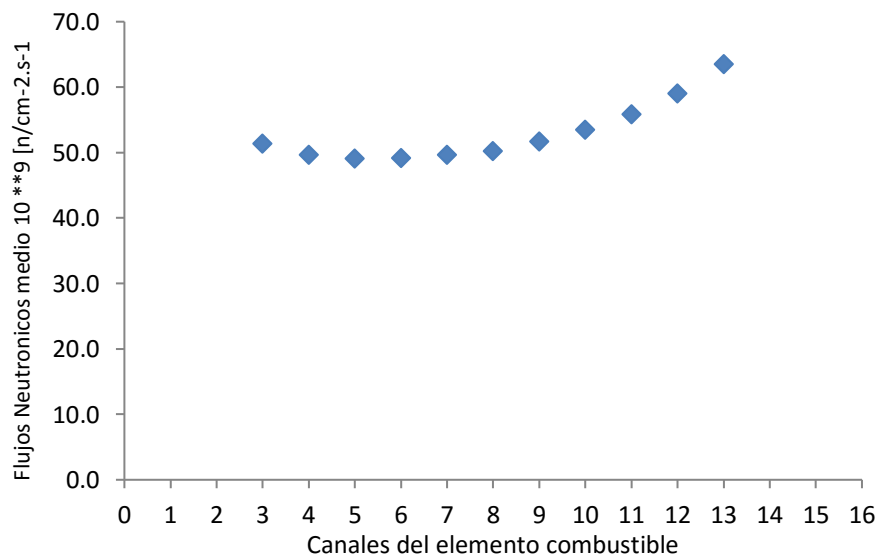
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.24
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE C3
 POR CANAL



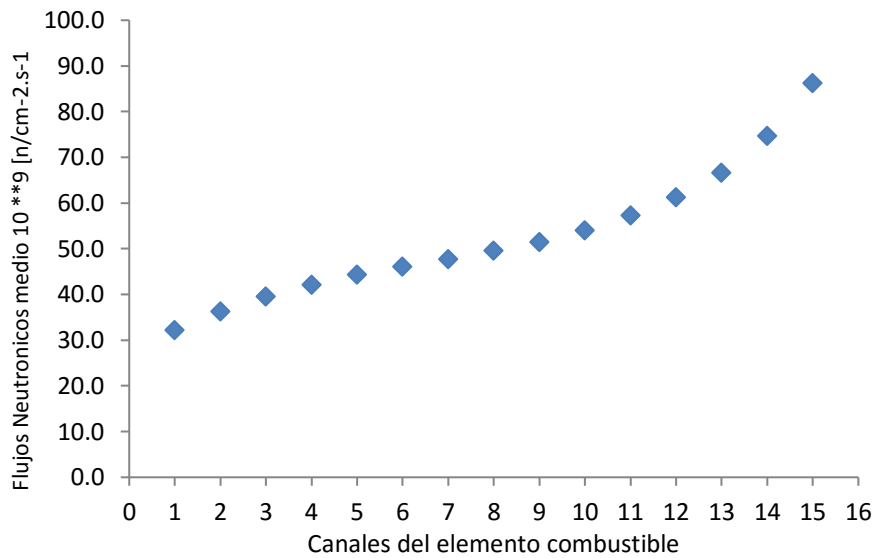
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.25
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE D3
 POR CANAL



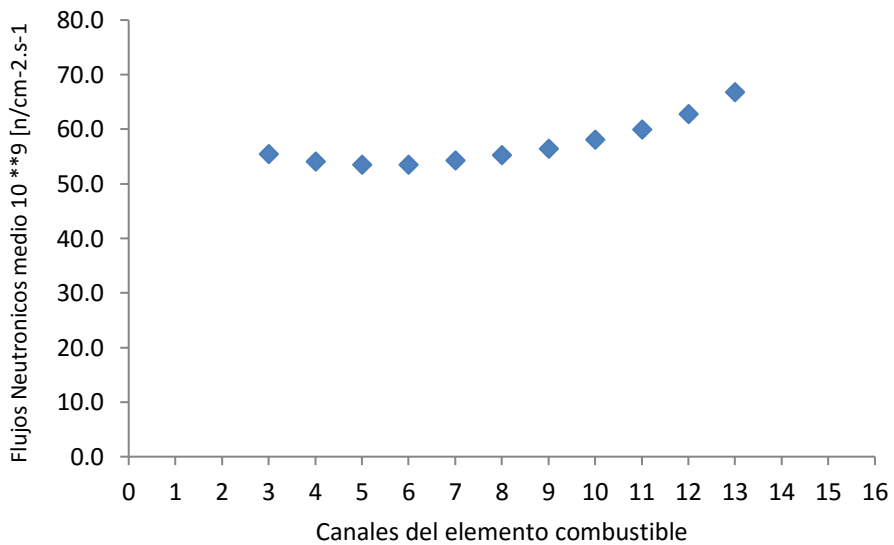
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.26
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE E3
 POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

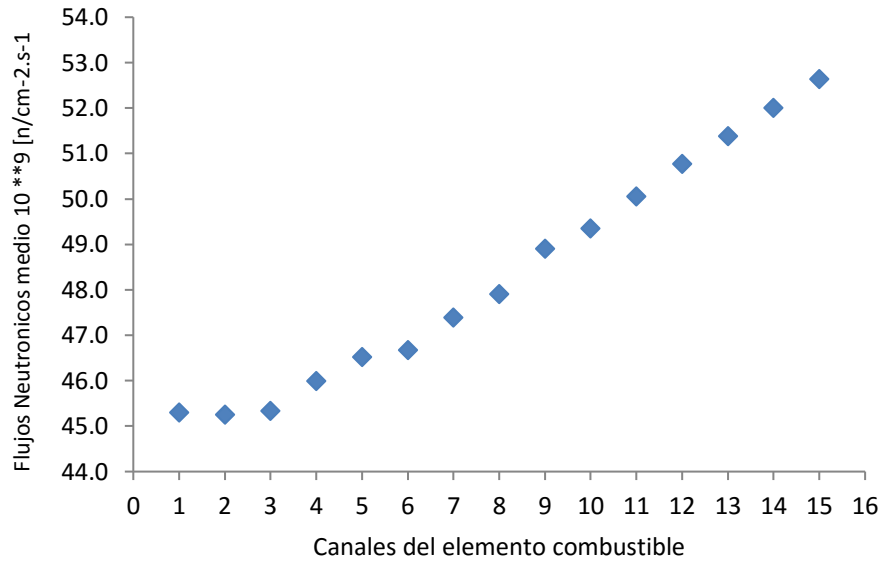
Figura N° 5.27.
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE F3
 POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.28.

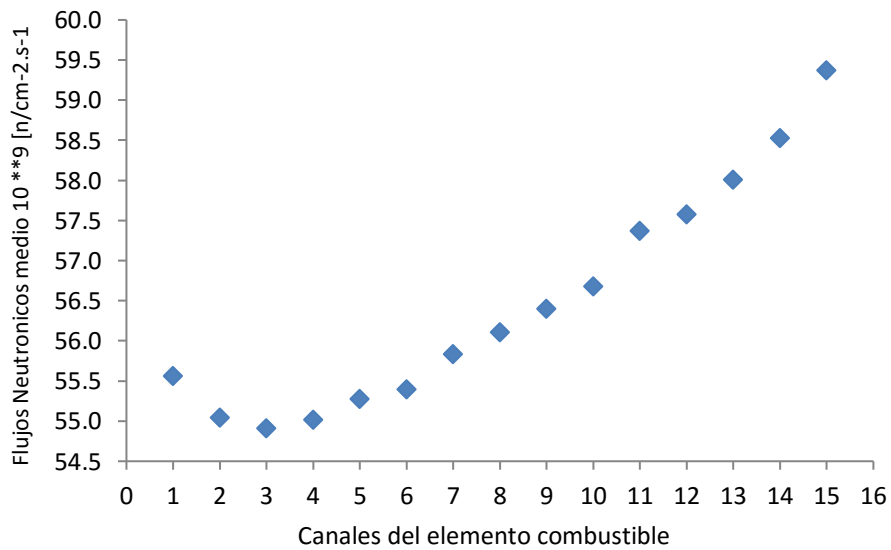
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE G3
POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.29.

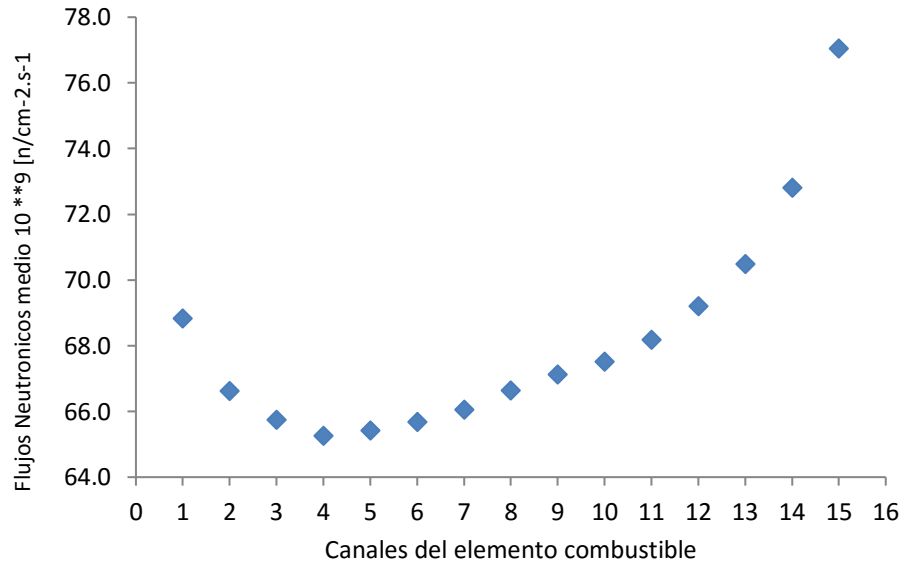
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE C4
POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.30.

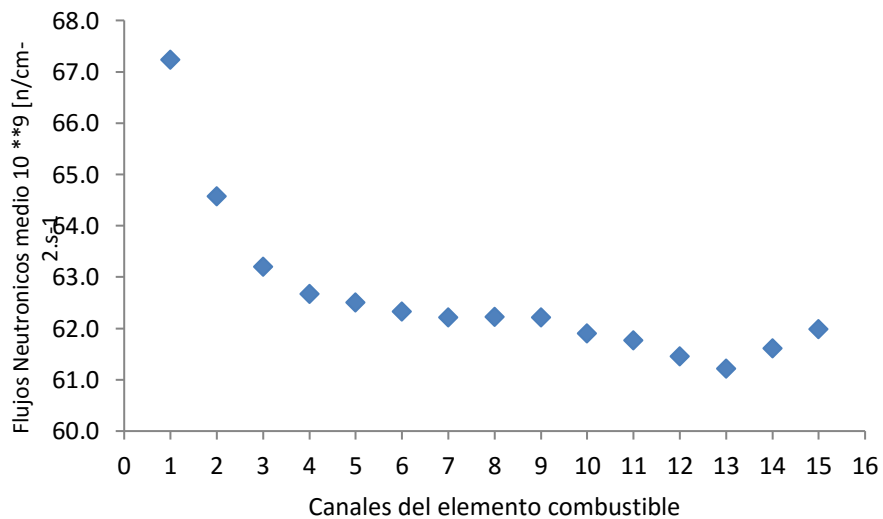
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE D4
POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

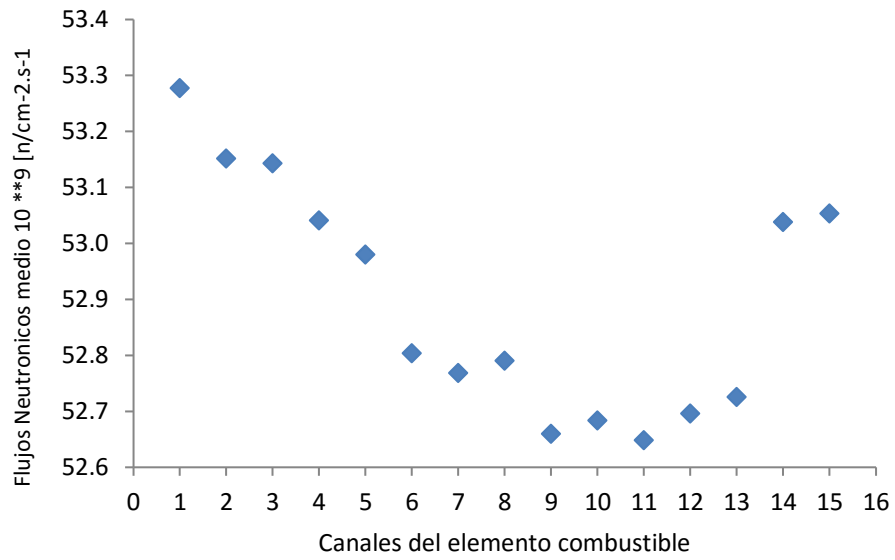
Figura N° 5.31

FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE F4
POR CANAL



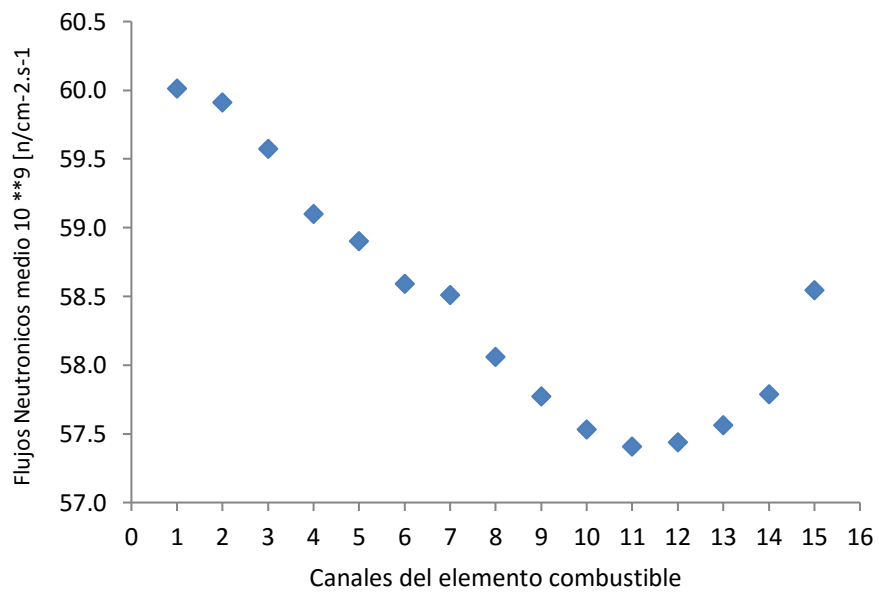
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.32
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE G4
 POR CANAL



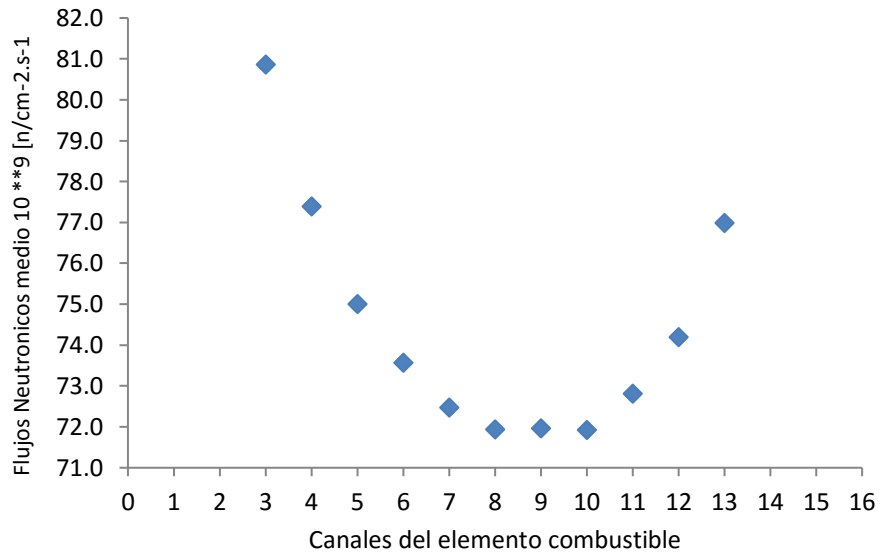
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.33
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE C5
 POR CANAL



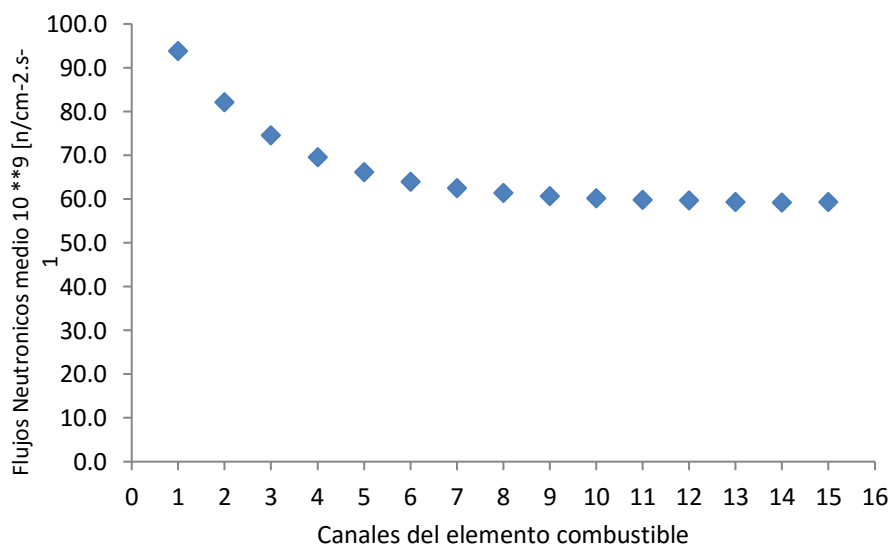
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.34
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE D5
 POR CANAL



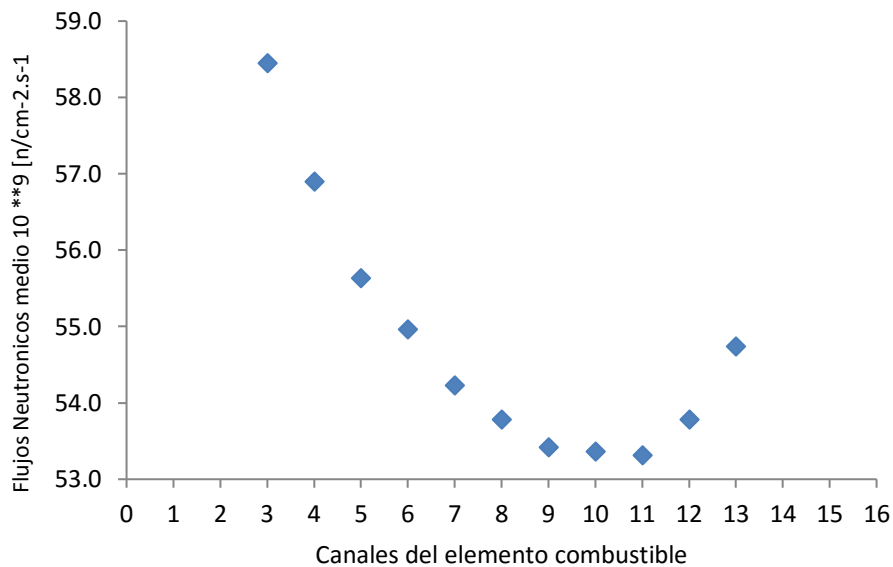
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.35
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE E5
 POR CANAL



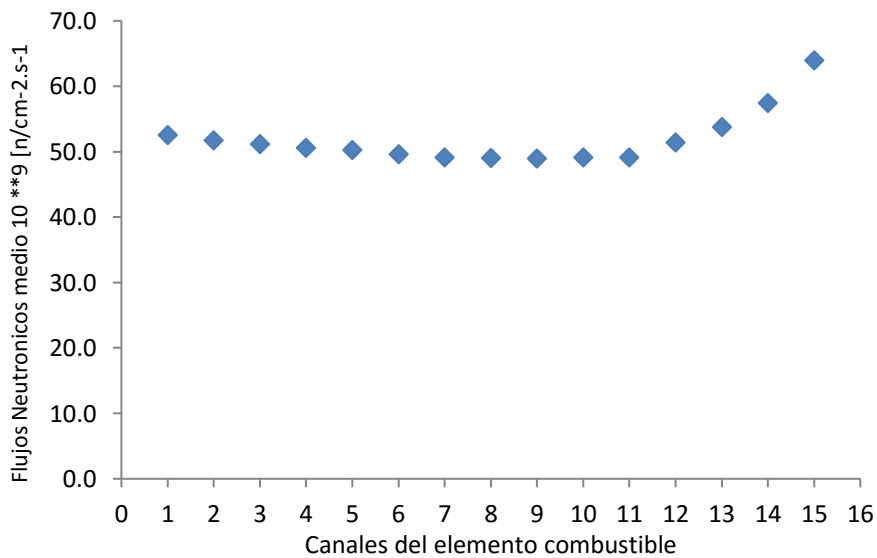
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.36
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE F5
 POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

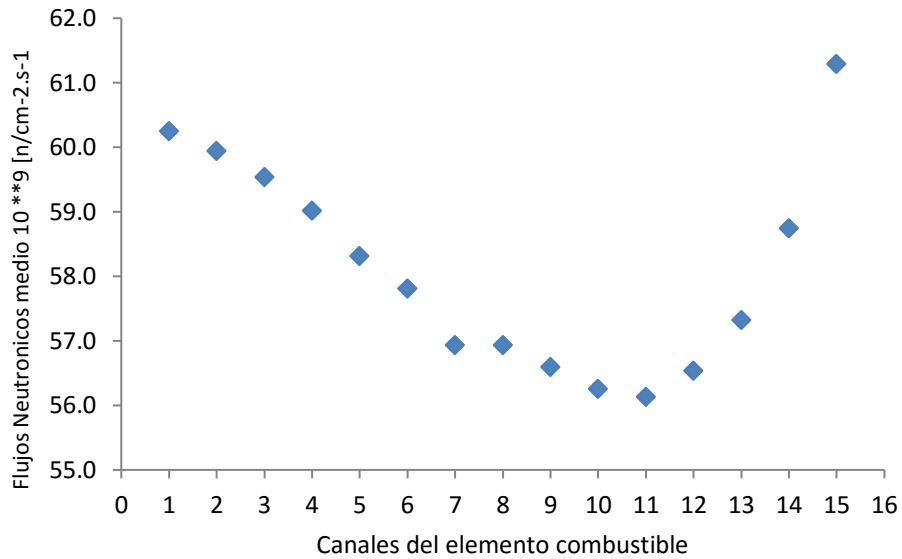
Figura N° 5.37
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE G5
 POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.38

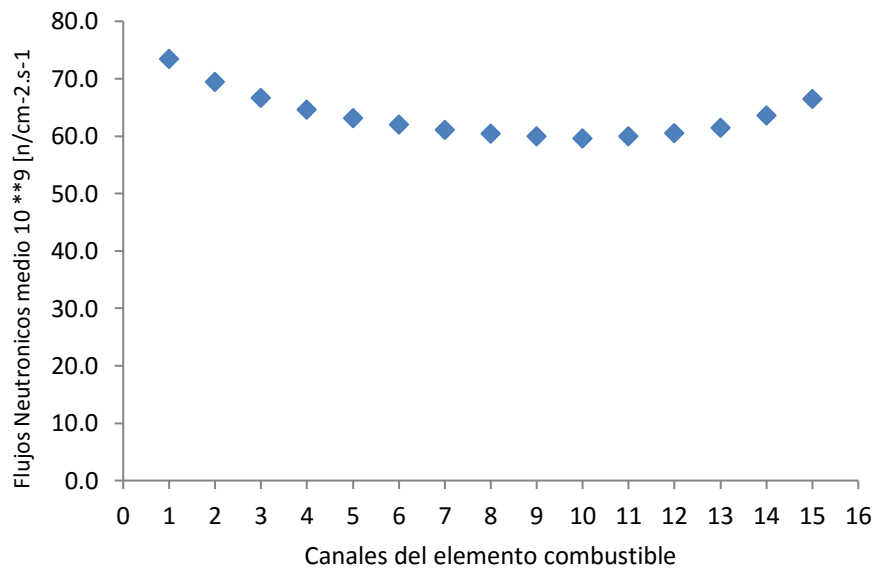
FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE C6
POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

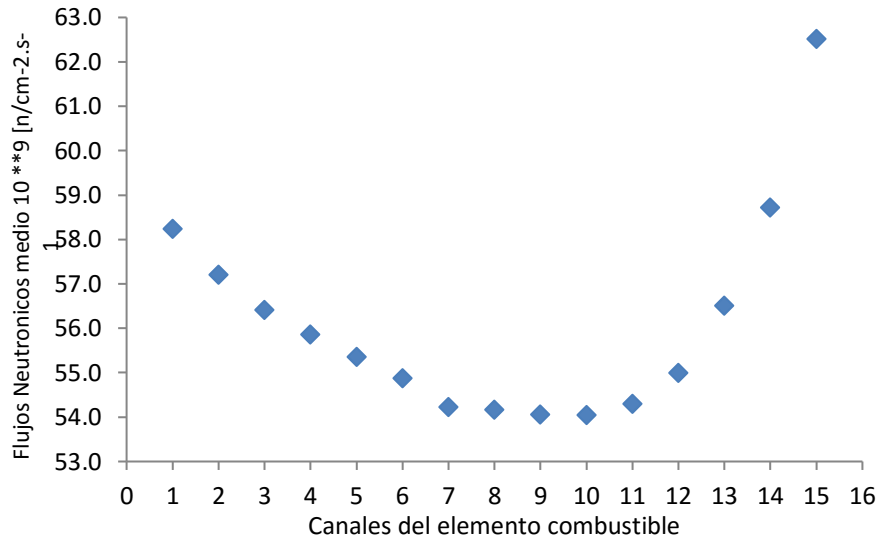
Figura N° 5.39

FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE D6
POR CANAL



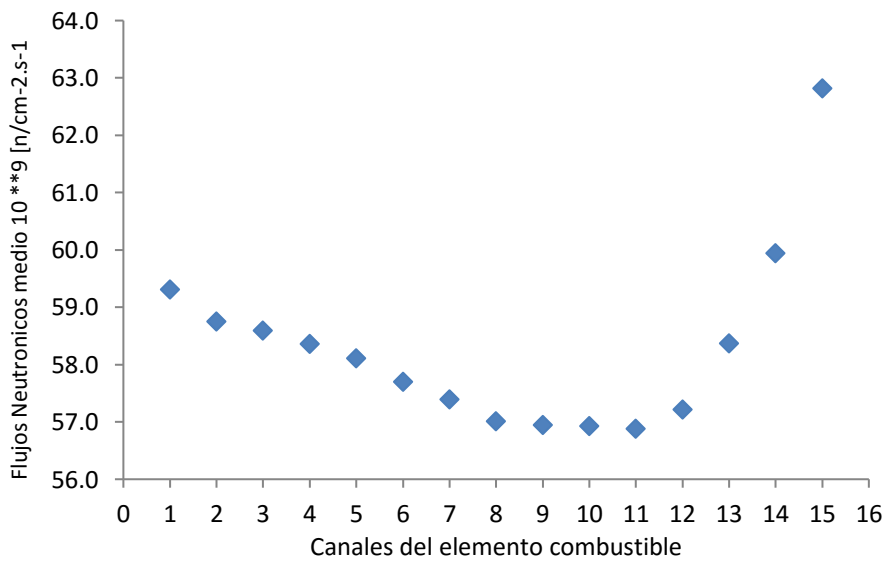
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.40
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE E6
 POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5.41
 FLUJO MEDIO NEUTRÓNICO TÉRMICO EN ELEMENTO COMBUSTIBLE F6
 POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

La distribución del flujo neutrónico térmico promedio en los Elementos combustibles fue dada de la siguiente manera según Serpent:

Figura N° 5.42

FLUJOS NEUTRÓNICOS TÉRMICOS MEDIOS DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES PARA EL CÁLCULO EN SERPENT

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2				4.11E+10	3.81E+10	4.22E+10	4.10E+10		
3			5.53E+10	5.30E+10	5.26E+10	5.73E+10	4.84E+10		
4			5.65E+10	6.82E+10		6.26E+10	5.29E+10		
5			5.84E+10	7.45E+10	6.61E+10	5.48E+10	5.19E+10		
6			5.81E+10	6.35E+10	5.61E+10	5.83E+10			
7									
8									

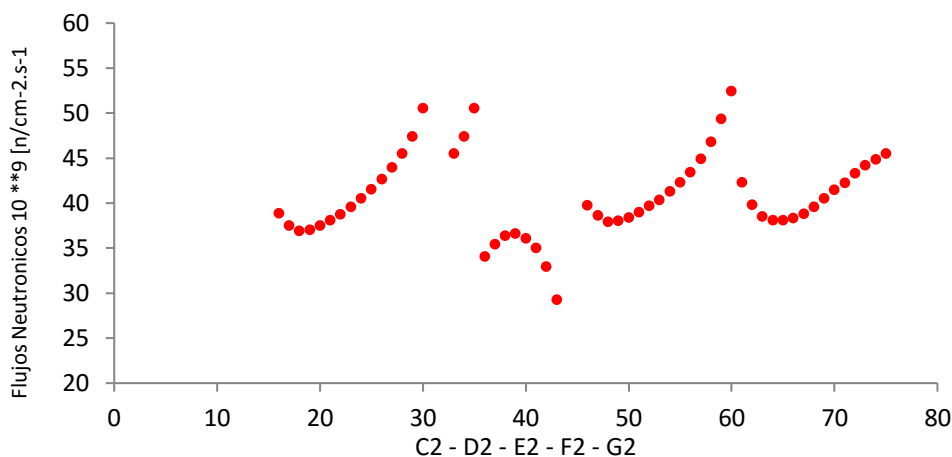
Fuente: Elaboración propia

Ordenándolo en forma axial sobre el eje “y”, los elementos combustibles poseen una secuencia determinada:

Según la figura 5.43. representa los flujos térmicos promedio de cada canal en una fila del núcleo RP-10 (C2, D2, E2, F2 Y G2)

Figura N° 5.43

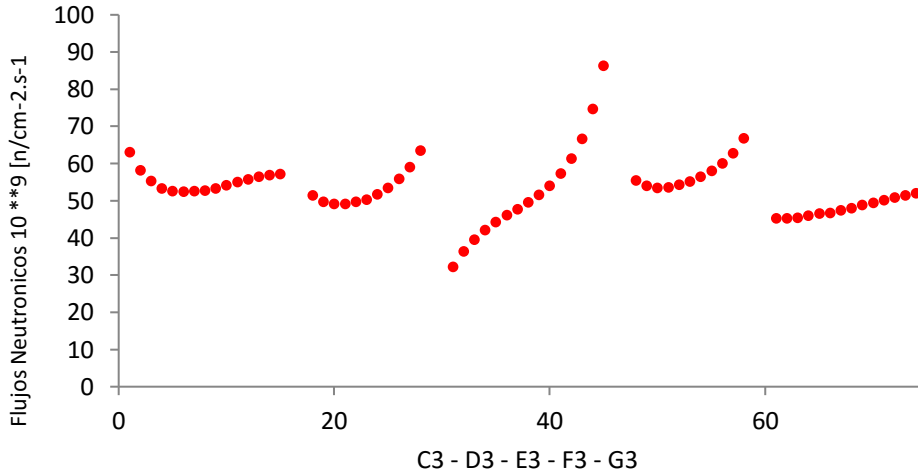
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS AXIALES EN LAS POSICIONES “X2” POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

Según la figura 5.44. representa los flujos térmicos promedio de cada canal en una fila del núcleo RP-10 (C3, D3, E3, F3 Y G3)

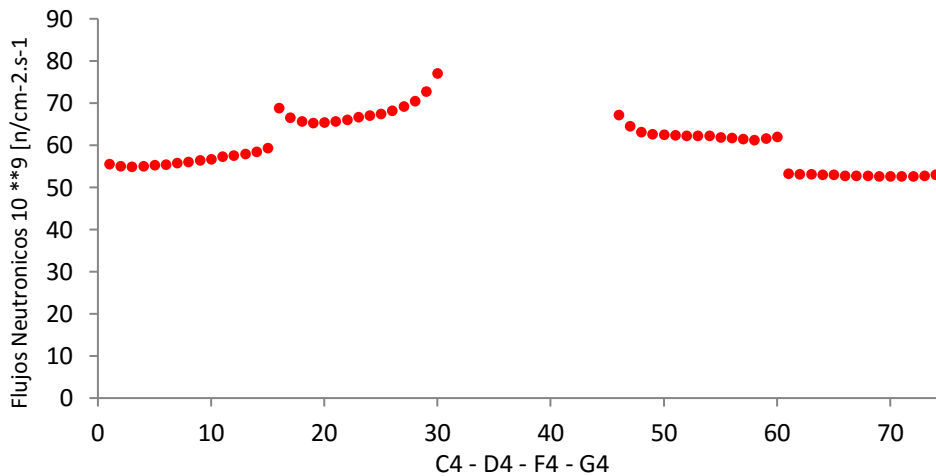
Figura N° 5.44
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS AXIALES EN LAS POSICIONES "X3" POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

Según la figura 5.45. representa los flujos térmicos promedio de cada canal en una fila del núcleo RP-10 (C4, D4, F4 Y G4)

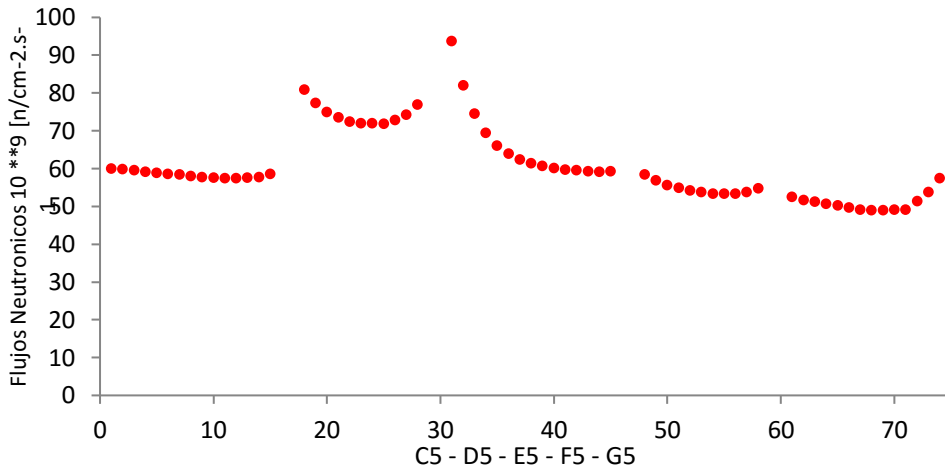
Figura N° 5.45
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS AXIALES EN LAS POSICIONES "X4" POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

Según la figura 5.46. representa los flujos térmicos promedio de cada canal en una fila del núcleo RP-10 (C5, D5, E5, F5 Y G5)

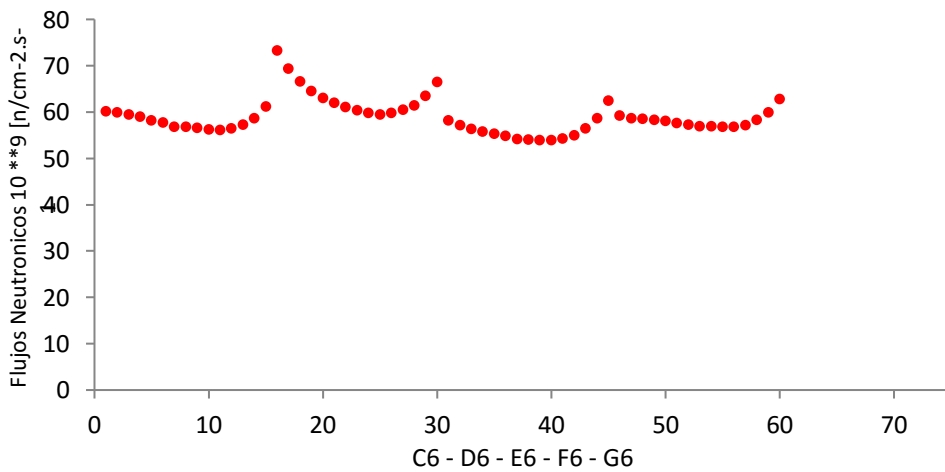
Figura N° 5.46
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS AXIALES EN LAS POSICIONES "X5" POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

Según la figura 5.47. representa los flujos térmicos promedio de cada canal en una fila del núcleo RP-10 (C6, D6, E6, F6 Y G6)

Figura N° 5.47
FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS AXIALES EN LAS POSICIONES "X6" POR CANAL



Fuente: Elaboración propia

5.2.3 FACTOR PICO AXIAL NEUTRONICO

Para determinar el factor de pico axial neutrónico, se debe encontrar el punto caliente del elemento combustible y del canal que lo compone; para ello, se demostró que en la sección 5.2. se evidencia que el error relativo entre los resultados de flujos medios térmicos por elementos combustibles tanto para la parte experimental como la parte calculada no sobrepasa el 5% (a excepción del canal C4(5-6) debido a un error en el posicionamiento)

Por ende según el Código Serpent el elemento combustible más caliente o mayor cantidad de flujo térmico medio es el E5. con el canal (1-2) más caliente. A una corriente de $2,08 \cdot 10^{-9}$ A.

De acuerdo a la ecuación 2.33 y los datos de la sección 5.2.2 tenemos lo siguiente:

$$K_a = \frac{9,38 \cdot 10^{10}}{7,45 \cdot 10^{10}} = 1.26 \pm 0.0531 = 1.26 \pm 4\%$$

Este resultado es para el elemento más caliente que coincidentemente se ubica el canal más caliente de toda la configuración N°46 según el Serpent, además es determinante para el cálculo de factor pico radial y total, que definen un parámetro de distribución neutrónica térmica.

Algunos otros resultados para los canales más calientes de otros combustibles son:

Cuadro N° 5.10

FLUJOS MEDIOS TÉRMICOS MEDIANTE SERPENT EN C6, D6, E6 Y F6
(EJE Z)

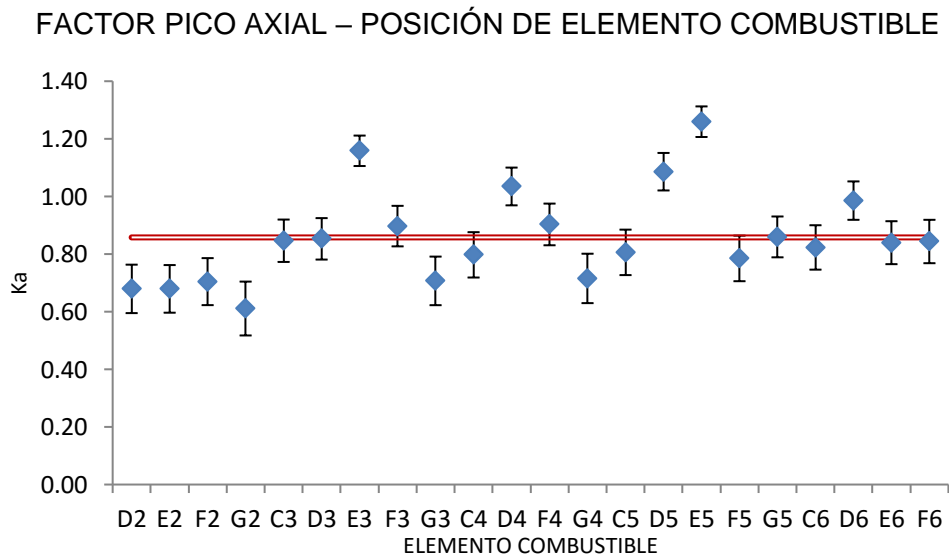
ELEMENTOS COMBUSTIBLE	D2	E2	F2F	G2	C3	D3	E3
FLUJO TÉRMICO MAXIMO PROMEDIO POR CANAL CALIENTE	5.06E+10	5.06E+10	5.25E+10	4.55E+10	6.30E+10	6.35E+10	8.63E+10
K_a	0.68	0.68	0.70	0.61	0.85	0.85	1.16
INCERTIDUMBRE K_a	0.0841	0.0827	0.0816	0.0934	0.0736	0.0719	0.0529

ELEMENTOS COMBUSTIBLE	F3	G3	C4	D4	F4	G4	C5
FLUJO TÉRMICO MAXIMO PROMEDIO POR CANAL CALIENTE	6.68E+10	5.26E+10	5.94E+10	7.71E+10	6.72E+10	5.33E+10	6.00E+10
K_a	0.90	0.71	0.80	1.03	0.90	0.72	0.81
INCERTIDUMBRE K_a	0.0703	0.0843	0.0787	0.0655	0.0723	0.0857	0.0789
ELEMENTOS COMBUSTIBLE	D5	F5	G5	C6	D6	E6	F6
FLUJO TÉRMICO MAXIMO PROMEDIO POR CANAL CALIENTE	8.09E+10	5.84E+10	6.40E+10	6.13E+10	7.34E+10	6.25E+10	6.28E+10
K_a	1.09	0.78	0.86	0.82	0.99	0.84	0.84
INCERTIDUMBRE K_a	0.0651	0.0791	0.0709	0.0771	0.0667	0.0746	0.0753

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados, se obtiene un valor de pico axial para la configuración N°46 con una media en $K_{prom} = 0.86$

Figura N° 5.48



Fuente: Elaboración propia

5.3 RESULTADOS DE ACUERDO A LA NATURALEZA DEL PROBLEMA Y LA HIPÓTESIS

Estos resultados fueron obtenidos mediante tratamiento de datos

5.3.1 RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DEL GeHP:

Las consideraciones para esta nueva experiencia es la evaluación del sistema de medición del GeHP; ya que, para las irradiaciones a las corrientes anteriores a esta, el detector tenía una eficiencia determinada; de acuerdo al tiempo en espera sin utilizar dicho detector, se debe determinar la precisión del detector.

La precisión del detector se determina mediante el error relativo entre la medida teórica y la medida promedio del detector.

Cuadro N° 5.10

EVALUACIÓN DE PRECISIÓN DE DETECTOR DE GEHP

FECHA DE CREACIÓN DE LA FUENTE DE CESIO-137		01 / 07 / 1984 12:00 [h]	
TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN	60 [m]	80 [m]	80 [m]
TIEMPO DE MEDICIÓN	900 [s]	900 [s]	900 [s]
ALTURA DE MEDICIÓN	242 [mm]	240 [mm]	240 [mm]
FECHA DE MEDICIÓN	25 / 08 / 2018 11:10 [h]	25 / 08 / 2018 14:08 [h]	30 / 08 / 2018 10:25 [h]
MEDICIÓN TEÓRICA	4.9702 [uCi]	4.9698 [uCi]	4.9686 [uCi]
MEDICIÓN	ACTIVIDAD / Cs – 137 [uCi]	ACTIVIDAD / Cs – 137 [uCi]	ACTIVIDAD / Cs – 137 [uCi]
1	4.9373	4.9735	4.9658
2	4.9303	4.9610	4.9558
3	4.9356	4.9714	4.9476
4	4.9487	4.9853	4.9372
5	4.9139	-	4.9688
PROMEDIO	4.9332	4.9728	4.9550
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.0127	0.0100	0.0130

INCERTIDUMBRE ESTANDAR	0.0057	0.0050	0.0058
DISPERSION [%]	0.11	0.10	0.12
ERROR RELATIVO [%]	0.74	0.06	0.27

Fuente: Elaboración propia.

El error relativo respecto al Cs-137 es el valor que se tiene como referencia para determinar la precisión del detector, este se realizó 4 a 5 mediciones y el error relativo respecto a la medida teórica está por debajo del 1%.

*Obs: La medida teórica se obtiene mediante la data del elemento de calibración Cs-137. Mediante desintegración radiactiva.

5.3.2 TIEMPO DEL PROCEDIMIENTO:

Es importante tener en cuenta el tiempo utilizado para implementar el procedimiento de medición de flujos, de esta manera se evaluó el tiempo del proceso desde el inicio de la pre puesta en servicio hasta el final de la etapa de medición de indicadores. Y se realizó para la tercera pre puesta en servicio según la corriente de operación $2.08 \text{ E-}09 \text{ A}$ para 12 espadas, 12 indicadores tipo alambre y 24 indicadores tipo hojuelas en las posiciones F2, C4 Y E6.

Cuadro N° 5.11

TIEMPO DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE FLUJOS

ETAPA	TIEMPO MINIMO[M]	TIEMPO MÁXIMO [M]	Nº DE PERSONAS QUE INTERVIENEN (PRE/DURANTE EL PROCESO)	ERROR RELATIVO [%]	OBS.
Proceso de activación de los indicadores [m]	242	279	3/3	28	Duración de 6 [m] por espada para su introducción en el E.C.
Medición de indicadores tipo alambre 1 [m]	165	212	5/2	8	Tiempo de medición por alambre 10 [m]
Medición de indicadores tipo alambre 2 [m]	182	264	1/1	4	Tiempo de medición por alambre 30 [m] solo 5 u.
Medición de indicadores tipo hojuela 1 [m]	336	416	1-3/2	15	Tiempo de medición por hojuela 10 [m]
Medición de indicadores tipo hojuela 2 [m]	359	489	1/1	15	Tiempo de medición por hojuela 10 [m]
Total	1284	1660	4/2	15	

Fuente: Elaboración propia

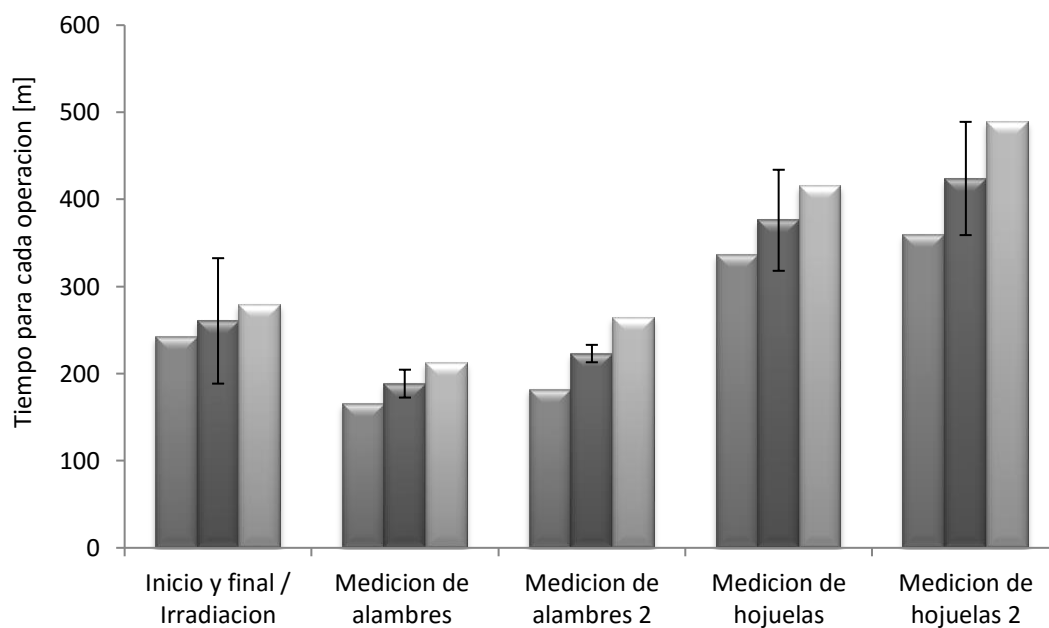
La dosis instantánea promedio al recoger los indicadores activados fue de 1.25 mSv/h a 5 [cm] de la fuente, este fue medido con un activimetro portátil.

La temperatura en el laboratorio cuando se realizaron las mediciones estan entre 22.9 °C / 20°C y la humedad relativa en el laboratorio entre 51% / 47%; los datos fueron obtenidos mediante un termohigrómetro previamente calibrado.

Realizando cada etapa del procedimiento eficientemente podemos acercarnos al tiempo mínimo, aunque el error por factor humano siempre este presente.

Figura N° 5.49

TIEMPO DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE FLUJOS NEUTRONICOS
TÉRMICOS



Fuente: Elaboración propia

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección toman en cuenta los resultados obtenidos en las tres operaciones de pre puesta en servicio, las dos primeras se realizaron bajo las condiciones 1.02 E-10 A, 2.00 E-10 A, 1.05 E-09 A, 2.15 E-09 A, 2.10 E-08 A y 2.10 E-07 A; corrientes de operación intermedias y bajas, fueron esenciales para evaluar el procedimiento de la medición de flujos y probar la variabilidad de flujos neutrónicos. Mientras que la condición 2.08 E-09 A para la tercera operación de pre puesta en servicio, nos ayudó a determinar la distribución más precisa de varios elementos combustibles mediante el procedimiento y extrapolarlo para toda la configuración del Núcleo N°46 mediante calculo Serpent.

6.1 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Según las hipótesis señaladas en la sección VII, se pudo interpretar el comportamiento del Factor pico axial, según la ecuación 2.33. para una configuración que posee flujos neutrónicos térmicos calculados por el Serpent y validados mediante mediciones experimentales con un error del menos del 5%. Los resultados confirman que el factor pico posee un comportamiento variable para cada elemento combustible con valores máximos en los elementos E3, E5 estos corresponden a ubicaciones alrededor de la caja central de irradiación (CI –E4)

La distribución de flujo medio térmico neutrónico se pudo cuantificar en valores esperados según la configuración N°46 del RP10, el valor promedio de todos los elementos combustibles es $5.50 \times 10^{10} \text{ n/m}^2 \cdot \text{s}$. Y siendo el caso de los valores representativos para los elementos E5, F2,C4 y E6; estos fueron cuantificados con una incertidumbre del 5% respecto a los resultados experimentales obtenidos, convirtiendo a los resultados del Serpent en un método comparativo con los resultados experimentales obtenidos.

Además, se encontró un comportamiento lineal a corrientes bajas e intermedias para medidas experimentales de flujos neutrónicos térmicos en puntos medios de los ejes axiales en el combustible E5.

La confiabilidad de este método se basa en la poca incertidumbre de medición que se obtuvo (<5%) para los datos experimentales, así como para los datos de cálculo. Además, la comparación entre resultado experimental-cálculo posee un error relativo <5%, lo que hace válido el método de cálculo para flujos térmicos en el RP10.

Se llegó a extrapolar los flujos neutrónicos térmicos para los elementos combustibles restantes mediante el método de cálculo, se obtuvo un flujo medio continuo para algunos elementos combustibles (véase sección 5.2.2.) ubicados en un mismo eje horizontal.

6.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS CON ESTUDIOS SIMILARES

Según la sección II capítulo 2.1, se evidenciaron estudios que detallaba resultados de parámetros nucleares en otros reactores de investigación; estos parámetros serían los flujos neutrónicos y factores pico.

Según la referencia bibliográfica Zúñiga A., 1991 la medición del factor pico y potencia neutrónica referente a su investigación, el factor pico axial posee un valor, $K_a = 1.3 \pm 0.1$, no hubo validación de ningún software, pero la sustentación fue dada bajo un método de medición experimental y procedimiento experimental de medición tomado para ese periodo. Vale decir, a una configuración nuclear N°14 y a una corriente de marcha de $3.0 \times 10^{-10} A$ con posiciones E2, F2, G2, E3, F3, G3, D4, E4, F4, G4, H4, D5, E5, F5, G5, H5, E6, F6, G6, E7, F7 y G7 pertenecientes al RP-10. El método pudo abarcar la cuantificación de valores de flujos térmicos promedio del núcleo, $\hat{\phi} = 3.7 \pm 0.2 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Es importante indicar que la metodología utilizada en la referencia de la sección II capítulo 2.1 tiene similitudes de acuerdo al método usado, indicadores usados y ser aplicados

al mismo reactor (con diferente configuración); por ende, los resultados del factor pico poseen una aproximación.

Según la referencia Wentzeis L. (2008), mediante el método de Deconvolución directa se pudo obtener valores de flujo neutrónico en la posición de columna térmica del Reactor RA1 a una potencia de 40kW con incertidumbres de cálculo entre 3% y 10%, los resultados de esta investigación solo fueron calculados mediante un modelo en MCNP; pero tuvieron una verificación de sus resultados con el método Westcott tomado con anterioridad. Al ser una configuración y modelo de reactor diferente, no se podría tener una relación directa con los valores obtenidos en el RP10; sin embargo, asocia un valor de incertidumbre sobre los 5% a los resultados que se obtuvieron en nuestra investigación.

Según la referencia García Flores A. (2010), mediante el reactor Triga Mark III se determinó el perfil de flujos subcadmicos y epicadmicos, con incertidumbres que alrededor del 10%, lo que nos indica que la metodología utilizada para el cálculo del perfil de flujos posee una incerteza mayor al de nuestra investigación. El mejoramiento del método es imperativo para la reducción de la incertidumbre; sin embargo, se demostró que el flujo subcadmicos y epicadmico a baja potencia (<1MW) poseen un comportamiento lineal, al igual que el comportamiento de los flujos térmicos en el RP10 versus la corriente de operación utilizada.

6.3 RESPONSABILIDAD ÉTICA

Esta Investigación titulada: “Calculo de factor pico axial y valor medio del flujo neutrónico de un elemento combustible del reactor RP-10”, fue evaluada según el departamento de CASE³⁷. Comprometiéndose a evaluar todos los datos y procedimientos tanto experimental como calculo, de una manera confidencial y fiable.

Cabe indicar que estos resultados son primigeos en su tipo, a lo largo de todo el historial del departamento CASE, no se obtuvieron pruebas con incertidumbres de medición por debajo al 5%. La comparación entre los resultados calculo y experimental serán tomados como referencia para investigación e innovación nuclear; sin fines o intereses de terceros con otras intenciones. Para este fin se obviaron “procedimientos internos”³⁸ que contribuyeron al resultado.

CONCLUSIONES

Según los resultados del cuadro N°4.5. de los flujos neutrónicos térmicos obtenidos de las tres operaciones de las pre puesta en servicio según las corrientes de marcha³⁹ ICM4: 1.02×10^{-10} A, 2.00×10^{-10} A, 1.05×10^{-9} A, 2.15×10^{-9} A, 2.10×10^{-8} A, 2.10×10^{-7} A y $2.08 \text{ E} - 09$ A, se obtuvieron resultados comparativos entre la parte experimental y cálculo de los indicadores de alambres y hojuelas con incertidumbres relativas comprendidas entre el 1% y 5% (véase cuadro 5.3.⁴⁰); ya que los perfiles de flujo para los elementos combustibles analizados (E4 (X,Y) – E5 (5-6), F2[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]; C4[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)] y E6[(1-2); (5-6); (11-12); (15-16)]) son de forma cosenoidal (véase sección 4.5.3) en la dirección axial (dirección Z) de un reactor de investigación tipo piscina

³⁷ Calculo y Seguridad nuclear

³⁸ Los procedimientos están en la base de datos del RP10, departamento CASE

³⁹ Ver sección 4.4.2. (CAMARA DE IONIZACIÓN Y FISIÓN)

⁴⁰ En la posición ESP(C4 [5-6]) se evidencio un dato atípico.

como indica la “teoría de física de reactores”⁴¹. De esta manera según lo planteado en la hipótesis de la sección 3.1. se puede concluir que:

- Según las primera y segunda operación de pre puesta en servicio debida a corrientes de marcha 1.02×10^{-10} A, 2.00×10^{-10} A, 1.05×10^{-9} A, 2.10×10^{-8} A y 2.10×10^{-7} A (corrientes bajas e intermedias) se obtiene una linealidad del flujo neutrónico térmico en zonas medias del eje axial al combustible (véase sección 4.5.2.)
- El error relativo presente entre la comparación de los resultados teóricos y experimentales del flujo neutrónico térmico son menores o iguales al 5% (véase cuadro 5.3); además se concluye que los resultados independientemente del resultado experimental o el cálculo mediante Serpent poseen una incertidumbre de medición menor o igual al 5% véase cuadro 5.2. y cuadro 5.1). Esto demuestra que son resultados buenos, debido a que posee una dispersión de los resultados de al menos 95% - 98% (véase tabla 3.1.). El valor del flujo neutrónico térmico medio máximo fue de $6,61 \cdot 10^{+10}$ n/cm². s (véase figura 5.42.)
- Se evidencia un comportamiento discontinuo presente en la parte intermedia entre dos elementos combustibles mediante los resultados mediante calculo Serpent (véase sección 5.2.2.) pero un comportamiento continuo dentro de cada combustible (véase figura 5.43., 5.44., 5.45., 5.46., 5.47.); ya que los valores del flujo neutrónico térmico medio en cada canal de una celda combustible siguen una curva característica debido a la homogeneidad del medio.
- El cálculo del valor del factor pico axial del reactor RP-10 según la sección 2.2.14.⁴² depende de la potencia máxima y media; sin embargo, según la ecuación 2.45.⁴³ el factor pico axial involucra al flujo neutrónico térmico. El resultado del factor pico axial según el software Serpent fue de $K_a = 1.26 \pm 4\%$, de igual manera se utilizó el mismo software Serpent

⁴¹ Glasstone S. y Sesonske A, Ingeniería de reactores nucleares, Ed. Reverte, 1968.

⁴² El factor pico axial es del cociente de la potencia nodal máximo en un elemento combustible y la potencia nodal media del elemento

⁴³ Ecuación del factor pico axial que involucra al flujo neutrónico térmico.

para las demás celdas combustible, donde se obtuvo valores de factores de pico para cada celda combustible con incertidumbres entre el 4% - 10% (véase cuadro 5.10.)

RECOMENDACIONES

Es importante tener en cuenta que, para la implementación de esta metodología la exposición a la radiación es un factor muy importante a considerar, se pudo relacionar y comparar la exposición a la radiación (desintegraciones por segundo) con la actividad térmica en el caso de los indicadores alambres y hojuelas⁴⁴; Otros tipos de recomendaciones que debemos tener en cuenta son:

- Tener en cuenta que en el procedimiento de medición mediante los detectores GeHP y INa, los procesos de calibración y caracterización son muy importantes. Esto se logró debido a un procedimiento ya establecido en el laboratorio donde se realice el trabajo de investigación (véase sección 4.4.1); ya que de otra manera aparecerán datos atípicos⁴⁵ que no contribuirán a los resultados obtenidos por los datos típicos.
- Además de tener en cuenta el procedimiento establecido en el laboratorio, es muy importante tener en cuenta el tiempo de desarrollo del mismo. El tiempo de desarrollo de los procedimientos de medición; ya que al realizar las mediciones con fuentes activadas (fuentes radiactivas) es necesario tener en cuenta el tiempo de exposición frente a estas (véase sección 5.3.2), además se tiene que considerar la distancia y el tipo de blindaje que se requerirán al momento de realizar el procedimiento de medición para poder reducir la dosis efectiva a causa de la exposición.
- En la parte de tratamiento de datos mediante Serpent, es necesario tener en cuenta las condiciones iniciales⁴⁶, por ejemplo: las tablas 4.4. y 4.5. que se evalúan la reactividad de las barras de seguridad y de control, así

⁴⁴ Debido a que poseen el mismo significado físico e unidades. Ver cuadro 4.5.

⁴⁵ En la posición ESP(C4 [5-6]) se evidencio un dato atípico.

⁴⁶ Según la sección 4.5.4. (Método para el cálculo Serpent)

como los parámetros cinéticos (población neutrónica inicial, ciclos activos y ciclos inactivos)⁴⁷, geometría 3D del modelo de configuración, parámetros neutrónicos (fracción de neutrones retardados, vida media de los neutrones, etc). Ya que modificar cualquiera de estos parámetros contribuirá en una variación de las variables a determinar.

⁴⁷ Revisar la sección 2.2.16. Código Serpent

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



1. Glasstone S. y Sesonske A. Ingeniería de reactores nucleares. 1era ed. España: Reverté; 1968.
2. Knoll G.F. Radiation detection and measurement. 2da ed. Estados Unidos: Jhon Wiley & Sons Ltd.; 1989.
3. Sánchez del Rio C., M. Aránzazu Vigon, Verdaguer F., editores. Física del Neutrón. 1ra ed. Madrid: Junta de energía Nuclear; 1958.
4. Alcalá Ruiz F. Notas sobre medidas de flujos neutrónicos. 1era ed. Madrid: Junta de energía nuclear; 1984.
5. Zúñiga A., Lamas J., Cerrón E., Huapaya I. Determinación del Flujo Neutrónico en el Reactor RP-10. Informe tecnológico nuclear (IPEN), 1, 12. 2016; Informe interno.
6. Zúñiga A., Lamas J., Cerrón E., Huapaya I. Medición del Factor Pico y la potencia Neutrónica de un Reactor Nuclear. Informe tecnológico nuclear (IPEN), 1, 12. 2002; Informe interno
7. Wentzeis L. Medición del Espectro Neutrónico en la Columna Térmica del Reactor Nuclear RA-1 Mediante un Método Deconvolución Directo. Informe tecnológico nuclear (CNEA), 1, 29- 2008. Informe Interno.
8. Leo W. Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. 2da ed. Alemania: Springer-Verlag; 1994
9. Medina Calderón R. Desarrollo de Software para el cálculo neutrónico en el reactor RP-10. Informe de tesis (UNMSM), 1, 80. 2016 Informe Tesis, 1, 80. 2004. Informe interno.
10. García Flores A. Determinación del perfil de flujos en función de la potencia en el Dedar Central del Reactor Triga Mark III. Informe de tesis (Universidad autónoma del estado de Mexico), 1, 122. 2010. Informe interno.
11. Alfaro Herrera L. Determinación del Flujo Neutrónico Térmico, epitérmico y rápido por activación de hojuelas en el reactor nuclear RP-10. Informe de tesis (Universidad nacional de La Libertad), 1, 84. 1995. Informe interno.
12. Sánchez, F; Blaumann, H, Lopasso. E y Longhino, J. Determinación del factor de pico de potencia en el Nuevo núcleo del RA-6 a partir de correlaciones calculo-medición. Informe tecnológico nuclear (CNEA), 1, 9. Informe interno.

13. International Atomic Energy Agency. Neutron Fluence Measurements. 1ra ed. Vienna: -; 1970. Technical reports series N°107
14. Bruna Mercado R. Determinación del factor de pico de potencia experimental del núcleo 43C. Informe tecnológico nuclear (IPEN), 1. Informe Interno.
15. Zúñiga A. Validación del modelo de determinación del flujo neutrónico térmico en los elementos combustibles de la configuración 47 del RP10. Informe tecnológico nuclear (IPEN), 1. Informe Interno.
16. Gallardo A. Factores de pico inicio de núcleo 42 del RP-10. Informe tecnológico nuclear (IPEN), 1. Informe Interno.
17. Vidal Ferrandiz A., Carlos Arbeola S. Estudio del flujo neutrónico en un reactor cilíndrico. Modelling in science, education and learning. 2017; 10(2): 5-19

ANEXO A

- Certificado de calibración de la balanza semi micro analítica

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No: CCP-0016-001-18

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA: INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR
 DIRECCIÓN: Av. José Saco Km. 13 - Carabaylla
 TELÉFONO: 99272863,00

IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO

EQUIPO: BALANZA SEMI-MICROANALITICA UNIDAD DE MEDIDA: Gramos (g)
 MARCA: METTLER TOLEDO RESOLUCIÓN (g): 0,0001
 MODELO: AT261 DELTA VALOR DE VERIFICACIÓN (g): 0,001
 SERIE: 1115311666 CAPACIDAD MÁXIMA: 205
 CÓDIGO: N/A CAPACIDAD MÍNIMA (OIML): 0,001
 CLASE DE EXACTITUD (OIML): 1 ESPECIAL UBICACIÓN: LABORATORIO DE FISICA EXPERIMENTAL

PATRONES UTILIZADOS

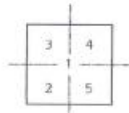
CODIGO	NOMBRE	MARCA	CLASE	SERIE	FECHA CAL.	FECHA PROX. CAL.
ELP-PC-005	JUNGO DE PESAS 12 (1mg a 20g)	HAFNER	CLASE E2	1140618	29-ago-18	ago-19
ELP-PT-010	BAROMETRO DIGITAL	CONTROL COMPANY	658	150737028	11-jul-18	jul-19
ELP-PT-098	TERMOHIGROMETRO	ELC	TH4511	NO ESPECIFICA	28-ago-18	ago-19

CALIBRACION

PROCEDIMIENTO: PEC ELP-01
 MÉTODO EMPLEADO: COMPARACION DIRECTA CON MASAS CERTIFICADAS PATRÓN
 CONDICIONES AMBIENTALES: TEMPERATURA (°C): 24,3 HUMEDAD RELATIVA (%): 54,6 PRESIÓN ATMOSFÉRICA (hPa): 964

PRUEBA DE EXCENTRICIDAD

UBICACION	INDICACION	ERROR	E.M.P.	¿CUMPLE?
No. 1	49,9999	-0,0001	0,001	Cumple
No. 2	49,9999	-0,0001	0,001	Cumple
No. 3	50,0000	0,0000	0,001	Cumple
No. 4	50,0000	0,0000	0,001	Cumple
No. 5	49,9999	-0,0001	0,001	Cumple



PRUEBA DE LINEALIDAD / HISTÉRESIS

Nominal de masa	0	0,001	0,1	0,3	5	20	50	100	200	205
Masa certificada	0,00000	0,001001	0,100000	0,300003	4,999999	20,000009	50,000005	100,000007	200,000053	205,000052
Incertidumbre Patrón	0,000000	0,000001	0,000002	0,000004	0,000005	0,000008	0,000010	0,000016	0,000030	0,000035
Lectura balanza ↑	0,00000	0,00100	0,10000	0,3000	5,0000	20,0000	50,0000	100,0000	200,0000	205,0000
Lectura balanza ↓	0,00000	0,00100	0,10000	0,3000	5,0000	20,0000	50,0000	100,0000	200,0000	205,0000
Error de Histéresis	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Error Ascendente ↑	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0001	-0,0001
Error Descendente ↓	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0001	-0,0001
Error Máximo Permitido	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003
¿CUMPLE?	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

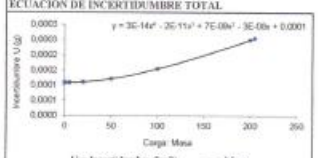
PRUEBA DE REPEATIBILIDAD

No. Pesada	Indicación
No. 1	200,0000
No. 2	199,9999
No. 3	200,0000
No. 4	200,0000
No. 5	200,0000
No. 6	200,0000
E.M.P.	0,002
MÁX-MÍN	0,001
¿CUMPLE?	Cumple

INCERTIDUMBRES (Para el valor más alto de calibración)

Contribución a la incertidumbre por:	Tipo de Distribución:	Coefficiente de Sensibilidad	Incertidumbre Gramos (g)
Repetibilidad	T de Student	1	0,0000408
Resolución	Rectangular	1	0,0000289
Excentricidad	Conv. rectángula	1	0,0000511
Linealidad	Gaussiana	1	0,0000003
Histéresis	Gaussiana	1	0,0000000
Deriva de los instrumentos	Rectangular	1	0,0000797
Efecto de corrección	Rectangular	1	0,0000270
Peso Patrón Densidad del aire	Gaussiana	1	0,0000633
Incertidumbre Combinada			0,000128
Grados Efectivos de Libertad (v _{eff})			477
Factor de Cobertura (k)			2,00
INCERTIDUMBRE ALEATORIA (EXPANDIDA)			0,000256

ECUACIÓN DE INCERTIDUMBRE TOTAL



$y = 3E-16x^2 - 2E-15x + 7E-06x^3 + 3E-05x + 0,0001$

$U = \text{Incertidumbre} (k=2) \quad z = \text{Masa}$

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

La balanza cumple los requisitos 3.6.1 (Repetibilidad), 3.6.2 (Excentricidad) y 3.5 (Errores Máximos Permitidos) de la OIML R 76-1:2006

OBSERVACIONES

E.M.P. = Error Máximo Permitido por la OIML R 76-1:2006
 La estimación de la incertidumbre expandida se realizó con base en el documento JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura $k=2,00$, que para una distribución t (de Student) con $v_{eff} = 477$ (grados efectivos de libertad) corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95,45%. Este certificado no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio Elicrom Calibración. El presente certificado se refiere solamente al equipo arriba descrito al momento de la calibración.


CALIBRACION REALIZADA POR: José Ferrero

FECHA DE CALIBRACION: 19 de noviembre de 2018


AUTOREZADO POR: Ing. Sabino Pinoda
 GERENTE TÉCNICO

RECIBIDO POR: RESPONSABLE - CLIENTE


- Certificado de calibración del termohigrómetro



Calibration
Certificate No. 1750.01



**Calibration complies with ISO/IEC
17025, ANSI/NCSL Z540-1, and 9001**



Cert. No.: 4040-8577403

Traceable® Certificate of Calibration for Therm./Clock/Humidity Monitor

Instrument Identification:

Model: 4040 S/N: 170400437 Manufacturer: Control Company

Standards/Equipment:

Description	Serial Number	Due Date	NIST Traceable Reference
Chilled Mirror Hygrometer	31874/H2040MCR	10/19/17	14489
Digital Thermometer	221197993	10/04/17	4000-8017448
Non-contact Frequency Counter	26.6 2025	3/27/18	1000406563

Certificate Information:

Technician: 126 Procedure: CAL-17 Cal Date: 5/26/17 Due Date: 5/26/19
 Test Conditions: 23.8°C 57.0 %RH 1012 mBar

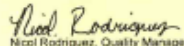
Calibration Data: (New Instrument)

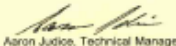
Unit(s)	Nominal	As Found	In Tol	Nominal	As Left	In Tol	Min	Max	±U	TUR
°C		N.A.		24.59	24.4	Y	23.6	25.6	0.059	>4:1
%RH		N.A.		50.54	53	Y	46	56	1.3	3.8:1
Sec/24hr		N.A.		0.000	-0.667	Y	-8.640	8.640	0.13	>4:1

This instrument was calibrated in compliance with ISO/IEC 17025:2005 and ANSI/NCSL Z540-1-1994 Part 1.
 A Test Uncertainty Ratio of at least 4:1 is maintained unless otherwise stated and is calculated using the expanded measurement uncertainty. Uncertainty evaluation includes the instrument under test and is calculated in accordance with the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" (GUM). The uncertainty represents an expanded uncertainty using a coverage factor k=2 to approximate a 95% confidence level. In tolerance conditions are based on test results falling within specified limits with no reduction by the uncertainty of the measurement. The results contained herein relate only to the item calibrated. This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of Control Company.

The calibration results published in this certificate were obtained using equipment capable of producing results that are traceable to NIST and through NIST to the International System of Units (SI).

Nominal=Standard's Reading; As Left=Instrument's Reading; In Tol=In Tolerance; Min/Max=Acceptance Range; ±U=Expanded Measurement Uncertainty; TUR=Test Uncertainty Ratio;
 Accuracy=(Max-Min)/2; Min = As Left Nominal/Rounded - Tolerance; Max = As Left Nominal/Rounded + Tolerance; Date=MM/DD/YY


 Nicol Rodriguez, Quality Manager


 Aaron Judice, Technical Manager

Maintaining Accuracy:

In our opinion once calibrated your Therm./Clock/Humidity Monitor should maintain its accuracy. There is no exact way to determine how long calibration will be maintained. Therm./Clock/Humidity Monitors change little, if any at all, but can be affected by aging, temperature, shock, and contamination.

Recalibration:

This device was calibrated using a single test point. Should additional test points be required, please contact Control Company for factory calibration and re-certification traceable to National Institute of Standards and Technology.

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
 Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 service@control3.com www.control3.com

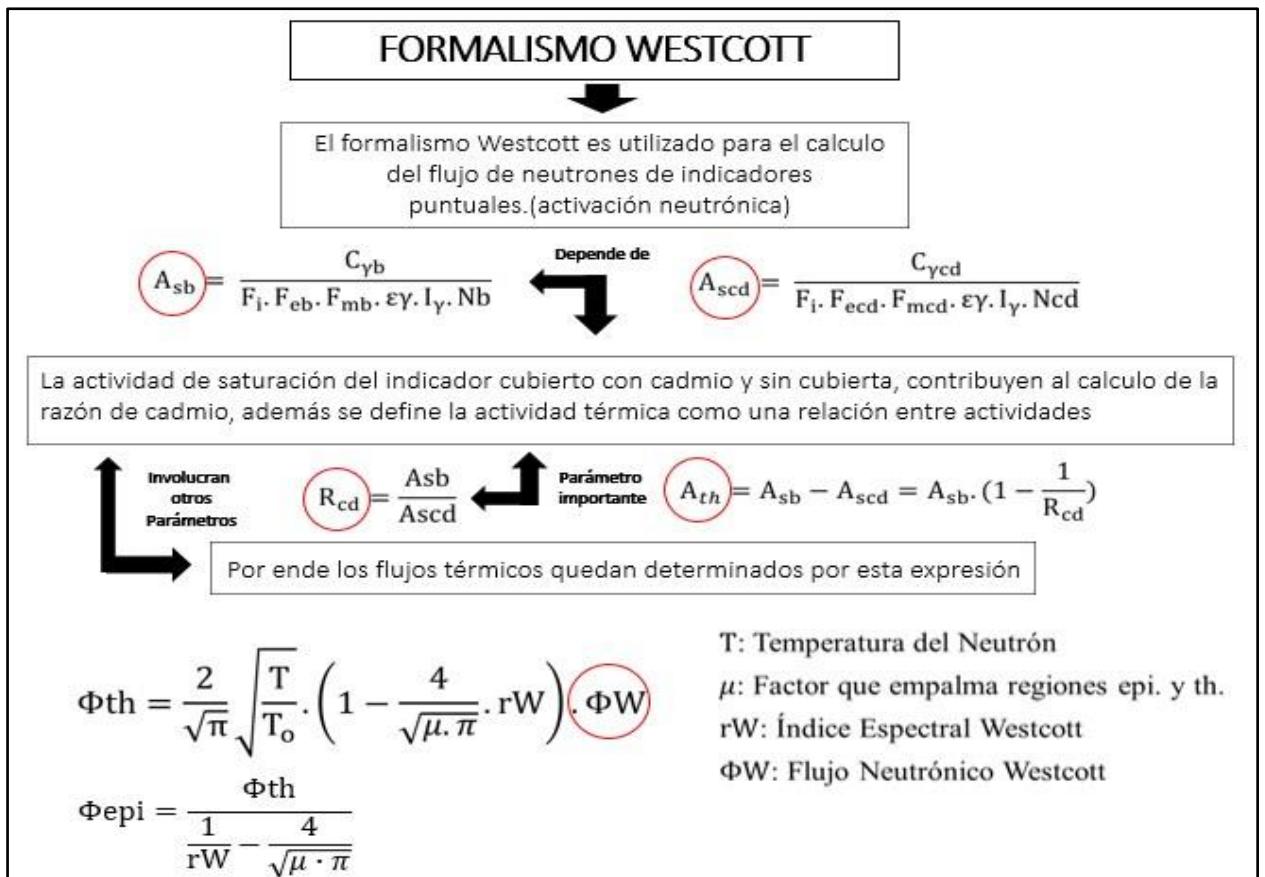
Control Company is an ISO 17025:2005 Calibration Laboratory Accredited by (A2LA) American Association for Laboratory Accreditation, Certificate No. 1750.01.
 Control Company is ISO 9001:2008 Quality Certified by (DNV) Det Norske Veritas, Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-RvA.
 International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) - Multilateral Recognition Arrangement (MRA).

Page 1 of 1 Traceable® is a registered trademark of Control Company © 2009 Control Company

ANEXO B

- FORMULISMO MATEMÁTICO DE WESTCOTT

Mediante el siguiente formulismo se determina el flujo térmico y epitermico de indicadores activados. Además de incluir las incertidumbres asociadas a cada variable, un panorama resumido del formulismo sería:



Vemos en la gráfica anterior, tanto el flujo neutrónico térmico como el epitermico dependen del flujo Westcott, que involucra tanto la sección epitérmica como la térmica para activación de indicadores metálicos (Au)

A continuación se detallara los parámetros involucrados en el formulismo así como sus incertidumbres asociadas a cada parámetro.

- NUMERO DE ÁTOMOS DE LA MUESTRA

Según la activación de indicadores de Au⁴⁸, los parámetros son:

Concentración: $\delta = 0.9999$

Abundancia Isotópica $\theta = 1$

Peso Atómico $P_a =$

196.9665. g. mol⁻¹

Número de Avogadro $N_a =$

6.023. 10²³. mol⁻¹

Densidad de la Hojuela: $\rho = 19.32. \text{g. cm}^{-3} \pm \sigma\rho =$
0.02. g. cm⁻³

Número de átomos Bare: $N_b = \delta. \theta. \frac{M_b}{P_a}. N_a \pm \sigma N_b =$
 $\delta. \theta. \frac{N_a}{P_a}. \sigma M_b$

Número de átomos Cadmio: $N_{cd} = \delta. \theta. \frac{M_{cd}}{P_a}. N_a \pm \sigma N_b =$
 $\delta. \theta. \frac{N_a}{P_a}. \sigma M_{cd}$

Periodo de semidesintegración del isótopo:

$$T_s = 2.6943 \text{ d} \pm \sigma T_s = 0.008 \text{ d}$$

Constante de semidesintegración: $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_s} \pm \sigma\lambda = \frac{\ln(2)}{T_s^2} \sigma T_s$

Intensidad gamma del fotopico del isótopo: $I_\gamma = 0.9557 \pm \sigma I_\gamma = 0.0047$

- ACTIVIDAD DE SATURACIÓN POR UNIDAD ATÓMICA DE LA HOJUELA DESNUDA ASB

Factores temporales de medición:

⁴⁸ Véase sección 4.2.2 y tabla 4.1 para mayor referencia

$$F_i = 1 - e^{-\lambda \cdot t_i} \pm \sigma F_i = e^{-\lambda \cdot t_i} \sqrt{(t_i \cdot \sigma \lambda)^2 + (\lambda \cdot \sigma t_i)^2}$$

$$F_{eb} = e^{-\lambda \cdot t_{eb}} \pm \sigma F_{eb} = e^{-\lambda \cdot t_{eb}} \sqrt{(t_{eb} \cdot \sigma \lambda)^2 + (\lambda \cdot \sigma t_{eb})^2}$$

$$F_{mb} = \frac{1 - e^{-\lambda \cdot t_{mb}}}{\lambda} \pm \sigma F_{mb} = \frac{|e^{-\lambda \cdot t_{mb}} (1 + \lambda \cdot t_{mb}) - 1|}{\lambda^2} \sigma \lambda^{49}$$

Actividad de Saturación: $A_{sb} = \frac{C_{\gamma b}}{F_i \cdot F_{eb} \cdot F_{mb} \cdot \epsilon \gamma \cdot I_{\gamma} \cdot Nb} \pm \sigma A_{sb}$

$$\sigma A_{sb} = A_{sb} \sqrt{\left(\frac{\sigma C_{\gamma b}}{C_{\gamma b}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma F_i}{F_i}\right)^2 + \left(\frac{\sigma F_{eb}}{F_{eb}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma F_{mb}}{F_{mb}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \epsilon \gamma}{\epsilon \gamma}\right)^2 + \left(\frac{\sigma I_{\gamma}}{I_{\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma Nb}{Nb}\right)^2}$$

- ACTIVIDAD DE SATURACIÓN POR UNIDA ATÓMICA DE LA HOJUELA CUBIERTA CON CADMIO ASCD

Factores temporales de medición:

$$F_{ecd} = e^{-\lambda \cdot t_{ecd}} \pm \sigma F_{ecd} = e^{-\lambda \cdot t_{ecd}} \sqrt{(t_{ecd} \cdot \sigma \lambda)^2 + (\lambda \cdot \sigma t_{ecd})^2}$$

$$F_{mcd} = \frac{1 - e^{-\lambda \cdot t_{mcd}}}{\lambda} \pm \sigma F_{mcd} = \frac{|e^{-\lambda \cdot t_{mcd}} (1 + \lambda \cdot t_{mcd}) - 1|}{\lambda^2} \sigma \lambda^{50}$$

$$A_{scd} = \frac{C_{\gamma cd}}{F_i \cdot F_{ecd} \cdot F_{mcd} \cdot \epsilon \gamma \cdot I_{\gamma} \cdot Ncd} \pm \sigma A_{sb}$$

$$\sigma A_{sb} = A_{scd} \sqrt{\left(\frac{\sigma C_{\gamma cd}}{C_{\gamma cd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma F_i}{F_i}\right)^2 + \left(\frac{\sigma F_{ecd}}{F_{ecd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma F_{mcd}}{F_{mcd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \epsilon \gamma}{\epsilon \gamma}\right)^2 + \left(\frac{\sigma I_{\gamma}}{I_{\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma Ncd}{Ncd}\right)^2}$$

- CALCULO DE RAZÓN DE CADMIO RCD

$$R_{cd} = \frac{Asb}{Ascd} \pm \sigma R_{cd} = R_{cd} \sqrt{\left(\frac{\sigma Asb}{Asb}\right)^2 + \left(\frac{\sigma Ascd}{Ascd}\right)^2}$$

⁴⁹ t_i, t_{eb}, t_{mb} son tiempo de irradiación, tiempo de espera y tiempo de medición respectivamente

⁵⁰ t_{ecd}, t_{mcd} son tiempo de espera y tiempo de medición para el indicador cubierto con cadmio

- CALCULO DEL FACTOR DE AUTOBLINDAJE TÉRMICO GTH

Energía - neutrón en equilibrio térmico: $E_0 = 0.0253 \text{ eV} \pm \sigma E_0 = 0.0002 \text{ eV}$

Sección eficaz microscópica térmica de activación del isótopo:

$$\sigma_{th} = 98.8. b \pm \sigma \sigma_{th} = 0.3. b$$

Espesor de cada indicador-hojuela: $eh = 0.025. \text{mm} \pm \sigma eh = 0.002. \text{mm}$

Área de la hojuela desnuda:

$$A_b = \frac{Mb}{\rho. eh} \pm \sigma A_b = A_b. \sqrt{\left(\frac{\sigma Mb}{Mb}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\sigma eh}{eh}\right)^2}$$

Fracción de saturación⁵¹

$$x_b = \frac{\sigma_{th}. Nb}{A_b} \pm \sigma x_b = x_b. \sqrt{\left(\frac{\sigma \sigma_{th}}{\sigma_{th}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma Nb}{Nb}\right)^2 + \left(\frac{\sigma A_b}{A_b}\right)^2}$$

Si $x_b \ll 1$, entonces, el factor de autoblindaje térmico:

$$G_{th} = \frac{1 - (1 - x_b). e^{-x_b}}{2 - x_b} \pm \sigma G_{th} = \frac{|e^{-x_b}. (1 + x_b - x_b^2) - 1|}{2. x_b^2} \sigma x_b$$

- CALCULO DEL FACTOR DE AUTOBLINDAJE EPITÉRMICO GEPI

Constante de Planck: $hk = 6.6256. 10^{-34}. \text{J. s}$

Constante de Boltzmann: $k = 1.38054. 10^{-23}. \text{J. K}^{-1}$

Masa en reposo del neutrón: $M_n = 1.67482. 10^{-24}. \text{g}$

Temperatura del Neutrón: $T = 300\text{K} \pm \sigma T = 1. \text{K}$

Numero másico del isótopo en Blanco: $A = 197$

Numero cuántico del spin nuclear del isótopo blanco: $I = 1.5$

⁵¹ Refiérase a la fracción o relación del número de átomos que se activan respecto al número de secciones eficaces microscópicas

Numero cuántico del momento angular del isotopo blanco-neutrón incidente:

$$J_0 = I - 0.5$$

Factor estadístico de spin: $gs = \frac{2J_0+1}{2(2I+1)}$

Energía de resonancia del neutrón: $E_r = 4.906 \text{ eV} \pm \sigma E_r = 0.002 \text{ eV}$

Ancho radiactivo de resonancia en E_r : $\Gamma_\gamma = 0.124 \text{ eV} \pm \sigma \Gamma_\gamma = 0.002 \text{ eV}$

Ancho neutrónico de resonancia en E_r : $\Gamma_n = 0.016 \text{ eV} \pm \sigma \Gamma_n = 0.0002 \text{ eV}$

Ancho total de resonancia en E_r : $\Gamma = \Gamma_\gamma + \Gamma_n \pm \sigma \Gamma = \sqrt{\sigma \Gamma_\gamma^2 + \sigma \Gamma_n^2}$

Sección eficaz microscópica epitérmica de activación del isotopo blanco en E_r :

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{epi}} &= \frac{hk^2}{2 \cdot \pi \cdot M_n} \cdot \left(1 + \frac{1}{A}\right) \cdot gs \cdot \frac{\Gamma_\gamma \cdot \Gamma_n}{\Gamma^2} \cdot \frac{1}{E_r} \pm \sigma_{\text{epi}} \\ &= \sigma_{\text{epi}} \sqrt{\left(\frac{\sigma \Gamma_\gamma}{\Gamma_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \Gamma_n}{\Gamma_n}\right)^2 + \left(2 \cdot \frac{\sigma \Gamma}{\Gamma}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma E_r}{E_r}\right)^2} \end{aligned}$$

Área de la hojuela cubierta con cadmio:

$$A_{\text{cd}} = \frac{M_{\text{cd}}}{\rho \cdot eh} \pm \sigma A_{\text{cd}} = A_{\text{cd}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma M_{\text{cd}}}{M_{\text{cd}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\sigma eh}{eh}\right)^2}$$

Fracción de saturación⁵²

$$x_{\text{cd}} = \frac{\sigma_{\text{epi}} \cdot N_{\text{cd}}}{A_{\text{cd}}} \pm \sigma x_{\text{cd}} = x_{\text{cd}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma \sigma_{\text{epi}}}{\sigma_{\text{epi}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma N_{\text{cd}}}{N_{\text{cd}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma A_{\text{cd}}}{A_{\text{cd}}}\right)^2}$$

Reducción de variables, nuevas variables (p,q):

$$p = \frac{\Gamma}{4} \cdot \sqrt{\frac{A}{k \cdot T \cdot E_r}} \pm \sigma p = p \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma \Gamma}{\Gamma}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma T}{T}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma E_r}{E_r}\right)^2}$$

⁵² Refiérase a la fracción o relación del número de átomos que se activan respecto al número de secciones eficaces microscópicas

$$q = \sqrt{\pi} \cdot p \cdot e^{p^2} \cdot (1 - \text{erf}(p)) \quad \pm \quad \sigma$$

$$= [\sqrt{\pi} \cdot (1 + 2p^2) \cdot e^{p^2} \cdot (1 - \text{erf}(p)) - 2 \cdot p] \cdot \sigma p$$

El factor de autoblindaje epitérmico:

$$G_{\text{epi}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cdot x_{\text{cd}} \cdot q}} \quad \pm \quad \sigma G_{\text{epi}}$$

$$\sigma G_{\text{epi}} = G_{\text{epi}} \cdot \sqrt{\left(\frac{q}{1 + 2 \cdot x_{\text{cd}} \cdot q} \cdot \sigma x_{\text{cd}}\right)^2 + \left(\frac{x_{\text{cd}}}{1 + 2 \cdot x_{\text{cd}} \cdot q} \cdot \sigma q\right)^2}$$

- CALCULO DEL ÍNDICE ESPECTRAL DE WESCOTT RW

Factor que empalma región térmica y epitérmica: $\mu = 4.5 \pm \quad \sigma\mu = 0.2$

Energía de corte de Cadmio: $E_{\text{cd}} = 0.52 \text{ eV} \pm \quad \sigma E_{\text{cd}} = 0.02 \text{ eV}$

Factor que toma en cuenta el apartamiento de la ley $1/v$ para la sección eficaz:

$$g(T) = 1.0078 \pm \quad \sigma g(T) = 0.0005$$

Integral epitérmica de resonancia excluyendo la contribución $1/v$:

$$I_v = 1550 \cdot b \pm \quad \sigma I_v = 30 \cdot b$$

Factor que considera la absorción de neutrones térmicos en el Cadmio:

$$F = 0.998 \pm \quad \sigma F = 0.002$$

Integral epitérmica de resonancia por debajo de E_{cd} :

$$I_r = 7.8 \cdot b \pm \quad \sigma I_r = 0.5 \cdot b$$

Reducción de variables, nuevas variables (T_o , U , V , S_o , W):

$$T_o = \frac{E_o}{k} \quad \pm \quad \sigma T_o = \frac{\sigma E_o}{k}$$

$$U = \frac{4}{\sqrt{\mu \cdot \pi}} \quad \pm \quad \sigma U = \frac{U}{2} \cdot \frac{\sigma \mu}{\mu}$$

$$\begin{aligned}
V &= \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{E_o}{E_{cd}}} & \pm & \quad \sigma V = \frac{V}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma E_o}{E_o}\right)^2 + \left(\frac{\sigma E_{cd}}{E_{cd}}\right)^2} \\
S_o &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{I_v}{\sigma_{th}} & \pm & \quad \sigma S_o = S_o \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma I_v}{I_v}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \sigma_{th}}{\sigma_{th}}\right)^2} \\
W &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{I_r}{\sigma_{th}} & \pm & \quad \sigma W = W \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma I_r}{I_r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \sigma_{th}}{\sigma_{th}}\right)^2}
\end{aligned}$$

Índice espectral Westcott:

$$rW = \frac{G_{th} \sqrt{\frac{T_o}{T}}}{(R_{cd} \cdot F - 1) \cdot S_o \cdot \frac{G_{epi}}{g(T)} + R_{cd} \cdot \left(V - F \cdot \frac{W}{g(T)}\right)}$$

$$frW = \frac{1}{(R_{cd} \cdot F - 1) \cdot S_o \cdot \frac{G_{epi}}{g(T)} + R_{cd} \cdot \left(V - F \cdot \frac{W}{g(T)}\right)}$$

$$\sigma rW = \sqrt{\sum_{j=1}^4 \sigma rW_j}$$

$$\sigma rW_1 = (rw)^2 \left[\left(\frac{\sigma G_{th}}{G_{th}}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma T_o}{T_o}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma T}{T}\right)^2 \right]$$

$$\sigma rW_2 = (rw \cdot frW)^2 \left[\left[\frac{F \cdot (S_o \cdot G_{epi} - W)}{g(T)} + V \right] \sigma R_{cd} \right]^2 + \left[\frac{R_{cd}}{g(T)} (S_o \cdot G_{epi} - W) \cdot \sigma F \right]^2$$

$$\sigma rW_3 = (rw \cdot frW)^2 \left[(R_{cd} \cdot \sigma V)^2 + \left[\frac{(R_{cd} \cdot F - 1) \cdot S_o \cdot G_{epi} - R_{cd} \cdot F \cdot W}{g(T)^2} \cdot \sigma g(T) \right]^2 \right]$$

$$\sigma rW_4 = (rw \cdot frW)^2 \left[\left(\frac{(R_{cd} \cdot F - 1)^2}{g(T)}\right) + [(G_{epi} \cdot \sigma S_o)^2 + (S_o \cdot \sigma G_{epi})^2] + \left(\frac{R_{cd} \cdot F}{g(T)} \cdot \sigma W\right)^2 \right]$$

- CALCULO DE LA SECCIÓN EFICAZ MICROSCÓPICA EFECTIVA DE WESTCOTT σW

$$\sigma W = g(T) \cdot \text{sth} \cdot \left[G_{\text{th}} + rW \sqrt{\frac{T}{T_0}} \cdot S_0 \cdot \frac{G_{\text{epi}}}{g(T)} \right] \pm \sigma \sigma W_1$$

$$\sigma \sigma W = \sqrt{\sum_{n=1}^2 \sigma \sigma W_n}$$

$$\sigma \sigma W_1 = \left(\sigma W \cdot \frac{\sigma \text{sth}}{\text{sth}} \right)^2 + (g(T) \cdot \text{sth} \cdot \sigma G_{\text{th}})^2 + \left(\text{sth} \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}} \cdot S_0 \cdot G_{\text{epi}} \cdot \sigma rW \right)^2 (\text{sth} \cdot G_{\text{th}} \cdot \sigma g(T))^2$$

$$\sigma \sigma W_2 = \left(\text{sth} \cdot rW \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}} \right)^2 + \left[(G_{\text{epi}} \cdot \sigma S_0)^2 + (S_0 \cdot \sigma G_{\text{epi}})^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot S_0 \cdot G_{\text{epi}} \right) \left[\left(\frac{\sigma T}{T} \right)^2 + \left(\frac{\sigma T_0}{T_0} \right)^2 \right] \right]$$

- CALCULO DEL FLUJO DE NEUTRONES DE WESTCOTT ΦW

$$\Phi W = \frac{A_{\text{sb}}}{\sigma W} \pm \sigma \Phi W = \Phi W \sqrt{\left(\frac{\sigma A_{\text{sb}}}{A_{\text{sb}}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma \sigma W}{\sigma W} \right)^2}$$

- CALCULO DEL FLUJO DE NEUTRONES TÉRMICO Φ_{th}

$$\Phi_{\text{th}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \cdot (1 - U \cdot rW) \cdot \Phi W \pm \sigma \Phi_{\text{th}1}$$

$$\sigma \Phi_{\text{th}} = \sqrt{\sum_{u=1}^2 \sigma \Phi_{\text{th}u}}$$

$$\sigma \Phi_{\text{th}1} = (\Phi_{\text{th}})^2 \sqrt{\left(\frac{1}{2} \frac{\sigma T}{T} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{\sigma T_0}{T_0} \right)^2}$$

$$\sigma\Phi_{th_2} = \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \right)^2 \left[(rW \cdot \Phi W \cdot \sigma U)^2 + (U \cdot \Phi W \cdot \sigma rW)^2 + ((1 - U \cdot rW) \cdot \sigma \Phi W)^2 \right]$$

- CALCULO DEL FLUJO DE NEUTRONES EPITÉRMICA Φ_{epi}

$$\Phi_{epi} = \frac{\Phi_{th}}{\frac{1}{rW} - U} \pm \sigma\Phi_{epi} = \Phi_{epi} \sqrt{\left(\frac{\sigma\Phi_{th}}{\Phi_{th}}\right)^2 + \left(\frac{\Phi_{epi}}{\Phi_{th}} \cdot \frac{\sigma rW}{rW^2}\right)^2 + \left(\frac{\Phi_{epi}}{\Phi_{th}} \cdot \sigma U\right)^2}$$

Todos los cálculos realizados en este formulismo fueron calculados según Westcott para el cálculo de flujos en reactores nucleares, tomando en consideración el factor de autoblandaje térmico y epitérmico (ocasionado por el cobertor de cadmio)

No olvidar que las unidades finales de los flujos térmico y epitérmico están en neutrones/ segundo. metros²

ANEXO C

- FLUJO TÉRMICO EXPERIMENTAL PARA CADA TRAMO (SLICE) DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES F2 (NN-028), C4(A-007) y E6 (A-015)

Tabla C.1. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (1-2) del elemento combustible F2 (NN-028).

Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)	Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)
1	420.00	0.51788	2.42E+10	42	813.00	1.00247	4.69E+10
2	491.00	0.60543	2.83E+10	43	785.00	0.96794	4.53E+10
3	483.00	0.59556	2.79E+10	44	834.00	1.02836	4.81E+10
4	480.00	0.59186	2.77E+10	45	808.00	0.99630	4.66E+10
5	531.00	0.65475	3.06E+10	46	809.00	0.99753	4.67E+10
6	558.00	0.68804	3.22E+10	47	827.00	1.01973	4.77E+10
7	570.00	0.70284	3.29E+10	48	741.00	0.91369	4.27E+10
8	532.00	0.65598	3.07E+10	49	801.00	0.98767	4.62E+10
9	574.00	0.70777	3.31E+10	50	772.00	0.95191	4.45E+10
10	620.00	0.76449	3.58E+10	51	781.00	0.96301	4.51E+10
11	627.00	0.77312	3.62E+10	52	796.00	0.98150	4.59E+10
12	605.00	0.74599	3.49E+10	53	722.00	0.89026	4.17E+10
13	624.00	0.76942	3.60E+10	54	732.00	0.90259	4.22E+10
14	652.00	0.80395	3.76E+10	55	693.00	0.85450	4.00E+10
15	699.00	0.86190	4.03E+10	56	729.00	0.89889	4.21E+10
16	686.00	0.84587	3.96E+10	57	718.00	0.88533	4.14E+10
17	714.00	0.88039	4.12E+10	58	615.00	0.75832	3.55E+10
18	682.00	0.84094	3.93E+10	59	686.00	0.84587	3.96E+10
19	752.00	0.92725	4.34E+10	60	671.00	0.82737	3.87E+10
20	735.00	0.90629	4.24E+10	61	689.00	0.84957	3.97E+10
21	761.00	0.93835	4.39E+10	62	658.00	0.81134	3.80E+10
22	762.00	0.93958	4.40E+10	63	637.00	0.78545	3.67E+10
23	764.00	0.94205	4.41E+10	64	635.00	0.78298	3.66E+10
24	789.00	0.97287	4.55E+10	65	578.00	0.71270	3.33E+10
25	810.00	0.99877	4.67E+10	66	548.00	0.67571	3.16E+10
26	789.00	0.97287	4.55E+10	67	574.00	0.70777	3.31E+10
27	795.00	0.98027	4.59E+10	68	566.00	0.69790	3.27E+10
28	819.00	1.00986	4.72E+10	69	556.00	0.68557	3.21E+10
29	782.00	0.96424	4.51E+10	70	496.00	0.61159	2.86E+10
30	889.00	1.09618	5.13E+10	71	522.00	0.64365	3.01E+10
31	777.00	0.95808	4.48E+10	72	453.00	0.55857	2.61E+10
32	792.00	0.97657	4.57E+10	73	464.00	0.57213	2.68E+10
33	842.00	1.03822	4.86E+10	74	458.00	0.56473	2.64E+10
34	810.00	0.99877	4.67E+10	75	423.00	0.52158	2.44E+10
35	846.00	1.04316	4.88E+10	76	453.00	0.55857	2.61E+10
36	823.00	1.01480	4.75E+10	77	400.00	0.49322	2.31E+10
37	802.00	0.98890	4.63E+10	78	388.00	0.47842	2.24E+10
38	821.00	1.01233	4.74E+10	79	382.00	0.47102	2.20E+10
39	812.00	1.00123	4.68E+10	80	367.00	0.45253	2.12E+10
40	846.00	1.04316	4.88E+10	81	361.00	0.44513	2.08E+10
41	811.00	1.00000	4.68E+10	Promedio			3.84E+10

Tabla C.2. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (5-6) del elemento combustible F2 (NN-028).

Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)	Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)
1	391.00	0.54080	2.39E+10	42	705.00	0.97510	4.31E+10
2	411.00	0.56846	2.51E+10	43	768.00	1.06224	4.70E+10
3	408.00	0.56432	2.50E+10	44	725.00	1.00277	4.44E+10
4	423.00	0.58506	2.59E+10	45	723.00	1.00000	4.42E+10
5	447.00	0.61826	2.73E+10	46	739.00	1.02213	4.52E+10
6	461.00	0.63762	2.82E+10	47	750.00	1.03734	4.59E+10
7	545.00	0.75380	3.33E+10	48	770.00	1.06501	4.71E+10
8	519.00	0.71784	3.18E+10	49	734.00	1.01521	4.49E+10
9	530.00	0.73306	3.24E+10	50	692.00	0.95712	4.23E+10
10	510.00	0.70539	3.12E+10	51	694.00	0.95989	4.25E+10
11	557.00	0.77040	3.41E+10	52	652.00	0.90180	3.99E+10
12	568.00	0.78562	3.48E+10	53	719.00	0.99447	4.40E+10
13	609.00	0.84232	3.73E+10	54	599.00	0.82849	3.66E+10
14	588.00	0.81328	3.60E+10	55	663.00	0.91701	4.06E+10
15	601.00	0.83126	3.68E+10	56	572.00	0.79115	3.50E+10
16	632.00	0.87414	3.87E+10	57	635.00	0.87828	3.89E+10
17	618.00	0.85477	3.78E+10	58	648.00	0.89627	3.96E+10
18	651.00	0.90041	3.98E+10	59	656.00	0.90733	4.01E+10
19	612.00	0.84647	3.74E+10	60	609.00	0.84232	3.73E+10
20	654.00	0.90456	4.00E+10	61	576.00	0.79668	3.52E+10
21	638.00	0.88243	3.90E+10	62	568.00	0.78562	3.48E+10
22	676.00	0.93499	4.14E+10	63	585.00	0.80913	3.58E+10
23	721.00	0.99723	4.41E+10	64	559.00	0.77317	3.42E+10
24	686.00	0.94882	4.20E+10	65	547.00	0.75657	3.35E+10
25	705.00	0.97510	4.31E+10	66	522.00	0.72199	3.19E+10
26	765.00	1.05809	4.68E+10	67	497.00	0.68741	3.04E+10
27	756.00	1.04564	4.63E+10	68	506.00	0.69986	3.10E+10
28	730.00	1.00968	4.47E+10	69	492.00	0.68050	3.01E+10
29	755.00	1.04426	4.62E+10	70	480.00	0.66390	2.94E+10
30	711.00	0.98340	4.35E+10	71	487.00	0.67358	2.98E+10
31	776.00	1.07331	4.75E+10	72	463.00	0.64039	2.83E+10
32	748.00	1.03458	4.58E+10	73	469.00	0.64869	2.87E+10
33	734.00	1.01521	4.49E+10	74	433.00	0.59889	2.65E+10
34	763.00	1.05533	4.67E+10	75	418.00	0.57815	2.56E+10
35	754.00	1.04288	4.61E+10	76	391.00	0.54080	2.39E+10
36	746.00	1.03181	4.56E+10	77	387.00	0.53527	2.37E+10
37	759.00	1.04979	4.64E+10	78	352.00	0.48686	2.15E+10
38	784.00	1.08437	4.80E+10	79	302.00	0.41770	1.85E+10
39	706.00	0.97649	4.32E+10	80	352.00	0.48686	2.15E+10
40	715.00	0.98893	4.37E+10	81	301.00	0.41632	1.84E+10
41	723.00	1.00000	4.42E+10	Promedio			3.69E+10

Tabla C.3. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (11-12) del elemento combustible F2 (NN-028).

Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)	Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)
1	496.00	0.65177	32616606862	42	878.00	1.15375	5.77E+10
2	479.00	0.62943	31498698966	43	805.00	1.05782	5.29E+10
3	489.00	0.64258	32156291846	44	805.00	1.05782	5.29E+10
4	496.00	0.65177	32616606862	45	848.00	1.11432	5.58E+10
5	548.00	0.72011	36036089840	46	836.00	1.09855	5.50E+10
6	565.00	0.74244	37153997736	47	832.00	1.09330	5.47E+10
7	549.00	0.72142	36101849128	48	823.00	1.08147	5.41E+10
8	593.00	0.77924	38995257801	49	822.00	1.08016	5.41E+10
9	610.00	0.80158	40113165697	50	800.00	1.05125	5.26E+10
10	592.00	0.77792	38929498513	51	795.00	1.04468	5.23E+10
11	594.00	0.78055	39061017089	52	778.00	1.02234	5.12E+10
12	651.00	0.85545	42809296507	53	806.00	1.05913	5.30E+10
13	651.00	0.85545	42809296507	54	823.00	1.08147	5.41E+10
14	689.00	0.90539	45308149452	55	735.00	0.96583	4.83E+10
15	652.00	0.85677	42875055795	56	705.00	0.92641	4.64E+10
16	667.00	0.87648	43861445115	57	759.00	0.99737	4.99E+10
17	688.00	0.90407	45242390164	58	714.00	0.93824	4.70E+10
18	725.00	0.95269	47675483821	59	718.00	0.94350	4.72E+10
19	813.00	1.06833	53462301167	60	649.00	0.85283	4.27E+10
20	722.00	0.94875	47478205957	61	718.00	0.94350	4.72E+10
21	748.00	0.98292	49187947445	62	683.00	0.89750	4.49E+10
22	768.00	1.00920	50503133206	63	606.00	0.79632	3.99E+10
23	825.00	1.08410	54251412624	64	664.00	0.87254	4.37E+10
24	796.00	1.04599	52344393271	65	625.00	0.82129	4.11E+10
25	853.00	1.12089	56092672688	66	608.00	0.79895	4.00E+10
26	814.00	1.06965	53528060455	67	582.00	0.76478	3.83E+10
27	794.00	1.04336	52212874695	68	576.00	0.75690	3.79E+10
28	839.00	1.10250	55172042656	69	544.00	0.71485	3.58E+10
29	874.00	1.14849	57473617737	70	555.00	0.72930	3.65E+10
30	848.00	1.11432	55763876248	71	559.00	0.73456	3.68E+10
31	887.00	1.16557	58328488481	72	531.00	0.69777	3.49E+10
32	833.00	1.09461	54777486928	73	521.00	0.68463	3.43E+10
33	893.00	1.17346	58723044210	74	506.00	0.66491	3.33E+10
34	867.00	1.13929	57013302721	75	467.00	0.61367	3.07E+10
35	854.00	1.12221	56158431976	76	405.00	0.53219	2.66E+10
36	882.00	1.15900	57999692041	77	408.00	0.53614	2.68E+10
37	897.00	1.17871	58986081362	78	409.00	0.53745	2.69E+10
38	878.00	1.15375	57736654889	79	400.00	0.52562	2.63E+10
39	865.00	1.13666	56881784145	80	368.00	0.48357	2.42E+10
40	848.00	1.11432	55763876248	81	373.00	0.49014	2.45E+10
41	761.00	1.00000	50042818190	Promedio			4.54E+10

Tabla C.4. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (15-16) del elemento combustible F2 (NN-028).

Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)	Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)
1	612.00	0.57143	3.74E+10	42	1077.00	1.00560	6.58E+10
2	581.00	0.54248	3.55E+10	43	1053.00	0.98319	6.44E+10
3	615.00	0.57423	3.76E+10	44	1043.00	0.97386	6.38E+10
4	642.00	0.59944	3.93E+10	45	1090.00	1.01774	6.66E+10
5	681.00	0.63585	4.16E+10	46	1029.00	0.96078	6.29E+10
6	669.00	0.62465	4.09E+10	47	1042.00	0.97292	6.37E+10
7	728.00	0.67974	4.45E+10	48	1002.00	0.93557	6.13E+10
8	785.00	0.73296	4.80E+10	49	994.00	0.92810	6.08E+10
9	813.00	0.75910	4.97E+10	50	1043.00	0.97386	6.38E+10
10	798.00	0.74510	4.88E+10	51	1032.00	0.96359	6.31E+10
11	847.00	0.79085	5.18E+10	52	940.00	0.87768	5.75E+10
12	807.00	0.75350	4.93E+10	53	986.00	0.92063	6.03E+10
13	806.00	0.75257	4.93E+10	54	952.00	0.88889	5.82E+10
14	834.00	0.77871	5.10E+10	55	973.00	0.90850	5.95E+10
15	833.00	0.77778	5.09E+10	56	929.00	0.86741	5.68E+10
16	863.00	0.80579	5.28E+10	57	959.00	0.89542	5.86E+10
17	934.00	0.87208	5.71E+10	58	891.00	0.83193	5.45E+10
18	966.00	0.90196	5.91E+10	59	860.00	0.80299	5.26E+10
19	952.00	0.88889	5.82E+10	60	855.00	0.79832	5.23E+10
20	943.00	0.88049	5.77E+10	61	887.00	0.82820	5.42E+10
21	954.00	0.89076	5.83E+10	62	837.00	0.78151	5.12E+10
22	993.00	0.92717	6.07E+10	63	814.00	0.76004	4.98E+10
23	984.00	0.91877	6.02E+10	64	824.00	0.76937	5.04E+10
24	1024.00	0.95612	6.26E+10	65	827.00	0.77218	5.06E+10
25	1014.00	0.94678	6.20E+10	66	755.00	0.70495	4.62E+10
26	1077.00	1.00560	6.58E+10	67	748.00	0.69841	4.57E+10
27	1048.00	0.97852	6.41E+10	68	788.00	0.73576	4.82E+10
28	1044.00	0.97479	6.38E+10	69	694.00	0.64799	4.24E+10
29	1090.00	1.01774	6.66E+10	70	668.00	0.62372	4.08E+10
30	1108.00	1.03455	6.77E+10	71	657.00	0.61345	4.02E+10
31	1072.00	1.00093	6.55E+10	72	618.00	0.57703	3.78E+10
32	1080.00	1.00840	6.60E+10	73	668.00	0.62372	4.08E+10
33	1062.00	0.99160	6.49E+10	74	584.00	0.54528	3.57E+10
34	1119.00	1.04482	6.84E+10	75	558.00	0.52101	3.41E+10
35	1084.00	1.01214	6.63E+10	76	547.00	0.51074	3.34E+10
36	1066.00	0.99533	6.52E+10	77	516.00	0.48179	3.15E+10
37	1089.00	1.01681	6.66E+10	78	477.00	0.44538	2.92E+10
38	1040.00	0.97106	6.36E+10	79	486.00	0.45378	2.97E+10
39	1011.00	0.94398	6.18E+10	80	449.00	0.41923	2.75E+10
40	1076.00	1.00467	6.58E+10	81	480.00	0.44818	2.93E+10
41	1071.00	1.00000	6.55E+10	Promedio			5.32E+10

Tabla C.5. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (1-2) del elemento combustible C4 (A-007)⁵³

Nro. de Slice	Cuentas	Nro. de Slice	Cuentas
0	368.00	51	1038.00
1	416.00	52	1013.00
2	467.00	53	1038.00
3	533.00	54	996.00
4	563.00	55	983.00
5	552.00	56	976.00
6	570.00	57	1018.00
7	608.00	58	966.00
8	629.00	59	985.00
9	615.00	60	942.00
10	723.00	61	918.00
11	725.00	62	950.00
12	689.00	63	902.00
13	749.00	64	878.00
14	779.00	65	861.00
15	795.00	66	812.00
16	781.00	67	827.00
17	829.00	68	814.00
18	882.00	69	790.00
19	849.00	70	746.00
20	918.00	71	746.00
21	947.00	72	747.00
22	967.00	73	770.00
23	973.00	74	676.00
24	908.00	75	707.00
25	973.00	76	655.00
26	930.00	77	643.00
27	1019.00	78	621.00
28	1013.00	79	581.00
29	1067.00	80	564.00
30	1001.00	81	533.00
31	995.00	82	511.00
32	1040.00	83	510.00
33	1077.00	84	509.00
34	1029.00	85	494.00
35	1051.00	86	480.00
36	1024.00	87	508.00
37	1044.00	88	472.00
38	1073.00	89	564.00
39	1024.00	90	609.00
40	1052.00	91	664.00
41	1057.00	92	684.00
42	1112.00	93	786.00
43	1020.00	94	838.00
44	976.00	95	751.00
45	1066.00	96	746.00
46	1037.00	97	709.00
47	1036.00	98	593.00
48	1012.00	99	502.00
49	1037.00	100	291.00
50	984.00		

⁵³ No se llegó a normalizar debido a problemas presentes en la medición los indicadores del canal

Tabla C.6. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (5-6) del elemento combustible C4 (A-007).

Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)	Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)
1	567.00	0.58756	2.82E+10	42	1038.00	1.07565	5.17E+10
2	555.00	0.57513	2.76E+10	43	955.00	0.98964	4.76E+10
3	587.00	0.60829	2.92E+10	44	1073.00	1.11192	5.34E+10
4	628.00	0.65078	3.13E+10	45	983.00	1.01865	4.90E+10
5	607.00	0.62902	3.02E+10	46	1068.00	1.10674	5.32E+10
6	637.00	0.66010	3.17E+10	47	1046.00	1.08394	5.21E+10
7	661.00	0.68497	3.29E+10	48	991.00	1.02694	4.94E+10
8	663.00	0.68705	3.30E+10	49	937.00	0.97098	4.67E+10
9	726.00	0.75233	3.62E+10	50	998.00	1.03420	4.97E+10
10	765.00	0.79275	3.81E+10	51	990.00	1.02591	4.93E+10
11	752.00	0.77927	3.75E+10	52	1043.00	1.08083	5.20E+10
12	748.00	0.77513	3.73E+10	53	927.00	0.96062	4.62E+10
13	772.00	0.80000	3.85E+10	54	984.00	1.01969	4.90E+10
14	759.00	0.78653	3.78E+10	55	918.00	0.95130	4.57E+10
15	800.00	0.82902	3.98E+10	56	941.00	0.97513	4.69E+10
16	847.00	0.87772	4.22E+10	57	924.00	0.95751	4.60E+10
17	834.00	0.86425	4.15E+10	58	913.00	0.94611	4.55E+10
18	850.00	0.88083	4.23E+10	59	858.00	0.88912	4.27E+10
19	878.00	0.90984	4.37E+10	60	841.00	0.87150	4.19E+10
20	907.00	0.93990	4.52E+10	61	831.00	0.86114	4.14E+10
21	919.00	0.95233	4.58E+10	62	830.00	0.86010	4.13E+10
22	912.00	0.94508	4.54E+10	63	770.00	0.79793	3.84E+10
23	960.00	0.99482	4.78E+10	64	752.00	0.77927	3.75E+10
24	968.00	1.00311	4.82E+10	65	768.00	0.79585	3.83E+10
25	975.00	1.01036	4.86E+10	66	780.00	0.80829	3.89E+10
26	999.00	1.03523	4.98E+10	67	723.00	0.74922	3.60E+10
27	983.00	1.01865	4.90E+10	68	719.00	0.74508	3.58E+10
28	984.00	1.01969	4.90E+10	69	647.00	0.67047	3.22E+10
29	991.00	1.02694	4.94E+10	70	642.00	0.66528	3.20E+10
30	988.00	1.02383	4.92E+10	71	656.00	0.67979	3.27E+10
31	974.00	1.00933	4.85E+10	72	639.00	0.66218	3.18E+10
32	989.00	1.02487	4.93E+10	73	640.00	0.66321	3.19E+10
33	1041.00	1.07876	5.19E+10	74	598.00	0.61969	2.98E+10
34	970.00	1.00518	4.83E+10	75	563.00	0.58342	2.80E+10
35	1004.00	1.04041	5.00E+10	76	549.00	0.56891	2.73E+10
36	980.00	1.01554	4.88E+10	77	557.00	0.57720	2.77E+10
37	1017.00	1.05389	5.07E+10	78	537.00	0.55648	2.67E+10
38	941.00	0.97513	4.69E+10	79	507.00	0.52539	2.53E+10
39	981.00	1.01658	4.89E+10	80	524.00	0.54301	2.61E+10
40	922.00	0.95544	4.59E+10	81	506.00	0.52435	2.52E+10
41	965.00	1.00000	4.81E+10	Promedio			4.13E+10

Tabla C.7. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (11-12) del elemento combustible C4 (A-007).

Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)	Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)
1	606.00	0.49268	3.34E+10	42	1144.00	0.93008	6.31E+10
2	635.00	0.51626	3.50E+10	43	1189.00	0.96667	6.56E+10
3	622.00	0.50569	3.43E+10	44	1230.00	1.00000	6.79E+10
4	655.00	0.53252	3.61E+10	45	1271.00	1.03333	7.01E+10
5	673.00	0.54715	3.71E+10	46	1213.00	0.98618	6.69E+10
6	685.00	0.55691	3.78E+10	47	1198.00	0.97398	6.61E+10
7	723.00	0.58780	3.99E+10	48	1159.00	0.94228	6.39E+10
8	756.00	0.61463	4.17E+10	49	1189.00	0.96667	6.56E+10
9	754.00	0.61301	4.16E+10	50	1190.00	0.96748	6.57E+10
10	823.00	0.66911	4.54E+10	51	1172.00	0.95285	6.47E+10
11	851.00	0.69187	4.70E+10	52	1160.00	0.94309	6.40E+10
12	861.00	0.70000	4.75E+10	53	1165.00	0.94715	6.43E+10
13	849.00	0.69024	4.68E+10	54	1206.00	0.98049	6.65E+10
14	894.00	0.72683	4.93E+10	55	1182.00	0.96098	6.52E+10
15	960.00	0.78049	5.30E+10	56	1127.00	0.91626	6.22E+10
16	947.00	0.76992	5.23E+10	57	1116.00	0.90732	6.16E+10
17	938.00	0.76260	5.18E+10	58	1138.00	0.92520	6.28E+10
18	935.00	0.76016	5.16E+10	59	1077.00	0.87561	5.94E+10
19	970.00	0.78862	5.35E+10	60	1061.00	0.86260	5.85E+10
20	999.00	0.81220	5.51E+10	61	1020.00	0.82927	5.63E+10
21	1014.00	0.82439	5.59E+10	62	1044.00	0.84878	5.76E+10
22	1008.00	0.81951	5.56E+10	63	1079.00	0.87724	5.95E+10
23	1001.00	0.81382	5.52E+10	64	939.00	0.76341	5.18E+10
24	1034.00	0.84065	5.71E+10	65	895.00	0.72764	4.94E+10
25	1130.00	0.91870	6.23E+10	66	935.00	0.76016	5.16E+10
26	1157.00	0.94065	6.38E+10	67	934.00	0.75935	5.15E+10
27	1119.00	0.90976	6.17E+10	68	929.00	0.75528	5.13E+10
28	1136.00	0.92358	6.27E+10	69	904.00	0.73496	4.99E+10
29	1195.00	0.97154	6.59E+10	70	918.00	0.74634	5.07E+10
30	1177.00	0.95691	6.49E+10	71	805.00	0.65447	4.44E+10
31	1178.00	0.95772	6.50E+10	72	841.00	0.68374	4.64E+10
32	1196.00	0.97236	6.60E+10	73	813.00	0.66098	4.49E+10
33	1275.00	1.03659	7.03E+10	74	806.00	0.65528	4.45E+10
34	1216.00	0.98862	6.71E+10	75	749.00	0.60894	4.13E+10
35	1193.00	0.96992	6.58E+10	76	746.00	0.60650	4.12E+10
36	1268.00	1.03089	7.00E+10	77	735.00	0.59756	4.06E+10
37	1221.00	0.99268	6.74E+10	78	729.00	0.59268	4.02E+10
38	1202.00	0.97724	6.63E+10	79	705.00	0.57317	3.89E+10
39	1175.00	0.95528	6.48E+10	80	646.00	0.52520	3.56E+10
40	1168.00	0.94959	6.44E+10	81	636.00	0.51707	3.51E+10
41	1230.00	1.00000	6.79E+10	Promedio			5.48E+10

Tabla C.8. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (15-16) del elemento combustible C4 (A-007).

Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)	Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)
1	656.00	0.57544	3.95E+10	42	1144.00	1.00351	6.88E+10
2	638.00	0.55965	3.84E+10	43	1125.00	0.98684	6.77E+10
3	638.00	0.55965	3.84E+10	44	1121.00	0.98333	6.74E+10
4	704.00	0.61754	4.23E+10	45	1093.00	0.95877	6.57E+10
5	709.00	0.62193	4.26E+10	46	1160.00	1.01754	6.98E+10
6	698.00	0.61228	4.20E+10	47	1100.00	0.96491	6.62E+10
7	767.00	0.67281	4.61E+10	48	1113.00	0.97632	6.69E+10
8	750.00	0.65789	4.51E+10	49	1179.00	1.03421	7.09E+10
9	774.00	0.67895	4.66E+10	50	1117.00	0.97982	6.72E+10
10	782.00	0.68596	4.70E+10	51	1166.00	1.02281	7.01E+10
11	849.00	0.74474	5.11E+10	52	1143.00	1.00263	6.87E+10
12	865.00	0.75877	5.20E+10	53	1101.00	0.96579	6.62E+10
13	912.00	0.80000	5.49E+10	54	1143.00	1.00263	6.87E+10
14	910.00	0.79825	5.47E+10	55	1089.00	0.95526	6.55E+10
15	912.00	0.80000	5.49E+10	56	1046.00	0.91754	6.29E+10
16	1006.00	0.88246	6.05E+10	57	1042.00	0.91404	6.27E+10
17	1038.00	0.91053	6.24E+10	58	1013.00	0.88860	6.09E+10
18	963.00	0.84474	5.79E+10	59	993.00	0.87105	5.97E+10
19	998.00	0.87544	6.00E+10	60	989.00	0.86754	5.95E+10
20	1106.00	0.97018	6.65E+10	61	956.00	0.83860	5.75E+10
21	1070.00	0.93860	6.44E+10	62	967.00	0.84825	5.82E+10
22	1108.00	0.97193	6.66E+10	63	915.00	0.80263	5.50E+10
23	1056.00	0.92632	6.35E+10	64	896.00	0.78596	5.39E+10
24	1044.00	0.91579	6.28E+10	65	879.00	0.77105	5.29E+10
25	1165.00	1.02193	7.01E+10	66	890.00	0.78070	5.35E+10
26	1125.00	0.98684	6.77E+10	67	892.00	0.78246	5.37E+10
27	1130.00	0.99123	6.80E+10	68	865.00	0.75877	5.20E+10
28	1153.00	1.01140	6.94E+10	69	848.00	0.74386	5.10E+10
29	1180.00	1.03509	7.10E+10	70	742.00	0.65088	4.46E+10
30	1158.00	1.01579	6.97E+10	71	789.00	0.69211	4.75E+10
31	1127.00	0.98860	6.78E+10	72	739.00	0.64825	4.44E+10
32	1165.00	1.02193	7.01E+10	73	693.00	0.60789	4.17E+10
33	1110.00	0.97368	6.68E+10	74	687.00	0.60263	4.13E+10
34	1095.00	0.96053	6.59E+10	75	633.00	0.55526	3.81E+10
35	1134.00	0.99474	6.82E+10	76	686.00	0.60175	4.13E+10
36	1155.00	1.01316	6.95E+10	77	636.00	0.55789	3.83E+10
37	1138.00	0.99825	6.84E+10	78	625.00	0.54825	3.76E+10
38	1141.00	1.00088	6.86E+10	79	622.00	0.54561	3.74E+10
39	1141.00	1.00088	6.86E+10	80	589.00	0.51667	3.54E+10
40	1102.00	0.96667	6.63E+10	81	596.00	0.52281	3.58E+10
41	1140.00	1.00000	6.86E+10	Promedio			5.74E+10

Tabla C.9. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (1-2) del elemento combustible E6 (A-015).

Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm ² *s)	Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm ² *s)
1	635.00	0.62133	3.92E+10	42	1045.00	1.02250	6.44E+10
2	642.00	0.62818	3.96E+10	43	1122.00	1.09785	6.92E+10
3	718.00	0.70254	4.43E+10	44	1105.00	1.08121	6.81E+10
4	697.00	0.68200	4.30E+10	45	1064.00	1.04110	6.56E+10
5	735.00	0.71918	4.53E+10	46	1116.00	1.09198	6.88E+10
6	783.00	0.76614	4.83E+10	47	1029.00	1.00685	6.35E+10
7	787.00	0.77006	4.85E+10	48	1060.00	1.03718	6.54E+10
8	791.00	0.77397	4.88E+10	49	1030.00	1.00783	6.35E+10
9	825.00	0.80724	5.09E+10	50	1058.00	1.03523	6.52E+10
10	868.00	0.84932	5.35E+10	51	985.00	0.96380	6.07E+10
11	823.00	0.80528	5.07E+10	52	1041.00	1.01859	6.42E+10
12	907.00	0.88748	5.59E+10	53	999.00	0.97750	6.16E+10
13	875.00	0.85616	5.40E+10	54	955.00	0.93444	5.89E+10
14	864.00	0.84540	5.33E+10	55	1032.00	1.00978	6.36E+10
15	958.00	0.93738	5.91E+10	56	943.00	0.92270	5.81E+10
16	943.00	0.92270	5.81E+10	57	930.00	0.90998	5.73E+10
17	933.00	0.91292	5.75E+10	58	900.00	0.88063	5.55E+10
18	1007.00	0.98532	6.21E+10	59	858.00	0.83953	5.29E+10
19	1034.00	1.01174	6.38E+10	60	824.00	0.80626	5.08E+10
20	1022.00	1.00000	6.30E+10	61	846.00	0.82779	5.22E+10
21	980.00	0.95890	6.04E+10	62	854.00	0.83562	5.27E+10
22	1039.00	1.01663	6.41E+10	63	764.00	0.74755	4.71E+10
23	1120.00	1.09589	6.91E+10	64	789.00	0.77202	4.87E+10
24	1071.00	1.04795	6.60E+10	65	750.00	0.73386	4.62E+10
25	1101.00	1.07730	6.79E+10	66	749.00	0.73288	4.62E+10
26	1058.00	1.03523	6.52E+10	67	719.00	0.70352	4.43E+10
27	1075.00	1.05186	6.63E+10	68	705.00	0.68982	4.35E+10
28	1145.00	1.12035	7.06E+10	69	683.00	0.66830	4.21E+10
29	1092.00	1.06849	6.73E+10	70	626.00	0.61252	3.86E+10
30	1139.00	1.11448	7.02E+10	71	682.00	0.66732	4.21E+10
31	1083.00	1.05969	6.68E+10	72	552.00	0.54012	3.40E+10
32	1080.00	1.05675	6.66E+10	73	561.00	0.54892	3.46E+10
33	1147.00	1.12231	7.07E+10	74	582.00	0.56947	3.59E+10
34	1156.00	1.13112	7.13E+10	75	529.00	0.51761	3.26E+10
35	1022.00	1.00000	6.30E+10	76	590.00	0.57730	3.64E+10
36	1073.00	1.04990	6.62E+10	77	501.00	0.49022	3.09E+10
37	1095.00	1.07143	6.75E+10	78	503.00	0.49217	3.10E+10
38	1040.00	1.01761	6.41E+10	79	481.00	0.47065	2.97E+10
39	1076.00	1.05284	6.63E+10	80	434.00	0.42466	2.68E+10
40	1007.00	0.98532	6.21E+10	81	476.00	0.46575	2.94E+10
41	1022.00	1.00000	6.30E+10	Promedio			5.48E+10

Tabla C.10. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (5-6) del elemento combustible E6 (A-015).

Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm ² *s)	Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm ² *s)
1	662.00	0.57020	3.60E+10	42	1141.00	0.98277	6.20E+10
2	711.00	0.61240	3.86E+10	43	1124.00	0.96813	6.11E+10
3	725.00	0.62446	3.94E+10	44	1174.00	1.01120	6.38E+10
4	721.00	0.62102	3.92E+10	45	1151.00	0.99139	6.26E+10
5	793.00	0.68303	4.31E+10	46	1159.00	0.99828	6.30E+10
6	787.00	0.67786	4.28E+10	47	1068.00	0.91990	5.80E+10
7	844.00	0.72696	4.59E+10	48	1083.00	0.93282	5.89E+10
8	851.00	0.73299	4.63E+10	49	1118.00	0.96296	6.08E+10
9	881.00	0.75883	4.79E+10	50	1148.00	0.98880	6.24E+10
10	886.00	0.76314	4.82E+10	51	1062.00	0.91473	5.77E+10
11	899.00	0.77433	4.89E+10	52	1002.00	0.86305	5.45E+10
12	973.00	0.83807	5.29E+10	53	978.00	0.84238	5.32E+10
13	999.00	0.86047	5.43E+10	54	1052.00	0.90612	5.72E+10
14	972.00	0.83721	5.28E+10	55	1017.00	0.87597	5.53E+10
15	980.00	0.84410	5.33E+10	56	1004.00	0.86477	5.46E+10
16	1006.00	0.86649	5.47E+10	57	934.00	0.80448	5.08E+10
17	1031.00	0.88803	5.60E+10	58	908.00	0.78208	4.94E+10
18	1100.00	0.94746	5.98E+10	59	881.00	0.75883	4.79E+10
19	1133.00	0.97588	6.16E+10	60	926.00	0.79759	5.03E+10
20	1066.00	0.91817	5.79E+10	61	901.00	0.77606	4.90E+10
21	1147.00	0.98794	6.23E+10	62	914.00	0.78725	4.97E+10
22	1171.00	1.00861	6.36E+10	63	886.00	0.76314	4.82E+10
23	1087.00	0.93626	5.91E+10	64	813.00	0.70026	4.42E+10
24	1159.00	0.99828	6.30E+10	65	819.00	0.70543	4.45E+10
25	1176.00	1.01292	6.39E+10	66	778.00	0.67011	4.23E+10
26	1140.00	0.98191	6.20E+10	67	761.00	0.65547	4.14E+10
27	1132.00	0.97502	6.15E+10	68	757.00	0.65202	4.11E+10
28	1208.00	1.04048	6.57E+10	69	744.00	0.64083	4.04E+10
29	1201.00	1.03445	6.53E+10	70	754.00	0.64944	4.10E+10
30	1173.00	1.01034	6.38E+10	71	666.00	0.57364	3.62E+10
31	1161.00	1.00000	6.31E+10	72	659.00	0.56761	3.58E+10
32	1163.00	1.00172	6.32E+10	73	640.00	0.55125	3.48E+10
33	1148.00	0.98880	6.24E+10	74	671.00	0.57795	3.65E+10
34	1239.00	1.06718	6.73E+10	75	578.00	0.49785	3.14E+10
35	1155.00	0.99483	6.28E+10	76	563.00	0.48493	3.06E+10
36	1199.00	1.03273	6.52E+10	77	541.00	0.46598	2.94E+10
37	1217.00	1.04823	6.61E+10	78	586.00	0.50474	3.19E+10
38	1219.00	1.04996	6.63E+10	79	534.00	0.45995	2.90E+10
39	1175.00	1.01206	6.39E+10	80	539.00	0.46425	2.93E+10
40	1126.00	0.96985	6.12E+10	81	529.00	0.45564	2.88E+10
41	1161.00	1.00000	6.31E+10	Promedio			5.18E+10

Tabla C.11. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (11-12) del elemento combustible E6 (A-015).

Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)	Nro. de Slice	Cuentas	Valores Normalizados	Flujo Térmico Axial (n/cm2*s)
1	604.00	0.56660	3.72E+10	42	1067.00	1.00094	6.57E+10
2	595.00	0.55816	3.66E+10	43	1020.00	0.95685	6.28E+10
3	597.00	0.56004	3.68E+10	44	1030.00	0.96623	6.34E+10
4	641.00	0.60131	3.95E+10	45	1048.00	0.98311	6.45E+10
5	684.00	0.64165	4.21E+10	46	1079.00	1.01220	6.64E+10
6	726.00	0.68105	4.47E+10	47	1072.00	1.00563	6.60E+10
7	751.00	0.70450	4.62E+10	48	1063.00	0.99719	6.55E+10
8	735.00	0.68949	4.53E+10	49	1029.00	0.96529	6.34E+10
9	764.00	0.71670	4.70E+10	50	1067.00	1.00094	6.57E+10
10	781.00	0.73265	4.81E+10	51	1032.00	0.96811	6.35E+10
11	822.00	0.77111	5.06E+10	52	1035.00	0.97092	6.37E+10
12	890.00	0.83490	5.48E+10	53	989.00	0.92777	6.09E+10
13	853.00	0.80019	5.25E+10	54	964.00	0.90432	5.94E+10
14	872.00	0.81801	5.37E+10	55	966.00	0.90619	5.95E+10
15	921.00	0.86398	5.67E+10	56	907.00	0.85084	5.58E+10
16	848.00	0.79550	5.22E+10	57	984.00	0.92308	6.06E+10
17	921.00	0.86398	5.67E+10	58	904.00	0.84803	5.57E+10
18	957.00	0.89775	5.89E+10	59	935.00	0.87711	5.76E+10
19	930.00	0.87242	5.73E+10	60	896.00	0.84053	5.52E+10
20	915.00	0.85835	5.63E+10	61	901.00	0.84522	5.55E+10
21	1008.00	0.94559	6.21E+10	62	816.00	0.76548	5.02E+10
22	1034.00	0.96998	6.37E+10	63	819.00	0.76829	5.04E+10
23	1016.00	0.95310	6.26E+10	64	820.00	0.76923	5.05E+10
24	1056.00	0.99062	6.50E+10	65	772.00	0.72420	4.75E+10
25	1074.00	1.00750	6.61E+10	66	722.00	0.67730	4.45E+10
26	1063.00	0.99719	6.55E+10	67	755.00	0.70826	4.65E+10
27	1080.00	1.01313	6.65E+10	68	743.00	0.69700	4.57E+10
28	1023.00	0.95966	6.30E+10	69	678.00	0.63602	4.17E+10
29	1082.00	1.01501	6.66E+10	70	686.00	0.64353	4.22E+10
30	1155.00	1.08349	7.11E+10	71	691.00	0.64822	4.25E+10
31	1088.00	1.02064	6.70E+10	72	683.00	0.64071	4.21E+10
32	1094.00	1.02627	6.74E+10	73	619.00	0.58068	3.81E+10
33	1125.00	1.05535	6.93E+10	74	572.00	0.53659	3.52E+10
34	1102.00	1.03377	6.79E+10	75	585.00	0.54878	3.60E+10
35	1118.00	1.04878	6.88E+10	76	574.00	0.53846	3.53E+10
36	1098.00	1.03002	6.76E+10	77	519.00	0.48687	3.20E+10
37	1053.00	0.98780	6.48E+10	78	538.00	0.50469	3.31E+10
38	1101.00	1.03283	6.78E+10	79	521.00	0.48874	3.21E+10
39	1060.00	0.99437	6.53E+10	80	467.00	0.43809	2.88E+10
40	1067.00	1.00094	6.57E+10	81	499.00	0.46811	3.07E+10
41	1066.00	1.00000	6.56E+10	Promedio			5.43E+10

Tabla C.12. Resultados experimentales de flujo axial en el canal (15-16) del elemento combustible E6 (A-015)⁵⁴

Nro. de Slice	Cuentas	Nro. de Slice	Cuentas
0	449.00	51	1147.00
1	589.00	52	1265.00
2	649.00	53	1130.00
3	724.00	54	1196.00
4	743.00	55	1185.00
5	777.00	56	1118.00
6	812.00	57	1150.00
7	799.00	58	1115.00
8	827.00	59	1138.00
9	917.00	60	1122.00
10	943.00	61	1045.00
11	913.00	62	1000.00
12	916.00	63	995.00
13	994.00	64	1041.00
14	995.00	65	986.00
15	994.00	66	942.00
16	1077.00	67	892.00
17	1070.00	68	941.00
18	1109.00	69	901.00
19	1104.00	70	809.00
20	1100.00	71	848.00
21	1134.00	72	791.00
22	1105.00	73	789.00
23	1192.00	74	781.00
24	1194.00	75	753.00
25	1174.00	76	711.00
26	1194.00	77	750.00
27	1261.00	78	727.00
28	1252.00	79	680.00
29	1296.00	80	649.00
30	1215.00	81	605.00
31	1246.00	82	633.00
32	1238.00	83	607.00
33	1305.00	84	641.00
34	1300.00	85	549.00
35	1336.00	86	562.00
36	1302.00	87	595.00
37	1336.00	88	627.00
38	1295.00	89	641.00
39	1318.00	90	628.00
40	1347.00	91	743.00
41	1339.00	92	762.00
42	1297.00	93	720.00
43	1312.00	94	747.00
44	1349.00	95	662.00
45	1235.00	96	689.00
46	1297.00	97	668.00
47	1275.00	98	535.00
48	1308.00	99	401.00
49	1225.00	100	186.00
50	1289.00		

⁵⁴ No se llegó a normalizar debido a problemas presentes en la medición los indicadores del canal

- FLUJO TÉRMICO CALCULADO POR CÓDIGO SERPENT PARA CADA TRAMO DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES F2 (NN-029), C4 (A-007) Y E6 (A-015).

Tabla C.13. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (2-3) del elemento combustible F2 (NN-029)

Nro. Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	2.44E+10	2.66E+10	2.82E+10	2.80E+10	3.12E+10	2.95E+10	2.93E+10	2.88E+10	2.96E+10
2	2.51E+10	2.56E+10	2.64E+10	2.85E+10	2.52E+10	2.48E+10	2.69E+10	2.63E+10	2.90E+10
3	2.51E+10	2.46E+10	2.68E+10	2.69E+10	2.47E+10	2.27E+10	2.45E+10	2.51E+10	3.11E+10
4	2.40E+10	2.51E+10	2.47E+10	2.36E+10	2.57E+10	2.59E+10	2.42E+10	2.36E+10	2.79E+10
5	2.42E+10	2.45E+10	2.54E+10	2.81E+10	2.44E+10	2.64E+10	2.76E+10	2.63E+10	2.98E+10
6	2.52E+10	2.53E+10	2.56E+10	2.59E+10	2.51E+10	2.93E+10	2.68E+10	2.76E+10	2.73E+10
7	2.51E+10	2.47E+10	2.66E+10	2.59E+10	2.73E+10	2.54E+10	2.99E+10	2.66E+10	2.83E+10
8	2.55E+10	2.60E+10	2.62E+10	2.85E+10	2.45E+10	2.69E+10	2.77E+10	3.13E+10	3.02E+10
9	2.81E+10	2.65E+10	2.73E+10	2.85E+10	2.62E+10	2.87E+10	2.78E+10	3.03E+10	3.10E+10
10	2.73E+10	3.00E+10	3.04E+10	2.72E+10	2.79E+10	2.79E+10	3.11E+10	3.03E+10	3.18E+10
11	2.76E+10	2.99E+10	3.12E+10	2.61E+10	2.84E+10	2.77E+10	3.08E+10	3.22E+10	3.03E+10
12	2.88E+10	2.92E+10	3.30E+10	3.11E+10	2.86E+10	3.34E+10	2.86E+10	3.09E+10	3.51E+10
13	2.96E+10	2.89E+10	3.26E+10	3.29E+10	3.31E+10	3.74E+10	2.91E+10	3.26E+10	3.48E+10
14	3.03E+10	2.90E+10	3.48E+10	3.17E+10	3.39E+10	3.19E+10	3.54E+10	3.29E+10	3.56E+10
15	2.98E+10	3.52E+10	3.20E+10	3.31E+10	3.37E+10	3.35E+10	3.56E+10	3.39E+10	3.67E+10
16	3.16E+10	3.07E+10	3.02E+10	3.14E+10	3.86E+10	3.70E+10	3.49E+10	3.44E+10	3.46E+10
17	2.88E+10	3.17E+10	3.22E+10	3.66E+10	3.47E+10	3.24E+10	3.57E+10	3.67E+10	3.83E+10
18	3.23E+10	3.72E+10	3.49E+10	3.75E+10	3.78E+10	3.92E+10	3.68E+10	3.74E+10	3.94E+10
19	3.30E+10	3.35E+10	3.72E+10	3.72E+10	3.81E+10	3.77E+10	3.44E+10	4.15E+10	3.78E+10
20	3.57E+10	3.54E+10	3.63E+10	3.63E+10	3.76E+10	4.12E+10	3.82E+10	3.97E+10	3.84E+10
21	3.41E+10	3.52E+10	3.72E+10	3.93E+10	4.03E+10	4.11E+10	3.96E+10	4.11E+10	4.34E+10
22	3.59E+10	4.10E+10	4.08E+10	4.19E+10	4.27E+10	3.95E+10	4.02E+10	4.19E+10	4.76E+10
23	3.51E+10	3.88E+10	4.31E+10	4.24E+10	4.39E+10	3.98E+10	4.54E+10	4.33E+10	4.33E+10
24	4.04E+10	4.04E+10	4.22E+10	4.32E+10	4.17E+10	3.88E+10	4.55E+10	4.61E+10	4.34E+10
25	3.80E+10	3.91E+10	3.89E+10	4.09E+10	4.23E+10	4.69E+10	4.56E+10	4.25E+10	4.83E+10
26	3.77E+10	4.59E+10	4.26E+10	4.12E+10	4.23E+10	4.60E+10	4.75E+10	4.59E+10	5.22E+10
27	3.98E+10	4.15E+10	4.16E+10	4.44E+10	4.87E+10	4.46E+10	4.59E+10	5.03E+10	4.91E+10
28	4.13E+10	4.41E+10	4.19E+10	4.24E+10	4.46E+10	4.72E+10	4.70E+10	4.77E+10	5.07E+10
29	4.18E+10	4.09E+10	4.49E+10	4.23E+10	4.91E+10	4.65E+10	4.95E+10	4.46E+10	4.98E+10
30	4.13E+10	4.36E+10	4.43E+10	4.68E+10	4.84E+10	4.86E+10	4.20E+10	4.81E+10	4.98E+10
31	4.13E+10	4.59E+10	4.25E+10	4.41E+10	5.04E+10	4.61E+10	4.53E+10	4.79E+10	5.40E+10
32	4.44E+10	4.56E+10	4.59E+10	4.46E+10	4.82E+10	4.51E+10	5.07E+10	5.20E+10	5.24E+10
33	4.33E+10	4.57E+10	4.51E+10	4.91E+10	5.02E+10	4.78E+10	4.64E+10	4.73E+10	5.51E+10
34	4.34E+10	4.48E+10	4.68E+10	4.75E+10	4.81E+10	4.86E+10	4.86E+10	5.02E+10	5.45E+10
35	4.48E+10	4.70E+10	4.73E+10	5.07E+10	5.08E+10	5.14E+10	5.15E+10	5.10E+10	5.52E+10
36	4.56E+10	4.68E+10	4.59E+10	5.02E+10	4.97E+10	4.83E+10	5.20E+10	5.38E+10	5.64E+10
37	4.53E+10	4.89E+10	4.46E+10	4.64E+10	4.95E+10	5.00E+10	4.85E+10	5.26E+10	5.56E+10
38	4.16E+10	4.99E+10	4.11E+10	4.99E+10	4.95E+10	5.08E+10	4.64E+10	5.29E+10	5.41E+10
39	4.73E+10	4.45E+10	4.69E+10	5.01E+10	4.95E+10	5.10E+10	4.77E+10	5.80E+10	5.88E+10
40	4.73E+10	4.96E+10	5.11E+10	4.96E+10	5.20E+10	4.69E+10	4.93E+10	4.99E+10	5.59E+10
41	4.63E+10	4.79E+10	5.26E+10	4.88E+10	4.72E+10	4.94E+10	5.00E+10	5.23E+10	4.94E+10
42	4.74E+10	4.68E+10	4.63E+10	4.83E+10	4.96E+10	4.68E+10	4.93E+10	4.98E+10	5.79E+10
43	5.00E+10	4.51E+10	4.98E+10	5.09E+10	4.78E+10	4.96E+10	5.08E+10	4.86E+10	5.33E+10
44	4.54E+10	4.93E+10	4.95E+10	4.94E+10	5.19E+10	5.05E+10	5.15E+10	5.21E+10	5.60E+10

45	4.65E+10	4.83E+10	4.66E+10	4.87E+10	5.23E+10	4.97E+10	5.24E+10	5.33E+10	5.57E+10
46	5.13E+10	4.75E+10	4.87E+10	4.94E+10	5.16E+10	5.03E+10	5.12E+10	5.21E+10	5.59E+10
47	4.91E+10	4.91E+10	5.06E+10	4.82E+10	4.98E+10	5.10E+10	5.45E+10	5.51E+10	5.68E+10
48	4.88E+10	4.75E+10	4.97E+10	4.88E+10	5.05E+10	5.09E+10	5.17E+10	5.58E+10	5.70E+10
49	4.72E+10	4.66E+10	4.88E+10	5.28E+10	5.06E+10	5.04E+10	5.43E+10	5.58E+10	5.26E+10
50	4.67E+10	5.07E+10	5.01E+10	4.83E+10	4.83E+10	5.27E+10	5.13E+10	4.94E+10	5.23E+10
51	4.64E+10	4.77E+10	4.90E+10	4.89E+10	5.26E+10	4.86E+10	4.80E+10	5.31E+10	5.36E+10
52	4.78E+10	4.68E+10	4.97E+10	4.86E+10	5.02E+10	4.94E+10	4.97E+10	5.19E+10	5.41E+10
53	4.87E+10	4.98E+10	4.68E+10	4.58E+10	5.37E+10	4.88E+10	5.05E+10	4.86E+10	5.51E+10
54	4.99E+10	4.90E+10	5.35E+10	5.00E+10	5.46E+10	5.14E+10	4.88E+10	4.80E+10	5.48E+10
55	4.44E+10	4.89E+10	4.78E+10	4.74E+10	4.72E+10	4.84E+10	4.82E+10	5.19E+10	5.38E+10
56	4.95E+10	4.76E+10	4.76E+10	4.56E+10	4.61E+10	4.77E+10	5.09E+10	4.76E+10	5.40E+10
57	4.76E+10	4.53E+10	4.88E+10	5.17E+10	4.67E+10	4.37E+10	4.41E+10	4.87E+10	5.16E+10
58	4.48E+10	4.79E+10	4.84E+10	4.24E+10	4.80E+10	4.82E+10	4.78E+10	4.71E+10	5.12E+10
59	4.45E+10	4.40E+10	4.43E+10	4.66E+10	4.61E+10	4.74E+10	4.88E+10	4.66E+10	5.20E+10
60	4.82E+10	4.51E+10	4.37E+10	4.62E+10	4.83E+10	4.89E+10	4.77E+10	5.13E+10	4.75E+10
61	4.38E+10	4.41E+10	4.56E+10	4.80E+10	4.36E+10	4.60E+10	4.59E+10	5.10E+10	4.84E+10
62	4.39E+10	4.83E+10	4.51E+10	4.48E+10	4.47E+10	4.51E+10	5.00E+10	4.54E+10	5.02E+10
63	4.24E+10	4.56E+10	4.42E+10	4.67E+10	4.54E+10	4.18E+10	4.99E+10	4.42E+10	5.00E+10
64	4.04E+10	4.38E+10	4.46E+10	4.06E+10	4.13E+10	4.70E+10	4.60E+10	4.83E+10	5.08E+10
65	4.05E+10	4.13E+10	4.35E+10	4.69E+10	4.55E+10	4.51E+10	4.48E+10	4.80E+10	4.45E+10
66	3.73E+10	3.90E+10	4.22E+10	4.29E+10	4.21E+10	3.91E+10	4.20E+10	4.69E+10	4.50E+10
67	3.79E+10	3.95E+10	4.22E+10	4.28E+10	4.21E+10	4.30E+10	4.39E+10	4.42E+10	4.58E+10
68	4.32E+10	3.96E+10	4.09E+10	4.05E+10	4.30E+10	4.30E+10	4.18E+10	4.38E+10	4.64E+10
69	4.17E+10	3.91E+10	4.06E+10	3.95E+10	4.53E+10	4.17E+10	4.31E+10	4.58E+10	4.57E+10
70	4.46E+10	4.23E+10	4.06E+10	4.33E+10	3.86E+10	4.67E+10	4.19E+10	4.66E+10	4.64E+10
71	4.18E+10	4.02E+10	3.81E+10	4.02E+10	4.12E+10	4.02E+10	4.31E+10	4.54E+10	4.19E+10
72	3.58E+10	4.07E+10	3.97E+10	4.16E+10	4.40E+10	4.68E+10	4.24E+10	4.02E+10	4.17E+10
73	3.45E+10	3.81E+10	3.90E+10	3.96E+10	4.11E+10	3.77E+10	3.80E+10	3.98E+10	4.07E+10
74	3.70E+10	3.90E+10	4.05E+10	4.11E+10	3.77E+10	3.57E+10	3.96E+10	3.82E+10	3.73E+10
75	3.46E+10	4.06E+10	3.63E+10	4.12E+10	3.90E+10	4.11E+10	3.83E+10	3.66E+10	4.13E+10
76	3.36E+10	3.57E+10	3.76E+10	3.85E+10	4.07E+10	3.82E+10	3.85E+10	3.58E+10	3.85E+10
77	3.18E+10	3.75E+10	3.24E+10	3.97E+10	3.38E+10	3.71E+10	3.41E+10	3.60E+10	3.85E+10
78	3.44E+10	3.80E+10	3.64E+10	3.73E+10	3.86E+10	3.67E+10	3.72E+10	3.49E+10	3.68E+10
79	3.52E+10	3.62E+10	3.74E+10	3.63E+10	3.11E+10	3.48E+10	3.64E+10	3.43E+10	3.59E+10
80	3.22E+10	3.72E+10	3.46E+10	3.39E+10	3.57E+10	3.36E+10	3.51E+10	3.73E+10	3.29E+10
81	3.34E+10	3.19E+10	3.04E+10	3.57E+10	3.33E+10	3.15E+10	3.43E+10	3.38E+10	3.26E+10
82	2.93E+10	3.37E+10	3.45E+10	3.40E+10	3.38E+10	3.07E+10	3.17E+10	3.31E+10	3.42E+10
83	3.21E+10	3.22E+10	3.11E+10	3.25E+10	3.08E+10	3.19E+10	2.98E+10	3.43E+10	3.19E+10
84	2.73E+10	3.25E+10	2.97E+10	3.55E+10	3.31E+10	3.01E+10	3.23E+10	3.16E+10	3.39E+10
85	2.90E+10	2.98E+10	3.18E+10	3.02E+10	3.16E+10	3.19E+10	3.00E+10	3.20E+10	3.17E+10
86	2.67E+10	2.76E+10	2.90E+10	3.22E+10	2.99E+10	3.22E+10	2.81E+10	2.94E+10	3.27E+10
87	2.78E+10	2.84E+10	2.63E+10	2.91E+10	2.87E+10	2.85E+10	2.60E+10	2.78E+10	3.14E+10
88	2.50E+10	2.71E+10	2.82E+10	2.69E+10	2.88E+10	2.75E+10	2.65E+10	2.80E+10	2.91E+10
89	2.25E+10	2.48E+10	2.60E+10	2.72E+10	2.78E+10	2.58E+10	2.41E+10	3.09E+10	2.77E+10
90	2.53E+10	2.47E+10	2.31E+10	2.58E+10	2.67E+10	2.67E+10	2.94E+10	2.82E+10	2.67E+10
91	2.77E+10	2.34E+10	2.34E+10	2.33E+10	2.43E+10	2.46E+10	2.58E+10	2.62E+10	2.79E+10
92	2.52E+10	2.42E+10	1.96E+10	2.12E+10	2.34E+10	2.31E+10	2.38E+10	2.51E+10	2.39E+10
93	2.25E+10	2.38E+10	2.22E+10	2.12E+10	2.18E+10	2.24E+10	2.29E+10	2.71E+10	2.40E+10
94	2.25E+10	2.43E+10	2.23E+10	2.09E+10	2.40E+10	2.26E+10	2.17E+10	2.39E+10	2.39E+10
95	2.18E+10	2.55E+10	2.34E+10	2.36E+10	2.27E+10	2.18E+10	2.11E+10	2.26E+10	2.50E+10
96	2.00E+10	2.12E+10	2.08E+10	2.21E+10	2.21E+10	2.03E+10	2.15E+10	2.11E+10	2.26E+10
97	2.00E+10	2.11E+10	2.12E+10	2.46E+10	2.00E+10	2.21E+10	2.12E+10	2.19E+10	2.34E+10
98	1.92E+10	1.95E+10	2.15E+10	2.45E+10	2.02E+10	2.17E+10	2.19E+10	2.20E+10	2.08E+10
99	2.05E+10	2.01E+10	2.17E+10	2.28E+10	2.04E+10	2.19E+10	1.81E+10	2.35E+10	2.45E+10
100	2.22E+10	2.45E+10	2.24E+10	2.11E+10	2.15E+10	2.20E+10	2.44E+10	2.58E+10	2.45E+10
Promedio	3.61E+10	3.74E+10	3.76E+10	3.84E+10	3.88E+10	3.87E+10	3.90E+10	4.01E+10	4.17E+10

Tabla C.14. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (5-6) del elemento combustible F2 (NN-029)

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	2.93E+10	2.53E+10	2.79E+10	3.11E+10	2.93E+10	3.06E+10	2.72E+10	2.94E+10	3.03E+10
2	2.60E+10	2.44E+10	2.54E+10	2.68E+10	2.65E+10	2.50E+10	2.62E+10	2.48E+10	2.73E+10
3	2.50E+10	2.61E+10	2.39E+10	2.61E+10	2.97E+10	2.43E+10	2.63E+10	2.49E+10	2.87E+10
4	2.50E+10	2.52E+10	2.32E+10	2.22E+10	2.69E+10	2.35E+10	2.52E+10	2.43E+10	2.87E+10
5	2.62E+10	2.58E+10	2.54E+10	2.52E+10	2.73E+10	2.49E+10	2.52E+10	2.67E+10	2.63E+10
6	2.52E+10	2.69E+10	2.41E+10	2.48E+10	2.37E+10	2.56E+10	2.71E+10	2.63E+10	3.07E+10
7	2.78E+10	2.86E+10	2.56E+10	2.73E+10	2.41E+10	2.55E+10	2.77E+10	2.53E+10	2.76E+10
8	2.72E+10	2.94E+10	2.49E+10	2.50E+10	2.51E+10	2.47E+10	2.59E+10	3.10E+10	3.35E+10
9	2.81E+10	2.72E+10	2.51E+10	2.93E+10	2.77E+10	2.89E+10	3.00E+10	2.82E+10	2.92E+10
10	2.88E+10	2.79E+10	2.92E+10	2.76E+10	2.66E+10	3.10E+10	3.14E+10	2.94E+10	3.30E+10
11	2.96E+10	2.95E+10	2.78E+10	3.26E+10	3.14E+10	2.83E+10	2.93E+10	2.77E+10	3.30E+10
12	2.56E+10	2.69E+10	3.06E+10	3.26E+10	2.99E+10	3.28E+10	3.01E+10	3.06E+10	3.16E+10
13	2.83E+10	3.08E+10	3.00E+10	3.01E+10	3.28E+10	3.03E+10	2.95E+10	3.63E+10	3.19E+10
14	3.21E+10	3.51E+10	3.20E+10	3.05E+10	3.18E+10	3.45E+10	3.19E+10	3.35E+10	3.25E+10
15	2.96E+10	3.47E+10	3.22E+10	3.50E+10	3.37E+10	3.27E+10	3.20E+10	3.21E+10	3.36E+10
16	3.44E+10	3.18E+10	3.60E+10	3.51E+10	3.57E+10	3.38E+10	3.30E+10	3.56E+10	3.66E+10
17	3.46E+10	3.08E+10	3.47E+10	3.51E+10	3.47E+10	3.60E+10	3.66E+10	3.55E+10	3.95E+10
18	3.55E+10	3.33E+10	3.67E+10	3.51E+10	3.86E+10	3.63E+10	3.59E+10	3.58E+10	3.58E+10
19	3.38E+10	3.46E+10	3.48E+10	3.41E+10	3.34E+10	3.63E+10	4.02E+10	3.81E+10	3.76E+10
20	3.59E+10	3.75E+10	3.70E+10	3.71E+10	3.64E+10	3.37E+10	4.02E+10	3.73E+10	3.67E+10
21	3.72E+10	3.64E+10	3.85E+10	3.70E+10	3.83E+10	3.84E+10	4.01E+10	3.94E+10	4.16E+10
22	3.89E+10	3.78E+10	4.03E+10	3.76E+10	4.02E+10	4.43E+10	4.18E+10	4.17E+10	4.09E+10
23	3.94E+10	3.63E+10	4.48E+10	4.03E+10	4.37E+10	3.68E+10	4.30E+10	4.11E+10	4.36E+10
24	3.80E+10	3.79E+10	4.01E+10	4.19E+10	3.97E+10	3.94E+10	3.96E+10	4.23E+10	4.80E+10
25	4.06E+10	4.02E+10	4.13E+10	4.01E+10	4.31E+10	4.47E+10	4.08E+10	4.46E+10	4.69E+10
26	4.10E+10	4.00E+10	4.31E+10	4.08E+10	3.97E+10	4.18E+10	4.32E+10	4.51E+10	5.15E+10
27	4.59E+10	3.99E+10	3.89E+10	4.11E+10	4.01E+10	4.31E+10	4.17E+10	4.58E+10	4.98E+10
28	4.28E+10	4.14E+10	4.43E+10	4.34E+10	4.13E+10	4.34E+10	4.16E+10	4.19E+10	4.85E+10
29	4.45E+10	4.28E+10	4.60E+10	4.58E+10	4.20E+10	4.35E+10	4.26E+10	4.71E+10	4.76E+10
30	4.52E+10	4.57E+10	4.63E+10	4.37E+10	4.50E+10	4.66E+10	4.16E+10	5.08E+10	4.98E+10
31	4.32E+10	4.61E+10	5.04E+10	4.60E+10	4.83E+10	4.61E+10	4.68E+10	4.66E+10	4.66E+10
32	4.26E+10	4.49E+10	4.38E+10	4.61E+10	4.48E+10	4.14E+10	4.66E+10	4.48E+10	4.40E+10
33	4.59E+10	4.93E+10	4.78E+10	4.29E+10	4.46E+10	4.57E+10	4.47E+10	4.99E+10	5.25E+10
34	4.65E+10	4.90E+10	4.70E+10	4.76E+10	4.67E+10	5.01E+10	4.86E+10	4.89E+10	5.44E+10
35	4.61E+10	4.73E+10	4.60E+10	4.55E+10	4.40E+10	5.19E+10	4.45E+10	4.79E+10	4.97E+10
36	4.59E+10	4.62E+10	4.66E+10	4.77E+10	5.12E+10	5.18E+10	4.79E+10	4.72E+10	5.02E+10
37	4.89E+10	4.67E+10	4.69E+10	5.17E+10	4.80E+10	4.56E+10	5.00E+10	4.78E+10	5.03E+10
38	4.89E+10	4.63E+10	4.55E+10	5.03E+10	5.19E+10	4.66E+10	5.12E+10	5.36E+10	5.80E+10
39	4.89E+10	4.70E+10	4.68E+10	4.55E+10	4.71E+10	5.26E+10	5.08E+10	5.33E+10	5.66E+10
40	4.66E+10	4.83E+10	4.55E+10	4.93E+10	4.97E+10	5.36E+10	5.04E+10	5.36E+10	5.35E+10
41	4.86E+10	4.76E+10	4.89E+10	5.06E+10	4.99E+10	4.99E+10	5.02E+10	5.29E+10	5.22E+10
42	4.52E+10	4.72E+10	4.76E+10	4.92E+10	4.98E+10	5.16E+10	5.42E+10	5.10E+10	5.32E+10
43	4.89E+10	4.50E+10	4.54E+10	4.98E+10	4.98E+10	5.13E+10	5.27E+10	5.21E+10	5.16E+10
44	4.86E+10	4.74E+10	5.18E+10	5.36E+10	5.13E+10	4.98E+10	5.14E+10	5.17E+10	5.57E+10
45	4.39E+10	4.97E+10	5.35E+10	5.14E+10	5.55E+10	4.77E+10	5.05E+10	4.85E+10	5.78E+10
46	4.68E+10	4.71E+10	4.73E+10	5.09E+10	4.79E+10	4.90E+10	4.77E+10	5.71E+10	5.96E+10
47	4.65E+10	4.88E+10	5.17E+10	4.64E+10	5.23E+10	4.94E+10	5.10E+10	5.07E+10	5.35E+10
48	5.21E+10	4.92E+10	5.16E+10	4.41E+10	4.89E+10	4.91E+10	5.01E+10	5.08E+10	5.41E+10

49	5.47E+10	4.90E+10	4.87E+10	4.77E+10	4.82E+10	5.01E+10	5.18E+10	5.42E+10	5.33E+10
50	4.86E+10	4.98E+10	4.76E+10	4.66E+10	4.65E+10	4.50E+10	5.12E+10	5.13E+10	5.59E+10
51	4.63E+10	4.89E+10	4.88E+10	4.79E+10	4.71E+10	5.11E+10	4.93E+10	4.60E+10	4.93E+10
52	4.99E+10	5.03E+10	4.77E+10	4.98E+10	5.47E+10	4.96E+10	5.09E+10	4.90E+10	5.19E+10
53	4.83E+10	4.50E+10	4.62E+10	4.90E+10	4.95E+10	5.03E+10	5.13E+10	5.07E+10	5.10E+10
54	4.94E+10	4.67E+10	4.81E+10	4.98E+10	5.14E+10	4.78E+10	4.78E+10	4.41E+10	5.13E+10
55	4.84E+10	4.78E+10	5.18E+10	4.77E+10	4.66E+10	4.96E+10	5.23E+10	4.81E+10	4.93E+10
56	5.00E+10	4.82E+10	4.59E+10	4.53E+10	4.83E+10	4.64E+10	4.80E+10	4.84E+10	4.72E+10
57	4.90E+10	4.58E+10	4.91E+10	4.69E+10	4.34E+10	4.76E+10	4.97E+10	4.92E+10	5.05E+10
58	4.33E+10	4.35E+10	4.74E+10	4.60E+10	4.25E+10	4.66E+10	4.76E+10	5.14E+10	4.61E+10
59	4.42E+10	4.95E+10	4.85E+10	5.08E+10	4.73E+10	4.77E+10	4.87E+10	4.72E+10	4.93E+10
60	4.53E+10	4.52E+10	4.71E+10	4.81E+10	4.92E+10	4.76E+10	4.65E+10	4.40E+10	5.21E+10
61	4.28E+10	4.51E+10	4.31E+10	4.80E+10	4.62E+10	4.62E+10	4.58E+10	5.18E+10	5.06E+10
62	4.77E+10	4.33E+10	4.33E+10	4.73E+10	4.53E+10	4.69E+10	4.73E+10	5.12E+10	4.94E+10
63	4.69E+10	4.73E+10	4.69E+10	4.67E+10	4.73E+10	4.61E+10	4.93E+10	4.81E+10	5.00E+10
64	4.80E+10	4.68E+10	4.45E+10	4.77E+10	4.73E+10	4.63E+10	4.48E+10	4.73E+10	4.58E+10
65	4.47E+10	4.26E+10	4.28E+10	4.31E+10	4.15E+10	4.00E+10	4.70E+10	4.62E+10	4.69E+10
66	3.96E+10	3.97E+10	4.17E+10	4.19E+10	4.78E+10	4.06E+10	4.48E+10	4.22E+10	4.80E+10
67	4.22E+10	4.28E+10	4.09E+10	4.58E+10	4.39E+10	4.41E+10	4.67E+10	4.24E+10	4.33E+10
68	4.21E+10	3.99E+10	4.35E+10	4.30E+10	4.01E+10	4.37E+10	4.41E+10	4.49E+10	4.40E+10
69	4.12E+10	3.95E+10	4.74E+10	4.22E+10	4.33E+10	4.45E+10	4.25E+10	4.91E+10	4.51E+10
70	4.03E+10	3.96E+10	3.94E+10	4.13E+10	3.81E+10	4.49E+10	4.16E+10	4.74E+10	4.40E+10
71	3.77E+10	4.08E+10	3.88E+10	3.86E+10	3.94E+10	4.56E+10	4.58E+10	4.12E+10	4.35E+10
72	3.94E+10	3.91E+10	4.06E+10	4.06E+10	3.84E+10	4.28E+10	4.20E+10	3.82E+10	4.10E+10
73	4.10E+10	3.91E+10	3.98E+10	4.26E+10	3.88E+10	4.05E+10	4.02E+10	3.91E+10	4.28E+10
74	3.65E+10	4.02E+10	4.00E+10	4.11E+10	4.15E+10	3.65E+10	3.96E+10	4.07E+10	4.05E+10
75	3.96E+10	3.76E+10	3.64E+10	3.98E+10	3.87E+10	3.82E+10	4.00E+10	3.77E+10	4.06E+10
76	3.72E+10	3.55E+10	3.86E+10	3.78E+10	3.83E+10	3.73E+10	3.75E+10	3.87E+10	3.83E+10
77	3.36E+10	3.79E+10	3.77E+10	3.66E+10	3.45E+10	3.57E+10	3.34E+10	3.27E+10	3.88E+10
78	3.29E+10	3.40E+10	3.73E+10	3.64E+10	3.74E+10	3.52E+10	3.83E+10	3.43E+10	3.80E+10
79	3.69E+10	3.43E+10	3.36E+10	3.58E+10	3.62E+10	3.48E+10	3.64E+10	3.64E+10	3.78E+10
80	3.83E+10	3.42E+10	3.55E+10	3.63E+10	3.27E+10	3.74E+10	3.35E+10	3.55E+10	3.72E+10
81	3.11E+10	3.30E+10	3.05E+10	3.24E+10	3.26E+10	3.04E+10	3.56E+10	3.54E+10	3.29E+10
82	3.43E+10	2.99E+10	3.08E+10	3.39E+10	3.34E+10	3.19E+10	3.69E+10	3.12E+10	3.29E+10
83	3.24E+10	3.14E+10	3.47E+10	3.36E+10	3.25E+10	3.06E+10	3.56E+10	3.16E+10	3.44E+10
84	3.11E+10	3.00E+10	3.20E+10	3.25E+10	3.13E+10	3.11E+10	3.35E+10	3.32E+10	3.13E+10
85	2.68E+10	3.10E+10	2.77E+10	2.95E+10	3.13E+10	3.25E+10	3.17E+10	3.31E+10	3.36E+10
86	2.68E+10	2.85E+10	2.85E+10	2.94E+10	2.55E+10	2.68E+10	2.84E+10	3.01E+10	3.18E+10
87	2.50E+10	2.81E+10	2.65E+10	2.72E+10	2.58E+10	2.98E+10	2.83E+10	3.02E+10	2.97E+10
88	2.73E+10	2.95E+10	2.65E+10	2.55E+10	2.40E+10	2.79E+10	2.63E+10	2.85E+10	2.89E+10
89	2.57E+10	2.67E+10	2.66E+10	2.68E+10	2.53E+10	2.47E+10	2.68E+10	2.89E+10	2.73E+10
90	2.56E+10	2.33E+10	2.45E+10	2.64E+10	2.84E+10	2.62E+10	2.56E+10	2.80E+10	2.54E+10
91	2.57E+10	2.25E+10	2.27E+10	2.47E+10	2.27E+10	2.51E+10	2.60E+10	2.66E+10	2.54E+10
92	2.44E+10	2.31E+10	2.41E+10	2.36E+10	2.43E+10	2.50E+10	2.35E+10	2.19E+10	2.62E+10
93	2.26E+10	2.25E+10	2.42E+10	2.20E+10	2.02E+10	2.55E+10	2.10E+10	2.16E+10	2.71E+10
94	2.25E+10	2.10E+10	2.23E+10	2.26E+10	2.28E+10	2.25E+10	1.99E+10	2.07E+10	2.18E+10
95	2.14E+10	2.15E+10	2.01E+10	2.19E+10	1.88E+10	2.04E+10	2.51E+10	2.09E+10	2.40E+10
96	2.27E+10	2.06E+10	2.29E+10	1.92E+10	2.13E+10	2.02E+10	2.09E+10	2.27E+10	2.08E+10
97	2.22E+10	1.97E+10	2.08E+10	1.97E+10	2.14E+10	2.02E+10	1.90E+10	1.95E+10	2.33E+10
98	2.17E+10	2.25E+10	2.19E+10	2.17E+10	2.14E+10	2.11E+10	1.95E+10	2.07E+10	2.42E+10
99	2.21E+10	1.93E+10	2.39E+10	2.53E+10	2.17E+10	2.39E+10	1.91E+10	2.33E+10	2.39E+10
100	2.43E+10	2.25E+10	2.23E+10	2.41E+10	2.48E+10	2.39E+10	2.26E+10	2.50E+10	2.34E+10
Promedio	3.75E+10	3.72E+10	3.78E+10	3.81E+10	3.80E+10	3.83E+10	3.88E+10	3.92E+10	4.09E+10

Tabla C.15. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (11-12) del elemento combustible F2 (NN-029)

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	3.15E+10	3.30E+10	3.41E+10	3.61E+10	3.44E+10	3.42E+10	3.64E+10	2.97E+10	3.33E+10
2	2.67E+10	2.90E+10	3.16E+10	3.47E+10	3.23E+10	3.00E+10	3.10E+10	2.94E+10	2.71E+10
3	2.41E+10	2.63E+10	2.90E+10	2.89E+10	3.07E+10	2.85E+10	3.26E+10	3.04E+10	2.99E+10
4	2.60E+10	2.60E+10	2.73E+10	2.67E+10	2.79E+10	2.51E+10	2.67E+10	2.99E+10	3.03E+10
5	2.55E+10	2.54E+10	2.68E+10	2.49E+10	2.90E+10	3.13E+10	2.83E+10	2.79E+10	2.79E+10
6	2.43E+10	3.00E+10	2.67E+10	2.62E+10	2.89E+10	2.88E+10	3.03E+10	2.68E+10	2.97E+10
7	2.90E+10	3.00E+10	2.73E+10	2.92E+10	2.84E+10	2.76E+10	2.88E+10	2.71E+10	3.17E+10
8	2.75E+10	2.84E+10	2.91E+10	3.04E+10	3.25E+10	3.06E+10	3.09E+10	3.09E+10	3.09E+10
9	2.79E+10	3.03E+10	3.13E+10	3.18E+10	2.99E+10	3.10E+10	3.12E+10	3.14E+10	3.23E+10
10	3.08E+10	3.03E+10	3.00E+10	3.51E+10	3.47E+10	2.91E+10	3.16E+10	3.48E+10	3.22E+10
11	3.17E+10	3.05E+10	3.42E+10	3.19E+10	3.20E+10	3.29E+10	3.57E+10	3.29E+10	3.44E+10
12	3.09E+10	3.31E+10	3.28E+10	3.50E+10	3.57E+10	3.48E+10	3.49E+10	3.53E+10	3.43E+10
13	3.47E+10	3.58E+10	3.19E+10	3.53E+10	3.45E+10	3.32E+10	3.45E+10	3.80E+10	3.82E+10
14	3.45E+10	3.48E+10	3.47E+10	3.52E+10	3.83E+10	3.59E+10	3.50E+10	3.89E+10	3.58E+10
15	3.70E+10	3.76E+10	3.90E+10	3.70E+10	4.01E+10	4.25E+10	3.85E+10	3.83E+10	3.79E+10
16	3.28E+10	3.62E+10	3.69E+10	4.03E+10	4.51E+10	4.02E+10	4.20E+10	4.05E+10	3.86E+10
17	3.86E+10	3.74E+10	3.96E+10	3.75E+10	3.82E+10	4.18E+10	4.23E+10	4.18E+10	4.05E+10
18	4.15E+10	4.24E+10	3.78E+10	4.11E+10	4.45E+10	3.80E+10	3.99E+10	4.06E+10	3.84E+10
19	4.28E+10	4.32E+10	4.20E+10	4.08E+10	4.01E+10	4.13E+10	3.79E+10	4.23E+10	3.98E+10
20	4.12E+10	4.71E+10	4.28E+10	4.54E+10	4.41E+10	4.45E+10	4.66E+10	4.45E+10	4.30E+10
21	4.29E+10	4.25E+10	4.43E+10	4.36E+10	4.43E+10	4.13E+10	4.93E+10	4.72E+10	5.03E+10
22	4.21E+10	4.56E+10	4.65E+10	4.22E+10	4.11E+10	4.64E+10	4.11E+10	4.81E+10	4.87E+10
23	4.48E+10	4.46E+10	4.36E+10	4.66E+10	4.22E+10	4.61E+10	4.59E+10	4.86E+10	4.62E+10
24	4.63E+10	4.43E+10	4.67E+10	4.78E+10	4.83E+10	5.23E+10	4.95E+10	4.72E+10	5.13E+10
25	4.71E+10	4.85E+10	4.34E+10	4.86E+10	4.80E+10	4.78E+10	4.90E+10	4.79E+10	4.79E+10
26	4.53E+10	4.79E+10	4.70E+10	4.76E+10	5.12E+10	4.84E+10	4.86E+10	4.62E+10	4.79E+10
27	4.99E+10	4.95E+10	5.09E+10	4.91E+10	4.86E+10	4.84E+10	4.72E+10	5.00E+10	5.26E+10
28	4.61E+10	4.58E+10	4.88E+10	4.91E+10	4.62E+10	4.69E+10	4.92E+10	5.10E+10	5.22E+10
29	4.76E+10	5.06E+10	4.97E+10	5.07E+10	4.35E+10	4.79E+10	5.20E+10	5.27E+10	4.97E+10
30	4.74E+10	4.75E+10	4.97E+10	4.86E+10	5.13E+10	5.22E+10	5.43E+10	5.30E+10	5.23E+10
31	4.56E+10	4.63E+10	5.35E+10	5.41E+10	5.44E+10	5.09E+10	5.41E+10	5.34E+10	5.52E+10
32	5.07E+10	5.23E+10	5.30E+10	5.38E+10	5.37E+10	5.31E+10	5.31E+10	4.87E+10	5.70E+10
33	5.19E+10	4.82E+10	5.56E+10	5.70E+10	5.57E+10	5.39E+10	5.14E+10	5.44E+10	5.69E+10
34	5.37E+10	5.41E+10	5.28E+10	5.10E+10	5.38E+10	5.23E+10	5.30E+10	5.32E+10	5.70E+10
35	5.17E+10	5.32E+10	5.15E+10	5.54E+10	5.04E+10	5.29E+10	5.45E+10	5.33E+10	5.27E+10
36	5.04E+10	5.24E+10	5.49E+10	5.83E+10	5.28E+10	5.49E+10	5.24E+10	5.45E+10	5.46E+10
37	5.16E+10	5.29E+10	5.36E+10	5.72E+10	5.52E+10	5.69E+10	5.44E+10	5.15E+10	5.69E+10
38	5.28E+10	5.44E+10	5.75E+10	5.08E+10	5.94E+10	5.91E+10	5.31E+10	5.48E+10	5.73E+10
39	5.42E+10	5.31E+10	5.44E+10	5.58E+10	5.87E+10	5.94E+10	5.41E+10	5.73E+10	6.26E+10
40	4.91E+10	5.27E+10	5.65E+10	5.83E+10	5.92E+10	5.47E+10	6.20E+10	6.15E+10	5.77E+10
41	5.41E+10	5.37E+10	5.40E+10	5.51E+10	5.61E+10	5.62E+10	5.88E+10	5.49E+10	5.45E+10
42	5.24E+10	5.67E+10	5.73E+10	5.95E+10	5.81E+10	5.77E+10	5.83E+10	5.84E+10	5.51E+10
43	5.17E+10	5.28E+10	5.58E+10	5.62E+10	5.64E+10	5.99E+10	5.70E+10	5.87E+10	5.99E+10
44	5.03E+10	5.81E+10	5.67E+10	5.65E+10	5.82E+10	5.77E+10	6.04E+10	5.69E+10	6.11E+10
45	5.09E+10	5.20E+10	5.96E+10	5.44E+10	5.65E+10	5.66E+10	5.59E+10	6.00E+10	6.13E+10
46	5.37E+10	5.37E+10	5.28E+10	5.34E+10	5.64E+10	5.55E+10	5.89E+10	5.55E+10	5.74E+10
47	5.75E+10	5.23E+10	5.98E+10	5.75E+10	5.85E+10	5.41E+10	5.72E+10	5.97E+10	5.66E+10
48	5.46E+10	5.63E+10	5.80E+10	6.07E+10	5.69E+10	5.76E+10	5.73E+10	5.94E+10	5.50E+10
49	5.38E+10	5.18E+10	5.08E+10	5.31E+10	5.57E+10	5.95E+10	5.93E+10	5.84E+10	6.15E+10
50	5.42E+10	5.10E+10	5.48E+10	5.43E+10	5.57E+10	5.72E+10	5.98E+10	5.92E+10	6.17E+10

51	5.39E+10	5.46E+10	5.74E+10	5.67E+10	5.91E+10	5.66E+10	5.91E+10	5.55E+10	6.13E+10
52	5.64E+10	5.60E+10	5.64E+10	5.59E+10	6.00E+10	6.01E+10	5.95E+10	5.84E+10	5.78E+10
53	5.38E+10	5.53E+10	5.56E+10	5.57E+10	5.61E+10	5.55E+10	5.63E+10	5.45E+10	5.43E+10
54	5.17E+10	5.61E+10	5.45E+10	5.63E+10	5.70E+10	5.64E+10	5.27E+10	5.78E+10	5.47E+10
55	5.41E+10	5.50E+10	5.63E+10	5.46E+10	5.36E+10	5.65E+10	5.26E+10	5.04E+10	5.65E+10
56	5.49E+10	5.43E+10	5.29E+10	5.46E+10	5.31E+10	5.43E+10	5.63E+10	5.66E+10	5.61E+10
57	5.39E+10	4.63E+10	5.25E+10	5.31E+10	5.44E+10	5.68E+10	5.88E+10	5.91E+10	5.51E+10
58	5.26E+10	5.54E+10	5.35E+10	5.33E+10	5.81E+10	5.51E+10	5.81E+10	6.14E+10	5.48E+10
59	5.69E+10	5.60E+10	5.14E+10	5.17E+10	5.44E+10	5.49E+10	5.36E+10	5.53E+10	5.52E+10
60	5.38E+10	4.90E+10	4.88E+10	4.91E+10	5.50E+10	5.54E+10	5.50E+10	5.20E+10	5.83E+10
61	5.36E+10	5.24E+10	5.10E+10	5.05E+10	5.26E+10	5.30E+10	4.95E+10	5.31E+10	5.50E+10
62	5.17E+10	5.39E+10	4.88E+10	5.15E+10	5.21E+10	4.91E+10	5.44E+10	5.47E+10	5.45E+10
63	5.48E+10	4.96E+10	5.21E+10	5.36E+10	4.85E+10	5.23E+10	5.04E+10	5.33E+10	4.94E+10
64	5.26E+10	5.00E+10	5.00E+10	5.13E+10	4.97E+10	5.29E+10	4.59E+10	4.93E+10	5.23E+10
65	5.07E+10	5.15E+10	4.78E+10	5.26E+10	4.94E+10	4.83E+10	5.05E+10	5.12E+10	5.13E+10
66	5.08E+10	4.67E+10	4.96E+10	4.73E+10	5.16E+10	5.08E+10	5.11E+10	5.16E+10	5.64E+10
67	5.00E+10	4.69E+10	4.75E+10	4.86E+10	5.53E+10	4.92E+10	5.05E+10	5.26E+10	5.06E+10
68	5.02E+10	5.06E+10	5.11E+10	4.60E+10	5.23E+10	4.81E+10	4.87E+10	5.20E+10	5.36E+10
69	4.35E+10	4.53E+10	5.10E+10	4.70E+10	4.68E+10	4.67E+10	4.78E+10	5.27E+10	5.28E+10
70	4.57E+10	4.47E+10	4.64E+10	4.38E+10	4.47E+10	4.70E+10	4.86E+10	4.98E+10	5.02E+10
71	4.38E+10	4.74E+10	4.60E+10	4.77E+10	4.76E+10	4.64E+10	4.72E+10	4.93E+10	5.13E+10
72	4.32E+10	4.29E+10	4.75E+10	4.60E+10	4.56E+10	4.75E+10	4.37E+10	4.75E+10	4.69E+10
73	4.54E+10	4.20E+10	4.44E+10	4.46E+10	4.39E+10	4.75E+10	4.40E+10	4.49E+10	5.02E+10
74	4.37E+10	4.19E+10	3.97E+10	4.74E+10	4.95E+10	4.26E+10	4.91E+10	4.51E+10	4.83E+10
75	4.03E+10	4.42E+10	3.98E+10	4.34E+10	4.75E+10	4.39E+10	4.53E+10	4.36E+10	4.96E+10
76	3.63E+10	3.97E+10	4.15E+10	4.26E+10	4.57E+10	4.91E+10	4.32E+10	4.60E+10	4.26E+10
77	3.79E+10	4.03E+10	3.97E+10	4.62E+10	4.58E+10	4.26E+10	4.09E+10	4.18E+10	4.40E+10
78	4.02E+10	4.10E+10	3.98E+10	4.25E+10	4.56E+10	4.48E+10	4.55E+10	3.92E+10	4.25E+10
79	3.79E+10	4.53E+10	4.40E+10	3.99E+10	4.15E+10	4.05E+10	3.93E+10	4.24E+10	4.03E+10
80	4.18E+10	4.02E+10	4.03E+10	3.65E+10	3.83E+10	4.27E+10	3.90E+10	3.98E+10	4.19E+10
81	3.66E+10	3.82E+10	3.67E+10	3.73E+10	3.71E+10	3.69E+10	4.10E+10	4.03E+10	3.98E+10
82	3.58E+10	3.77E+10	3.77E+10	3.44E+10	3.59E+10	3.72E+10	4.09E+10	3.70E+10	3.93E+10
83	3.53E+10	3.83E+10	3.52E+10	3.71E+10	3.43E+10	4.01E+10	3.62E+10	3.90E+10	3.81E+10
84	3.52E+10	3.59E+10	3.52E+10	3.75E+10	3.37E+10	4.18E+10	3.81E+10	3.55E+10	3.58E+10
85	3.29E+10	3.31E+10	3.52E+10	3.72E+10	3.25E+10	3.47E+10	3.59E+10	3.68E+10	3.58E+10
86	3.21E+10	3.63E+10	3.36E+10	3.34E+10	3.21E+10	3.43E+10	3.43E+10	3.36E+10	3.68E+10
87	3.08E+10	3.00E+10	3.23E+10	3.22E+10	3.50E+10	3.20E+10	3.28E+10	3.36E+10	3.68E+10
88	3.26E+10	2.93E+10	2.85E+10	3.06E+10	3.20E+10	3.04E+10	3.40E+10	3.08E+10	3.05E+10
89	3.21E+10	3.40E+10	2.71E+10	3.05E+10	3.09E+10	2.93E+10	3.18E+10	3.31E+10	3.06E+10
90	2.61E+10	2.82E+10	2.81E+10	2.97E+10	2.78E+10	2.85E+10	3.01E+10	2.74E+10	2.99E+10
91	2.56E+10	2.55E+10	2.83E+10	2.81E+10	2.87E+10	2.83E+10	2.93E+10	2.62E+10	2.60E+10
92	2.54E+10	2.49E+10	2.45E+10	2.56E+10	2.95E+10	2.70E+10	2.82E+10	2.50E+10	2.59E+10
93	2.68E+10	2.38E+10	2.70E+10	2.62E+10	2.54E+10	2.75E+10	2.45E+10	2.34E+10	2.81E+10
94	2.51E+10	2.12E+10	2.38E+10	2.31E+10	2.47E+10	2.50E+10	2.72E+10	2.87E+10	2.57E+10
95	2.46E+10	2.31E+10	1.95E+10	2.38E+10	2.19E+10	2.42E+10	2.68E+10	2.85E+10	2.70E+10
96	2.43E+10	2.34E+10	2.40E+10	2.32E+10	2.60E+10	2.31E+10	2.47E+10	2.47E+10	2.64E+10
97	2.24E+10	2.27E+10	2.40E+10	2.33E+10	2.33E+10	2.17E+10	2.15E+10	2.04E+10	2.36E+10
98	2.29E+10	2.23E+10	2.25E+10	2.30E+10	2.45E+10	2.24E+10	2.27E+10	2.26E+10	2.38E+10
99	2.36E+10	2.37E+10	2.40E+10	2.30E+10	2.31E+10	2.43E+10	2.49E+10	2.32E+10	2.81E+10
100	2.37E+10	2.45E+10	2.63E+10	2.67E+10	2.58E+10	2.41E+10	2.44E+10	2.49E+10	2.78E+10
Promedio	4.17E+10	4.22E+10	4.27E+10	4.33E+10	4.39E+10	4.38E+10	4.41E+10	4.42E+10	4.50E+10

Tabla C.16. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (15-16) del elemento combustible F2 (NN-029).

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	3.63E+10	3.60E+10	3.55E+10	3.75E+10	3.87E+10	3.42E+10	3.62E+10	3.91E+10	3.80E+10
2	3.28E+10	3.35E+10	3.46E+10	3.16E+10	3.79E+10	3.86E+10	3.93E+10	3.98E+10	3.80E+10
3	2.91E+10	3.51E+10	3.63E+10	3.36E+10	3.45E+10	3.45E+10	3.68E+10	3.36E+10	3.31E+10
4	2.93E+10	3.38E+10	3.39E+10	3.57E+10	3.44E+10	3.40E+10	3.63E+10	3.24E+10	3.54E+10
5	3.20E+10	3.42E+10	3.40E+10	3.42E+10	3.43E+10	3.46E+10	3.54E+10	3.52E+10	3.62E+10
6	3.28E+10	3.18E+10	3.49E+10	3.30E+10	3.52E+10	3.54E+10	3.64E+10	3.49E+10	3.70E+10
7	3.45E+10	3.25E+10	3.30E+10	3.51E+10	3.56E+10	3.33E+10	3.76E+10	3.34E+10	3.65E+10
8	3.60E+10	3.62E+10	4.05E+10	3.57E+10	3.63E+10	3.81E+10	3.15E+10	3.52E+10	3.46E+10
9	3.01E+10	3.90E+10	3.88E+10	3.79E+10	3.84E+10	4.02E+10	3.75E+10	4.01E+10	3.86E+10
10	3.86E+10	3.98E+10	4.14E+10	3.99E+10	3.95E+10	4.04E+10	4.06E+10	4.14E+10	4.13E+10
11	3.78E+10	4.22E+10	3.98E+10	4.37E+10	4.22E+10	4.25E+10	4.41E+10	4.13E+10	4.14E+10
12	3.93E+10	4.13E+10	3.85E+10	3.96E+10	4.38E+10	4.87E+10	4.52E+10	4.28E+10	3.82E+10
13	3.85E+10	4.09E+10	3.83E+10	4.55E+10	4.49E+10	4.53E+10	4.38E+10	4.39E+10	4.19E+10
14	4.14E+10	4.19E+10	4.39E+10	4.68E+10	4.74E+10	4.72E+10	4.75E+10	4.07E+10	4.11E+10
15	4.29E+10	4.37E+10	4.46E+10	4.58E+10	4.88E+10	4.53E+10	4.32E+10	4.20E+10	4.38E+10
16	4.10E+10	4.72E+10	4.51E+10	4.64E+10	5.10E+10	4.95E+10	4.72E+10	4.70E+10	4.28E+10
17	4.18E+10	4.43E+10	4.55E+10	4.63E+10	4.74E+10	5.13E+10	5.00E+10	4.85E+10	4.86E+10
18	4.77E+10	4.66E+10	4.73E+10	4.88E+10	4.99E+10	4.94E+10	4.93E+10	4.88E+10	4.96E+10
19	4.51E+10	5.09E+10	5.08E+10	5.34E+10	5.35E+10	5.42E+10	5.87E+10	5.29E+10	5.22E+10
20	4.78E+10	5.11E+10	5.04E+10	4.94E+10	4.96E+10	5.53E+10	5.26E+10	4.93E+10	5.27E+10
21	4.71E+10	5.30E+10	5.47E+10	5.72E+10	5.03E+10	5.05E+10	5.55E+10	5.37E+10	5.23E+10
22	5.19E+10	5.03E+10	5.18E+10	5.33E+10	5.39E+10	5.69E+10	5.64E+10	5.43E+10	5.57E+10
23	4.97E+10	5.06E+10	5.68E+10	5.41E+10	6.07E+10	6.26E+10	6.88E+10	5.83E+10	5.92E+10
24	5.06E+10	5.34E+10	5.31E+10	5.75E+10	6.22E+10	5.87E+10	6.22E+10	5.85E+10	5.39E+10
25	5.40E+10	5.46E+10	5.53E+10	5.87E+10	5.78E+10	5.97E+10	5.90E+10	6.01E+10	5.86E+10
26	5.51E+10	5.80E+10	6.04E+10	6.43E+10	6.06E+10	5.66E+10	5.85E+10	6.16E+10	5.92E+10
27	5.18E+10	5.55E+10	6.10E+10	6.04E+10	5.45E+10	6.05E+10	6.00E+10	5.90E+10	6.34E+10
28	5.36E+10	5.46E+10	6.29E+10	6.55E+10	6.02E+10	6.38E+10	6.51E+10	6.07E+10	5.83E+10
29	5.20E+10	6.03E+10	6.28E+10	6.34E+10	6.30E+10	6.17E+10	6.21E+10	6.02E+10	5.98E+10
30	5.56E+10	5.84E+10	6.55E+10	6.25E+10	6.33E+10	6.88E+10	6.41E+10	6.05E+10	6.07E+10
31	6.04E+10	5.69E+10	6.46E+10	6.54E+10	6.38E+10	6.83E+10	6.34E+10	6.08E+10	6.34E+10
32	5.79E+10	6.16E+10	6.15E+10	6.61E+10	7.01E+10	6.23E+10	6.33E+10	6.27E+10	6.57E+10
33	5.70E+10	6.16E+10	6.10E+10	6.67E+10	6.56E+10	6.53E+10	6.55E+10	5.92E+10	6.51E+10
34	5.27E+10	6.41E+10	6.56E+10	6.50E+10	6.67E+10	7.39E+10	6.39E+10	6.59E+10	6.61E+10
35	5.88E+10	6.02E+10	6.31E+10	6.88E+10	7.36E+10	7.19E+10	7.10E+10	6.83E+10	6.39E+10
36	6.04E+10	6.60E+10	6.27E+10	6.77E+10	6.52E+10	6.62E+10	7.25E+10	7.03E+10	6.68E+10
37	5.83E+10	6.23E+10	6.81E+10	6.80E+10	6.89E+10	6.75E+10	7.37E+10	7.04E+10	6.70E+10
38	5.67E+10	6.15E+10	6.75E+10	6.62E+10	6.83E+10	7.06E+10	6.87E+10	7.04E+10	6.43E+10
39	5.92E+10	6.29E+10	6.67E+10	6.98E+10	6.76E+10	6.88E+10	6.71E+10	6.89E+10	6.81E+10
40	5.90E+10	6.39E+10	6.52E+10	6.82E+10	7.09E+10	7.42E+10	6.88E+10	6.72E+10	6.78E+10
41	6.51E+10	6.53E+10	6.77E+10	6.91E+10	6.82E+10	7.19E+10	7.02E+10	7.18E+10	6.52E+10
42	5.75E+10	6.60E+10	6.88E+10	7.16E+10	6.83E+10	7.40E+10	7.05E+10	6.94E+10	6.32E+10
43	6.50E+10	6.61E+10	6.80E+10	6.90E+10	7.04E+10	7.29E+10	7.41E+10	7.15E+10	6.62E+10
44	6.54E+10	6.56E+10	6.72E+10	7.13E+10	6.68E+10	7.54E+10	7.00E+10	6.90E+10	7.24E+10
45	6.22E+10	6.65E+10	6.97E+10	7.55E+10	7.54E+10	6.78E+10	6.77E+10	7.21E+10	6.71E+10
46	6.32E+10	6.52E+10	6.75E+10	6.90E+10	7.20E+10	7.47E+10	7.45E+10	6.90E+10	7.05E+10
47	6.45E+10	6.51E+10	6.71E+10	7.08E+10	6.91E+10	6.99E+10	7.17E+10	6.74E+10	6.64E+10
48	6.19E+10	6.97E+10	6.39E+10	7.14E+10	6.90E+10	7.48E+10	6.97E+10	7.22E+10	7.11E+10
49	6.45E+10	7.02E+10	7.27E+10	7.01E+10	6.96E+10	7.41E+10	7.72E+10	6.94E+10	6.98E+10
50	5.95E+10	6.36E+10	7.20E+10	7.03E+10	6.75E+10	7.61E+10	7.02E+10	7.21E+10	7.58E+10

51	6.32E+10	6.66E+10	6.81E+10	7.02E+10	7.11E+10	6.90E+10	7.32E+10	7.31E+10	7.06E+10
52	5.90E+10	6.48E+10	6.67E+10	6.52E+10	7.14E+10	7.05E+10	7.03E+10	7.42E+10	6.96E+10
53	5.96E+10	6.46E+10	6.71E+10	6.67E+10	7.36E+10	7.41E+10	7.01E+10	6.93E+10	6.72E+10
54	5.66E+10	6.16E+10	6.56E+10	7.09E+10	6.91E+10	7.00E+10	7.11E+10	6.93E+10	6.28E+10
55	6.36E+10	6.59E+10	6.40E+10	6.81E+10	6.69E+10	6.75E+10	7.01E+10	7.27E+10	6.88E+10
56	6.51E+10	6.51E+10	6.66E+10	7.11E+10	6.77E+10	7.02E+10	6.60E+10	6.59E+10	6.66E+10
57	6.48E+10	6.51E+10	6.44E+10	6.53E+10	6.96E+10	6.64E+10	6.39E+10	7.02E+10	6.44E+10
58	6.65E+10	6.45E+10	6.78E+10	6.71E+10	6.63E+10	6.47E+10	6.13E+10	6.73E+10	6.51E+10
59	6.00E+10	6.37E+10	6.90E+10	6.89E+10	7.12E+10	6.57E+10	6.66E+10	6.26E+10	6.43E+10
60	5.73E+10	6.23E+10	6.61E+10	6.59E+10	6.66E+10	6.79E+10	7.19E+10	6.66E+10	6.16E+10
61	5.76E+10	6.38E+10	6.41E+10	6.24E+10	6.91E+10	7.08E+10	7.10E+10	6.58E+10	6.36E+10
62	5.65E+10	6.06E+10	6.28E+10	6.65E+10	6.63E+10	7.04E+10	6.77E+10	6.41E+10	6.04E+10
63	5.59E+10	5.96E+10	6.40E+10	6.21E+10	6.31E+10	6.62E+10	6.21E+10	6.37E+10	6.22E+10
64	5.46E+10	5.54E+10	6.03E+10	6.11E+10	6.13E+10	6.17E+10	6.53E+10	6.17E+10	6.24E+10
65	5.82E+10	5.87E+10	5.80E+10	5.87E+10	6.18E+10	5.98E+10	6.65E+10	6.36E+10	5.61E+10
66	5.76E+10	5.54E+10	6.26E+10	6.13E+10	5.84E+10	6.18E+10	6.14E+10	6.28E+10	6.29E+10
67	5.44E+10	6.09E+10	6.15E+10	5.76E+10	6.06E+10	5.78E+10	6.41E+10	6.09E+10	6.03E+10
68	5.48E+10	5.84E+10	5.81E+10	5.87E+10	5.95E+10	6.04E+10	5.89E+10	5.64E+10	6.16E+10
69	5.74E+10	5.96E+10	5.85E+10	5.56E+10	5.90E+10	5.74E+10	6.14E+10	5.83E+10	5.75E+10
70	5.21E+10	5.16E+10	5.34E+10	5.87E+10	5.79E+10	5.87E+10	5.63E+10	5.52E+10	5.43E+10
71	5.58E+10	5.96E+10	5.56E+10	5.72E+10	5.81E+10	5.92E+10	5.76E+10	5.87E+10	5.71E+10
72	5.10E+10	5.22E+10	5.51E+10	5.51E+10	5.70E+10	5.77E+10	5.85E+10	5.57E+10	5.24E+10
73	5.05E+10	5.31E+10	5.66E+10	5.61E+10	5.63E+10	5.81E+10	5.57E+10	5.90E+10	5.56E+10
74	4.59E+10	5.03E+10	5.07E+10	5.40E+10	5.55E+10	6.00E+10	5.50E+10	5.41E+10	5.81E+10
75	4.96E+10	4.81E+10	5.29E+10	5.12E+10	5.10E+10	5.18E+10	5.28E+10	5.62E+10	5.78E+10
76	5.22E+10	4.85E+10	5.48E+10	5.21E+10	5.01E+10	5.17E+10	5.38E+10	4.90E+10	5.52E+10
77	4.37E+10	5.50E+10	5.41E+10	4.99E+10	5.36E+10	5.19E+10	5.47E+10	5.38E+10	4.80E+10
78	4.05E+10	4.63E+10	5.00E+10	5.20E+10	5.16E+10	5.24E+10	5.31E+10	4.99E+10	5.29E+10
79	4.21E+10	4.59E+10	4.68E+10	4.82E+10	4.58E+10	4.89E+10	5.25E+10	5.14E+10	5.23E+10
80	4.37E+10	4.52E+10	4.56E+10	4.80E+10	4.39E+10	4.96E+10	5.19E+10	4.66E+10	4.69E+10
81	4.01E+10	4.35E+10	4.48E+10	4.77E+10	4.81E+10	4.60E+10	4.72E+10	4.60E+10	4.77E+10
82	4.22E+10	4.21E+10	5.05E+10	4.75E+10	4.79E+10	4.82E+10	4.89E+10	4.87E+10	4.74E+10
83	4.23E+10	4.31E+10	4.35E+10	4.45E+10	4.71E+10	4.53E+10	4.15E+10	4.32E+10	4.72E+10
84	3.95E+10	4.37E+10	4.22E+10	4.38E+10	4.31E+10	4.49E+10	4.14E+10	4.26E+10	4.73E+10
85	3.94E+10	4.13E+10	4.26E+10	4.08E+10	4.16E+10	4.45E+10	3.84E+10	4.43E+10	4.15E+10
86	3.94E+10	3.90E+10	4.22E+10	4.17E+10	4.53E+10	4.36E+10	4.36E+10	4.17E+10	3.66E+10
87	3.76E+10	3.50E+10	3.80E+10	4.07E+10	3.85E+10	3.95E+10	4.58E+10	4.14E+10	3.94E+10
88	3.28E+10	3.75E+10	4.14E+10	3.99E+10	3.90E+10	3.85E+10	3.67E+10	3.77E+10	3.53E+10
89	3.04E+10	3.30E+10	3.74E+10	3.88E+10	3.47E+10	3.74E+10	3.61E+10	3.87E+10	3.58E+10
90	3.36E+10	3.22E+10	3.53E+10	3.41E+10	3.15E+10	3.75E+10	3.84E+10	3.83E+10	3.58E+10
91	2.95E+10	3.72E+10	3.18E+10	3.35E+10	3.58E+10	3.59E+10	3.53E+10	3.38E+10	3.34E+10
92	3.03E+10	2.77E+10	3.07E+10	3.12E+10	3.14E+10	3.25E+10	3.17E+10	3.36E+10	3.26E+10
93	2.75E+10	2.82E+10	3.18E+10	2.80E+10	2.76E+10	3.13E+10	3.16E+10	2.88E+10	3.08E+10
94	2.72E+10	2.90E+10	2.87E+10	2.89E+10	2.92E+10	3.20E+10	3.07E+10	2.87E+10	2.97E+10
95	2.61E+10	2.98E+10	2.97E+10	2.98E+10	2.94E+10	3.09E+10	2.84E+10	2.71E+10	3.07E+10
96	2.87E+10	3.06E+10	2.65E+10	3.01E+10	3.09E+10	2.57E+10	2.85E+10	2.85E+10	2.77E+10
97	2.24E+10	2.81E+10	2.76E+10	2.97E+10	3.08E+10	3.10E+10	2.61E+10	2.76E+10	2.67E+10
98	2.70E+10	2.61E+10	2.56E+10	2.99E+10	2.89E+10	2.72E+10	3.00E+10	2.95E+10	2.84E+10
99	2.61E+10	2.56E+10	2.68E+10	2.71E+10	3.05E+10	2.57E+10	2.55E+10	2.74E+10	2.85E+10
100	2.58E+10	2.77E+10	2.90E+10	2.92E+10	2.85E+10	3.06E+10	3.13E+10	2.79E+10	2.88E+10
Promedio	4.78E+10	5.05E+10	5.22E+10	5.32E+10	5.36E+10	5.45E+10	5.44E+10	5.33E+10	5.26E+10

Tabla C.17. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (1-2) del elemento combustible C4 (A-007).

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	4.22E+10	4.04E+10	4.24E+10	4.29E+10	4.23E+10	4.36E+10	4.26E+10	4.70E+10	4.47E+10
2	4.19E+10	3.62E+10	3.53E+10	3.32E+10	3.61E+10	3.73E+10	3.89E+10	3.71E+10	4.01E+10
3	4.03E+10	3.59E+10	3.43E+10	3.16E+10	3.50E+10	3.32E+10	3.55E+10	4.15E+10	4.03E+10
4	4.01E+10	3.33E+10	3.50E+10	3.31E+10	3.35E+10	3.68E+10	3.39E+10	3.74E+10	3.68E+10
5	3.98E+10	3.54E+10	3.40E+10	2.97E+10	3.21E+10	3.59E+10	3.68E+10	3.61E+10	4.03E+10
6	4.43E+10	3.88E+10	3.55E+10	3.38E+10	3.39E+10	3.19E+10	3.47E+10	3.53E+10	3.81E+10
7	4.47E+10	4.08E+10	3.27E+10	3.32E+10	3.43E+10	3.15E+10	3.91E+10	4.13E+10	3.51E+10
8	4.33E+10	3.94E+10	3.62E+10	3.39E+10	3.99E+10	3.56E+10	3.51E+10	3.76E+10	4.00E+10
9	4.37E+10	4.35E+10	3.61E+10	3.76E+10	3.66E+10	3.66E+10	3.68E+10	3.93E+10	4.03E+10
10	4.61E+10	3.97E+10	4.16E+10	4.09E+10	3.84E+10	3.78E+10	3.67E+10	3.88E+10	4.64E+10
11	4.95E+10	4.54E+10	4.22E+10	4.09E+10	3.92E+10	4.21E+10	4.36E+10	4.30E+10	4.65E+10
12	4.50E+10	4.30E+10	4.18E+10	4.00E+10	4.26E+10	4.14E+10	4.35E+10	3.97E+10	4.69E+10
13	5.30E+10	4.17E+10	4.23E+10	4.28E+10	4.30E+10	4.55E+10	4.29E+10	4.06E+10	4.85E+10
14	5.46E+10	4.61E+10	4.48E+10	4.47E+10	4.27E+10	4.36E+10	4.42E+10	4.53E+10	5.12E+10
15	4.85E+10	4.83E+10	4.69E+10	4.53E+10	4.33E+10	4.42E+10	4.73E+10	4.71E+10	5.33E+10
16	5.57E+10	5.34E+10	4.29E+10	4.54E+10	4.38E+10	4.74E+10	4.75E+10	5.11E+10	5.31E+10
17	5.59E+10	5.67E+10	4.98E+10	4.49E+10	4.76E+10	4.44E+10	4.50E+10	4.73E+10	5.44E+10
18	5.88E+10	5.28E+10	5.55E+10	4.69E+10	4.88E+10	4.83E+10	4.90E+10	5.36E+10	5.34E+10
19	6.29E+10	5.58E+10	5.24E+10	4.76E+10	4.79E+10	4.90E+10	5.15E+10	5.16E+10	5.30E+10
20	6.11E+10	5.22E+10	5.16E+10	5.02E+10	4.72E+10	5.25E+10	5.65E+10	5.87E+10	5.97E+10
21	6.25E+10	5.76E+10	4.91E+10	5.34E+10	4.90E+10	5.49E+10	4.98E+10	5.35E+10	6.64E+10
22	6.44E+10	5.89E+10	5.32E+10	5.16E+10	5.76E+10	5.27E+10	5.49E+10	5.54E+10	5.83E+10
23	5.93E+10	5.97E+10	5.39E+10	5.18E+10	5.56E+10	5.73E+10	6.05E+10	6.19E+10	6.52E+10
24	7.01E+10	5.77E+10	6.18E+10	5.50E+10	5.71E+10	5.87E+10	5.99E+10	5.97E+10	6.10E+10
25	6.70E+10	6.38E+10	5.60E+10	5.75E+10	5.91E+10	5.71E+10	6.32E+10	6.00E+10	6.20E+10
26	6.94E+10	6.52E+10	5.82E+10	5.95E+10	5.95E+10	5.96E+10	5.53E+10	6.29E+10	6.29E+10
27	7.17E+10	6.44E+10	6.21E+10	6.01E+10	6.15E+10	5.92E+10	5.66E+10	6.14E+10	6.46E+10
28	7.06E+10	6.61E+10	6.01E+10	5.87E+10	5.57E+10	6.12E+10	6.38E+10	6.29E+10	6.83E+10
29	7.58E+10	6.56E+10	6.05E+10	5.93E+10	6.31E+10	6.33E+10	5.93E+10	6.50E+10	6.82E+10
30	7.12E+10	7.04E+10	6.61E+10	6.20E+10	5.99E+10	5.78E+10	5.91E+10	6.40E+10	7.04E+10
31	7.23E+10	6.60E+10	6.45E+10	6.44E+10	5.94E+10	6.31E+10	6.51E+10	6.47E+10	7.19E+10
32	7.44E+10	6.42E+10	6.24E+10	6.03E+10	5.88E+10	5.94E+10	6.37E+10	6.81E+10	7.07E+10
33	7.62E+10	6.56E+10	6.64E+10	6.50E+10	6.15E+10	6.46E+10	6.29E+10	6.72E+10	7.26E+10
34	7.51E+10	6.93E+10	6.47E+10	6.72E+10	6.02E+10	5.97E+10	6.23E+10	6.44E+10	6.83E+10
35	6.79E+10	7.11E+10	6.08E+10	6.79E+10	6.14E+10	6.82E+10	6.57E+10	6.48E+10	6.86E+10
36	7.90E+10	6.99E+10	6.51E+10	6.08E+10	6.69E+10	6.88E+10	6.72E+10	7.14E+10	7.29E+10
37	7.99E+10	7.43E+10	6.10E+10	6.52E+10	6.79E+10	6.74E+10	6.62E+10	7.40E+10	7.41E+10
38	7.37E+10	6.66E+10	6.32E+10	6.94E+10	7.04E+10	7.12E+10	6.86E+10	7.28E+10	7.62E+10
39	7.77E+10	7.57E+10	6.88E+10	6.72E+10	6.86E+10	6.75E+10	6.99E+10	6.71E+10	7.45E+10
40	7.90E+10	7.11E+10	6.88E+10	6.99E+10	6.55E+10	6.89E+10	7.15E+10	6.66E+10	7.49E+10
41	8.16E+10	6.87E+10	6.37E+10	7.26E+10	6.68E+10	6.43E+10	6.64E+10	6.71E+10	7.68E+10
42	7.99E+10	7.61E+10	6.96E+10	6.96E+10	7.34E+10	6.62E+10	6.91E+10	6.98E+10	8.09E+10
43	8.44E+10	7.22E+10	7.25E+10	6.96E+10	6.95E+10	6.97E+10	6.91E+10	7.20E+10	7.65E+10
44	7.99E+10	7.63E+10	6.80E+10	6.72E+10	6.80E+10	6.36E+10	7.27E+10	7.23E+10	7.72E+10
45	8.19E+10	6.89E+10	6.83E+10	6.65E+10	6.63E+10	6.46E+10	7.19E+10	6.74E+10	8.12E+10
46	8.33E+10	7.16E+10	6.57E+10	7.14E+10	6.81E+10	6.84E+10	6.43E+10	7.09E+10	7.22E+10
47	8.87E+10	6.69E+10	6.57E+10	6.95E+10	6.82E+10	7.05E+10	6.45E+10	7.24E+10	7.87E+10
48	8.51E+10	7.53E+10	7.30E+10	6.84E+10	6.17E+10	6.70E+10	6.91E+10	7.19E+10	7.20E+10
49	7.87E+10	7.91E+10	7.41E+10	6.97E+10	6.54E+10	7.35E+10	6.88E+10	7.02E+10	7.35E+10
50	8.37E+10	7.34E+10	7.47E+10	6.84E+10	7.14E+10	6.76E+10	6.88E+10	7.16E+10	7.94E+10

51	8.12E+10	8.17E+10	7.23E+10	6.85E+10	6.53E+10	6.70E+10	6.45E+10	7.30E+10	8.09E+10
52	8.22E+10	7.33E+10	6.75E+10	6.68E+10	6.75E+10	6.90E+10	6.71E+10	7.03E+10	7.55E+10
53	8.73E+10	7.51E+10	6.68E+10	6.59E+10	6.75E+10	7.19E+10	7.35E+10	6.98E+10	7.74E+10
54	8.05E+10	7.72E+10	6.72E+10	6.85E+10	6.80E+10	7.12E+10	6.94E+10	6.71E+10	7.61E+10
55	8.24E+10	7.46E+10	7.07E+10	6.77E+10	6.66E+10	6.52E+10	6.77E+10	7.39E+10	7.53E+10
56	7.66E+10	7.27E+10	6.89E+10	6.53E+10	6.71E+10	6.84E+10	6.39E+10	6.67E+10	6.92E+10
57	7.08E+10	7.39E+10	7.20E+10	7.24E+10	6.66E+10	5.95E+10	6.79E+10	7.04E+10	7.47E+10
58	7.75E+10	7.53E+10	7.25E+10	6.92E+10	6.90E+10	6.66E+10	7.12E+10	7.30E+10	7.45E+10
59	7.97E+10	7.11E+10	7.30E+10	6.67E+10	6.52E+10	6.37E+10	6.95E+10	6.69E+10	7.48E+10
60	8.01E+10	6.88E+10	6.66E+10	6.20E+10	6.37E+10	6.88E+10	6.51E+10	7.18E+10	7.94E+10
61	7.31E+10	6.91E+10	6.32E+10	6.45E+10	6.12E+10	6.76E+10	6.48E+10	7.26E+10	7.14E+10
62	7.62E+10	7.09E+10	6.46E+10	6.56E+10	6.49E+10	6.50E+10	6.43E+10	6.62E+10	7.43E+10
63	7.25E+10	6.52E+10	6.37E+10	6.51E+10	6.39E+10	6.02E+10	6.71E+10	6.14E+10	7.51E+10
64	7.17E+10	6.64E+10	6.24E+10	6.49E+10	6.02E+10	6.19E+10	6.57E+10	6.79E+10	6.81E+10
65	7.45E+10	6.51E+10	6.35E+10	5.80E+10	5.81E+10	6.59E+10	6.73E+10	6.78E+10	6.99E+10
66	7.64E+10	6.77E+10	6.38E+10	6.26E+10	6.12E+10	6.47E+10	6.67E+10	6.59E+10	6.47E+10
67	7.13E+10	6.29E+10	5.60E+10	5.60E+10	5.65E+10	6.07E+10	5.84E+10	6.13E+10	6.74E+10
68	6.94E+10	6.18E+10	6.19E+10	6.14E+10	5.82E+10	5.88E+10	5.96E+10	6.39E+10	6.76E+10
69	7.20E+10	6.61E+10	5.72E+10	5.90E+10	5.70E+10	6.17E+10	6.05E+10	6.32E+10	6.94E+10
70	7.11E+10	5.98E+10	5.98E+10	5.52E+10	5.78E+10	6.07E+10	6.53E+10	6.76E+10	6.75E+10
71	7.36E+10	6.05E+10	5.96E+10	5.58E+10	5.95E+10	5.75E+10	6.10E+10	6.69E+10	6.40E+10
72	6.70E+10	5.82E+10	6.22E+10	5.76E+10	6.13E+10	5.63E+10	5.83E+10	5.91E+10	6.18E+10
73	6.79E+10	5.94E+10	5.42E+10	5.25E+10	5.49E+10	5.75E+10	5.72E+10	5.81E+10	6.46E+10
74	7.08E+10	5.77E+10	5.23E+10	5.67E+10	5.36E+10	5.69E+10	6.27E+10	6.04E+10	6.10E+10
75	6.30E+10	6.09E+10	5.77E+10	5.31E+10	5.33E+10	5.49E+10	5.87E+10	5.87E+10	6.00E+10
76	6.60E+10	5.59E+10	5.53E+10	5.52E+10	5.12E+10	5.32E+10	5.30E+10	5.17E+10	6.06E+10
77	5.96E+10	5.24E+10	5.06E+10	5.26E+10	4.92E+10	5.07E+10	5.33E+10	5.52E+10	5.83E+10
78	5.65E+10	5.13E+10	5.06E+10	5.41E+10	4.63E+10	4.80E+10	5.08E+10	5.40E+10	5.93E+10
79	5.84E+10	5.28E+10	5.49E+10	4.75E+10	5.06E+10	4.92E+10	5.13E+10	5.54E+10	5.33E+10
80	5.46E+10	5.05E+10	4.94E+10	5.27E+10	4.67E+10	4.50E+10	5.11E+10	5.10E+10	4.79E+10
81	5.85E+10	5.42E+10	5.01E+10	4.81E+10	4.69E+10	4.99E+10	4.84E+10	4.24E+10	5.23E+10
82	5.57E+10	5.62E+10	4.57E+10	4.69E+10	4.55E+10	4.59E+10	4.63E+10	4.33E+10	5.28E+10
83	5.61E+10	4.96E+10	4.57E+10	4.45E+10	4.39E+10	4.06E+10	4.56E+10	5.08E+10	5.46E+10
84	5.03E+10	4.74E+10	4.28E+10	4.34E+10	4.26E+10	4.33E+10	4.18E+10	4.68E+10	5.24E+10
85	5.29E+10	4.63E+10	4.45E+10	3.97E+10	4.37E+10	4.16E+10	4.20E+10	4.42E+10	4.49E+10
86	5.58E+10	4.20E+10	3.96E+10	4.26E+10	4.10E+10	3.82E+10	3.98E+10	4.20E+10	4.49E+10
87	5.26E+10	4.10E+10	3.80E+10	3.99E+10	3.70E+10	3.82E+10	3.92E+10	4.10E+10	4.52E+10
88	4.49E+10	4.44E+10	3.82E+10	3.94E+10	3.88E+10	3.83E+10	3.51E+10	3.76E+10	4.30E+10
89	4.33E+10	3.84E+10	3.89E+10	3.95E+10	3.79E+10	3.75E+10	3.86E+10	3.99E+10	4.01E+10
90	4.69E+10	4.20E+10	3.51E+10	3.72E+10	3.30E+10	3.62E+10	3.80E+10	3.99E+10	3.69E+10
91	4.88E+10	3.90E+10	3.51E+10	3.63E+10	3.60E+10	3.49E+10	3.24E+10	3.73E+10	3.54E+10
92	4.16E+10	3.64E+10	3.37E+10	3.64E+10	3.40E+10	3.03E+10	3.46E+10	3.30E+10	3.60E+10
93	4.27E+10	3.51E+10	3.12E+10	3.52E+10	3.39E+10	3.19E+10	2.98E+10	3.36E+10	3.48E+10
94	4.02E+10	3.22E+10	3.20E+10	3.12E+10	2.96E+10	2.88E+10	3.17E+10	3.13E+10	3.36E+10
95	3.71E+10	2.82E+10	3.35E+10	2.87E+10	2.90E+10	2.97E+10	2.77E+10	2.97E+10	3.62E+10
96	3.82E+10	3.12E+10	2.93E+10	2.81E+10	2.83E+10	3.00E+10	2.86E+10	3.23E+10	3.44E+10
97	3.68E+10	3.50E+10	3.16E+10	2.95E+10	2.79E+10	2.84E+10	2.74E+10	3.03E+10	3.46E+10
98	3.65E+10	3.48E+10	3.16E+10	2.94E+10	3.07E+10	2.86E+10	3.01E+10	3.14E+10	3.33E+10
99	3.64E+10	3.28E+10	3.13E+10	3.37E+10	2.97E+10	3.29E+10	3.05E+10	2.95E+10	3.48E+10
100	4.09E+10	3.70E+10	4.16E+10	3.59E+10	3.93E+10	3.56E+10	3.41E+10	3.12E+10	3.67E+10
Promedio	6.32E+10	5.69E+10	5.36E+10	5.29E+10	5.23E+10	5.28E+10	5.37E+10	5.54E+10	5.93E+10

Tabla C.18. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (5-6) del elemento combustible C4 (A-007).

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	4.47E+10	4.32E+10	4.25E+10	4.02E+10	3.75E+10	3.91E+10	4.18E+10	4.37E+10	4.36E+10
2	4.30E+10	3.62E+10	3.45E+10	3.41E+10	3.87E+10	3.67E+10	3.32E+10	3.36E+10	4.17E+10
3	4.34E+10	3.31E+10	3.65E+10	3.46E+10	3.34E+10	3.72E+10	3.25E+10	3.46E+10	3.82E+10
4	4.34E+10	3.71E+10	3.25E+10	3.35E+10	3.05E+10	3.38E+10	3.77E+10	3.79E+10	4.11E+10
5	3.87E+10	3.85E+10	3.36E+10	3.15E+10	3.67E+10	3.16E+10	3.03E+10	3.62E+10	3.60E+10
6	3.99E+10	3.68E+10	3.49E+10	3.11E+10	3.25E+10	3.15E+10	3.48E+10	3.66E+10	3.71E+10
7	4.72E+10	3.53E+10	3.50E+10	3.01E+10	3.40E+10	3.66E+10	3.38E+10	3.73E+10	3.81E+10
8	4.54E+10	3.79E+10	3.38E+10	2.95E+10	3.32E+10	3.36E+10	3.99E+10	3.81E+10	3.74E+10
9	4.36E+10	4.05E+10	3.52E+10	3.50E+10	3.32E+10	3.60E+10	3.64E+10	4.01E+10	4.04E+10
10	4.90E+10	4.29E+10	3.87E+10	3.74E+10	3.58E+10	3.58E+10	3.53E+10	3.66E+10	4.51E+10
11	5.14E+10	4.33E+10	3.95E+10	4.11E+10	3.74E+10	3.64E+10	4.08E+10	4.14E+10	4.62E+10
12	4.70E+10	4.32E+10	4.03E+10	3.73E+10	3.59E+10	4.02E+10	4.08E+10	4.37E+10	4.52E+10
13	5.35E+10	4.52E+10	4.33E+10	4.15E+10	3.87E+10	3.98E+10	4.19E+10	4.42E+10	4.47E+10
14	5.52E+10	4.75E+10	4.73E+10	4.46E+10	4.28E+10	4.50E+10	4.54E+10	4.31E+10	4.47E+10
15	5.20E+10	5.08E+10	4.10E+10	4.29E+10	4.23E+10	4.26E+10	4.57E+10	4.20E+10	4.80E+10
16	4.99E+10	4.86E+10	4.22E+10	4.85E+10	5.01E+10	4.69E+10	4.73E+10	5.18E+10	5.03E+10
17	5.39E+10	5.13E+10	4.63E+10	4.90E+10	4.68E+10	4.71E+10	5.01E+10	5.05E+10	5.27E+10
18	5.56E+10	5.55E+10	4.91E+10	5.05E+10	4.54E+10	4.98E+10	5.21E+10	5.21E+10	5.12E+10
19	5.90E+10	5.89E+10	5.13E+10	5.28E+10	4.85E+10	4.79E+10	4.91E+10	5.18E+10	5.69E+10
20	6.23E+10	5.42E+10	4.88E+10	5.15E+10	4.90E+10	5.19E+10	5.33E+10	5.36E+10	6.11E+10
21	5.99E+10	5.21E+10	5.30E+10	4.92E+10	5.32E+10	5.15E+10	5.42E+10	5.60E+10	5.83E+10
22	6.39E+10	5.88E+10	5.39E+10	5.45E+10	5.40E+10	5.49E+10	5.14E+10	5.31E+10	5.58E+10
23	6.41E+10	6.09E+10	5.23E+10	5.79E+10	5.15E+10	5.94E+10	5.45E+10	5.70E+10	6.21E+10
24	6.42E+10	5.46E+10	5.52E+10	5.34E+10	5.58E+10	5.55E+10	5.06E+10	5.71E+10	6.53E+10
25	6.32E+10	5.76E+10	5.71E+10	5.51E+10	5.34E+10	6.00E+10	5.80E+10	6.01E+10	6.22E+10
26	7.28E+10	6.18E+10	5.59E+10	5.65E+10	5.61E+10	5.83E+10	5.36E+10	6.30E+10	6.64E+10
27	6.56E+10	6.09E+10	6.07E+10	5.76E+10	6.19E+10	5.80E+10	6.09E+10	6.21E+10	6.68E+10
28	6.70E+10	6.04E+10	6.08E+10	5.86E+10	5.69E+10	5.74E+10	5.89E+10	6.60E+10	6.64E+10
29	7.18E+10	6.41E+10	6.08E+10	6.24E+10	5.98E+10	6.06E+10	6.20E+10	6.18E+10	6.94E+10
30	7.77E+10	6.52E+10	5.94E+10	6.28E+10	6.01E+10	6.23E+10	6.03E+10	5.65E+10	6.47E+10
31	7.60E+10	6.56E+10	5.97E+10	6.03E+10	5.78E+10	6.10E+10	6.27E+10	5.88E+10	6.84E+10
32	7.13E+10	6.63E+10	5.83E+10	5.96E+10	6.16E+10	5.90E+10	6.36E+10	6.46E+10	7.29E+10
33	7.60E+10	6.86E+10	6.55E+10	6.39E+10	6.02E+10	6.40E+10	6.48E+10	6.77E+10	6.92E+10
34	7.50E+10	7.08E+10	6.77E+10	6.26E+10	6.47E+10	6.36E+10	7.00E+10	6.59E+10	7.00E+10
35	7.21E+10	6.71E+10	6.65E+10	6.17E+10	5.91E+10	6.17E+10	6.94E+10	7.08E+10	7.07E+10
36	8.18E+10	7.09E+10	6.60E+10	6.34E+10	6.13E+10	6.13E+10	6.41E+10	6.63E+10	7.28E+10
37	8.07E+10	6.56E+10	6.18E+10	6.47E+10	6.09E+10	6.17E+10	6.97E+10	6.85E+10	7.61E+10
38	7.82E+10	6.99E+10	6.52E+10	6.53E+10	6.15E+10	6.73E+10	6.95E+10	7.15E+10	7.36E+10
39	7.86E+10	6.95E+10	6.84E+10	6.65E+10	6.57E+10	6.80E+10	6.94E+10	6.93E+10	7.30E+10
40	8.00E+10	7.28E+10	6.53E+10	6.90E+10	6.48E+10	6.37E+10	6.67E+10	6.92E+10	7.33E+10
41	7.98E+10	7.52E+10	6.84E+10	6.26E+10	6.72E+10	6.70E+10	6.82E+10	6.86E+10	7.48E+10
42	8.23E+10	8.29E+10	6.86E+10	6.56E+10	6.63E+10	6.28E+10	7.13E+10	7.15E+10	7.47E+10
43	8.04E+10	7.61E+10	6.74E+10	6.74E+10	6.25E+10	6.74E+10	6.43E+10	7.23E+10	7.77E+10
44	8.19E+10	7.43E+10	6.80E+10	6.49E+10	6.88E+10	6.64E+10	6.85E+10	7.07E+10	7.95E+10
45	7.91E+10	7.62E+10	7.23E+10	7.24E+10	7.09E+10	6.80E+10	6.60E+10	7.32E+10	7.96E+10
46	8.68E+10	7.18E+10	7.51E+10	7.04E+10	6.93E+10	7.28E+10	7.36E+10	7.11E+10	7.78E+10
47	8.07E+10	7.62E+10	6.69E+10	6.70E+10	6.74E+10	6.85E+10	7.49E+10	6.88E+10	8.26E+10
48	8.11E+10	7.23E+10	7.07E+10	7.14E+10	6.71E+10	6.76E+10	7.36E+10	7.67E+10	7.99E+10
49	8.06E+10	7.82E+10	6.79E+10	7.36E+10	6.98E+10	6.81E+10	7.26E+10	7.04E+10	7.19E+10
50	8.17E+10	7.00E+10	7.46E+10	7.46E+10	6.75E+10	7.09E+10	7.25E+10	7.56E+10	7.46E+10
51	8.10E+10	7.51E+10	6.94E+10	6.96E+10	7.27E+10	6.99E+10	7.28E+10	7.49E+10	7.31E+10

52	8.07E+10	7.25E+10	6.87E+10	6.85E+10	6.75E+10	6.75E+10	7.03E+10	6.92E+10	7.84E+10
53	8.28E+10	7.31E+10	7.04E+10	7.31E+10	6.90E+10	6.89E+10	7.31E+10	6.76E+10	7.50E+10
54	8.20E+10	7.95E+10	7.32E+10	6.95E+10	6.51E+10	6.70E+10	6.76E+10	6.82E+10	7.81E+10
55	7.83E+10	7.35E+10	6.69E+10	7.16E+10	6.46E+10	6.61E+10	6.74E+10	7.06E+10	7.61E+10
56	7.80E+10	7.37E+10	6.68E+10	6.42E+10	6.43E+10	7.00E+10	7.20E+10	7.07E+10	7.66E+10
57	7.80E+10	7.03E+10	6.68E+10	6.40E+10	6.52E+10	6.71E+10	6.38E+10	7.02E+10	6.96E+10
58	7.28E+10	7.22E+10	6.69E+10	6.53E+10	6.54E+10	6.12E+10	6.39E+10	6.88E+10	6.98E+10
59	7.64E+10	7.23E+10	6.65E+10	5.82E+10	6.19E+10	6.38E+10	6.75E+10	6.62E+10	7.04E+10
60	7.44E+10	6.74E+10	6.40E+10	6.47E+10	6.65E+10	6.80E+10	6.27E+10	7.25E+10	7.11E+10
61	7.59E+10	6.89E+10	6.77E+10	6.80E+10	6.47E+10	6.33E+10	6.43E+10	6.91E+10	7.16E+10
62	7.49E+10	6.43E+10	6.14E+10	6.20E+10	6.13E+10	6.21E+10	6.40E+10	6.56E+10	6.79E+10
63	7.67E+10	6.49E+10	6.36E+10	6.29E+10	6.18E+10	6.45E+10	6.03E+10	6.84E+10	6.92E+10
64	7.07E+10	6.68E+10	6.59E+10	6.24E+10	5.81E+10	5.94E+10	6.26E+10	6.37E+10	6.63E+10
65	7.31E+10	6.59E+10	6.39E+10	6.17E+10	5.63E+10	5.64E+10	6.50E+10	5.89E+10	6.07E+10
66	7.70E+10	7.20E+10	5.95E+10	6.02E+10	6.01E+10	6.11E+10	5.84E+10	6.17E+10	6.33E+10
67	7.11E+10	6.37E+10	6.03E+10	5.74E+10	6.12E+10	5.76E+10	6.27E+10	6.53E+10	6.78E+10
68	7.40E+10	6.79E+10	6.45E+10	6.36E+10	6.04E+10	6.12E+10	6.07E+10	5.99E+10	6.83E+10
69	7.27E+10	6.47E+10	6.04E+10	5.55E+10	5.70E+10	5.84E+10	5.64E+10	5.92E+10	6.98E+10
70	7.25E+10	6.41E+10	5.90E+10	5.87E+10	5.57E+10	6.17E+10	6.26E+10	6.16E+10	6.39E+10
71	6.93E+10	6.18E+10	5.77E+10	5.62E+10	5.64E+10	5.98E+10	6.20E+10	6.09E+10	6.21E+10
72	6.97E+10	6.38E+10	5.98E+10	5.39E+10	5.73E+10	5.27E+10	6.00E+10	5.76E+10	6.36E+10
73	7.27E+10	5.93E+10	5.76E+10	5.69E+10	5.82E+10	5.19E+10	5.20E+10	5.52E+10	6.32E+10
74	6.22E+10	6.15E+10	5.52E+10	5.54E+10	5.44E+10	5.67E+10	5.33E+10	5.66E+10	5.95E+10
75	6.55E+10	5.72E+10	5.53E+10	5.45E+10	5.53E+10	5.69E+10	5.31E+10	5.72E+10	6.03E+10
76	6.10E+10	5.43E+10	5.56E+10	5.32E+10	5.58E+10	5.30E+10	5.54E+10	6.01E+10	5.93E+10
77	6.05E+10	5.61E+10	5.61E+10	4.92E+10	5.15E+10	5.13E+10	5.29E+10	5.33E+10	5.55E+10
78	6.28E+10	5.23E+10	5.03E+10	5.46E+10	5.31E+10	5.20E+10	5.20E+10	5.02E+10	5.70E+10
79	6.18E+10	5.66E+10	5.20E+10	4.60E+10	4.77E+10	4.86E+10	5.20E+10	5.43E+10	5.47E+10
80	6.19E+10	5.30E+10	5.11E+10	4.85E+10	4.51E+10	4.84E+10	4.92E+10	4.58E+10	5.45E+10
81	5.69E+10	5.30E+10	4.69E+10	4.89E+10	4.70E+10	4.33E+10	4.69E+10	4.97E+10	5.20E+10
82	5.42E+10	4.68E+10	4.65E+10	4.51E+10	4.41E+10	4.37E+10	4.53E+10	5.26E+10	5.12E+10
83	5.54E+10	4.88E+10	4.24E+10	4.76E+10	4.52E+10	4.39E+10	4.21E+10	4.79E+10	4.97E+10
84	5.69E+10	4.79E+10	4.62E+10	4.37E+10	4.11E+10	4.17E+10	4.35E+10	4.70E+10	4.74E+10
85	4.83E+10	4.48E+10	4.19E+10	4.40E+10	4.29E+10	4.18E+10	4.43E+10	4.30E+10	4.68E+10
86	5.14E+10	4.46E+10	4.06E+10	4.24E+10	4.24E+10	3.86E+10	4.12E+10	3.94E+10	4.36E+10
87	4.98E+10	4.29E+10	3.97E+10	4.01E+10	4.28E+10	4.36E+10	4.04E+10	4.07E+10	4.03E+10
88	4.90E+10	4.27E+10	4.06E+10	3.82E+10	3.74E+10	3.97E+10	3.58E+10	3.94E+10	4.20E+10
89	4.79E+10	4.00E+10	4.12E+10	3.73E+10	3.67E+10	3.55E+10	3.51E+10	3.39E+10	3.90E+10
90	4.50E+10	3.79E+10	3.85E+10	3.83E+10	3.44E+10	3.50E+10	3.59E+10	3.66E+10	3.99E+10
91	4.25E+10	3.98E+10	3.70E+10	3.38E+10	3.73E+10	3.49E+10	3.45E+10	3.53E+10	3.81E+10
92	4.34E+10	3.79E+10	3.53E+10	3.30E+10	3.14E+10	3.56E+10	3.18E+10	3.66E+10	3.58E+10
93	4.00E+10	3.72E+10	2.83E+10	3.25E+10	3.18E+10	2.95E+10	3.28E+10	3.49E+10	3.35E+10
94	3.96E+10	3.49E+10	3.06E+10	3.11E+10	3.13E+10	2.62E+10	3.08E+10	3.45E+10	3.38E+10
95	3.81E+10	3.19E+10	3.12E+10	3.26E+10	3.21E+10	2.81E+10	2.97E+10	3.09E+10	3.58E+10
96	3.81E+10	3.27E+10	2.91E+10	3.23E+10	2.71E+10	2.82E+10	3.06E+10	3.01E+10	3.22E+10
97	3.64E+10	3.28E+10	3.11E+10	2.74E+10	2.97E+10	3.38E+10	3.08E+10	2.90E+10	3.25E+10
98	3.80E+10	3.17E+10	3.13E+10	2.88E+10	3.16E+10	3.12E+10	3.18E+10	3.11E+10	3.35E+10
99	3.51E+10	3.63E+10	3.29E+10	2.86E+10	3.43E+10	3.09E+10	3.22E+10	3.22E+10	3.23E+10
100	4.01E+10	3.76E+10	3.95E+10	3.47E+10	3.50E+10	3.45E+10	3.34E+10	3.87E+10	3.73E+10
Promedio	6.31E+10	5.69E+10	5.33E+10	5.24E+10	5.17E+10	5.21E+10	5.33E+10	5.48E+10	5.82E+10

Tabla C.19. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (11-12) del elemento combustible C4 (A-007).

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	4.62E+10	4.69E+10	4.41E+10	4.18E+10	4.21E+10	3.91E+10	4.24E+10	4.74E+10	4.16E+10
2	3.99E+10	3.88E+10	3.86E+10	3.89E+10	3.49E+10	3.52E+10	3.67E+10	3.58E+10	3.78E+10
3	4.13E+10	3.70E+10	3.25E+10	3.41E+10	3.40E+10	3.07E+10	3.11E+10	3.58E+10	4.09E+10
4	4.28E+10	3.62E+10	3.46E+10	3.59E+10	3.17E+10	3.59E+10	3.47E+10	3.50E+10	3.84E+10
5	4.13E+10	3.94E+10	3.36E+10	3.17E+10	3.24E+10	3.45E+10	3.45E+10	3.65E+10	3.99E+10
6	4.25E+10	4.00E+10	3.78E+10	3.41E+10	3.35E+10	3.47E+10	3.59E+10	3.60E+10	3.80E+10
7	4.74E+10	3.54E+10	3.62E+10	3.56E+10	3.69E+10	3.52E+10	3.81E+10	3.83E+10	3.88E+10
8	4.11E+10	3.71E+10	3.61E+10	3.56E+10	3.41E+10	3.40E+10	3.63E+10	4.17E+10	4.06E+10
9	4.57E+10	3.85E+10	3.97E+10	3.73E+10	3.35E+10	3.73E+10	3.62E+10	4.07E+10	4.41E+10
10	4.61E+10	4.40E+10	3.88E+10	3.64E+10	4.05E+10	3.80E+10	3.94E+10	4.36E+10	4.38E+10
11	4.53E+10	4.24E+10	4.00E+10	4.15E+10	3.93E+10	3.94E+10	4.30E+10	4.55E+10	4.61E+10
12	5.30E+10	4.70E+10	4.37E+10	4.29E+10	3.87E+10	4.00E+10	4.42E+10	4.58E+10	4.83E+10
13	5.29E+10	4.58E+10	4.41E+10	4.43E+10	4.47E+10	4.22E+10	4.18E+10	4.61E+10	4.89E+10
14	5.99E+10	4.28E+10	4.14E+10	4.89E+10	4.38E+10	4.82E+10	4.50E+10	5.09E+10	4.96E+10
15	5.77E+10	5.28E+10	4.48E+10	4.27E+10	4.80E+10	4.69E+10	4.87E+10	4.64E+10	5.18E+10
16	5.82E+10	4.94E+10	4.82E+10	4.91E+10	4.69E+10	4.55E+10	4.68E+10	4.90E+10	5.77E+10
17	6.19E+10	5.52E+10	4.47E+10	4.83E+10	4.88E+10	5.19E+10	4.87E+10	5.10E+10	5.45E+10
18	5.95E+10	5.30E+10	4.83E+10	4.78E+10	5.33E+10	4.92E+10	5.23E+10	5.13E+10	5.79E+10
19	5.94E+10	5.51E+10	5.10E+10	5.21E+10	5.18E+10	5.02E+10	5.49E+10	5.30E+10	6.10E+10
20	6.14E+10	5.53E+10	4.98E+10	4.98E+10	5.24E+10	5.31E+10	5.23E+10	5.32E+10	5.72E+10
21	6.18E+10	5.53E+10	5.45E+10	5.77E+10	4.90E+10	5.32E+10	6.03E+10	5.16E+10	6.06E+10
22	6.50E+10	6.33E+10	5.98E+10	5.64E+10	5.27E+10	5.24E+10	5.59E+10	5.76E+10	5.82E+10
23	6.32E+10	6.21E+10	6.08E+10	5.52E+10	6.22E+10	5.91E+10	5.70E+10	6.46E+10	6.83E+10
24	6.63E+10	6.14E+10	5.59E+10	5.80E+10	6.19E+10	5.40E+10	5.95E+10	6.62E+10	6.62E+10
25	7.57E+10	6.54E+10	5.91E+10	5.79E+10	5.68E+10	5.94E+10	6.32E+10	6.23E+10	6.67E+10
26	7.41E+10	6.67E+10	6.18E+10	6.00E+10	5.89E+10	6.45E+10	6.09E+10	6.36E+10	7.26E+10
27	7.63E+10	6.33E+10	6.20E+10	6.20E+10	6.15E+10	5.66E+10	6.29E+10	6.36E+10	7.27E+10
28	7.77E+10	6.96E+10	6.69E+10	6.27E+10	5.69E+10	6.20E+10	6.12E+10	6.48E+10	6.52E+10
29	7.38E+10	6.83E+10	6.43E+10	6.54E+10	6.14E+10	6.40E+10	6.39E+10	6.34E+10	7.31E+10
30	7.24E+10	6.63E+10	6.57E+10	6.56E+10	6.13E+10	6.63E+10	6.59E+10	7.17E+10	7.19E+10
31	7.57E+10	6.78E+10	6.36E+10	6.61E+10	6.33E+10	6.36E+10	6.74E+10	6.91E+10	7.54E+10
32	7.90E+10	6.66E+10	6.62E+10	6.39E+10	6.60E+10	6.41E+10	6.50E+10	7.05E+10	7.32E+10
33	8.01E+10	7.30E+10	6.78E+10	7.08E+10	6.86E+10	6.33E+10	7.14E+10	7.25E+10	7.53E+10
34	7.54E+10	7.23E+10	6.82E+10	6.66E+10	6.32E+10	6.68E+10	6.85E+10	6.66E+10	7.08E+10
35	7.98E+10	7.00E+10	6.73E+10	6.92E+10	6.52E+10	6.52E+10	6.42E+10	6.76E+10	7.29E+10
36	7.56E+10	7.25E+10	7.28E+10	6.35E+10	6.47E+10	6.37E+10	6.96E+10	7.01E+10	6.86E+10
37	8.06E+10	7.81E+10	6.86E+10	6.80E+10	7.21E+10	6.64E+10	7.09E+10	7.28E+10	7.66E+10
38	7.88E+10	6.97E+10	7.01E+10	6.98E+10	6.92E+10	6.90E+10	6.48E+10	7.34E+10	7.55E+10
39	8.22E+10	7.02E+10	6.31E+10	6.45E+10	7.17E+10	6.67E+10	7.22E+10	7.12E+10	7.74E+10
40	8.17E+10	7.65E+10	6.84E+10	6.71E+10	6.55E+10	6.85E+10	7.12E+10	7.12E+10	7.58E+10
41	8.43E+10	7.93E+10	7.17E+10	6.83E+10	7.13E+10	6.70E+10	7.01E+10	7.23E+10	7.59E+10
42	8.63E+10	7.57E+10	7.46E+10	7.47E+10	6.84E+10	6.61E+10	7.04E+10	7.47E+10	8.05E+10
43	7.98E+10	7.30E+10	7.53E+10	6.68E+10	6.31E+10	6.86E+10	6.93E+10	7.13E+10	7.96E+10
44	8.20E+10	7.51E+10	7.76E+10	6.80E+10	6.92E+10	7.42E+10	7.38E+10	7.25E+10	8.06E+10
45	8.26E+10	7.97E+10	7.51E+10	7.23E+10	7.36E+10	7.72E+10	7.19E+10	7.41E+10	7.63E+10
46	8.23E+10	7.94E+10	6.79E+10	6.53E+10	7.17E+10	7.26E+10	7.46E+10	7.15E+10	7.75E+10
47	8.46E+10	6.95E+10	7.02E+10	6.95E+10	6.61E+10	7.35E+10	7.06E+10	7.24E+10	7.93E+10
48	8.69E+10	7.17E+10	6.92E+10	7.45E+10	6.86E+10	7.38E+10	8.03E+10	7.29E+10	7.56E+10
49	8.55E+10	7.42E+10	7.25E+10	6.96E+10	7.25E+10	6.75E+10	7.39E+10	7.22E+10	7.68E+10
50	8.25E+10	7.75E+10	7.53E+10	7.22E+10	6.88E+10	7.31E+10	6.80E+10	7.08E+10	7.69E+10
51	8.53E+10	7.27E+10	6.70E+10	7.71E+10	6.79E+10	7.17E+10	7.16E+10	6.70E+10	7.32E+10

52	8.52E+10	7.85E+10	6.76E+10	7.24E+10	7.11E+10	7.09E+10	6.86E+10	7.17E+10	7.59E+10
53	8.10E+10	7.67E+10	7.37E+10	6.84E+10	6.76E+10	6.80E+10	6.70E+10	7.13E+10	7.87E+10
54	8.57E+10	7.55E+10	7.51E+10	7.44E+10	6.43E+10	6.83E+10	7.10E+10	7.32E+10	7.49E+10
55	8.58E+10	7.99E+10	7.13E+10	6.83E+10	6.60E+10	7.00E+10	7.25E+10	7.88E+10	7.08E+10
56	8.06E+10	8.01E+10	7.12E+10	7.09E+10	7.32E+10	7.24E+10	7.39E+10	7.13E+10	7.10E+10
57	8.30E+10	7.46E+10	7.05E+10	7.06E+10	6.82E+10	7.35E+10	6.83E+10	7.10E+10	7.68E+10
58	8.25E+10	7.57E+10	7.15E+10	6.33E+10	7.04E+10	7.11E+10	6.98E+10	7.56E+10	7.52E+10
59	7.86E+10	7.16E+10	6.93E+10	7.40E+10	6.90E+10	6.64E+10	7.12E+10	7.01E+10	7.60E+10
60	7.88E+10	6.69E+10	7.19E+10	6.90E+10	6.98E+10	7.28E+10	7.04E+10	7.03E+10	7.66E+10
61	7.89E+10	7.21E+10	6.44E+10	6.97E+10	6.70E+10	6.92E+10	7.06E+10	6.74E+10	7.93E+10
62	7.77E+10	6.81E+10	6.81E+10	6.99E+10	7.06E+10	6.39E+10	6.35E+10	6.74E+10	7.73E+10
63	7.69E+10	7.45E+10	6.83E+10	6.73E+10	6.61E+10	6.55E+10	6.71E+10	6.88E+10	7.66E+10
64	7.71E+10	7.32E+10	7.39E+10	6.57E+10	6.59E+10	7.24E+10	6.59E+10	6.73E+10	6.87E+10
65	7.74E+10	6.89E+10	6.15E+10	6.59E+10	6.43E+10	6.60E+10	6.81E+10	6.91E+10	7.34E+10
66	7.34E+10	7.35E+10	6.50E+10	6.43E+10	6.54E+10	6.56E+10	6.67E+10	6.89E+10	7.34E+10
67	7.51E+10	6.89E+10	6.50E+10	6.32E+10	6.34E+10	6.92E+10	6.70E+10	6.80E+10	7.19E+10
68	7.63E+10	6.28E+10	6.59E+10	6.39E+10	6.34E+10	6.12E+10	6.29E+10	6.84E+10	6.88E+10
69	6.84E+10	6.55E+10	6.41E+10	6.36E+10	5.80E+10	6.14E+10	6.53E+10	7.17E+10	6.97E+10
70	7.55E+10	6.39E+10	6.38E+10	6.47E+10	5.71E+10	5.77E+10	6.68E+10	6.32E+10	6.91E+10
71	7.09E+10	6.47E+10	5.80E+10	5.53E+10	5.80E+10	6.65E+10	6.24E+10	6.50E+10	6.74E+10
72	7.31E+10	6.27E+10	6.37E+10	5.41E+10	5.59E+10	5.62E+10	5.90E+10	6.13E+10	6.45E+10
73	6.57E+10	6.11E+10	5.60E+10	5.44E+10	5.67E+10	5.64E+10	6.00E+10	6.40E+10	6.61E+10
74	6.90E+10	6.13E+10	6.02E+10	5.47E+10	5.43E+10	5.64E+10	6.10E+10	5.96E+10	6.41E+10
75	6.69E+10	5.73E+10	5.76E+10	5.41E+10	5.08E+10	5.80E+10	5.62E+10	5.74E+10	5.61E+10
76	6.91E+10	5.89E+10	5.33E+10	5.78E+10	5.73E+10	5.48E+10	5.49E+10	5.86E+10	5.81E+10
77	6.17E+10	6.16E+10	5.64E+10	5.79E+10	5.46E+10	5.46E+10	5.51E+10	5.31E+10	5.90E+10
78	6.44E+10	5.92E+10	5.36E+10	5.18E+10	5.11E+10	5.45E+10	5.61E+10	5.83E+10	5.93E+10
79	6.41E+10	5.78E+10	5.42E+10	5.30E+10	5.29E+10	5.02E+10	5.42E+10	5.74E+10	6.18E+10
80	6.23E+10	5.76E+10	5.25E+10	5.03E+10	5.19E+10	4.98E+10	4.88E+10	5.29E+10	5.69E+10
81	5.87E+10	5.22E+10	5.22E+10	4.87E+10	4.91E+10	4.26E+10	4.69E+10	4.96E+10	5.42E+10
82	5.41E+10	5.30E+10	4.97E+10	4.89E+10	4.99E+10	4.75E+10	4.61E+10	5.26E+10	5.61E+10
83	5.75E+10	4.85E+10	4.62E+10	4.39E+10	4.84E+10	4.50E+10	4.46E+10	5.18E+10	5.21E+10
84	5.77E+10	4.74E+10	4.29E+10	4.50E+10	4.42E+10	4.49E+10	4.46E+10	4.52E+10	5.11E+10
85	5.32E+10	4.68E+10	4.57E+10	4.77E+10	4.26E+10	4.25E+10	4.44E+10	4.69E+10	5.16E+10
86	5.35E+10	4.52E+10	4.54E+10	4.26E+10	4.12E+10	4.16E+10	4.08E+10	4.36E+10	4.67E+10
87	4.93E+10	4.35E+10	4.18E+10	4.17E+10	3.78E+10	4.37E+10	4.61E+10	4.36E+10	4.61E+10
88	5.04E+10	4.09E+10	3.84E+10	3.89E+10	3.98E+10	3.95E+10	3.97E+10	4.13E+10	4.64E+10
89	4.75E+10	4.15E+10	3.94E+10	3.70E+10	3.59E+10	3.94E+10	4.31E+10	4.10E+10	4.35E+10
90	4.31E+10	4.40E+10	3.85E+10	3.59E+10	3.52E+10	3.78E+10	4.18E+10	3.84E+10	4.15E+10
91	4.31E+10	3.69E+10	3.59E+10	3.70E+10	3.18E+10	3.52E+10	3.52E+10	3.83E+10	3.97E+10
92	4.27E+10	3.87E+10	3.57E+10	3.39E+10	3.35E+10	3.38E+10	3.39E+10	3.48E+10	3.90E+10
93	4.17E+10	3.90E+10	3.69E+10	3.19E+10	3.23E+10	3.39E+10	3.45E+10	3.29E+10	3.13E+10
94	4.14E+10	3.52E+10	3.31E+10	3.43E+10	2.86E+10	2.97E+10	3.28E+10	3.41E+10	3.87E+10
95	4.10E+10	3.49E+10	3.28E+10	3.15E+10	2.85E+10	3.35E+10	2.92E+10	3.44E+10	3.56E+10
96	3.84E+10	3.23E+10	3.00E+10	3.21E+10	3.08E+10	3.18E+10	3.02E+10	3.32E+10	3.66E+10
97	3.94E+10	3.28E+10	3.29E+10	2.77E+10	3.07E+10	3.03E+10	3.48E+10	3.38E+10	3.33E+10
98	3.76E+10	3.68E+10	3.15E+10	3.03E+10	3.11E+10	3.02E+10	3.20E+10	3.12E+10	3.31E+10
99	3.99E+10	3.58E+10	3.00E+10	3.19E+10	3.51E+10	3.32E+10	3.49E+10	3.14E+10	3.57E+10
100	4.33E+10	3.86E+10	3.89E+10	3.46E+10	3.85E+10	4.07E+10	4.06E+10	3.49E+10	4.37E+10
Promedio	6.52E+10	5.87E+10	5.56E+10	5.47E+10	5.38E+10	5.46E+10	5.57E+10	5.72E+10	6.08E+10

Tabla C.20. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (15-16) del elemento combustible C4 (A-007).

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	4.88E+10	4.44E+10	4.53E+10	4.33E+10	4.53E+10	4.56E+10	4.44E+10	4.62E+10	4.91E+10
2	4.55E+10	3.92E+10	3.68E+10	3.83E+10	3.68E+10	4.00E+10	4.00E+10	4.00E+10	4.53E+10
3	4.30E+10	3.83E+10	3.66E+10	3.69E+10	3.49E+10	3.27E+10	3.82E+10	3.85E+10	4.42E+10
4	4.24E+10	3.93E+10	3.57E+10	3.56E+10	3.44E+10	3.26E+10	3.62E+10	3.50E+10	4.08E+10
5	4.37E+10	4.09E+10	3.45E+10	3.52E+10	3.52E+10	3.53E+10	3.49E+10	3.84E+10	3.94E+10
6	4.31E+10	4.18E+10	3.51E+10	3.67E+10	3.77E+10	3.14E+10	3.46E+10	3.93E+10	4.33E+10
7	4.41E+10	4.48E+10	3.53E+10	3.70E+10	3.49E+10	3.64E+10	3.72E+10	3.76E+10	4.37E+10
8	4.83E+10	4.17E+10	4.22E+10	3.98E+10	3.72E+10	3.86E+10	4.36E+10	4.37E+10	4.48E+10
9	4.76E+10	4.12E+10	3.97E+10	3.94E+10	3.77E+10	4.08E+10	4.21E+10	4.62E+10	4.69E+10
10	5.25E+10	4.22E+10	4.10E+10	4.20E+10	4.28E+10	3.86E+10	4.48E+10	4.56E+10	4.62E+10
11	5.24E+10	4.52E+10	4.45E+10	4.20E+10	3.89E+10	4.27E+10	4.56E+10	4.70E+10	4.75E+10
12	5.54E+10	4.60E+10	4.47E+10	4.59E+10	4.28E+10	4.67E+10	4.42E+10	4.89E+10	4.70E+10
13	5.73E+10	4.93E+10	4.46E+10	4.52E+10	4.72E+10	4.68E+10	5.00E+10	4.81E+10	5.04E+10
14	5.37E+10	5.21E+10	4.57E+10	4.76E+10	4.71E+10	4.50E+10	4.54E+10	4.73E+10	5.57E+10
15	5.83E+10	5.15E+10	5.06E+10	4.33E+10	4.76E+10	4.72E+10	4.74E+10	5.62E+10	5.58E+10
16	6.32E+10	5.26E+10	4.87E+10	4.57E+10	4.53E+10	4.87E+10	5.28E+10	5.57E+10	5.71E+10
17	5.93E+10	5.33E+10	5.13E+10	5.03E+10	4.55E+10	5.20E+10	4.98E+10	5.48E+10	5.69E+10
18	5.74E+10	5.52E+10	5.17E+10	5.61E+10	4.79E+10	5.23E+10	4.95E+10	5.44E+10	5.53E+10
19	6.08E+10	5.56E+10	5.19E+10	5.42E+10	5.38E+10	4.71E+10	5.32E+10	5.78E+10	6.21E+10
20	6.25E+10	5.83E+10	5.58E+10	5.31E+10	5.38E+10	5.49E+10	5.31E+10	5.33E+10	6.31E+10
21	5.99E+10	5.71E+10	5.43E+10	5.48E+10	5.59E+10	5.57E+10	5.89E+10	6.21E+10	6.64E+10
22	6.18E+10	5.65E+10	5.59E+10	5.33E+10	5.47E+10	5.42E+10	5.83E+10	6.02E+10	6.93E+10
23	6.59E+10	6.48E+10	5.59E+10	5.83E+10	6.07E+10	5.81E+10	5.79E+10	6.36E+10	6.60E+10
24	6.87E+10	6.50E+10	6.09E+10	6.10E+10	5.82E+10	6.03E+10	6.41E+10	6.40E+10	6.93E+10
25	6.86E+10	6.18E+10	5.94E+10	5.49E+10	5.84E+10	5.84E+10	6.66E+10	6.58E+10	6.69E+10
26	8.00E+10	6.51E+10	6.05E+10	6.04E+10	6.33E+10	5.95E+10	6.37E+10	6.57E+10	7.42E+10
27	7.80E+10	6.52E+10	6.76E+10	6.32E+10	6.11E+10	6.18E+10	7.00E+10	6.57E+10	7.25E+10
28	8.04E+10	6.91E+10	6.15E+10	5.93E+10	6.12E+10	5.92E+10	5.87E+10	7.24E+10	7.17E+10
29	7.95E+10	6.91E+10	6.88E+10	6.25E+10	6.38E+10	6.84E+10	6.57E+10	6.97E+10	7.11E+10
30	7.78E+10	7.39E+10	6.72E+10	6.55E+10	7.21E+10	6.93E+10	6.87E+10	6.96E+10	7.68E+10
31	8.04E+10	7.28E+10	6.96E+10	6.66E+10	6.41E+10	6.29E+10	6.74E+10	7.04E+10	7.71E+10
32	7.78E+10	7.08E+10	6.98E+10	6.56E+10	6.51E+10	6.94E+10	6.94E+10	7.30E+10	7.88E+10
33	7.67E+10	7.49E+10	6.89E+10	6.80E+10	6.69E+10	7.09E+10	7.32E+10	7.10E+10	7.65E+10
34	7.77E+10	7.22E+10	7.09E+10	7.07E+10	6.65E+10	7.12E+10	7.59E+10	7.20E+10	7.87E+10
35	7.92E+10	7.88E+10	7.11E+10	6.97E+10	6.59E+10	7.67E+10	7.11E+10	7.57E+10	7.98E+10
36	7.76E+10	7.50E+10	7.00E+10	6.58E+10	7.33E+10	6.69E+10	6.59E+10	7.10E+10	8.51E+10
37	8.50E+10	7.54E+10	7.38E+10	7.05E+10	7.07E+10	7.03E+10	6.87E+10	7.45E+10	8.09E+10
38	8.36E+10	7.02E+10	7.11E+10	7.40E+10	6.64E+10	6.30E+10	7.03E+10	7.72E+10	8.33E+10
39	8.73E+10	7.45E+10	6.86E+10	6.79E+10	7.22E+10	6.96E+10	7.11E+10	7.30E+10	8.17E+10
40	7.90E+10	7.70E+10	7.33E+10	6.88E+10	6.55E+10	7.25E+10	7.13E+10	8.55E+10	8.04E+10
41	8.48E+10	7.70E+10	7.60E+10	6.85E+10	6.56E+10	6.96E+10	6.79E+10	7.71E+10	8.26E+10
42	8.10E+10	7.75E+10	7.80E+10	7.19E+10	7.44E+10	7.11E+10	7.36E+10	7.76E+10	8.12E+10
43	8.17E+10	7.54E+10	7.42E+10	7.30E+10	7.44E+10	7.07E+10	7.80E+10	7.73E+10	8.68E+10
44	7.95E+10	7.76E+10	6.73E+10	7.37E+10	7.60E+10	7.44E+10	7.54E+10	7.88E+10	8.65E+10
45	7.84E+10	7.99E+10	7.55E+10	7.16E+10	6.68E+10	7.56E+10	7.50E+10	8.22E+10	8.69E+10
46	8.35E+10	7.82E+10	7.57E+10	6.95E+10	7.00E+10	7.30E+10	7.18E+10	7.32E+10	7.86E+10
47	8.04E+10	8.00E+10	7.83E+10	6.89E+10	7.41E+10	7.36E+10	7.08E+10	7.72E+10	8.02E+10
48	8.39E+10	7.88E+10	7.71E+10	7.16E+10	6.92E+10	7.84E+10	7.55E+10	7.85E+10	8.09E+10
49	8.19E+10	7.95E+10	7.33E+10	7.46E+10	6.73E+10	7.04E+10	7.38E+10	7.76E+10	7.78E+10
50	8.67E+10	7.70E+10	7.62E+10	7.40E+10	7.36E+10	7.85E+10	7.64E+10	7.55E+10	8.47E+10
51	8.74E+10	8.01E+10	7.39E+10	7.65E+10	7.67E+10	7.56E+10	8.02E+10	7.53E+10	8.27E+10

52	8.65E+10	7.96E+10	7.60E+10	7.71E+10	7.30E+10	6.99E+10	7.11E+10	7.22E+10	7.98E+10
53	7.75E+10	8.13E+10	7.17E+10	6.89E+10	7.54E+10	6.87E+10	7.59E+10	7.63E+10	7.88E+10
54	8.20E+10	7.91E+10	7.37E+10	6.88E+10	7.41E+10	7.19E+10	7.51E+10	7.62E+10	8.48E+10
55	8.21E+10	7.74E+10	7.56E+10	6.92E+10	7.16E+10	7.28E+10	7.35E+10	7.39E+10	7.76E+10
56	8.46E+10	7.80E+10	6.96E+10	6.91E+10	7.01E+10	6.83E+10	7.54E+10	7.52E+10	8.06E+10
57	8.49E+10	7.75E+10	7.52E+10	6.95E+10	7.23E+10	7.11E+10	6.63E+10	7.77E+10	8.02E+10
58	8.88E+10	7.90E+10	6.75E+10	7.15E+10	7.13E+10	7.40E+10	7.35E+10	8.21E+10	8.04E+10
59	7.96E+10	7.94E+10	7.39E+10	7.00E+10	6.75E+10	7.06E+10	7.06E+10	8.15E+10	8.34E+10
60	8.15E+10	7.49E+10	7.17E+10	7.11E+10	6.67E+10	6.98E+10	7.28E+10	7.90E+10	7.89E+10
61	8.59E+10	7.52E+10	6.87E+10	6.96E+10	6.75E+10	6.94E+10	7.35E+10	7.67E+10	8.24E+10
62	7.61E+10	7.79E+10	7.06E+10	6.61E+10	6.65E+10	6.60E+10	7.02E+10	7.27E+10	7.60E+10
63	8.02E+10	7.16E+10	6.92E+10	6.76E+10	7.19E+10	6.74E+10	6.74E+10	7.34E+10	8.09E+10
64	8.02E+10	7.08E+10	7.09E+10	6.65E+10	6.95E+10	6.58E+10	7.17E+10	7.54E+10	8.19E+10
65	7.85E+10	7.80E+10	7.00E+10	6.78E+10	7.07E+10	6.69E+10	7.17E+10	7.57E+10	7.99E+10
66	7.94E+10	6.98E+10	6.61E+10	6.12E+10	6.93E+10	6.46E+10	6.72E+10	7.43E+10	7.36E+10
67	7.83E+10	6.62E+10	6.42E+10	6.86E+10	6.36E+10	7.02E+10	6.47E+10	7.55E+10	7.24E+10
68	7.38E+10	6.70E+10	6.80E+10	6.42E+10	6.38E+10	6.90E+10	6.58E+10	7.38E+10	7.16E+10
69	7.56E+10	6.37E+10	6.55E+10	6.34E+10	6.48E+10	6.51E+10	6.58E+10	6.59E+10	6.66E+10
70	7.57E+10	6.89E+10	6.78E+10	6.17E+10	6.32E+10	5.95E+10	6.91E+10	6.94E+10	7.03E+10
71	7.29E+10	6.83E+10	6.44E+10	5.96E+10	6.21E+10	6.02E+10	6.52E+10	6.64E+10	7.20E+10
72	7.19E+10	6.13E+10	6.23E+10	5.79E+10	5.95E+10	5.94E+10	6.24E+10	6.97E+10	7.16E+10
73	6.26E+10	5.79E+10	5.96E+10	6.13E+10	6.08E+10	6.19E+10	6.43E+10	6.62E+10	6.67E+10
74	6.56E+10	6.25E+10	5.72E+10	5.71E+10	6.15E+10	5.76E+10	6.00E+10	5.88E+10	6.23E+10
75	7.19E+10	6.23E+10	5.62E+10	5.76E+10	5.69E+10	5.66E+10	5.99E+10	6.55E+10	6.78E+10
76	6.52E+10	5.89E+10	6.10E+10	5.64E+10	5.69E+10	5.69E+10	5.89E+10	5.97E+10	6.70E+10
77	7.18E+10	5.84E+10	5.22E+10	5.46E+10	5.93E+10	5.47E+10	5.81E+10	6.02E+10	5.80E+10
78	6.35E+10	5.84E+10	5.56E+10	5.43E+10	5.36E+10	5.38E+10	5.51E+10	5.75E+10	6.03E+10
79	6.98E+10	5.60E+10	5.73E+10	5.25E+10	5.27E+10	5.60E+10	5.65E+10	5.51E+10	6.04E+10
80	5.96E+10	5.44E+10	5.26E+10	5.10E+10	5.47E+10	5.27E+10	5.72E+10	5.59E+10	6.04E+10
81	6.23E+10	5.35E+10	5.23E+10	5.03E+10	4.94E+10	5.16E+10	5.41E+10	5.33E+10	5.59E+10
82	6.04E+10	5.27E+10	4.80E+10	4.78E+10	4.73E+10	4.99E+10	4.75E+10	4.87E+10	5.73E+10
83	5.66E+10	5.06E+10	5.01E+10	4.64E+10	4.34E+10	4.73E+10	4.99E+10	5.15E+10	5.76E+10
84	5.49E+10	5.10E+10	4.85E+10	4.46E+10	4.58E+10	4.92E+10	4.82E+10	5.44E+10	5.00E+10
85	5.86E+10	4.61E+10	4.29E+10	4.60E+10	4.58E+10	4.44E+10	4.61E+10	5.07E+10	5.51E+10
86	5.26E+10	4.96E+10	4.52E+10	4.25E+10	4.35E+10	4.37E+10	4.39E+10	4.67E+10	4.91E+10
87	5.26E+10	4.68E+10	4.33E+10	4.37E+10	4.23E+10	4.09E+10	4.31E+10	4.70E+10	5.17E+10
88	4.76E+10	4.27E+10	4.18E+10	4.19E+10	3.90E+10	3.88E+10	4.36E+10	4.38E+10	4.88E+10
89	4.80E+10	3.82E+10	3.82E+10	3.87E+10	3.74E+10	3.83E+10	4.27E+10	3.89E+10	4.37E+10
90	5.19E+10	4.38E+10	3.94E+10	3.81E+10	4.27E+10	4.12E+10	3.83E+10	3.92E+10	4.38E+10
91	4.94E+10	4.44E+10	3.67E+10	3.70E+10	3.37E+10	3.72E+10	3.64E+10	3.70E+10	3.96E+10
92	4.61E+10	4.22E+10	3.61E+10	3.57E+10	3.55E+10	3.59E+10	3.80E+10	3.78E+10	4.00E+10
93	4.10E+10	3.65E+10	3.78E+10	3.24E+10	3.31E+10	3.23E+10	3.39E+10	3.84E+10	3.75E+10
94	4.30E+10	3.57E+10	3.20E+10	3.13E+10	2.89E+10	3.01E+10	3.31E+10	3.62E+10	3.58E+10
95	3.93E+10	3.52E+10	3.33E+10	3.43E+10	3.21E+10	3.28E+10	3.32E+10	3.12E+10	3.59E+10
96	4.01E+10	3.46E+10	3.52E+10	3.11E+10	2.77E+10	2.86E+10	3.36E+10	3.08E+10	3.59E+10
97	3.71E+10	3.28E+10	3.21E+10	3.02E+10	3.13E+10	2.88E+10	3.53E+10	3.16E+10	3.82E+10
98	3.86E+10	3.54E+10	3.31E+10	3.06E+10	3.18E+10	3.13E+10	3.48E+10	3.84E+10	3.68E+10
99	4.35E+10	3.63E+10	3.32E+10	3.06E+10	3.38E+10	3.38E+10	3.20E+10	3.64E+10	3.73E+10
100	4.04E+10	3.67E+10	3.95E+10	3.31E+10	3.77E+10	3.93E+10	3.45E+10	4.12E+10	4.32E+10
Promedio	6.64E+10	6.04E+10	5.73E+10	5.56E+10	5.57E+10	5.61E+10	5.78E+10	6.06E+10	6.43E+10

Tabla C.21. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (1-2) del elemento combustible E6 (A-015).

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	5.18E+10	4.83E+10	5.00E+10	4.86E+10	4.28E+10	4.50E+10	4.59E+10	4.68E+10	5.19E+10
2	4.65E+10	4.53E+10	4.06E+10	4.30E+10	4.16E+10	3.72E+10	3.83E+10	4.02E+10	4.33E+10
3	4.32E+10	4.48E+10	3.75E+10	3.80E+10	4.09E+10	4.18E+10	3.88E+10	3.90E+10	4.37E+10
4	4.76E+10	4.14E+10	3.99E+10	3.72E+10	3.68E+10	3.64E+10	3.93E+10	3.93E+10	4.17E+10
5	4.67E+10	4.39E+10	3.81E+10	4.00E+10	4.05E+10	3.74E+10	3.76E+10	3.69E+10	4.05E+10
6	4.30E+10	4.26E+10	4.01E+10	3.87E+10	3.57E+10	3.61E+10	3.90E+10	3.73E+10	4.35E+10
7	4.50E+10	4.10E+10	3.95E+10	4.42E+10	4.03E+10	3.90E+10	4.09E+10	3.94E+10	4.29E+10
8	4.60E+10	4.26E+10	4.11E+10	4.02E+10	3.93E+10	4.24E+10	4.17E+10	4.20E+10	4.66E+10
9	4.49E+10	4.17E+10	4.33E+10	4.29E+10	3.97E+10	4.23E+10	3.90E+10	4.45E+10	4.67E+10
10	4.99E+10	4.68E+10	4.57E+10	4.08E+10	3.92E+10	4.43E+10	4.47E+10	4.23E+10	4.45E+10
11	5.52E+10	4.77E+10	4.57E+10	4.57E+10	4.33E+10	4.23E+10	4.20E+10	4.12E+10	4.61E+10
12	5.47E+10	4.64E+10	4.84E+10	4.67E+10	4.42E+10	4.34E+10	4.99E+10	4.51E+10	5.10E+10
13	5.78E+10	5.35E+10	5.00E+10	4.97E+10	4.60E+10	5.06E+10	4.74E+10	5.11E+10	5.67E+10
14	5.87E+10	5.69E+10	5.20E+10	5.23E+10	4.79E+10	5.23E+10	5.40E+10	5.44E+10	5.48E+10
15	5.75E+10	5.38E+10	5.06E+10	4.64E+10	4.98E+10	5.10E+10	4.82E+10	5.12E+10	5.48E+10
16	5.95E+10	5.30E+10	5.54E+10	5.19E+10	4.84E+10	5.11E+10	5.35E+10	4.95E+10	5.85E+10
17	5.90E+10	5.62E+10	5.36E+10	5.25E+10	5.20E+10	6.06E+10	5.44E+10	5.83E+10	5.67E+10
18	6.60E+10	5.83E+10	5.76E+10	5.11E+10	5.14E+10	5.37E+10	5.78E+10	5.58E+10	5.94E+10
19	6.83E+10	6.08E+10	6.30E+10	5.66E+10	5.61E+10	5.79E+10	5.49E+10	5.84E+10	6.27E+10
20	6.39E+10	5.92E+10	5.92E+10	5.80E+10	5.87E+10	5.58E+10	5.99E+10	5.63E+10	6.02E+10
21	6.56E+10	6.40E+10	6.43E+10	6.42E+10	5.56E+10	6.12E+10	6.26E+10	5.70E+10	6.20E+10
22	7.08E+10	6.31E+10	6.24E+10	5.98E+10	5.92E+10	5.83E+10	6.16E+10	6.11E+10	6.30E+10
23	6.90E+10	6.47E+10	6.42E+10	5.86E+10	6.20E+10	6.14E+10	6.08E+10	6.39E+10	6.75E+10
24	7.24E+10	7.12E+10	7.03E+10	6.55E+10	6.39E+10	5.75E+10	6.22E+10	5.94E+10	6.99E+10
25	6.91E+10	6.31E+10	6.54E+10	6.12E+10	6.63E+10	5.82E+10	6.55E+10	6.57E+10	6.98E+10
26	7.63E+10	6.88E+10	6.47E+10	6.53E+10	6.29E+10	6.25E+10	6.45E+10	6.34E+10	6.98E+10
27	7.74E+10	6.88E+10	6.76E+10	6.41E+10	6.54E+10	6.77E+10	6.29E+10	6.98E+10	7.13E+10
28	7.15E+10	6.79E+10	7.02E+10	6.75E+10	7.21E+10	7.17E+10	6.86E+10	6.37E+10	6.83E+10
29	7.97E+10	7.59E+10	6.61E+10	6.67E+10	7.19E+10	6.94E+10	6.92E+10	6.97E+10	7.03E+10
30	7.69E+10	7.23E+10	6.54E+10	6.58E+10	6.75E+10	7.28E+10	7.24E+10	7.35E+10	7.57E+10
31	7.81E+10	6.88E+10	7.52E+10	6.69E+10	6.88E+10	6.88E+10	6.51E+10	6.96E+10	7.59E+10
32	8.09E+10	7.79E+10	7.27E+10	6.83E+10	6.90E+10	6.58E+10	6.69E+10	6.80E+10	7.67E+10
33	8.23E+10	7.90E+10	7.03E+10	6.79E+10	6.89E+10	6.75E+10	7.16E+10	7.07E+10	8.26E+10
34	8.35E+10	8.13E+10	7.61E+10	6.70E+10	6.81E+10	6.64E+10	6.87E+10	7.49E+10	7.92E+10
35	8.35E+10	7.78E+10	6.97E+10	7.21E+10	7.46E+10	7.28E+10	7.28E+10	7.18E+10	8.10E+10
36	8.38E+10	7.84E+10	8.15E+10	6.96E+10	6.66E+10	7.83E+10	7.55E+10	7.15E+10	7.73E+10
37	8.28E+10	8.15E+10	7.21E+10	7.26E+10	7.32E+10	7.26E+10	7.03E+10	7.23E+10	7.90E+10
38	8.59E+10	7.71E+10	7.52E+10	7.26E+10	7.18E+10	7.69E+10	7.81E+10	6.94E+10	7.48E+10
39	8.39E+10	7.81E+10	7.40E+10	7.16E+10	7.13E+10	7.34E+10	7.81E+10	7.40E+10	7.71E+10
40	8.50E+10	8.23E+10	7.38E+10	7.29E+10	7.23E+10	7.30E+10	7.31E+10	7.96E+10	8.27E+10
41	8.56E+10	8.81E+10	7.74E+10	7.59E+10	7.55E+10	7.33E+10	7.37E+10	7.62E+10	8.18E+10
42	8.60E+10	7.88E+10	7.55E+10	7.42E+10	7.49E+10	6.97E+10	7.07E+10	7.89E+10	7.99E+10
43	8.46E+10	7.61E+10	7.76E+10	7.06E+10	7.24E+10	7.42E+10	7.90E+10	7.97E+10	7.99E+10
44	8.80E+10	7.84E+10	7.83E+10	6.93E+10	7.17E+10	7.48E+10	7.46E+10	7.63E+10	8.36E+10
45	8.25E+10	7.56E+10	7.82E+10	7.65E+10	7.74E+10	7.58E+10	7.04E+10	7.31E+10	8.19E+10
46	9.03E+10	8.05E+10	7.80E+10	7.55E+10	7.28E+10	7.64E+10	7.66E+10	7.86E+10	8.01E+10
47	8.37E+10	8.01E+10	7.59E+10	7.62E+10	7.40E+10	7.76E+10	7.05E+10	8.13E+10	8.38E+10
48	8.89E+10	8.38E+10	7.70E+10	7.20E+10	7.37E+10	7.59E+10	7.51E+10	7.67E+10	8.29E+10
49	8.60E+10	8.09E+10	7.55E+10	7.17E+10	7.15E+10	7.50E+10	7.22E+10	7.59E+10	8.58E+10
50	8.38E+10	7.94E+10	7.69E+10	7.27E+10	7.64E+10	7.41E+10	7.58E+10	7.97E+10	8.17E+10

51	8.41E+10	8.00E+10	7.49E+10	7.48E+10	6.93E+10	6.98E+10	7.45E+10	7.96E+10	8.80E+10
52	8.61E+10	8.16E+10	7.62E+10	7.22E+10	7.51E+10	7.43E+10	7.49E+10	8.10E+10	8.45E+10
53	8.34E+10	8.08E+10	7.03E+10	7.28E+10	7.39E+10	7.15E+10	7.37E+10	7.80E+10	7.78E+10
54	8.36E+10	7.69E+10	7.32E+10	7.76E+10	7.45E+10	7.10E+10	7.92E+10	8.03E+10	7.79E+10
55	8.00E+10	7.64E+10	7.63E+10	7.70E+10	7.09E+10	7.20E+10	7.18E+10	7.56E+10	7.33E+10
56	8.63E+10	7.53E+10	6.96E+10	7.31E+10	7.12E+10	6.73E+10	7.14E+10	7.77E+10	7.47E+10
57	8.20E+10	7.62E+10	7.35E+10	7.64E+10	6.90E+10	7.17E+10	7.16E+10	7.39E+10	7.35E+10
58	7.98E+10	7.31E+10	6.95E+10	7.33E+10	7.03E+10	7.20E+10	7.39E+10	7.42E+10	7.45E+10
59	8.65E+10	7.24E+10	6.91E+10	7.24E+10	6.75E+10	7.18E+10	6.64E+10	7.42E+10	7.45E+10
60	8.43E+10	7.21E+10	7.22E+10	7.59E+10	6.81E+10	6.72E+10	6.69E+10	6.89E+10	7.67E+10
61	7.78E+10	7.16E+10	7.09E+10	6.67E+10	6.66E+10	7.26E+10	6.66E+10	7.06E+10	7.20E+10
62	8.33E+10	7.38E+10	6.95E+10	7.01E+10	6.74E+10	6.84E+10	6.70E+10	7.01E+10	7.23E+10
63	7.79E+10	7.35E+10	7.06E+10	6.40E+10	6.84E+10	6.79E+10	6.84E+10	6.93E+10	7.10E+10
64	7.69E+10	7.06E+10	6.25E+10	7.06E+10	6.75E+10	6.61E+10	6.33E+10	7.04E+10	6.77E+10
65	7.73E+10	6.67E+10	6.63E+10	6.61E+10	6.27E+10	6.65E+10	6.40E+10	6.44E+10	6.46E+10
66	7.29E+10	7.16E+10	6.45E+10	6.87E+10	6.27E+10	6.02E+10	6.54E+10	6.53E+10	6.58E+10
67	7.23E+10	6.97E+10	6.73E+10	6.22E+10	5.79E+10	6.01E+10	6.00E+10	6.12E+10	6.25E+10
68	7.43E+10	6.79E+10	6.49E+10	6.14E+10	6.14E+10	6.24E+10	5.74E+10	5.85E+10	5.95E+10
69	7.27E+10	6.61E+10	6.00E+10	6.11E+10	6.12E+10	5.89E+10	6.21E+10	5.90E+10	5.56E+10
70	7.10E+10	6.48E+10	6.19E+10	5.82E+10	5.98E+10	6.02E+10	6.00E+10	5.20E+10	5.33E+10
71	6.91E+10	6.82E+10	6.23E+10	5.60E+10	5.83E+10	5.66E+10	6.00E+10	5.69E+10	5.51E+10
72	7.01E+10	6.43E+10	5.73E+10	5.61E+10	5.86E+10	5.81E+10	5.73E+10	5.38E+10	5.34E+10
73	6.97E+10	6.83E+10	6.04E+10	5.29E+10	5.64E+10	5.59E+10	5.57E+10	5.41E+10	5.33E+10
74	6.35E+10	5.81E+10	5.87E+10	5.81E+10	5.39E+10	5.80E+10	5.72E+10	5.15E+10	4.99E+10
75	6.45E+10	6.15E+10	5.64E+10	5.36E+10	5.11E+10	5.11E+10	5.38E+10	5.01E+10	5.10E+10
76	6.63E+10	6.30E+10	5.58E+10	5.51E+10	4.80E+10	5.24E+10	5.05E+10	5.02E+10	4.95E+10
77	6.27E+10	5.84E+10	5.33E+10	5.21E+10	5.36E+10	4.83E+10	4.63E+10	4.72E+10	4.67E+10
78	6.01E+10	5.82E+10	5.09E+10	5.22E+10	5.41E+10	4.95E+10	4.44E+10	4.42E+10	4.49E+10
79	5.72E+10	5.77E+10	5.30E+10	5.19E+10	5.08E+10	4.56E+10	4.47E+10	4.23E+10	4.74E+10
80	5.98E+10	4.95E+10	5.09E+10	5.25E+10	4.65E+10	4.58E+10	4.76E+10	4.27E+10	4.38E+10
81	5.94E+10	5.39E+10	4.86E+10	4.69E+10	4.68E+10	4.56E+10	4.12E+10	4.38E+10	4.53E+10
82	5.52E+10	4.93E+10	4.53E+10	4.42E+10	4.65E+10	4.79E+10	3.97E+10	3.98E+10	4.25E+10
83	5.34E+10	4.48E+10	4.52E+10	4.27E+10	4.18E+10	4.40E+10	4.53E+10	4.43E+10	4.14E+10
84	5.14E+10	5.09E+10	4.40E+10	4.24E+10	4.05E+10	4.16E+10	4.35E+10	3.93E+10	3.91E+10
85	5.75E+10	4.75E+10	4.16E+10	4.22E+10	3.82E+10	4.03E+10	3.37E+10	3.80E+10	4.02E+10
86	5.17E+10	4.56E+10	4.26E+10	3.98E+10	3.80E+10	3.66E+10	3.90E+10	3.41E+10	3.78E+10
87	5.00E+10	4.57E+10	4.34E+10	3.96E+10	4.12E+10	4.06E+10	3.66E+10	3.29E+10	3.78E+10
88	4.64E+10	4.28E+10	3.94E+10	3.92E+10	3.32E+10	3.43E+10	3.17E+10	3.23E+10	3.47E+10
89	4.59E+10	4.09E+10	4.07E+10	3.43E+10	3.59E+10	3.46E+10	3.41E+10	3.26E+10	3.45E+10
90	4.13E+10	3.71E+10	3.69E+10	3.76E+10	3.31E+10	3.38E+10	3.14E+10	3.11E+10	3.14E+10
91	4.21E+10	3.76E+10	3.01E+10	3.35E+10	3.12E+10	3.11E+10	3.24E+10	3.36E+10	3.24E+10
92	3.44E+10	3.56E+10	3.39E+10	3.19E+10	3.51E+10	3.01E+10	2.94E+10	3.11E+10	3.06E+10
93	3.71E+10	3.42E+10	3.36E+10	3.72E+10	3.16E+10	3.12E+10	3.09E+10	2.88E+10	2.72E+10
94	4.04E+10	3.33E+10	3.41E+10	3.10E+10	2.91E+10	2.84E+10	3.18E+10	2.86E+10	2.57E+10
95	3.59E+10	3.00E+10	3.23E+10	3.05E+10	2.92E+10	2.52E+10	2.63E+10	2.65E+10	2.90E+10
96	3.46E+10	3.40E+10	2.80E+10	2.70E+10	2.66E+10	2.51E+10	2.66E+10	2.43E+10	2.50E+10
97	3.33E+10	3.50E+10	3.00E+10	2.95E+10	2.89E+10	2.52E+10	2.67E+10	2.77E+10	2.62E+10
98	3.33E+10	3.15E+10	2.73E+10	2.59E+10	2.86E+10	2.72E+10	2.45E+10	2.78E+10	2.66E+10
99	3.75E+10	3.42E+10	3.11E+10	3.00E+10	2.70E+10	2.81E+10	2.93E+10	3.08E+10	2.91E+10
100	3.73E+10	3.40E+10	3.55E+10	3.59E+10	3.31E+10	3.53E+10	3.53E+10	3.36E+10	3.03E+10
Promedio	6.60E+10	6.11E+10	5.81E+10	5.66E+10	5.56E+10	5.58E+10	5.58E+10	5.63E+10	5.88E+10

Tabla C.22. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (5-6) del elemento combustible E6 (A-015).

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	5.09E+10	4.83E+10	4.57E+10	4.48E+10	4.48E+10	4.36E+10	4.29E+10	4.74E+10	4.36E+10
2	4.26E+10	4.28E+10	3.86E+10	3.72E+10	3.99E+10	3.75E+10	4.04E+10	4.01E+10	4.60E+10
3	3.95E+10	3.96E+10	3.69E+10	3.82E+10	3.47E+10	3.75E+10	3.53E+10	3.74E+10	3.91E+10
4	3.88E+10	3.80E+10	3.59E+10	3.65E+10	3.35E+10	3.43E+10	3.57E+10	3.31E+10	4.33E+10
5	4.15E+10	3.31E+10	4.05E+10	3.49E+10	3.36E+10	3.48E+10	3.85E+10	3.82E+10	4.26E+10
6	3.99E+10	3.68E+10	4.05E+10	3.13E+10	3.61E+10	3.56E+10	3.72E+10	3.42E+10	4.15E+10
7	4.31E+10	3.80E+10	3.47E+10	3.76E+10	3.66E+10	3.64E+10	3.83E+10	3.90E+10	4.01E+10
8	4.56E+10	3.97E+10	3.53E+10	4.03E+10	3.79E+10	3.65E+10	3.72E+10	4.00E+10	4.21E+10
9	4.26E+10	3.99E+10	4.20E+10	3.79E+10	4.02E+10	4.03E+10	3.95E+10	4.19E+10	4.38E+10
10	4.51E+10	4.29E+10	4.06E+10	4.03E+10	4.02E+10	4.06E+10	4.15E+10	3.78E+10	4.41E+10
11	4.37E+10	4.71E+10	4.45E+10	4.21E+10	4.16E+10	4.36E+10	3.82E+10	4.28E+10	4.74E+10
12	5.16E+10	4.89E+10	4.75E+10	4.41E+10	4.28E+10	4.36E+10	4.20E+10	4.11E+10	4.77E+10
13	5.12E+10	4.81E+10	4.48E+10	4.63E+10	4.42E+10	4.47E+10	4.53E+10	4.63E+10	4.62E+10
14	5.21E+10	4.85E+10	4.91E+10	4.65E+10	4.24E+10	4.65E+10	4.65E+10	4.88E+10	5.34E+10
15	5.44E+10	5.29E+10	4.80E+10	4.86E+10	4.62E+10	4.51E+10	4.78E+10	4.55E+10	5.22E+10
16	5.60E+10	5.22E+10	5.23E+10	4.85E+10	4.89E+10	5.15E+10	4.83E+10	4.89E+10	5.37E+10
17	5.72E+10	5.70E+10	4.90E+10	5.09E+10	4.60E+10	5.05E+10	5.23E+10	4.95E+10	5.54E+10
18	6.24E+10	5.63E+10	5.14E+10	5.06E+10	5.18E+10	5.31E+10	5.16E+10	5.27E+10	5.97E+10
19	5.46E+10	5.71E+10	5.83E+10	5.44E+10	5.38E+10	5.54E+10	5.65E+10	5.47E+10	6.10E+10
20	5.75E+10	5.55E+10	5.80E+10	5.59E+10	5.65E+10	5.56E+10	5.22E+10	5.74E+10	5.67E+10
21	6.52E+10	5.95E+10	5.85E+10	5.79E+10	5.19E+10	5.37E+10	5.71E+10	5.87E+10	5.98E+10
22	6.43E+10	5.95E+10	5.65E+10	5.28E+10	5.84E+10	5.07E+10	5.42E+10	6.01E+10	6.24E+10
23	6.37E+10	6.23E+10	5.48E+10	5.82E+10	5.75E+10	5.81E+10	6.16E+10	5.77E+10	6.23E+10
24	6.46E+10	6.13E+10	5.76E+10	5.94E+10	6.08E+10	6.05E+10	5.78E+10	6.17E+10	6.40E+10
25	6.84E+10	6.70E+10	6.12E+10	6.15E+10	5.99E+10	5.84E+10	6.04E+10	6.44E+10	6.41E+10
26	7.16E+10	6.53E+10	6.44E+10	6.09E+10	6.28E+10	6.19E+10	6.16E+10	6.56E+10	6.50E+10
27	6.59E+10	6.77E+10	6.45E+10	5.94E+10	5.80E+10	6.07E+10	6.21E+10	6.70E+10	6.90E+10
28	6.83E+10	6.61E+10	6.63E+10	6.16E+10	6.44E+10	6.07E+10	6.71E+10	6.45E+10	6.35E+10
29	7.00E+10	6.83E+10	6.15E+10	6.32E+10	5.89E+10	6.10E+10	6.77E+10	6.79E+10	6.63E+10
30	6.67E+10	6.28E+10	6.27E+10	6.63E+10	6.07E+10	6.44E+10	6.19E+10	6.67E+10	6.73E+10
31	7.17E+10	6.90E+10	6.16E+10	6.84E+10	6.43E+10	6.64E+10	6.34E+10	6.83E+10	7.02E+10
32	7.65E+10	6.93E+10	6.29E+10	7.05E+10	7.09E+10	6.81E+10	6.65E+10	6.73E+10	6.89E+10
33	7.40E+10	7.42E+10	6.85E+10	6.82E+10	6.96E+10	7.30E+10	6.99E+10	6.82E+10	7.16E+10
34	7.41E+10	7.34E+10	6.75E+10	6.64E+10	6.63E+10	6.93E+10	7.09E+10	6.72E+10	7.24E+10
35	7.63E+10	7.12E+10	7.12E+10	6.50E+10	6.52E+10	6.61E+10	6.98E+10	6.71E+10	7.41E+10
36	7.76E+10	7.48E+10	7.01E+10	6.83E+10	6.80E+10	6.95E+10	6.77E+10	6.74E+10	7.29E+10
37	8.05E+10	7.25E+10	7.36E+10	6.60E+10	6.75E+10	7.14E+10	6.74E+10	6.63E+10	7.31E+10
38	7.82E+10	7.04E+10	7.02E+10	6.98E+10	6.99E+10	6.83E+10	6.74E+10	7.00E+10	7.23E+10
39	7.64E+10	7.17E+10	6.69E+10	6.82E+10	6.73E+10	7.01E+10	7.27E+10	7.52E+10	7.25E+10
40	8.58E+10	8.02E+10	6.66E+10	7.18E+10	6.95E+10	6.92E+10	7.26E+10	7.50E+10	7.74E+10
41	7.66E+10	7.67E+10	7.34E+10	7.15E+10	6.81E+10	6.71E+10	6.67E+10	6.96E+10	7.77E+10
42	7.70E+10	7.57E+10	6.87E+10	6.99E+10	7.15E+10	6.54E+10	6.91E+10	7.09E+10	7.71E+10
43	7.31E+10	7.65E+10	6.83E+10	6.81E+10	7.18E+10	6.98E+10	6.66E+10	7.06E+10	7.50E+10
44	7.68E+10	7.48E+10	7.28E+10	7.42E+10	6.98E+10	6.46E+10	6.71E+10	7.30E+10	7.29E+10
45	8.08E+10	7.81E+10	7.47E+10	7.51E+10	7.10E+10	7.12E+10	7.09E+10	7.38E+10	7.67E+10
46	7.95E+10	7.72E+10	7.52E+10	7.21E+10	7.19E+10	6.93E+10	6.78E+10	7.37E+10	7.80E+10
47	8.07E+10	7.30E+10	7.12E+10	7.10E+10	6.84E+10	6.93E+10	8.00E+10	7.71E+10	7.41E+10
48	8.19E+10	7.74E+10	7.57E+10	7.64E+10	7.62E+10	6.84E+10	7.31E+10	8.10E+10	7.64E+10
49	8.03E+10	7.90E+10	7.24E+10	7.69E+10	6.90E+10	7.15E+10	7.37E+10	7.12E+10	7.38E+10
50	8.11E+10	7.81E+10	7.70E+10	7.39E+10	6.78E+10	7.11E+10	7.17E+10	6.96E+10	7.94E+10

51	8.31E+10	7.99E+10	7.48E+10	7.16E+10	7.05E+10	7.25E+10	6.93E+10	7.95E+10	7.56E+10
52	7.48E+10	7.19E+10	7.02E+10	6.78E+10	6.93E+10	6.95E+10	7.39E+10	7.03E+10	7.56E+10
53	7.94E+10	7.37E+10	7.00E+10	6.88E+10	6.98E+10	6.98E+10	6.81E+10	7.60E+10	7.67E+10
54	8.02E+10	7.05E+10	6.54E+10	6.98E+10	6.72E+10	7.08E+10	7.05E+10	7.46E+10	7.36E+10
55	7.96E+10	7.73E+10	7.52E+10	6.92E+10	6.57E+10	6.35E+10	7.25E+10	7.24E+10	7.02E+10
56	8.17E+10	7.63E+10	7.05E+10	6.93E+10	6.86E+10	7.29E+10	6.84E+10	7.27E+10	7.56E+10
57	7.75E+10	7.07E+10	7.13E+10	7.01E+10	6.69E+10	6.67E+10	6.73E+10	6.88E+10	7.66E+10
58	7.66E+10	7.19E+10	7.27E+10	7.06E+10	6.80E+10	6.63E+10	6.53E+10	6.99E+10	7.31E+10
59	7.90E+10	7.12E+10	6.92E+10	6.69E+10	6.98E+10	7.27E+10	6.33E+10	7.16E+10	7.41E+10
60	7.55E+10	7.17E+10	6.95E+10	7.18E+10	7.06E+10	6.44E+10	6.72E+10	6.82E+10	6.58E+10
61	7.05E+10	6.67E+10	6.67E+10	6.40E+10	6.84E+10	6.14E+10	6.37E+10	6.96E+10	7.46E+10
62	7.21E+10	6.66E+10	6.74E+10	6.52E+10	5.88E+10	6.12E+10	6.46E+10	6.29E+10	7.23E+10
63	7.37E+10	6.80E+10	6.41E+10	6.50E+10	6.09E+10	6.23E+10	6.40E+10	6.34E+10	6.64E+10
64	6.98E+10	6.82E+10	6.18E+10	6.47E+10	6.05E+10	6.17E+10	6.94E+10	6.34E+10	7.23E+10
65	6.71E+10	7.19E+10	6.28E+10	6.22E+10	6.40E+10	5.75E+10	6.46E+10	6.01E+10	6.03E+10
66	7.03E+10	6.49E+10	5.99E+10	6.21E+10	5.67E+10	5.81E+10	5.93E+10	6.12E+10	6.15E+10
67	6.52E+10	6.19E+10	5.81E+10	6.20E+10	5.81E+10	6.04E+10	5.90E+10	5.95E+10	6.26E+10
68	6.56E+10	6.01E+10	6.42E+10	6.29E+10	5.61E+10	5.87E+10	5.59E+10	5.50E+10	5.84E+10
69	6.79E+10	6.17E+10	6.26E+10	6.25E+10	5.94E+10	5.82E+10	6.02E+10	5.73E+10	5.85E+10
70	6.66E+10	6.12E+10	5.89E+10	6.06E+10	5.72E+10	5.54E+10	5.83E+10	5.71E+10	5.81E+10
71	6.65E+10	6.13E+10	6.08E+10	5.34E+10	5.64E+10	5.35E+10	5.20E+10	4.74E+10	5.55E+10
72	6.67E+10	5.93E+10	5.91E+10	5.93E+10	5.59E+10	5.34E+10	5.28E+10	5.09E+10	5.45E+10
73	6.34E+10	5.54E+10	6.01E+10	5.82E+10	5.47E+10	5.24E+10	5.33E+10	5.58E+10	5.34E+10
74	6.01E+10	6.02E+10	6.20E+10	5.12E+10	5.50E+10	5.35E+10	5.06E+10	4.83E+10	5.25E+10
75	5.91E+10	6.08E+10	5.16E+10	5.08E+10	5.24E+10	5.52E+10	5.15E+10	5.34E+10	4.96E+10
76	6.00E+10	5.34E+10	5.33E+10	5.41E+10	5.17E+10	5.18E+10	5.08E+10	4.78E+10	4.61E+10
77	5.73E+10	5.26E+10	5.35E+10	5.14E+10	5.42E+10	5.14E+10	4.77E+10	4.72E+10	4.75E+10
78	5.67E+10	5.13E+10	5.49E+10	4.66E+10	5.16E+10	4.85E+10	4.60E+10	4.65E+10	4.83E+10
79	5.60E+10	5.06E+10	5.12E+10	4.61E+10	4.60E+10	5.11E+10	4.42E+10	4.67E+10	4.71E+10
80	5.27E+10	5.28E+10	4.76E+10	4.57E+10	4.72E+10	4.48E+10	4.28E+10	4.70E+10	4.40E+10
81	5.12E+10	4.99E+10	4.66E+10	4.65E+10	4.59E+10	4.26E+10	4.18E+10	4.78E+10	4.48E+10
82	5.11E+10	4.59E+10	4.34E+10	4.74E+10	4.46E+10	4.33E+10	4.51E+10	4.58E+10	4.46E+10
83	4.97E+10	4.88E+10	4.03E+10	4.36E+10	3.77E+10	4.13E+10	4.12E+10	4.31E+10	4.51E+10
84	4.88E+10	5.02E+10	4.27E+10	4.45E+10	3.94E+10	4.13E+10	3.91E+10	4.08E+10	3.93E+10
85	4.58E+10	4.33E+10	4.08E+10	3.67E+10	4.08E+10	3.92E+10	4.17E+10	4.11E+10	3.74E+10
86	4.86E+10	4.71E+10	3.97E+10	3.94E+10	3.64E+10	3.88E+10	3.63E+10	3.72E+10	3.81E+10
87	4.23E+10	3.61E+10	4.35E+10	4.16E+10	3.37E+10	3.63E+10	3.53E+10	3.49E+10	3.91E+10
88	4.66E+10	4.23E+10	3.67E+10	3.68E+10	3.72E+10	3.75E+10	3.31E+10	3.38E+10	3.38E+10
89	3.96E+10	3.77E+10	3.41E+10	3.41E+10	3.20E+10	3.46E+10	3.15E+10	3.31E+10	3.70E+10
90	4.08E+10	3.65E+10	3.39E+10	3.12E+10	3.00E+10	2.82E+10	2.93E+10	3.32E+10	3.58E+10
91	3.93E+10	3.57E+10	3.02E+10	3.03E+10	3.22E+10	2.79E+10	2.86E+10	3.15E+10	3.41E+10
92	3.91E+10	3.47E+10	3.26E+10	2.87E+10	3.02E+10	2.76E+10	2.53E+10	2.97E+10	2.99E+10
93	4.06E+10	3.19E+10	3.01E+10	2.85E+10	2.59E+10	3.04E+10	2.54E+10	3.14E+10	3.18E+10
94	3.23E+10	3.16E+10	2.81E+10	2.64E+10	2.60E+10	2.88E+10	2.78E+10	2.96E+10	2.97E+10
95	3.27E+10	2.89E+10	3.05E+10	2.71E+10	2.87E+10	2.89E+10	2.72E+10	2.57E+10	2.89E+10
96	3.61E+10	3.02E+10	2.93E+10	2.83E+10	2.89E+10	2.76E+10	2.52E+10	2.57E+10	2.79E+10
97	3.32E+10	2.95E+10	2.97E+10	2.79E+10	2.80E+10	2.99E+10	2.67E+10	2.59E+10	2.98E+10
98	3.36E+10	3.16E+10	2.49E+10	2.95E+10	2.74E+10	2.72E+10	2.58E+10	2.64E+10	3.25E+10
99	3.57E+10	2.95E+10	3.11E+10	3.31E+10	3.01E+10	2.67E+10	2.81E+10	2.74E+10	3.23E+10
100	4.19E+10	3.44E+10	3.23E+10	3.63E+10	3.38E+10	3.06E+10	3.19E+10	3.12E+10	3.04E+10
Promedio	6.10E+10	5.76E+10	5.50E+10	5.42E+10	5.31E+10	5.30E+10	5.32E+10	5.43E+10	5.67E+10

Tabla C.23. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (11-12) del elemento combustible E6 (A-015).

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	4.25E+10	4.13E+10	3.90E+10	4.50E+10	4.28E+10	4.10E+10	3.97E+10	4.41E+10	3.89E+10
2	3.81E+10	3.46E+10	3.42E+10	3.76E+10	3.69E+10	3.78E+10	3.66E+10	3.72E+10	3.55E+10
3	4.40E+10	3.76E+10	3.38E+10	3.53E+10	3.34E+10	3.41E+10	3.49E+10	3.09E+10	3.58E+10
4	4.00E+10	3.52E+10	3.37E+10	3.58E+10	3.58E+10	3.25E+10	3.12E+10	3.39E+10	3.95E+10
5	3.96E+10	3.57E+10	3.22E+10	3.53E+10	3.45E+10	3.32E+10	3.31E+10	3.44E+10	3.97E+10
6	3.90E+10	3.59E+10	3.83E+10	3.39E+10	3.18E+10	3.47E+10	3.60E+10	3.99E+10	4.13E+10
7	4.16E+10	3.62E+10	3.40E+10	3.24E+10	3.60E+10	3.60E+10	3.60E+10	3.59E+10	4.20E+10
8	4.45E+10	3.49E+10	3.22E+10	3.29E+10	3.52E+10	3.78E+10	3.73E+10	3.80E+10	4.25E+10
9	4.36E+10	4.11E+10	3.97E+10	3.67E+10	3.60E+10	3.71E+10	3.86E+10	4.08E+10	4.31E+10
10	4.17E+10	4.20E+10	4.15E+10	3.84E+10	3.78E+10	3.78E+10	3.79E+10	4.08E+10	4.44E+10
11	4.62E+10	4.40E+10	4.37E+10	3.92E+10	4.04E+10	4.50E+10	4.06E+10	4.18E+10	4.16E+10
12	4.53E+10	4.11E+10	4.42E+10	4.13E+10	4.07E+10	3.86E+10	4.40E+10	3.95E+10	4.61E+10
13	4.76E+10	4.43E+10	4.43E+10	4.24E+10	4.10E+10	4.28E+10	4.25E+10	4.65E+10	4.47E+10
14	4.94E+10	4.38E+10	4.74E+10	4.43E+10	4.44E+10	4.29E+10	4.43E+10	4.83E+10	4.99E+10
15	5.15E+10	4.63E+10	4.99E+10	4.65E+10	4.41E+10	5.04E+10	4.36E+10	4.64E+10	5.05E+10
16	5.21E+10	5.24E+10	4.95E+10	5.33E+10	4.64E+10	4.41E+10	4.52E+10	4.88E+10	5.20E+10
17	5.41E+10	5.59E+10	5.12E+10	4.76E+10	4.80E+10	4.67E+10	4.49E+10	5.28E+10	5.60E+10
18	5.71E+10	5.20E+10	5.25E+10	5.21E+10	4.81E+10	5.48E+10	4.97E+10	5.12E+10	5.39E+10
19	6.03E+10	5.24E+10	5.04E+10	5.12E+10	5.29E+10	5.57E+10	5.18E+10	5.70E+10	5.28E+10
20	5.93E+10	5.83E+10	5.56E+10	5.23E+10	5.07E+10	5.19E+10	5.50E+10	5.59E+10	5.28E+10
21	6.19E+10	5.96E+10	5.26E+10	5.02E+10	5.28E+10	4.93E+10	5.50E+10	5.63E+10	5.53E+10
22	6.26E+10	5.80E+10	5.83E+10	4.92E+10	5.47E+10	5.51E+10	5.60E+10	5.80E+10	5.93E+10
23	6.14E+10	5.58E+10	5.72E+10	5.76E+10	5.58E+10	5.04E+10	6.08E+10	6.27E+10	5.70E+10
24	6.49E+10	6.00E+10	5.54E+10	5.91E+10	5.61E+10	5.73E+10	5.60E+10	5.88E+10	6.25E+10
25	6.71E+10	6.62E+10	6.24E+10	5.72E+10	5.82E+10	6.14E+10	5.90E+10	5.88E+10	6.68E+10
26	6.79E+10	6.28E+10	5.48E+10	5.70E+10	5.81E+10	6.09E+10	6.13E+10	5.70E+10	6.11E+10
27	6.44E+10	6.74E+10	6.32E+10	6.10E+10	6.21E+10	6.18E+10	6.44E+10	6.00E+10	6.35E+10
28	6.64E+10	6.91E+10	6.35E+10	6.58E+10	6.21E+10	6.30E+10	6.19E+10	6.39E+10	6.77E+10
29	7.09E+10	7.16E+10	6.41E+10	6.58E+10	6.52E+10	5.91E+10	5.85E+10	6.67E+10	6.41E+10
30	7.38E+10	6.57E+10	6.26E+10	6.49E+10	6.21E+10	6.03E+10	6.27E+10	6.72E+10	7.11E+10
31	6.85E+10	6.56E+10	6.16E+10	6.08E+10	6.10E+10	6.00E+10	6.73E+10	6.39E+10	6.93E+10
32	6.95E+10	6.45E+10	6.13E+10	6.47E+10	6.68E+10	6.53E+10	6.11E+10	6.69E+10	6.74E+10
33	7.13E+10	7.05E+10	6.79E+10	6.16E+10	6.98E+10	6.41E+10	6.46E+10	6.48E+10	6.93E+10
34	7.23E+10	7.09E+10	6.80E+10	6.31E+10	6.50E+10	6.36E+10	6.82E+10	6.37E+10	6.97E+10
35	7.60E+10	7.10E+10	6.83E+10	6.64E+10	6.51E+10	6.55E+10	6.93E+10	6.74E+10	7.25E+10
36	7.95E+10	7.30E+10	6.69E+10	6.59E+10	7.10E+10	7.13E+10	6.63E+10	7.00E+10	7.50E+10
37	7.72E+10	6.93E+10	6.61E+10	6.99E+10	6.34E+10	6.85E+10	6.79E+10	7.66E+10	7.67E+10
38	7.87E+10	6.90E+10	6.85E+10	6.97E+10	6.54E+10	7.11E+10	6.78E+10	6.98E+10	7.17E+10
39	7.43E+10	7.44E+10	7.41E+10	6.64E+10	6.77E+10	7.04E+10	7.07E+10	6.62E+10	7.25E+10
40	7.50E+10	7.75E+10	7.39E+10	6.94E+10	6.87E+10	6.54E+10	6.98E+10	7.10E+10	7.41E+10
41	7.89E+10	7.48E+10	7.05E+10	6.74E+10	7.03E+10	6.76E+10	7.07E+10	7.06E+10	7.70E+10
42	7.58E+10	7.78E+10	7.47E+10	6.50E+10	6.90E+10	6.55E+10	6.46E+10	6.89E+10	7.60E+10
43	7.58E+10	7.59E+10	7.31E+10	7.48E+10	6.85E+10	6.69E+10	6.48E+10	7.01E+10	7.44E+10
44	7.78E+10	7.41E+10	7.23E+10	6.66E+10	6.23E+10	7.01E+10	6.93E+10	7.20E+10	7.77E+10
45	7.57E+10	7.49E+10	7.15E+10	6.65E+10	6.93E+10	7.02E+10	7.27E+10	7.12E+10	6.80E+10
46	7.66E+10	7.19E+10	6.89E+10	6.72E+10	6.76E+10	6.95E+10	6.92E+10	7.22E+10	7.71E+10
47	8.34E+10	7.65E+10	7.33E+10	6.86E+10	7.01E+10	7.66E+10	7.31E+10	7.07E+10	7.71E+10
48	7.95E+10	7.07E+10	7.05E+10	7.38E+10	7.05E+10	7.34E+10	7.27E+10	7.67E+10	7.78E+10
49	7.45E+10	7.38E+10	6.87E+10	6.68E+10	6.96E+10	7.21E+10	6.68E+10	7.80E+10	7.38E+10
50	7.34E+10	7.37E+10	6.84E+10	7.20E+10	6.90E+10	6.49E+10	6.92E+10	6.98E+10	7.58E+10

51	7.55E+10	7.04E+10	6.93E+10	6.98E+10	6.35E+10	6.77E+10	6.81E+10	6.95E+10	6.99E+10
52	7.80E+10	7.19E+10	6.76E+10	6.75E+10	6.68E+10	6.79E+10	6.87E+10	7.07E+10	7.00E+10
53	7.74E+10	7.25E+10	7.20E+10	6.78E+10	6.48E+10	6.73E+10	6.37E+10	6.81E+10	7.14E+10
54	7.70E+10	7.03E+10	6.68E+10	6.91E+10	7.07E+10	6.90E+10	6.88E+10	6.92E+10	7.55E+10
55	7.25E+10	7.18E+10	6.91E+10	6.31E+10	6.67E+10	6.53E+10	7.18E+10	7.13E+10	7.19E+10
56	7.73E+10	7.16E+10	6.86E+10	6.44E+10	6.71E+10	6.82E+10	6.77E+10	7.58E+10	7.11E+10
57	7.89E+10	7.03E+10	7.02E+10	6.73E+10	6.78E+10	6.64E+10	6.42E+10	6.82E+10	6.35E+10
58	7.48E+10	7.24E+10	7.07E+10	6.32E+10	6.48E+10	6.57E+10	6.47E+10	6.37E+10	6.49E+10
59	7.14E+10	6.98E+10	7.20E+10	6.55E+10	6.75E+10	6.69E+10	6.53E+10	6.56E+10	6.92E+10
60	7.11E+10	6.53E+10	6.93E+10	6.84E+10	6.69E+10	6.21E+10	6.31E+10	6.65E+10	6.74E+10
61	7.84E+10	6.82E+10	6.39E+10	6.57E+10	6.12E+10	6.63E+10	6.95E+10	6.95E+10	7.00E+10
62	6.53E+10	6.64E+10	6.31E+10	6.30E+10	5.96E+10	6.42E+10	6.09E+10	6.52E+10	6.74E+10
63	6.63E+10	6.59E+10	6.21E+10	6.53E+10	5.94E+10	6.06E+10	6.15E+10	6.33E+10	6.58E+10
64	7.04E+10	6.36E+10	6.12E+10	5.88E+10	5.96E+10	6.02E+10	6.58E+10	6.64E+10	6.24E+10
65	6.56E+10	6.34E+10	5.95E+10	6.32E+10	5.90E+10	5.84E+10	5.85E+10	6.66E+10	6.30E+10
66	7.02E+10	6.06E+10	6.32E+10	5.93E+10	5.80E+10	6.06E+10	6.14E+10	6.35E+10	6.02E+10
67	6.43E+10	5.63E+10	6.09E+10	6.05E+10	5.89E+10	5.96E+10	6.39E+10	6.15E+10	5.97E+10
68	6.72E+10	6.34E+10	5.89E+10	5.64E+10	6.00E+10	6.46E+10	6.19E+10	5.60E+10	6.07E+10
69	6.12E+10	6.13E+10	6.04E+10	6.16E+10	5.70E+10	6.55E+10	5.71E+10	5.60E+10	6.12E+10
70	6.78E+10	6.45E+10	5.77E+10	5.87E+10	6.04E+10	5.99E+10	5.64E+10	5.37E+10	5.86E+10
71	6.13E+10	6.62E+10	6.00E+10	5.72E+10	5.87E+10	5.65E+10	5.77E+10	5.70E+10	5.98E+10
72	6.26E+10	5.96E+10	5.43E+10	5.68E+10	6.06E+10	5.58E+10	5.24E+10	6.00E+10	6.27E+10
73	6.15E+10	6.25E+10	5.71E+10	5.64E+10	5.79E+10	5.09E+10	5.20E+10	5.39E+10	5.76E+10
74	6.29E+10	6.03E+10	5.20E+10	5.38E+10	5.50E+10	4.75E+10	5.28E+10	5.08E+10	5.49E+10
75	5.80E+10	5.22E+10	5.42E+10	4.76E+10	5.05E+10	5.18E+10	4.88E+10	4.78E+10	5.03E+10
76	5.91E+10	5.77E+10	5.41E+10	4.71E+10	4.68E+10	5.43E+10	5.11E+10	4.65E+10	4.88E+10
77	5.37E+10	5.04E+10	5.18E+10	5.09E+10	4.93E+10	5.11E+10	4.78E+10	5.39E+10	5.11E+10
78	5.73E+10	5.59E+10	5.28E+10	4.79E+10	5.11E+10	4.48E+10	4.29E+10	4.59E+10	5.23E+10
79	5.52E+10	4.84E+10	4.82E+10	4.58E+10	4.54E+10	4.44E+10	4.43E+10	5.00E+10	5.18E+10
80	5.46E+10	4.95E+10	4.80E+10	4.72E+10	4.56E+10	4.71E+10	5.14E+10	5.20E+10	4.66E+10
81	5.30E+10	4.91E+10	4.92E+10	5.08E+10	4.82E+10	4.72E+10	4.76E+10	4.66E+10	4.57E+10
82	4.77E+10	4.74E+10	4.10E+10	4.27E+10	4.19E+10	4.00E+10	4.45E+10	4.37E+10	4.56E+10
83	4.97E+10	4.56E+10	4.23E+10	4.18E+10	4.17E+10	4.51E+10	3.87E+10	3.79E+10	4.59E+10
84	4.78E+10	4.03E+10	4.10E+10	4.12E+10	4.17E+10	4.40E+10	3.82E+10	4.28E+10	4.12E+10
85	4.51E+10	4.39E+10	3.69E+10	3.98E+10	4.12E+10	4.05E+10	4.23E+10	3.60E+10	4.28E+10
86	4.29E+10	4.15E+10	4.41E+10	3.79E+10	4.20E+10	3.95E+10	3.90E+10	3.86E+10	3.80E+10
87	4.52E+10	4.16E+10	4.07E+10	3.95E+10	4.20E+10	3.59E+10	3.96E+10	3.83E+10	3.84E+10
88	4.33E+10	3.74E+10	3.71E+10	3.79E+10	3.68E+10	3.51E+10	3.31E+10	3.58E+10	3.63E+10
89	3.83E+10	3.91E+10	3.71E+10	3.69E+10	3.69E+10	3.74E+10	3.58E+10	3.52E+10	3.65E+10
90	3.90E+10	3.62E+10	3.55E+10	3.15E+10	3.30E+10	3.22E+10	3.23E+10	3.31E+10	3.19E+10
91	3.83E+10	3.57E+10	3.25E+10	3.68E+10	2.90E+10	3.28E+10	3.32E+10	3.19E+10	3.04E+10
92	3.37E+10	3.51E+10	3.47E+10	3.23E+10	3.04E+10	3.01E+10	2.85E+10	2.87E+10	3.32E+10
93	3.33E+10	3.39E+10	3.35E+10	2.94E+10	3.29E+10	3.26E+10	2.86E+10	2.72E+10	3.28E+10
94	3.51E+10	3.36E+10	3.10E+10	3.11E+10	3.04E+10	2.92E+10	3.35E+10	3.05E+10	2.91E+10
95	3.10E+10	3.21E+10	3.09E+10	2.64E+10	3.03E+10	3.07E+10	2.95E+10	3.21E+10	2.81E+10
96	3.13E+10	2.96E+10	2.96E+10	2.94E+10	2.68E+10	2.79E+10	2.76E+10	2.92E+10	3.00E+10
97	3.49E+10	3.20E+10	3.03E+10	2.98E+10	2.56E+10	2.75E+10	2.77E+10	2.66E+10	2.80E+10
98	3.13E+10	3.23E+10	2.83E+10	2.39E+10	2.59E+10	2.72E+10	2.58E+10	2.60E+10	3.01E+10
99	3.32E+10	3.42E+10	2.90E+10	2.71E+10	2.79E+10	2.88E+10	3.01E+10	3.06E+10	3.04E+10
100	3.43E+10	3.48E+10	3.14E+10	3.11E+10	3.35E+10	3.19E+10	3.11E+10	3.04E+10	3.30E+10
Promedio	5.92E+10	5.61E+10	5.38E+10	5.25E+10	5.23E+10	5.26E+10	5.26E+10	5.38E+10	5.57E+10

Tabla C.24. Resultados de cálculo de flujo axial en el canal (15-16) del elemento combustible E6 (A-015).

Nro. de Tramo	F.T Axial Posición 1	F.T Axial Posición 2	F.T Axial Posición 3	F.T Axial Posición 4	F.T Axial Posición 5	F.T Axial Posición 6	F.T Axial Posición 7	F.T Axial Posición 8	F.T Axial Posición 9
1	4.65E+10	4.90E+10	4.56E+10	4.62E+10	4.38E+10	4.30E+10	4.40E+10	4.62E+10	4.82E+10
2	4.74E+10	4.51E+10	4.26E+10	4.27E+10	4.40E+10	3.88E+10	4.15E+10	4.64E+10	4.41E+10
3	4.31E+10	4.68E+10	4.20E+10	4.20E+10	4.53E+10	4.15E+10	4.42E+10	4.34E+10	4.29E+10
4	4.11E+10	4.46E+10	3.77E+10	4.12E+10	4.03E+10	4.04E+10	4.10E+10	4.07E+10	4.46E+10
5	4.21E+10	4.19E+10	4.57E+10	4.42E+10	4.43E+10	4.13E+10	4.33E+10	4.45E+10	4.49E+10
6	4.55E+10	4.46E+10	4.35E+10	4.27E+10	4.47E+10	4.41E+10	4.26E+10	4.06E+10	4.40E+10
7	4.56E+10	4.53E+10	4.16E+10	4.35E+10	4.43E+10	4.19E+10	4.17E+10	4.09E+10	3.96E+10
8	4.50E+10	4.75E+10	4.58E+10	4.29E+10	4.26E+10	4.20E+10	4.25E+10	4.75E+10	4.59E+10
9	4.86E+10	4.61E+10	4.80E+10	4.49E+10	4.46E+10	4.18E+10	4.74E+10	4.85E+10	5.33E+10
10	5.09E+10	4.74E+10	4.75E+10	4.34E+10	4.87E+10	4.77E+10	4.54E+10	4.68E+10	5.81E+10
11	5.28E+10	4.85E+10	4.73E+10	4.50E+10	5.08E+10	4.90E+10	4.97E+10	5.00E+10	4.96E+10
12	5.37E+10	5.17E+10	5.27E+10	5.33E+10	5.10E+10	4.91E+10	4.71E+10	5.42E+10	5.05E+10
13	5.81E+10	5.13E+10	5.13E+10	5.26E+10	5.17E+10	5.18E+10	5.40E+10	5.09E+10	5.39E+10
14	5.81E+10	5.39E+10	5.53E+10	5.22E+10	5.77E+10	5.31E+10	5.04E+10	5.02E+10	5.59E+10
15	5.74E+10	5.30E+10	5.51E+10	5.69E+10	5.44E+10	5.35E+10	4.78E+10	5.69E+10	6.12E+10
16	6.36E+10	5.57E+10	5.55E+10	5.52E+10	5.54E+10	5.83E+10	5.71E+10	5.29E+10	5.60E+10
17	6.29E+10	5.85E+10	5.79E+10	5.75E+10	5.48E+10	6.10E+10	5.77E+10	5.40E+10	5.49E+10
18	6.76E+10	6.29E+10	6.27E+10	6.29E+10	5.80E+10	5.77E+10	5.72E+10	5.60E+10	6.12E+10
19	6.39E+10	6.42E+10	6.58E+10	6.39E+10	5.63E+10	5.71E+10	5.67E+10	6.07E+10	6.21E+10
20	6.67E+10	6.79E+10	6.15E+10	6.53E+10	6.34E+10	5.85E+10	6.43E+10	6.82E+10	6.43E+10
21	6.88E+10	6.41E+10	6.73E+10	5.73E+10	6.02E+10	6.55E+10	6.36E+10	6.13E+10	6.08E+10
22	6.79E+10	6.78E+10	6.46E+10	6.01E+10	6.20E+10	5.92E+10	6.41E+10	6.58E+10	6.43E+10
23	7.38E+10	6.87E+10	6.87E+10	6.84E+10	6.77E+10	6.33E+10	6.50E+10	6.43E+10	6.72E+10
24	7.20E+10	6.72E+10	6.84E+10	6.42E+10	6.46E+10	6.84E+10	6.37E+10	6.54E+10	6.96E+10
25	6.89E+10	7.09E+10	7.01E+10	6.59E+10	7.08E+10	6.79E+10	7.07E+10	6.78E+10	6.93E+10
26	7.37E+10	7.43E+10	6.70E+10	7.39E+10	7.03E+10	7.12E+10	6.41E+10	7.57E+10	7.12E+10
27	7.91E+10	7.06E+10	6.73E+10	6.98E+10	7.01E+10	7.02E+10	7.04E+10	7.14E+10	7.09E+10
28	7.10E+10	7.37E+10	6.70E+10	7.29E+10	7.04E+10	6.93E+10	6.64E+10	7.45E+10	7.36E+10
29	8.23E+10	6.83E+10	7.33E+10	6.83E+10	7.55E+10	7.27E+10	7.22E+10	6.93E+10	7.59E+10
30	7.77E+10	7.39E+10	6.94E+10	7.36E+10	6.87E+10	7.13E+10	7.28E+10	7.17E+10	7.69E+10
31	8.76E+10	7.60E+10	7.45E+10	7.00E+10	6.93E+10	7.42E+10	7.84E+10	7.59E+10	7.46E+10
32	8.09E+10	7.46E+10	7.79E+10	7.60E+10	7.34E+10	7.65E+10	7.49E+10	7.40E+10	7.87E+10
33	8.43E+10	7.80E+10	7.94E+10	7.49E+10	7.91E+10	7.74E+10	7.66E+10	7.31E+10	7.87E+10
34	8.29E+10	8.19E+10	8.07E+10	7.87E+10	7.29E+10	7.21E+10	7.25E+10	7.26E+10	8.12E+10
35	8.03E+10	8.28E+10	7.81E+10	7.87E+10	8.32E+10	7.57E+10	7.86E+10	7.71E+10	7.98E+10
36	8.49E+10	8.12E+10	7.70E+10	7.70E+10	7.97E+10	7.46E+10	7.22E+10	7.65E+10	8.01E+10
37	8.27E+10	7.99E+10	8.12E+10	7.58E+10	7.69E+10	7.73E+10	7.71E+10	8.07E+10	7.76E+10
38	8.76E+10	8.28E+10	7.97E+10	7.77E+10	8.55E+10	7.26E+10	7.62E+10	7.87E+10	8.39E+10
39	8.64E+10	7.41E+10	8.25E+10	8.17E+10	7.85E+10	7.70E+10	7.32E+10	7.63E+10	7.96E+10
40	8.32E+10	8.33E+10	8.03E+10	7.79E+10	8.08E+10	8.37E+10	7.41E+10	7.89E+10	8.01E+10
41	8.77E+10	8.27E+10	8.32E+10	7.99E+10	7.77E+10	7.42E+10	7.56E+10	8.29E+10	8.81E+10
42	8.40E+10	8.33E+10	7.62E+10	7.45E+10	8.13E+10	8.45E+10	7.63E+10	8.42E+10	8.47E+10
43	8.40E+10	8.12E+10	7.78E+10	7.92E+10	8.08E+10	8.12E+10	7.60E+10	7.90E+10	8.33E+10
44	8.49E+10	8.50E+10	8.35E+10	8.34E+10	7.64E+10	8.09E+10	7.78E+10	8.11E+10	7.97E+10
45	8.77E+10	8.13E+10	8.37E+10	8.30E+10	8.19E+10	7.97E+10	8.12E+10	7.61E+10	7.78E+10
46	9.16E+10	8.20E+10	8.43E+10	7.63E+10	7.55E+10	7.65E+10	8.20E+10	8.13E+10	7.95E+10
47	8.53E+10	8.64E+10	8.17E+10	7.94E+10	7.85E+10	8.04E+10	8.19E+10	8.51E+10	7.89E+10
48	8.64E+10	8.22E+10	8.24E+10	7.93E+10	7.89E+10	7.58E+10	8.07E+10	7.74E+10	8.83E+10
49	8.56E+10	8.29E+10	8.29E+10	8.09E+10	7.76E+10	8.20E+10	8.11E+10	8.15E+10	8.73E+10
50	8.73E+10	7.94E+10	7.99E+10	8.46E+10	7.76E+10	7.57E+10	7.40E+10	7.75E+10	8.91E+10

51	8.69E+10	8.60E+10	8.31E+10	7.69E+10	7.80E+10	7.80E+10	8.03E+10	8.28E+10	8.49E+10
52	8.66E+10	8.20E+10	8.66E+10	8.08E+10	8.06E+10	7.89E+10	7.75E+10	7.80E+10	8.04E+10
53	8.16E+10	8.24E+10	8.68E+10	7.97E+10	8.04E+10	7.93E+10	7.54E+10	7.52E+10	8.12E+10
54	9.11E+10	7.98E+10	7.98E+10	8.06E+10	8.03E+10	7.62E+10	7.71E+10	7.67E+10	8.04E+10
55	9.03E+10	8.03E+10	8.18E+10	7.79E+10	8.19E+10	7.26E+10	7.66E+10	7.78E+10	7.85E+10
56	8.55E+10	8.27E+10	8.04E+10	7.89E+10	8.07E+10	7.95E+10	7.79E+10	7.75E+10	8.15E+10
57	8.84E+10	8.35E+10	7.73E+10	7.66E+10	7.82E+10	7.57E+10	7.50E+10	7.65E+10	7.63E+10
58	8.23E+10	7.57E+10	8.03E+10	7.49E+10	7.61E+10	7.79E+10	7.54E+10	7.27E+10	7.60E+10
59	8.38E+10	7.70E+10	7.81E+10	7.96E+10	7.71E+10	7.81E+10	7.60E+10	7.37E+10	7.65E+10
60	8.16E+10	7.52E+10	7.81E+10	7.55E+10	7.70E+10	7.63E+10	7.07E+10	7.02E+10	7.43E+10
61	7.99E+10	7.74E+10	7.88E+10	7.51E+10	7.50E+10	7.58E+10	7.27E+10	7.04E+10	7.81E+10
62	8.04E+10	7.54E+10	7.44E+10	7.42E+10	7.25E+10	7.61E+10	7.41E+10	7.24E+10	7.60E+10
63	7.81E+10	7.56E+10	7.38E+10	7.36E+10	6.99E+10	7.39E+10	7.15E+10	7.15E+10	7.66E+10
64	7.53E+10	7.36E+10	6.96E+10	7.12E+10	7.25E+10	7.47E+10	7.46E+10	7.27E+10	7.18E+10
65	7.47E+10	7.66E+10	7.41E+10	7.56E+10	7.52E+10	7.31E+10	7.14E+10	7.43E+10	7.76E+10
66	7.96E+10	7.72E+10	7.27E+10	7.25E+10	7.37E+10	6.46E+10	7.06E+10	7.01E+10	7.76E+10
67	7.32E+10	7.17E+10	7.01E+10	7.42E+10	7.18E+10	6.99E+10	6.56E+10	6.94E+10	6.69E+10
68	7.62E+10	7.20E+10	7.42E+10	6.70E+10	6.78E+10	7.03E+10	6.51E+10	6.64E+10	6.90E+10
69	7.50E+10	6.99E+10	6.99E+10	6.59E+10	7.41E+10	6.84E+10	6.61E+10	6.40E+10	7.01E+10
70	7.10E+10	6.81E+10	6.57E+10	6.74E+10	6.75E+10	6.74E+10	6.69E+10	6.21E+10	7.02E+10
71	7.67E+10	6.60E+10	6.84E+10	6.80E+10	7.00E+10	6.67E+10	6.05E+10	6.90E+10	6.70E+10
72	7.00E+10	6.63E+10	6.56E+10	6.67E+10	6.89E+10	6.80E+10	6.44E+10	6.37E+10	6.24E+10
73	6.34E+10	6.92E+10	6.56E+10	6.45E+10	6.51E+10	6.70E+10	6.27E+10	6.07E+10	6.48E+10
74	6.69E+10	6.61E+10	6.33E+10	6.35E+10	6.33E+10	6.05E+10	6.25E+10	6.44E+10	6.47E+10
75	6.44E+10	6.19E+10	6.35E+10	5.84E+10	5.96E+10	5.82E+10	6.79E+10	5.96E+10	6.37E+10
76	6.27E+10	6.08E+10	6.49E+10	5.77E+10	5.88E+10	5.92E+10	5.46E+10	5.74E+10	5.96E+10
77	6.53E+10	6.21E+10	5.97E+10	5.74E+10	6.01E+10	5.70E+10	5.71E+10	5.92E+10	6.04E+10
78	6.22E+10	6.12E+10	5.57E+10	5.77E+10	5.64E+10	5.69E+10	5.72E+10	5.35E+10	5.97E+10
79	5.84E+10	5.96E+10	6.28E+10	6.03E+10	5.63E+10	5.67E+10	5.70E+10	5.46E+10	5.53E+10
80	6.03E+10	5.57E+10	4.90E+10	5.05E+10	5.97E+10	5.24E+10	5.65E+10	5.44E+10	5.30E+10
81	5.74E+10	5.55E+10	4.69E+10	5.07E+10	5.10E+10	5.43E+10	4.97E+10	5.52E+10	5.16E+10
82	5.70E+10	5.33E+10	4.98E+10	5.01E+10	4.71E+10	5.10E+10	5.20E+10	5.21E+10	4.72E+10
83	5.67E+10	5.02E+10	5.23E+10	5.01E+10	5.13E+10	4.79E+10	4.77E+10	4.74E+10	4.95E+10
84	4.99E+10	4.96E+10	5.17E+10	4.80E+10	4.87E+10	4.72E+10	4.66E+10	4.39E+10	4.49E+10
85	5.23E+10	5.11E+10	4.98E+10	5.00E+10	4.65E+10	4.62E+10	4.41E+10	4.34E+10	4.86E+10
86	5.16E+10	5.10E+10	4.77E+10	4.59E+10	4.50E+10	4.47E+10	4.82E+10	4.27E+10	4.63E+10
87	5.19E+10	5.00E+10	4.37E+10	4.13E+10	4.41E+10	4.54E+10	4.31E+10	4.14E+10	4.44E+10
88	4.72E+10	4.53E+10	4.64E+10	4.40E+10	4.03E+10	4.85E+10	4.14E+10	4.13E+10	4.37E+10
89	4.72E+10	4.31E+10	4.10E+10	4.37E+10	4.28E+10	4.16E+10	4.31E+10	4.35E+10	4.03E+10
90	4.19E+10	4.54E+10	3.99E+10	3.72E+10	3.74E+10	4.11E+10	3.90E+10	4.27E+10	4.25E+10
91	4.57E+10	4.02E+10	3.93E+10	4.01E+10	3.92E+10	3.87E+10	3.98E+10	3.73E+10	4.23E+10
92	4.27E+10	3.38E+10	4.07E+10	4.12E+10	3.72E+10	3.75E+10	3.49E+10	3.72E+10	3.99E+10
93	4.22E+10	3.99E+10	3.82E+10	4.04E+10	3.47E+10	3.88E+10	3.77E+10	3.59E+10	3.87E+10
94	4.00E+10	4.00E+10	3.70E+10	3.54E+10	3.42E+10	3.59E+10	3.39E+10	3.71E+10	3.67E+10
95	3.95E+10	3.89E+10	3.50E+10	3.43E+10	3.23E+10	3.61E+10	3.59E+10	3.47E+10	3.39E+10
96	3.94E+10	3.69E+10	3.90E+10	3.26E+10	3.22E+10	3.31E+10	3.25E+10	3.25E+10	3.54E+10
97	3.63E+10	3.62E+10	3.49E+10	3.19E+10	2.93E+10	3.06E+10	3.29E+10	3.16E+10	3.34E+10
98	3.65E+10	3.32E+10	3.34E+10	3.39E+10	3.31E+10	3.05E+10	3.17E+10	3.15E+10	3.36E+10
99	3.81E+10	3.57E+10	3.65E+10	3.51E+10	3.01E+10	3.33E+10	3.09E+10	3.07E+10	3.28E+10
100	3.79E+10	3.87E+10	3.72E+10	3.78E+10	3.18E+10	3.67E+10	3.28E+10	3.33E+10	3.30E+10
Promedio	6.68E+10	6.39E+10	6.29E+10	6.17E+10	6.16E+10	6.11E+10	6.05E+10	6.10E+10	6.32E+10