

ANEXO

En este anexo se describe detalladamente uno de los casos utilizados para la generación de bibliotecas de datos nucleares, así como la explicación para obtener gráficas de secciones eficaces con múltiples curvas, ya sean del mismo isótopo a diferentes temperaturas o de diferentes isótopos a la misma temperatura y la obtención de secciones eficaces térmicas.

a. Generación de librerías MCNPX

Caso: Uranio 235 a 1200K

moder
20 -21

- El programa transforma la información del archivo ENDF Tape 20, de formato ASCII a formato binario y lo guarda en un nuevo archivo nombrado Tape 21. El signo menos indica que el archivo se encuentra en formato binario.

reconr
-21 -22

- Se forma una malla de valores que permite representar con exactitud las secciones eficaces usando interpolación lineal y guarda los valores en un nuevo archivo en formato PENDF, llamado Tape 22.

'pendf tape for endf/b-vii.0 92-U-235'/

- Etiqueta para el archivo creado (opcional)

9228 34/

- El primer valor (9228) es el número con el que se identifica al isótopo de interés, en este caso Uranio 235. El segundo valor (34) número de tarjetas de datos descriptivos para un nuevo mf1.

.001/

- Tolerancia de reconstrucción fraccionaria usada cuando el criterio de error de resonancia integral no está satisfecho.

0/

- Termina ejecución de reconr.

broadr

-21 -22 -23

→ Adiciona dependencia de temperatura para las secciones eficaces puntuales obtenidas con reconr, para la evaluación del isótopo de interés, por lo tanto se hace referencia al archivo de entrada ENDF Tape 21, guardando los resultados en el archivo Tape 23.

9228 1/

→ El primer valor (9228): es el número con el que se identifica al isótopo de interés, en este caso Uranio 235. El segundo valor (1) es el número de temperaturas a evaluar.

.001/

→ Tolerancia fraccionaria de reducción.

1200/

→ Temperatura a evaluar.

0/

→ Termina ejecución de broadr.

moder

-22 32

→ Transforma la información del archivo Tape 22 de formato binario a formato ASCII y la guarda en el archivo Tape 32.

moder

-23 33

→ Transforma la información del archivo Tape 23 de formato binario a formato ASCII y la guarda en el archivo Tape 33.

moder

33 34

→ Copia la información del archivo Tape 33 al archivo Tape 34. Estos archivos contienen mf3, mt=1,2 y 102, que nos ayudarán al momento de graficar.

acer

20 34 0 31 40 /

→ Primer valor (20): Archivo ENDF de entrada Tape 20. Segundo valor (34): Archivo PENDF de entrada Tape 34. Tercer valor (0): Archivo de entrada de datos multigrupo, para este caso no es necesario por lo tanto se pone un cero. Cuarto valor (31): Archivo ACE de salida Tape 31. Quinto valor (40): Archivo MCNPX de salida Tape 40. En

esta instrucción se crea una librería ACE y una librería MCNPX que es nuestro archivo de interés.

1 1 1 0.70 /

- Primer valor (1): Tipo de archivo ACE, en este caso de datos rápidos (Fast data). Segundo valor (1): Máximo control de impresión. Tercer valor (1): Tipo de archivo de salida ACE, por default es 1. Cuarto valor (0.70): Sufijo de identificación Zaid. En esta instrucción se detalla el tipo de archivo de salida ACE que queremos obtener.

'endf/b-vii.0' /

- Etiqueta para el archivo ACE creado (opcional)

9228 1200 /

- Primer valor (9228): Número del material a procesar. Segundo valor (1200): Temperatura a procesar.

/

- Valores por default= 0

/

- Valores por default= 0

plotr

43 /

- Los datos generados por las gráficas se guardan en un nuevo archivo llamado Tape 43.

1 2 0.3 0 /

- Características de la gráfica: Formato de la hoja, formato de letra, tamaño de la letra (por default 0.30) y color de la hoja. (Los valores correspondientes a estas características, pueden ser consultados en el manual de NJOY)

1 3 /

- Página nueva y color de la ventana de la curva.

"Seccion eficaz total" /

- Primera línea del título de la gráfica.

"U 235 1200K" /

- Segunda línea del título de la gráfica.

4 0 0 0 /

- Características de la ventana de la curva.

10e-2 10e4/

→ Escala del eje X

"energia (ev)"/

→ Título del eje X

/

→ Escala del eje Y (si no ponemos escala deseada, el programa pone una por default)

"seccion eficaz (barns)"/

→ Título del eje Y

6 33 9228 3 1 1200 /

→ Primer valor (6): Versión del archivo ENDF utilizado. Segundo valor (33): Archivo de entrada que contiene los datos necesarios para la curva deseada. Tercer valor (9228): Número del material procesado. Cuarto valor (3): mf. Quinto valor (1): Sección eficaz a graficar en este caso TOTAL. Sexto valor (1200): Temperatura a graficar.

0 0 0 1 1 0 /

→ Características de la curva

99/

→ Termina ejecución de plotr.

viewr

43 53

→ Crea un archivo (Tape 53) donde se visualizan las gráficas procesadas con plotr.

stop

✓ Termina el programa

b. Generación de secciones eficaces térmicas

En este inciso se muestra el caso de la obtención de la sección eficaz térmica del grafito ($^{12}_6\text{C}$), algunas instrucciones no varían del caso anterior, por lo tanto sólo se explicarán las que difieran.

Caso: Grafito $^{12}_6\text{C}$

```
moder
20 -21
reconr
-21 -22
'pendf tape for endf/b-vii.0 6-C-0/'
600 3/
.001/
0/
broadr
-21 -22 -23
600 1/
.001/
1200/
0/
```

```
thermr
30 -23 -28
```

→ Primer valor (30): Archivo de entrada ENDF (Thermal Neutron Scattering Data). Segundo valor (-23): Antiguo archivo PENDF de entrada. Tercer valor (-28): Nuevo archivo PENDF de salida.

```
31 600 8 1 4 1 1 229 0 /
```

→ Primer valor (31): Número con el que se identifica el isótopo de interés en el archivo de entrada ENDF (Thermal Neutron Scattering Data). Segundo valor (600): Número con el que se identifica el isótopo de interés en el archivo de entrada PENDF. Tercer valor (8): Número de ángulos probables. Cuarto valor (1): Número de temperaturas. Quinto valor (4): Opciones inelásticas y creación de matriz. Sexto valor (1): Opciones elásticas, para grafito. Séptimo valor (1): Número de átomos principales. Octavo valor (229): mt para reacción inelástica. Noveno valor (0): Opción de impresión.

```
1200. /
```

→ Temperatura a evaluar 1200K.

.01 1.2 /

→ Primer valor (.01): Tolerancia. Segundo valor (1.2): Máxima energía para tratamiento térmico.

```
acer
-21 -28 0 31 40
2 0 1 .09 /
'graphite at 1200 degrees kelvin' /
600 1200 grph/
6000 0 6012/
229 16 230 0 1 1000 0 /
stop
```

c. Generación de gráficas con dos o más curvas

En el inciso a de este anexo se ejemplifica como generar una gráfica con una curva, a continuación se muestra cómo generar una gráfica con dos o más curvas del mismo isótopo a diferentes temperaturas, una gráfica con dos o más curvas de diferentes isótopos a diferentes temperaturas y por último una gráfica con dos o más curvas de diferentes isótopos a diferentes temperaturas.

Caso 1. Mismo isótopo, diferentes temperaturas.

En este caso se ejemplifica la gráfica de la sección eficaz total del Uranio 235 a 300K y a 1200K, algunas instrucciones no varían del caso anterior, por lo tanto sólo se explicarán las que difieran.

```
moder
20 -21
reconr
-21 -22
'pendf tape for endf/b-vii.0 92-U-235'/
9228 3/
.001/
'92-U-235 from endf/b-vii.0'/
0/
```

broadr

-21 -22 -23

→ Hasta aquí el proceso es el mismo que en el caso del Uranio 235, descrito en el inciso anterior.

9228 2/

→ El primer valor corresponde al isótopo de interés y el segundo valor corresponde al número de temperaturas a evaluar dicho isótopo, para este caso hemos puesto dos.

.001/

300 1200/

→ 300K es la primera temperatura a evaluar y 1200K es la segunda.

0/

moder

-22 32

moder

-23 33

moder

33 34

🚧 NOTA: Para graficar no es necesaria la instrucción ACER, ésta es utilizada para obtener la librería MCNPX, pero no influye en los datos necesarios para obtener las gráficas.

plotr

43 /

1 2 0.3 0 /

1 3 /

"Seccion eficaz total" /

"U 235" /

4 0 0 1 /

→ El cuarto valor ha cambiado a 1, esto nos permite colocar una etiqueta a la curva dentro de la ventana de la gráfica, en este caso es el valor de la temperatura y se indica más adelante.

10e-2 10e4/

"Energia (ev)"/

/

"Seccion eficaz (barns)"/

6 33 9228 3 1 300 /

→ En el sexto valor se hace referencia a la primera temperatura.

0 0 0 1 1 0 /

→ Son las características de la curva, en este caso es roja. Nos sirve para diferenciarla de la otra curva que deseemos colocar.

"300K" /

→ Etiqueta de la primera curva.

2 /

→ Este número dos nos indica que los datos siguientes corresponden a la segunda curva.

6 33 9228 3 1 1200 /

→ Ahora en el sexto valor se hace referencia a la segunda temperatura.

0 0 0 2 1 0 /

→ Para la segunda curva hemos elegido el color verde indicado por el cuarto valor, que hemos cambiado a 2.

"1200K" /

→ Etiqueta de la segunda curva.

99 /
viewr
43 53
stop

➤ La gráfica que obtendremos se muestra a continuación:

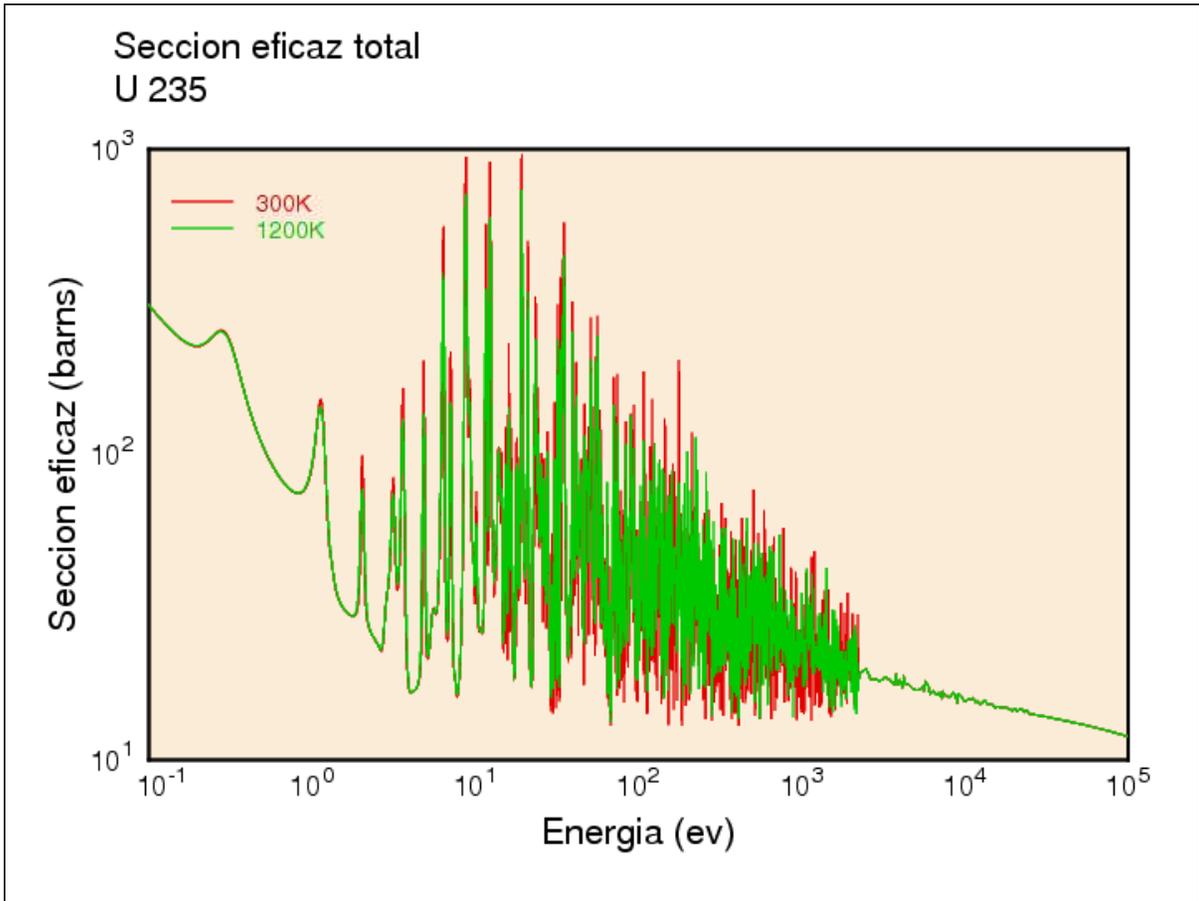


Figura 36. Sección eficaz total del ²³⁵U. [8]

Caso 2. Diferentes isótopos, misma temperatura.

En este caso se ejemplifica la gráfica de la sección eficaz de fisión del Uranio 233, Uranio 235 y Plutonio 239 a 1200K, igualmente algunas instrucciones no varían del caso anterior, por lo tanto sólo se explicarán las que difieran.

```
moder
20 -21
reconr
-21 -22
'pendf tape for endf/b-vii.0 92-U-235'/
9228 3/
.001/
'92-U-235 from endf/b-vii.0'/
0/
broadr
-21 -22 -23
9228 1/
.001/
1200/
0/
moder
-22 32
moder
-23 33
moder
33 34
```

→ Hasta aquí se han obtenido los datos necesarios para el Uranio 235, este mismo proceso debe hacerse para todos los isótopos de interés.

```
moder
24 -25
```

→ Para cada isótopo deben ser cambiados los nombres de los archivos de entrada y salida y no repetirlos, de lo contrario se sobrescribirían y perderíamos información útil para la obtención de alguna curva.

```
reconr
-25 -26
'pendf tape for endf/b-vii.0 92-U-233'/
9222 3/
.001/
'92-U-233 from endf/b-vii.0'/
0/
```

```
broadr
-25 -26 -27
9222 1/
.001/
1200/
0/
moder
-26 35
moder
-27 40
moder
40 34
```

→ Repitiendo el proceso, hemos obtenido los datos necesarios para el Uranio 233, por último lo haremos para el Plutonio 239.

```
moder
28 -29
reconr
-29 -30
'pendf tape for endf/b-vii.0 94-Pu-239'/
9437 3/
.001/
'94-Pu-239 from endf/b-vii.0'/
0/
broadr
-29 -30 -31
9437 1/
.001/
1200/
0/
moder
-30 36
moder
-31 37
```

```
moder
37 38
```

→ Hasta aquí tenemos la información necesaria de los tres isótopos de interés para la obtención de las curvas.

```
plotr
43 /
1 2 0.3 0 /
1 7 /
"Seccion eficaz de fision" /
```

"1200K" /

4 0 0 1 500 500/

→ En este renglón hemos agregado los dos últimos valores (500 500) se refieren a las coordenadas de la posición de la etiqueta de la curva. En los casos anteriores tomamos los valores dados por default, ya que la etiqueta no se encimaba en la curva a diferencia de este caso.

10e-2 10e7/

"Energia (ev)"/

10e-2 10e4/

"Seccion eficaz (barns)"/

6 40 9222 3 18 1200 /

→ En este caso nos interesa graficar la sección eficaz de fisión del Uranio 233, por lo tanto el tercer valor es el número asignado al ²³³U y el quinto valor es 18, que es el número asignado a la sección eficaz de fisión.

0 0 0 1 1 0 /

→ El tercer valor (1) corresponde al color rojo.

"U 233"/

2 /

6 33 9228 3 18 1200 /

→ Estos datos corresponden a la curva del Uranio 235, por lo tanto el tercer valor es su número asignado.

0 0 0 2 1 0 /

→ El tercer valor (2) corresponde al color verde.

"U 235"/

3 /

6 37 9437 3 18 1200 /

→ Estos datos corresponden a la curva del Plutonio 239, por lo tanto el tercer valor es su número asignado

0 0 0 3 1 0 /

→ El tercer valor (3) corresponde al color azul.

"Pu 239"/
99/
viewr
43 53
stop

➤ La gráfica que obtendremos se muestra a continuación:

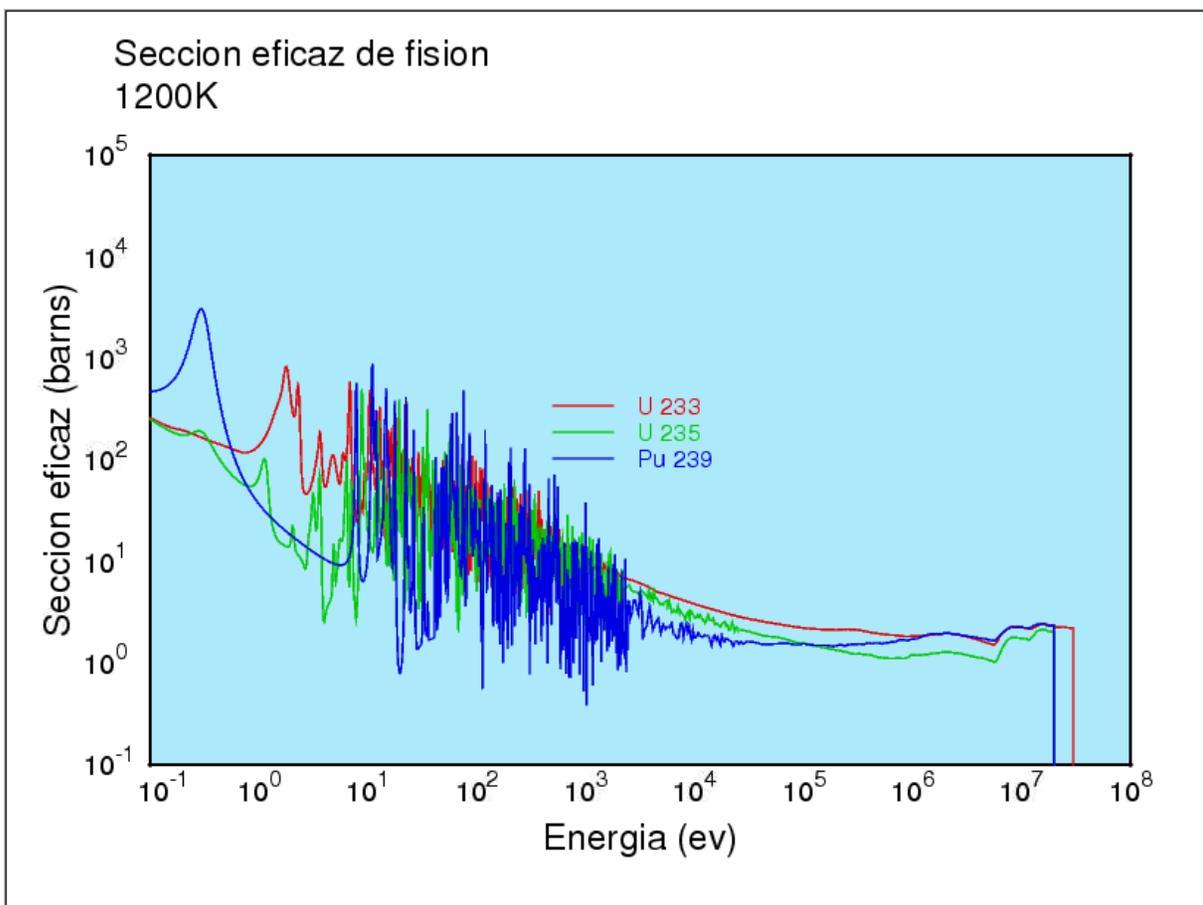


Figura 37. Sección eficaz de fisión de los principales isótopos físiiles. [8]

Caso 3. Diferentes isótopos, diferentes temperaturas.

En este caso se ejemplifica la gráfica de la sección eficaz de dispersión elástica del Hidrógeno 1 a 1200K y del Uranio 238 a 300K igualmente algunas instrucciones no varían del caso anterior, por lo tanto sólo se explicarán las que difieran.

```
moder
 20 -21
reconr
-21 -22
'pendf tape for endf/b-vii.0 1-H-1'/
125 3/
.001/
'1-H-1 from endf/b-vii.0'/
0/
broadr
-21 -22 -23
125 1/
.001/
```

1200/

→ Para el Hidrógeno hacemos referencia a la temperatura de 1200K.

```
0/
moder
-22 32
moder
-23 33
moder
33 34
moder
24 -25
reconr
-25 -26
'pendf tape for endf/b-vii.0 92-U-238'/
9237 3/
.001/
'92-U-238 from endf/b-vii.0'/
0/
```

broadr

-25 -26 -27

9237 1/

.001/

300/

→ Para el Uranio 238 hacemos referencia a la temperatura de 300K.

0/

moder

-26 35

moder

-27 36

moder

36 37

plotr

43 /

1 2 0.3 0 /

1 6/

"Seccion eficaz de dispersion elastica"/

/

4 0 0 1 /

/

"Energia (ev)"/

/

"Seccion eficaz (barns)"/

6 33 125 3 2 1200 /

→ En este renglón se hace referencia a los datos obtenidos para el Hidrógeno 1 a 1200K.

0 0 0 1 1 0 /

"H 1 1200K"/

2 /

6 36 9237 3 2 300 /

→ En este renglón se hace referencia a los datos obtenidos para el Uranio 238 a 300K.

0 0 0 2 1 0 /

"U 238 300K" /

99 /

viewr

43 55
stop

➤ La gráfica que obtendremos se muestra a continuación:

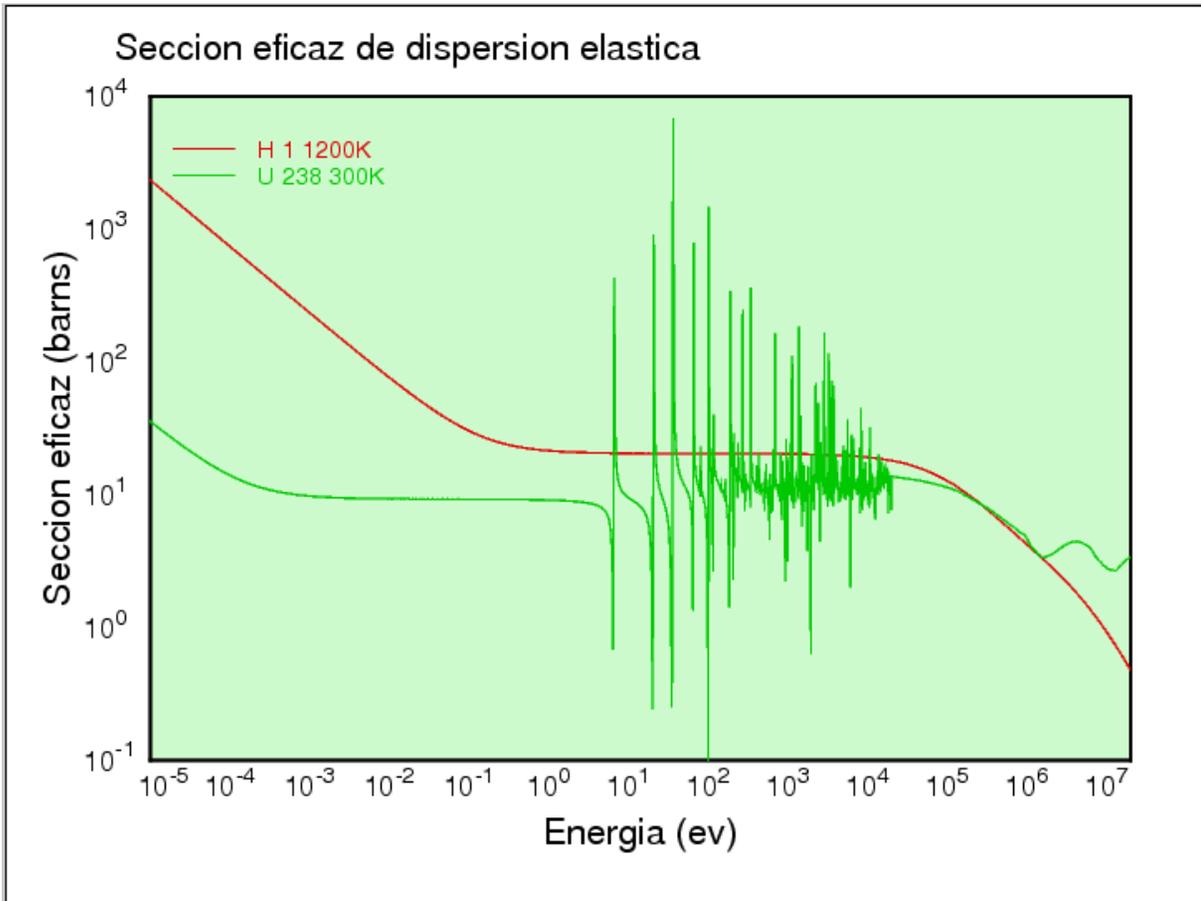


Figura 38. Sección eficaz de dispersión elástica para el ¹H a 1200K y para el ²³⁸U a 300K. [8]

LISTA DE ACRÓNIMOS

uma	unidad de masa atómica
EUA	Estados Unidos de América
ENDF	Evaluated Nuclear Data File
JEFF	Joint Evaluated Fission and Fusion
JEF	Joint Evaluated File
BROND	Biblioteka Rekomendovannykh Ocenennykh Nejtronnykh Danykh (Russian Evaluated Neutron Data Library)
JENDL	Japanese Evaluated Nuclear Data Library
PENDF	Puntual Evaluated Nuclear Data File
GENDF	Group Evaluated Nuclear Data File
CENDL	Chinese Evaluated Nuclear Data Library
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
MCNPX	Monte Carlo N-Particle eXtended
GFR	Gas Cooled Fast Reactor
ACE	Los Alamos Continuous Energy

REFERENCIAS DE FIGURAS

[1] Elaboración propia.

[2] Dra. Cecilia Martín del Campo Márquez. “Curso Principios Básicos de la Energía Nuclear”. Sociedad de Energía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Material inédito. México, D.F. Enero 2009.

[3] JANIS 3.0 Software for nuclear data information. Application Java-based nuclear data display program.

[4] Tesis para obtener el título de Ingeniero Eléctrico Electrónico que presentó el alumno Ángel Velázquez Gálvez. “Estudio de la Sustentabilidad de las tecnologías de fisión y fusión nuclear.” Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F. 2009.

[5] Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson (2004) Panorama de los fenómenos nucleares.
http://caebis.cnea.gov.ar/IdEN/CONOC_LA_ENERGIA_NUC/CAPITULO_1_Difusion/EL_TEMA_NUCLEAR/Panorama_de_los_fenomenos_nucleares.htm

[6] Elaboración propia con el Código JANIS 3.0.

[7] John R. Lamarsh and Anthony J. Baratta. “*Introduction to Nuclear Engineering*” 3rd edition. New Jersey. Prentice-Hall, 2001.

[8] Elaboración propia con el Código NJOY 99.

[9] Ejecución de un caso de NJOY en la plataforma LINUX.