

Desarrollo e Implementación de un Conjunto de Cuadraturas Numéricas de tipo SQ_N y EQ_N en el Código de Transporte AZTRAN

Mario Chepe Pérez

*Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa
San Rafael Atlixco 186, Vicentina, Iztapalapa, 09340 Ciudad de México, D.F.
liaison.web@gmail.com*

J. Vicente Xolocostli Munguía, Armando M. Gómez Torres

*Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Carr. México-Toluca s/n, La Marquesa, Ocoyoacac, México, C.P. 52750
vicente.xolocostli@inin.gob.mx; armando.gomez@inin.gob.mx*

Edmundo del Valle Gallegos

*Instituto Politécnico Nacional-Escuela Superior de Física y Matemáticas, Av IPN s/n,
San Pedro Zacatenco, Ciudad de México, D.F., 07730, México
edmundo.delvalle@inin.gob.mx;*

Resumen

Los códigos de transporte determinísticos para análisis de reactores nucleares, se han venido utilizando desde hace ya varios años, estos códigos han ido evolucionando en cuanto a la metodología utilizada y al grado de exactitud, debido principalmente a que hoy en día se cuenta con un mayor poder de cómputo. En este trabajo, el código de transporte que se utiliza, considera para la discretización en energía la clásica técnica de multigrupos, para la discretización espacial los métodos nodales, mientras que para la discretización angular; se utiliza el método de ordenadas discretas; por lo que se presenta el desarrollo e implementación de un conjunto de cuadraturas numéricas del tipo SQ_N simétricas con el mismo peso para cada dirección angular, y se comparan con las cuadraturas de tipo EQ_N . Los dos conjuntos de cuadraturas numéricas se implementaron en el programa AZTRAN, para un problema con medio isotrópico, en geometría XYZ, en estado estacionario, usando el método nodal RTN-0 (Raviart-Thomas-Nedeléc). Los resultados que se analizan corresponden al factor de multiplicación efectivo k_{eff} y el flujo angular de neutrones con aproximaciones desde S_4 hasta S_{16} .

1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos de fisión son de gran importancia para la determinación de las características cinética de un reactor nuclear, ya sea rápido o térmico. El análisis se efectúa con la solución de la ecuación de transporte neutrónico, determinando la distribución de neutrones como función de su posición, dirección, tiempo y energía. La ecuación de transporte de Boltzmann, se expresa en

términos del flujo angular de neutrones como variable dependiente. La solución analítica sólo puede aplicarse a casos idealizados, sin embargo para aplicaciones en ingeniería es necesario simplificarlo y aplicar métodos numéricos de aproximación.

Los códigos de transporte de partículas independientes del tiempo, que emplean la teoría de multigrupos y el método de ordenadas discretas (S_N) han sido utilizados desde hace varios años para la solución numérica de las ecuaciones de transporte de neutrones.

Como parte del proyecto: Desarrollo de una Plataforma para el Análisis de Reactores Nucleares AZTLAN, se está desarrollando el código de transporte AZTRAN (AZtlan TRANsporte), en la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) (la descripción del código AZTRAN se hará en una sección posterior). Una de las discretizaciones en dicho código corresponde a las direcciones angulares, para lo cual se utiliza el método de ordenadas discretas, desarrollándose e implementándose un conjunto de cuadraturas numéricas del tipo SQ_N comparándose los resultados con la cuadratura tipo EQ_N

2. MÉTODO DE ORDENADAS DISCRETAS

A continuación se presenta una descripción de la ecuación de transporte, las variables a considerar y la metodología aplicada para el método de ordenadas discretas.

2.1. Descripción de la Ecuación de Transporte

Para simplificar la descripción del procedimiento de solución iterativa del problema discreto, se partirá de la ecuación de transporte en multigrupos, en estado estacionario, en ordenadas discretas o aproximación S_N y geometría XYZ; se considera además un medio isotrópico, y una fuente también isotrópica, tal forma que se tiene lo siguiente:

$$\mu_k \frac{\partial \psi_{kg}}{\partial x} + \eta_k \frac{\partial \psi_{kg}}{\partial y} + \xi_k \frac{\partial \psi_{kg}}{\partial z} + \Sigma_{tg} \psi_{kg} = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{sg \rightarrow g'} \phi_{g'} + Q_g, \quad k = 1, 2, \dots, M; \quad (1.1)$$

$$(x, y, z) \in V = [a_x, b_x] \times [a_y, b_y] \times [a_z, b_z];$$

donde la fuente Q_g está dada por:

$$Q_g = \frac{1}{\lambda} \chi_g \sum_{g'=1}^G \nu \Sigma_{fg'} \phi_{g'} + S_g(x, y, z), \quad (1.2)$$

con el flujo escalar para la aproximación S_N como:

$$\phi_g(x, y, z) = \sum_{k=1}^M w_k \psi_{kg}(x, y, z), \quad (1.3)$$

donde μ_k, η_k, ξ_k son los cosenos directores que definen el vector de ángulo sólido Ω_k es decir:

$$\Omega_k = (\mu_k, \eta_k, \xi_k), \quad (1.4)$$

siendo λ el factor de multiplicación efectiva y S_g una fuente isotrópica e independiente del flujo de neutrones. Con el flujo angular de neutrones ψ_{kg} como variable dependiente correspondiente al k -ésimo rayo Ω_k de la aproximación S_N y al g -ésimo grupo de energía, de un total de G grupos (siendo M el número total de rayos considerados en el problema tridimensional por $N(N+2)$, con el peso w_k correspondiente al k -ésimo rayo).

De manera general, en la solución de la ecuación de transporte con el método de Iteración Fuente, primero se proporciona una aproximación inicial para el flujo angular ψ_{kg}^m , con el cual se calcula el flujo escalar ϕ_g^m usando la ecuación (1.3) y así se obtiene una primera estimación para la fuente efectiva correspondiente del lado derecho de la ecuación (1.1). Con esto se puede estimar el nuevo flujo angular $\psi_{kg}^{m+1/2}$ el cual permite inicializar la nueva aproximación ψ_{kg}^{m+1} . Este proceso iterativo continúa hasta que el flujo angular correspondiente a dos iteraciones sucesivas no difiera en más de una tolerancia ε_f previamente establecida. Por lo tanto esto se puede describir de la forma:

Dado $\psi_{kg}^0, k=1, \dots, M$;
 para $m=0, 1, \dots$, hasta lograr la convergencia;
 se calcula:

$$\phi_g^m = \sum_{k=1}^M w_k \psi_{kg}^m, \quad (1.5)$$

resolviendo entonces:

$$\mu_k \frac{\partial \psi_{kg}^{m+1/2}}{\partial x} + \eta_k \frac{\partial \psi_{kg}^{m+1/2}}{\partial y} + \xi_k \frac{\partial \psi_{kg}^{m+1/2}}{\partial z} + \sum_{ik} \psi_{kg}^{m+1/2} = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{sg \rightarrow g} \sum_{k=1}^M w_k \phi_{kg}^m + Q_g^k; \quad (1.6)$$

$k = 1, 2, \dots, M; g = 1, \dots, G,$

donde

$$Q_g^k = \frac{1}{\lambda} \chi_g \sum_{g'=1}^G \nu \Sigma_{fg} \hat{\phi}_{g'}^k + S_g(x, y, z), \quad (1.7)$$

inicializándose la iteración $(m+1)$ con la $(m + \frac{1}{2})$, es decir:

$$\psi_{kg}^{m+1} = \psi_{kg}^{m+1/2}; \quad k = 1, \dots, M; g = 1, \dots, G. \quad (1.8)$$

Calculando el error:

$$\varepsilon = \left\| \psi_{kg}^{m+1} - \psi_{kg}^m \right\| \quad (1.9)$$

Este procedimiento permite obtener la solución aproximada de la ecuación después de un número de iteraciones tal que $\varepsilon < \varepsilon_f$. Sin embargo para la solución en el programa AZTRAN, se obtienen ecuaciones tipo difusión siguiendo el procedimiento DSA, no sin antes de obtener las ecuaciones discretizadas usando el esquema nodal RTN-0.

3. IMPLEMENTACIÓN DE CUADRATURAS NUMÉRICAS EN EL PROGRAMA DE CÓMPUTO AZTRAN

3.1. Descripción del Programa AZTRAN

El programa de cómputo AZTRAN (AZtlan TRANsport), es un código que forma parte de la Plataforma AZTLAN, para análisis de reactores nucleares, de la cual hereda el nombre. El programa AZTRAN resuelve la ecuación de transporte neutrones en Ordenadas Discretas y geometría XYZ mediante Iteración Fuente *SI* (Source Iteration, por sus siglas en inglés), en estado estacionario usando el método RTN-0 (Raviart-Thomas-Nedeléc). Actualmente se trabaja en una versión que incluya un esquema de aceleración sintética por difusión DSA (Diffusion Synthetic Acceleration, por sus siglas en inglés). Este último método ha sido aplicado en problemas unidimensionales tipo placa, empleando esquemas nodales polinomiales analíticos, así como problemas de geometría XY. Para aplicarlo al programa AZTRAN el método DSA se extenderá hasta geometría XYZ [5,6].

3.2. Método de Cuadraturas de Simetría Completa e Igual Peso Tipo SQ_N Sobre la Esfera Unitaria

Debido a la complejidad del comportamiento angular en el flujo neutrónico para la solución de la ecuación de transporte, se hace una aproximación de la variable Ω , la cual es reemplazada por una serie de direcciones discretas que se aplican en la ecuación (1.4). Las direcciones continuas en el espacio se representan por una serie discreta de vectores conocidos como “conjunto de cuadraturas direccionales en ordenadas discretas”, los cuales se reflejan y forman los puntos sobre la superficie de la esfera (ver Figura 1).

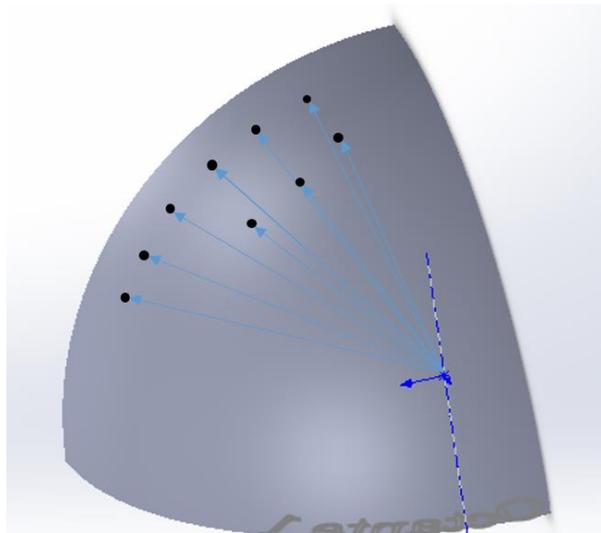


Figura 1. Forma de distribución de cuadraturas en la esfera.

La aproximación angular se hace por segmentos en cada sección de la esfera, donde se pretende que no se tengan variaciones en la rotación de cada sección de 90° , de lo contrario los resultados en la integración dependerán de la orientación en la esfera y la distribución neutrónica se vería distorsionada.

Se construye una serie de coordenadas que son simétricas en los ocho octantes de la esfera los cuales son pares (P_n, Ω_n) de pesos y direcciones, dependiendo del orden de cuadraturas $(N = 2, 4, 6, \dots)$ y que satisfacen con la condición [1,2]

$$\mu_n^2 + \eta_n^2 + \xi_n^2 = 1, \quad (2.1)$$

la condición de flujo

$$\begin{aligned} \sum_n P_n \mu_n &= 0, \\ \sum_n P_n \eta_n &= 0, \\ \sum_n P_n \xi_n &= 0, \end{aligned} \quad (2.2)$$

y con la condición de corriente

$$\sum_n P_n \mu_n^2 = \frac{1}{3}. \quad (2.3)$$

En el primer octante los cosenos directores de cada una de las direcciones angulares tienen signo positivo (μ_n, η_n, ξ_n) . Mientras para los demás octantes, las ordenadas y pesos con la serie de cosenos directores son obtenidos por un cambio de signo, de tal forma que para: el

$$2^\circ \text{ Octante } (-\mu_n, \eta_n, \xi_n), \quad (2.4)$$

$$3^{er} \text{ Octante } (-\mu_n, -\eta_n, \xi_n), \quad (2.5)$$

$$4^\circ \text{ Octante } (\mu_n, -\eta_n, \xi_n), \quad (2.6)$$

$$5^\circ \text{ Octante } (\mu_n, \eta_n, -\xi_n), \quad (2.7)$$

$$6^\circ \text{ Octante } (-\mu_n, \eta_n, -\xi_n), \quad (2.8)$$

$$7^\circ \text{ Octante } (-\mu_n, -\eta_n, -\xi_n) \quad (2.9)$$

$$\text{y para el } 8^\circ \text{ Octante } (\mu_n, -\eta_n, -\xi_n). \quad (2.10)$$

Los puntos distribuidos sobre un cuadrante de la esfera se representan con círculos, se comienzan a enumerar (s) en el lado opuesto de la esquina respecto de los cuales son medidos, dentro de cada círculo están las coordenadas dadas (ver Figura 2).

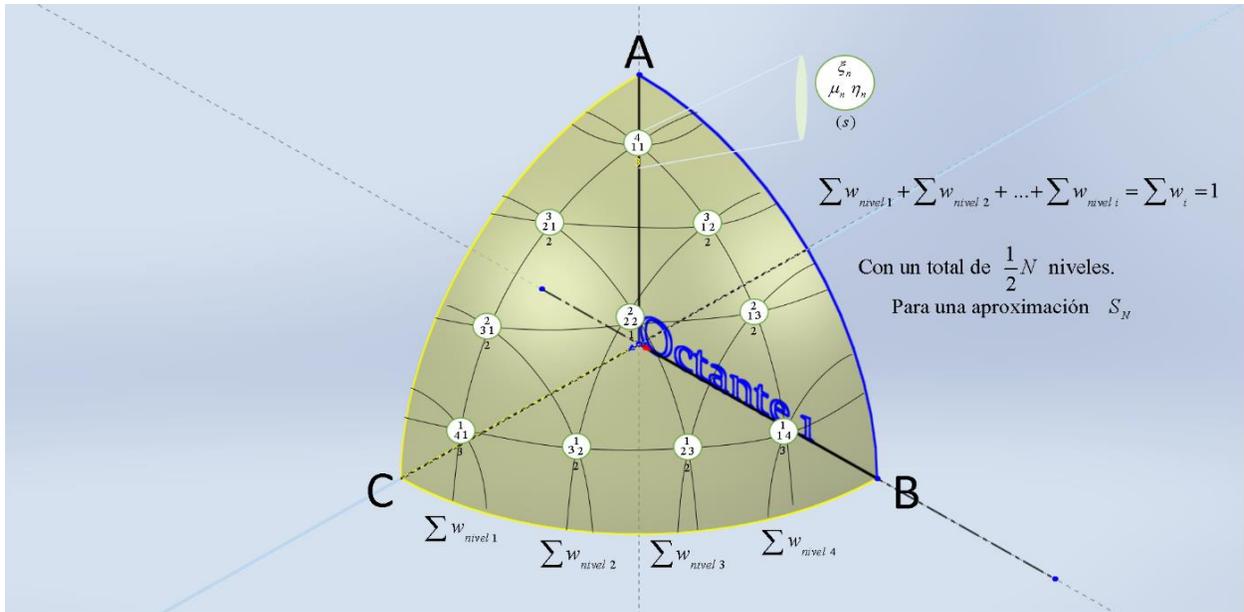


Figura 2. Primer octante de la esfera para una aproximación S_8 .

Los pesos en cada nivel (w_n) se definen como la suma de los pesos (cada punto P_s), sumando los puntos de cada nivel respecto a cualquiera de sus esquinas.

De esta manera los pesos de cada octante se conforman por

$$\sum_{n=1}^{N(N+2)/8} w_n = 1. \quad (2.11)$$

donde el subíndice n indica la corrida por las coordenadas (μ_i, η_j, ξ_k) , en $i, j, k = 1, 2, \dots, N/2$ combinaciones en un octante.

En sistemas de coordenadas rectangulares, cilíndricas y sistemas esféricos, en cada caso la variable $\underline{\Omega}_n$ es definido con respecto a una coordenada (μ, η, ξ) , la cual es alineada con respecto a los vectores unitarios correspondientes a las coordenadas geométricas del sistema. La posible orientación de la dirección angular del vector $\underline{\Omega}$ define una unidad esférica en (μ, η, ξ) del espacio.

La característica principal de las cuadraturas SQ_N (Symmetric Quadrature), es que su arreglo es completamente simétrico en el octante, tal como se muestra en la Figura 2 para una aproximación S_8 . Las distribuciones de las direcciones angulares en los demás octantes están sujetas a las ecuaciones (2.4) al (2.10). En forma análoga, para generar la serie de cuadraturas se tienen que cumplir con las condiciones (2.1) al (2.3).

Las distribuciones de las direcciones angulares dentro del octante estarán de manera que:

$$\mu_i^2 + \mu_j^2 + \mu_k^2 = 1, \tag{2.12}$$

donde $i = 1, 2, \dots, n/2$; $j = 1, 2, \dots, n/2 - i + 1$; $k = n/2 + 2 - i - j$.

para que al completar la simetría, los índices i, j, k , de las coordenadas de un punto sobre la esfera sumen $n/2 + 2$.

Esta relación (2.12) se resuelve por

$$\begin{aligned} \mu_m^2 &= \mu_1^2 + \frac{2(m-1)(1 - \mu_1^2 - \eta_1^2 - \xi_1^2)}{(n-2)}, \\ \eta_m^2 &= \eta_1^2 + \frac{2(m-1)(1 - \mu_1^2 - \eta_1^2 - \xi_1^2)}{(n-2)}, \\ \xi_m^2 &= \xi_1^2 + \frac{2(m-1)(1 - \mu_1^2 - \eta_1^2 - \xi_1^2)}{(n-2)}, \quad m = 1, 2, \dots, n/2. \end{aligned} \tag{2.13}$$

En este caso, como la simetría es completa, para generar la serie de cuadraturas se requiere que $\mu_1^2 = \eta_1^2 = \xi_1^2$ (Tabla 3), donde

$$\mu_1^2 = \eta_1^2 = \xi_1^2 \equiv \frac{1}{3(N-1)}, \tag{2.14}$$

y N indica la aproximación que se pretende realizar de las cuadraturas.

3.3. Método de Cuadraturas Mitad Simétricas de Igual Peso EQ_N Sobre la Esfera Unitaria

Uno de los métodos para determinar las cuadraturas es el tipo EQ_N (Equal Quadrature), el cual tiene como característica principal, la generación de cuadraturas mitad simétricas pero con igual peso sobre una esfera unitaria [3].

La distribución de estos pesos en un octante se determina en función de N , con la relación

$$P_n(N) \equiv P(N) = \frac{8}{N(N+2)}; \quad n = 1, 2, \dots, M. \tag{3.1}$$

donde

$$M \equiv M(N) = \frac{N(N+2)}{8}, \text{ con } \sum_n P_n = 1, \tag{3.2}$$

son la fracción y el total de pesos respectivamente, las coordenadas para cada punto corresponden a $\underline{\Omega}_n = (\mu_n, \eta_n, \xi_n)$ el cual implica que $0 \leq \mu_n, \eta_n, \xi_n \leq 1$, cumpliendo con la ecuación (2.1).

Los puntos se organizan sobre las líneas de nivel $1/2N$ en el octante, el total de puntos en un nivel i se determinan por

$$\sum_n P_{n\text{ nivel } i} = 1/2N - i + 1; \quad i=1,2, \dots, N/2. \quad (3.3)$$

Este arreglo tiene una propiedad triangular. Los pesos de cuadratura y sus componentes se determinan por las condiciones de momento seleccionados del tipo

$$\sum_n P_n \mu_n^k \eta_n^\ell = c_{k,\ell} \equiv (2/\pi) \int_0^1 d\mu \int_0^{2\pi} \mu_n^k \eta_n^\ell d\theta, \quad (3.4)$$

donde $\mu = \sqrt{1-\xi^2} \cos \theta$, $\eta = \sqrt{1-\xi^2} \sin \theta$, en k y ℓ veces.

Los puntos $\underline{\Omega}_n$ sobre el principal octante pueden presentarse:

$$\text{en el caso 1 } \underline{\Omega}_n = (\mu_n, \mu_n, \mu_n) \rightarrow \mu_n = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad (3.5)$$

$$\text{caso 2 } \underline{\Omega}_n = (\mu_n, \mu_n, \xi_n) \rightarrow \xi_n^2 = 1 - 2\mu_n^2, \quad (3.6)$$

$$\text{caso 3 } \underline{\Omega}_n = (\mu_n, \eta_n, \eta_n) \rightarrow \eta_n^2 = \frac{1}{2}(1 - \mu_n^2), \quad (3.7)$$

$$\text{caso 4 } \underline{\Omega}_n = (\mu_n, \eta_n, \xi_n) \rightarrow \xi_n^2 = 1 - \mu_n^2 - \eta_n^2. \quad (3.8)$$

Los puntos M_n que se generan en cada caso h en la serie de cuadraturas EQ_N , se determinan por:

$$M_1 = \begin{cases} 1, & N = 2, 8, 14, \dots, \\ 0, & \text{por otro lado,} \end{cases} \quad (3.9)$$

$$M_2 = (N-2)/6^*, \quad (3.10)$$

$$M_3 + M_4 = (N^2 - 16)/48^* = M_T(N-4), \quad (3.11)$$

$$M_4 = (N-6)(N+2)/48^* = M_T(N-6), \quad (3.12)$$

$$M_T = \sum_h M_h = N(N+8)/48^*. \quad (3.13)$$

Se puede demostrar que el número de puntos (3.2) es aproximadamente

$$M_p = M_T + M_D = N(N+4)/16^*, \quad (3.14)$$

respectivamente.

* Indica un redondeo en el punto más alto para el entero si es que el resultado es fraccionario.

4. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS SERIE DE CUADRATURAS EQ_N Y LAS GENERADAS SQ_N EN EL PROGRAMA AZTRAN

A continuación se presentan los resultados obtenidos al aplicar las cuadraturas de tipo EQ_N [3] y las de tipo SQ_N (Tabla 3) en el programa AZTRAN.

Los cálculos se hicieron para una celda de combustible con uranio enriquecido y barras de combustible con Gadolinia, pertenecientes a un reactor de tipo BWR (Boiling Water Reactor) (ver Figura 3 y Tabla 1).

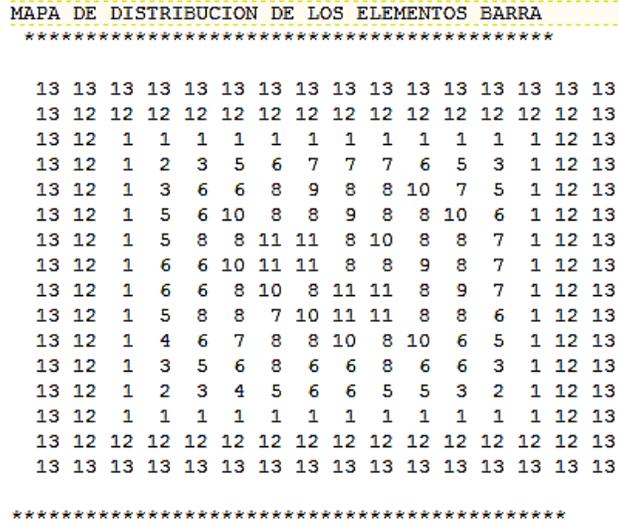


Figura 3. Distribución de materiales por cada plano XY.

La siguiente tabla contiene las principales características del problema analizado:

Tabla 1. Principales características del problema

NUMERO DE MATERIALES DEL PROBLEMA:	13
NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS BARRA:	13
NUMERO DE GRUPOS DE ENERGÍA:	2
NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS O CELDAS:	256
NUMERO TOTAL DE CORTES EN X:	17
NUMERO TOTAL DE CORTES EN Y:	17
NUMERO TOTAL DE CORTES EN Z:	2
NUMERO TOTAL DE FRANJAS EN LA DIRECCIÓN X:	16
NUMERO TOTAL DE FRANJAS EN LA DIRECCIÓN Y:	16
NUMERO TOTAL DE FRANJAS EN LA DIRECCIÓN Z:	1
NUMERO DE CORTES PRINCIPALES EN X:	17
NUMERO DE CORTES PRINCIPALES EN Y:	17
NUMERO DE CORTES PRINCIPALES EN Z:	2

Los resultados obtenidos para la comparativa entre la k_{eff} y el flujo angular se presentan a continuación:



Figura 4. Convergencia entre las dos cuadraturas EQ_N y SQ_N en el programa.

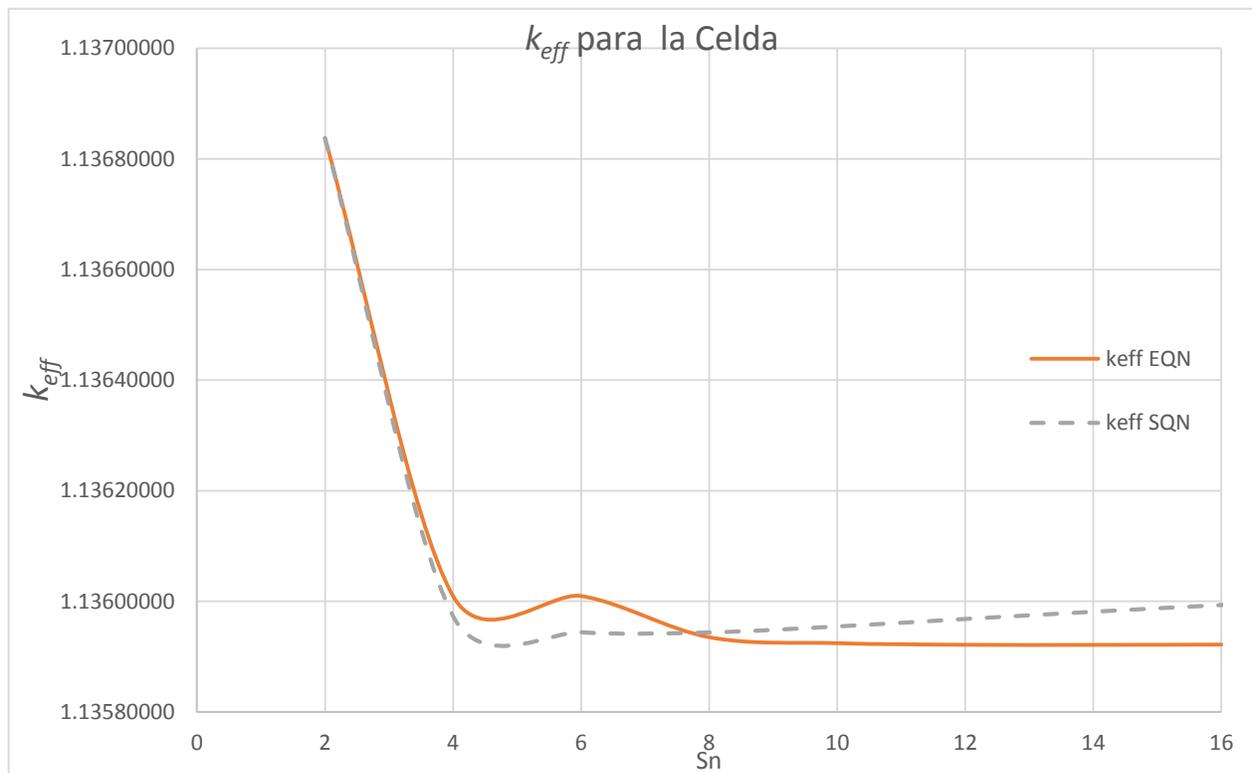


Figura 5. Factor de multiplicación efectivo en aproximaciones S_{16} , con las cuadraturas de tipo EQ_N y SQ_N.

Los flujos obtenidos para los grupos de energía (G.E.) 1 y 2:

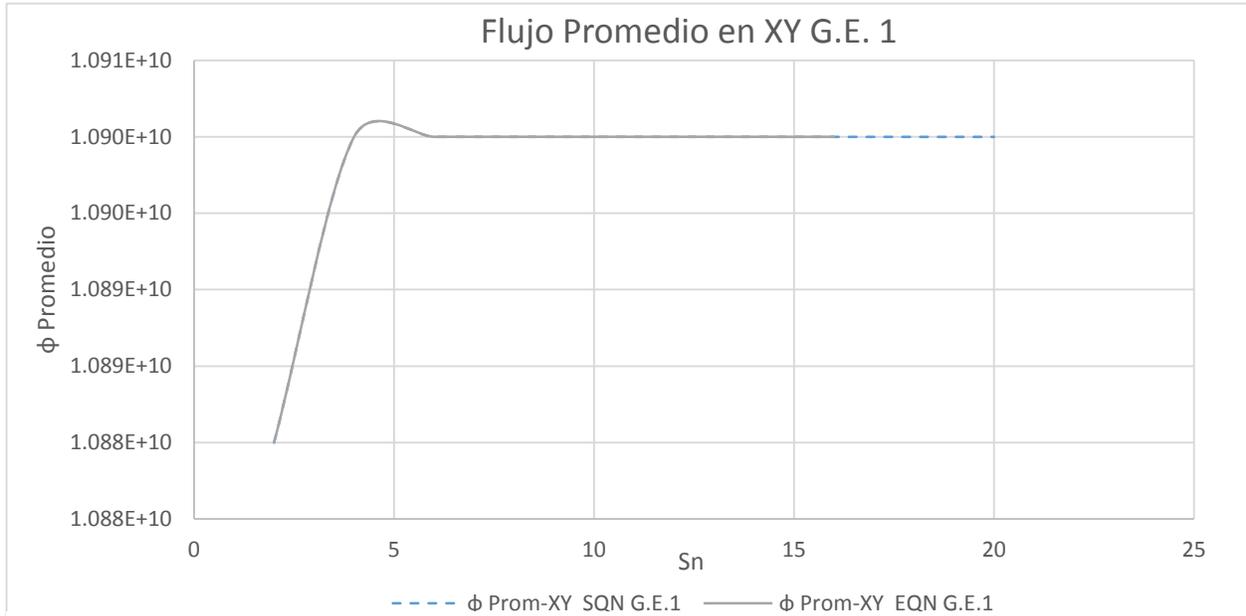


Figura 6. Flujo neutrónico promedio en XY para el grupo de energía 1.

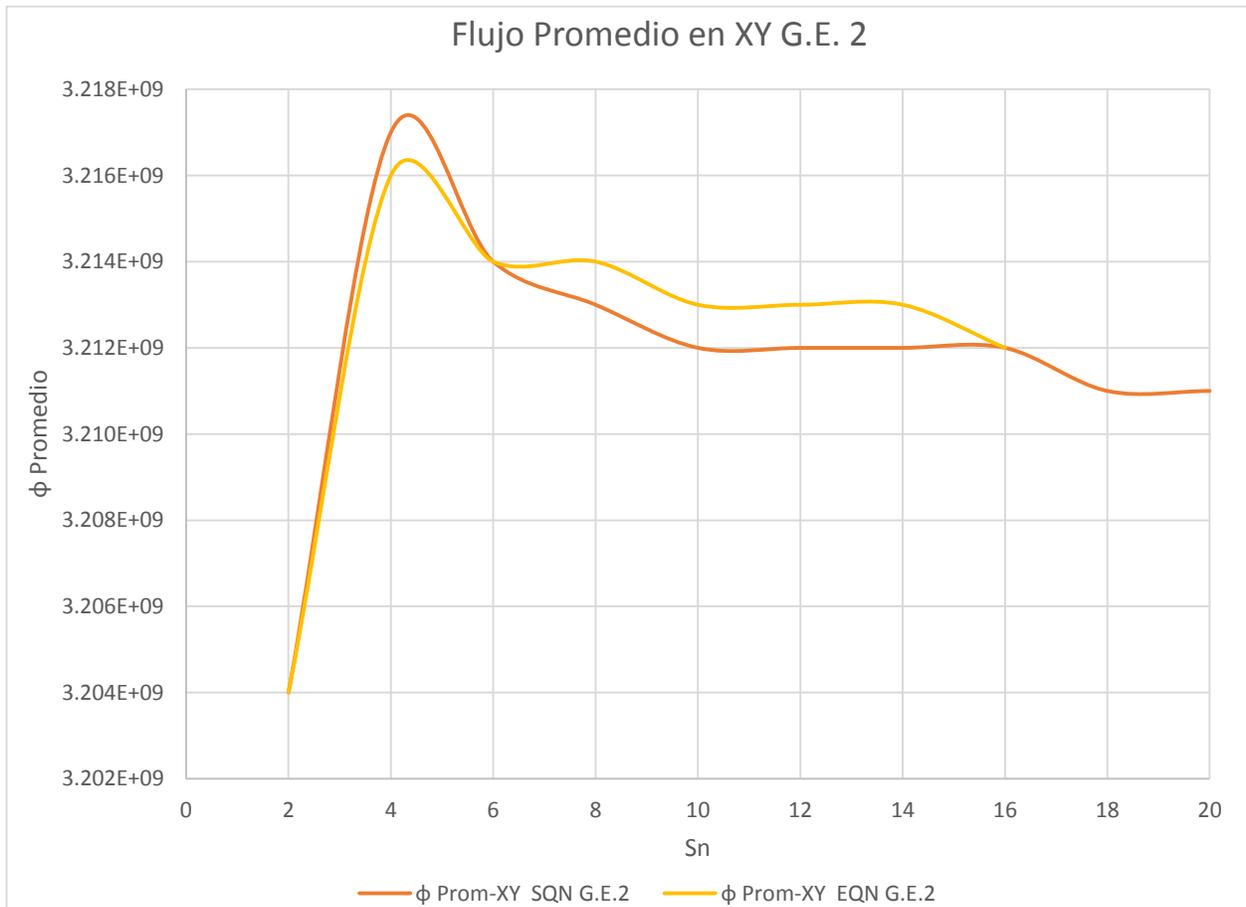


Figura 7. Flujo neutrónico promedio en XY para el grupo de energía 2.

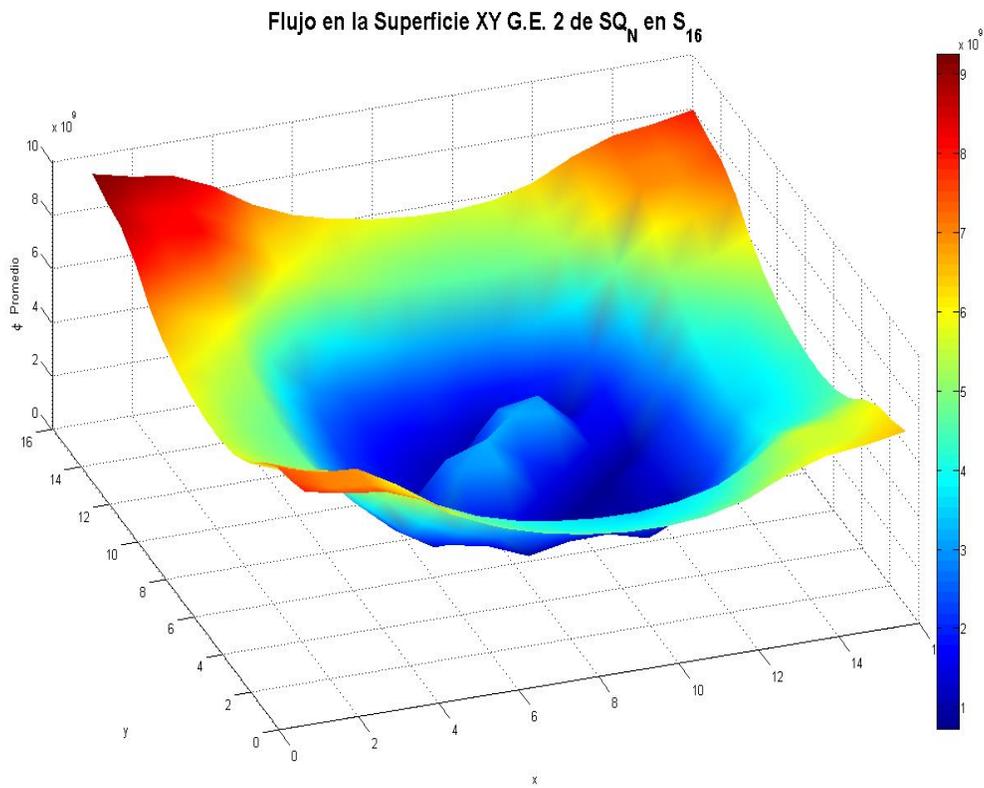


Figura 8. Flujo promedio en XY, vista como una superficie en 3D para el grupo de energía 2 (G.E.2), en una aproximación S_{16} usando cuadraturas tipo SQ_N .

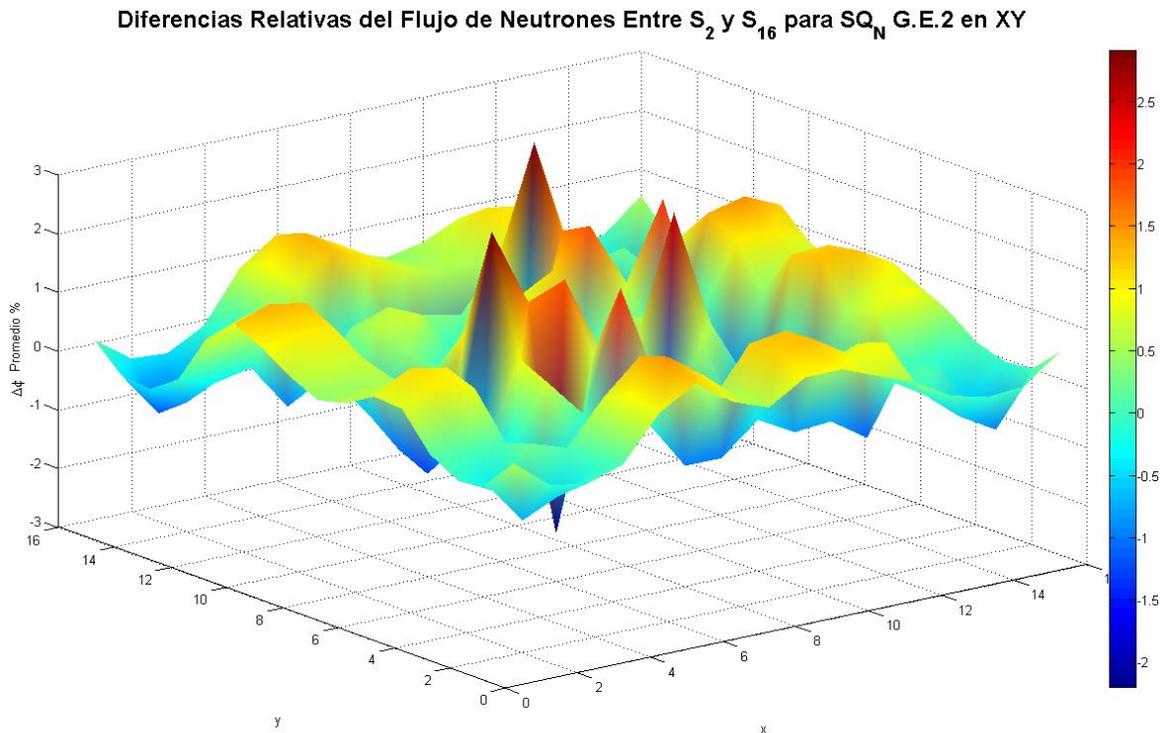


Figura 9. Diferencias relativas del flujo entre S_2 y S_{16} de cuadraturas SQ_N en geometría XY.

Flujo en la Superficie XY G.E. 2 de EQ_N en S_{16}

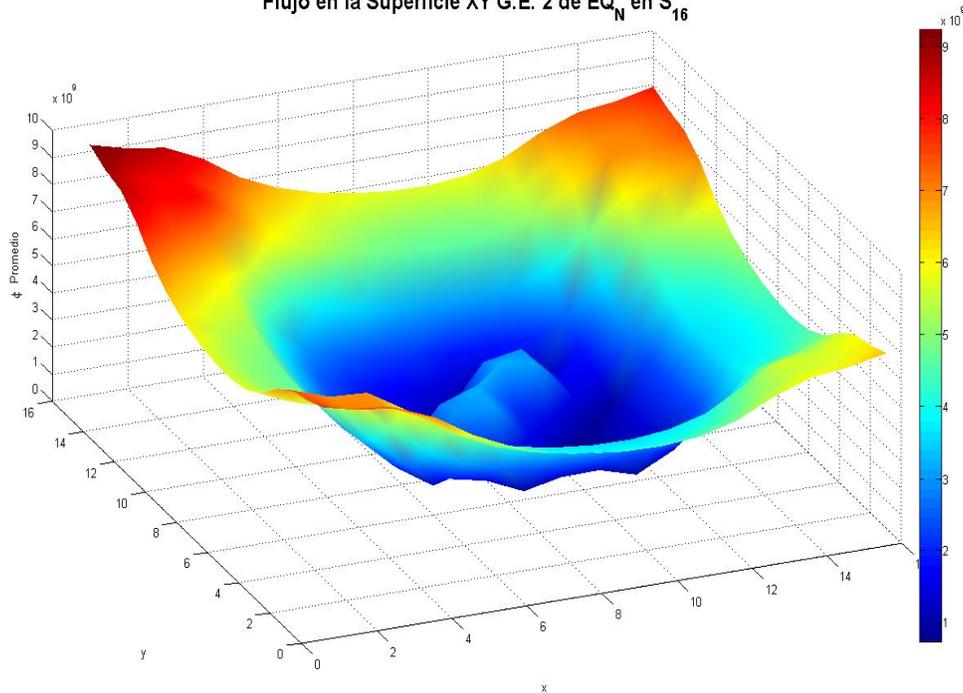


Figura 10. Flujo promedio en XY, vista como una superficie en 3D para el grupo de energía 2 (G.E.2), en una aproximación S_{16} usando cuadraturas tipo EQ_N .

Diferencias Relativas del Flujo de Neutrones Entre S_2 y S_{16} para EQ_N G.E.2 en XY

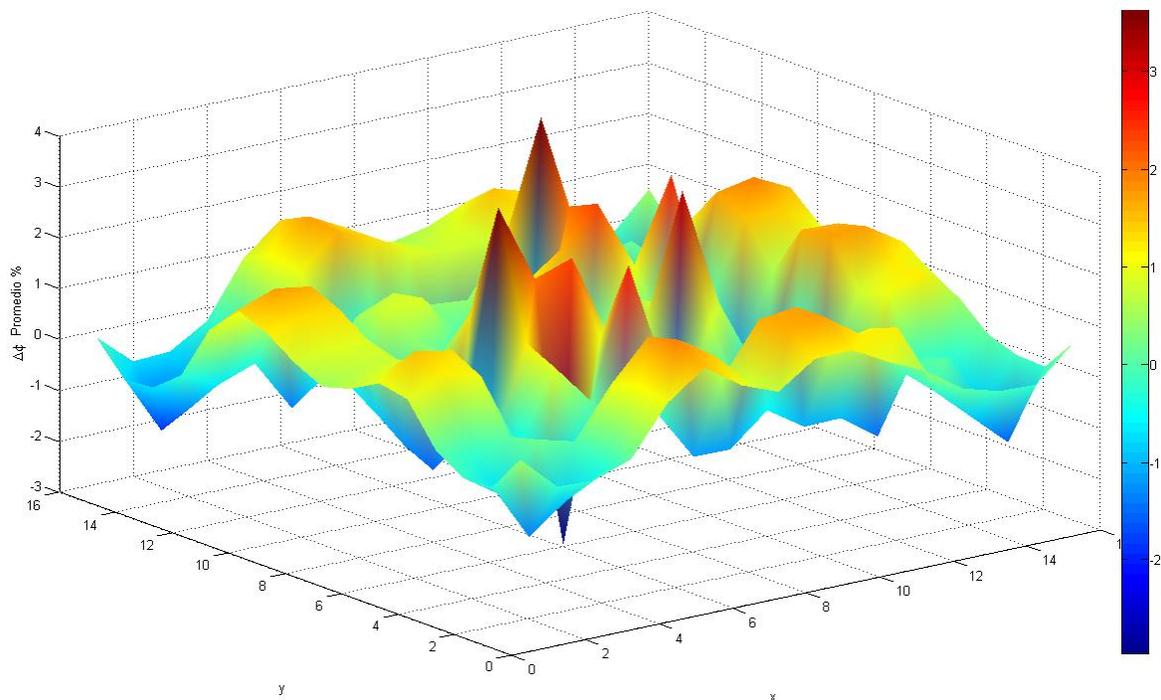


Figura 11. Diferencias relativas del flujo entre S_2 y S_{16} de cuadraturas EQ_N en geometría XY.

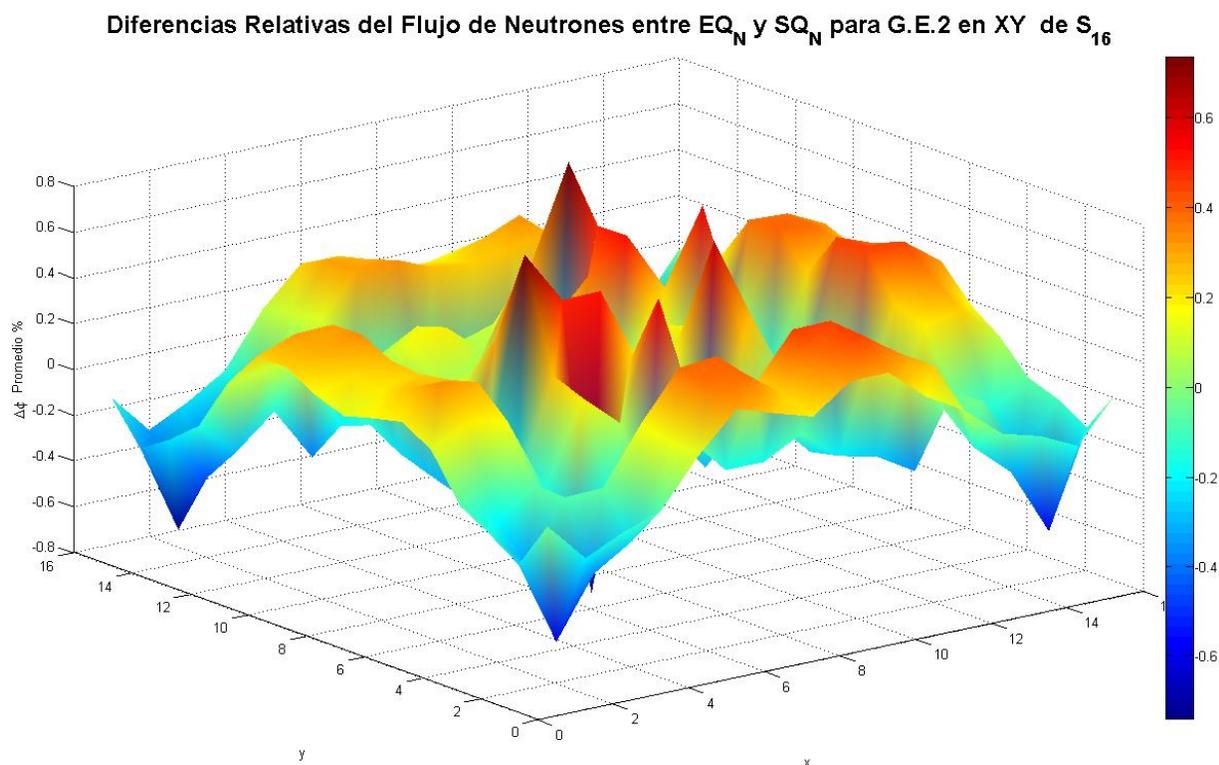


Figura 12. Diferencias relativas del flujo entre EQ_N y SQ_N en geometría XY con aproximación S_{16} .

Aún al aumentar la aproximación a S_{20} , para el caso de cuadraturas SQ_N , se mantienen al mismo nivel de flujo que EQ_N en el grupo de energía 1 (Figura 6). Del mismo modo que se hizo para el grupo de energía 1, se aumentó la aproximación a S_{20} para SQ_N , el cual muestra una disminución en el flujo para el grupo de energía 2, con EQ_N siguiendo la misma trayectoria. Sin embargo las variaciones en los flujos neutrónicos son mínimas para ambas cuadraturas. Una vista superficial en 3D, representando los flujos para ambos grupos de energía, su comportamiento son casi idénticos (Figura 8 y 10), el valor máximo promedio para cuadraturas SQ_N fue del 2.904%, entre las aproximaciones S_2 y S_{16} (Figura 9), mientras que para EQ_N el valor máximo fue del 3.616% en promedio, entre las aproximaciones S_2 y S_{16} respectivamente (Figura 11).

El valor promedio en las diferencias relativas entre ambas cuadraturas fueron del 0.0445% (Figura 12).

El porcentaje promedio de aproximación en las convergencias para el factor de multiplicación en S_{16} de ambas cuadraturas, mostraron un 99.992315%, muy cercanas entre las iteraciones en el programa AZTRAN (Figura 4 y Tabla 2).

Las ejecuciones del programa se hicieron en una computadora portátil, asignándole solo para el proceso, 4 núcleos virtuales en el procesador a una velocidad de 2.5 GHz, con una memoria de 2 Gb en RAM. Los tiempos fueron registrados de: 302.8906450 segundos para cuadraturas de tipo EQ_N y 317.0645860 segundos en cuadraturas de tipo SQ_N , específicamente aplicando aproximaciones en S_{16} .

Tabla 2. Resultados obtenidos para las dos series de cuadraturas numéricas en S₁₆

Iteraciones externas	SQ _N en S ₁₆			EQ _N en S ₁₆			Delta k _∞ de aproximación en %
	k _∞	Iteraciones internas	emax	k _∞	Iteraciones internas	emax	
1	1.12020493	208	9.70E-08	1.12006534	208	9.68E-08	99.986041
2	1.13033159	155	9.67E-08	1.13021184	154	9.84E-08	99.988025
3	1.13322679	119	9.94E-08	1.13313684	120	9.99E-08	99.991004
4	1.13440740	104	9.76E-08	1.13433072	106	9.76E-08	99.992331
5	1.13502477	101	9.64E-08	1.13495304	103	9.71E-08	99.992827
6	1.13538836	100	1.00E-07	1.13531890	103	9.68E-08	99.993054
7	1.13561314	101	9.76E-08	1.13554379	103	9.82E-08	99.993065
8	1.13575385	101	9.89E-08	1.13568419	103	9.94E-08	99.993033
9	1.13584233	101	9.97E-08	1.13577256	104	9.65E-08	99.993023
10	1.13589833	102	9.65E-08	1.13582808	104	9.69E-08	99.992974
11	1.13593358	102	9.68E-08	1.13586296	104	9.73E-08	99.992937
12	1.13595577	102	9.70E-08	1.13588488	104	9.75E-08	99.992911
13	1.13596974	102	9.71E-08	1.13589867	104	9.76E-08	99.992893
14	1.13597854	102	9.72E-08	1.13590734	104	9.77E-08	99.992880
15	1.13598409	102	9.73E-08	1.13591280	104	9.77E-08	99.992871
16	1.13598759	102	9.73E-08	1.13591623	104	9.77E-08	99.992864
17	1.13598979	102	9.73E-08	1.13591839	104	9.78E-08	99.992860
18	1.13599118	102	9.73E-08	1.13591974	104	9.78E-08	99.992856
19	1.13599205	102	9.73E-08	1.13592060	104	9.78E-08	99.992854
20	1.13599261	102	9.73E-08	1.13592114	104	9.78E-08	99.992853
21	1.13599295	102	9.74E-08	1.13592147	104	9.78E-08	99.992852
22	1.13599317	102	9.74E-08	1.13592169	104	9.78E-08	99.992851
23	1.13599331	102	9.74E-08	1.13592182	104	9.78E-08	99.992851
24	1.13599340	102	9.74E-08	1.13592190	104	9.78E-08	99.992851

Tabla 3. Conjunto de cuadraturas simétricas generadas de tipo SQ_N de igual peso

Total i, w _i	i	n	μ_i^2	Σw_i	μ_i^2	η_i^2	ξ_i^2	n	μ_p^2	η_p^2	ξ_p^2	Comprobación	μ_p	η_p	ξ_p
1	1	2	0.33333333	1	0.33333333	0.33333333	0.33333333	2	0.33333333	0.33333333	0.33333333	1.00000000	0.57735027	0.57735027	0.57735027
2	1	4	0.11111111	2	0.11111111	0.11111111	0.11111111	4	0.11111111	0.11111111	0.11111111	1.00000000	0.33333333	0.33333333	0.88191710
3	2	4	0.11111111	1	0.77777778	0.77777778	0.77777778	4	0.11111111	0.77777778	0.11111111	1.00000000	0.33333333	0.88191710	0.33333333
3	1	6	0.06666667	3	0.06666667	0.06666667	0.06666667	6	0.06666667	0.06666667	0.06666667	1.00000000	0.25819889	0.25819889	0.93094934
6	2	6	0.06666667	2	0.46666667	0.46666667	0.46666667	6	0.06666667	0.46666667	0.06666667	1.00000000	0.25819889	0.68313005	0.68313005
3	3	6	0.06666667	1	0.86666667	0.86666667	0.86666667	6	0.06666667	0.86666667	0.06666667	1.00000000	0.25819889	0.93094934	0.25819889
4	1	8	0.04761905	4	0.04761905	0.04761905	0.04761905	8	0.04761905	0.04761905	0.04761905	1.00000000	0.21821789	0.21821789	0.95118973
10	2	8	0.04761905	3	0.33333333	0.33333333	0.33333333	8	0.04761905	0.33333333	0.61904762	1.00000000	0.21821789	0.57735027	0.78679579
3	3	8	0.04761905	2	0.61904762	0.61904762	0.61904762	8	0.04761905	0.61904762	0.04761905	1.00000000	0.21821789	0.78679579	0.57735027
4	4	8	0.04761905	1	0.90476190	0.90476190	0.90476190	8	0.04761905	0.90476190	0.04761905	1.00000000	0.21821789	0.95118973	0.21821789
5	1	10	0.03703704	5	0.03703704	0.03703704	0.03703704	10	0.03703704	0.03703704	0.03703704	1.00000000	0.19245009	0.19245009	0.96225045
15	2	10	0.03703704	4	0.25925926	0.25925926	0.25925926	10	0.03703704	0.25925926	0.70370370	1.00000000	0.19245009	0.50917508	0.83887049
3	3	10	0.03703704	3	0.48148148	0.48148148	0.48148148	10	0.03703704	0.48148148	0.48148148	1.00000000	0.19245009	0.69388867	0.69388867
4	4	10	0.03703704	2	0.70370370	0.70370370	0.70370370	10	0.03703704	0.70370370	0.25925926	1.00000000	0.19245009	0.83887049	0.50917508
5	5	10	0.03703704	1	0.92592593	0.92592593	0.92592593	10	0.03703704	0.92592593	0.03703704	1.00000000	0.19245009	0.96225045	0.19245009
6	1	12	0.03030303	6	0.03030303	0.03030303	0.03030303	12	0.03030303	0.03030303	0.03030303	1.00000000	0.17407766	0.17407766	0.96922337
21	2	12	0.03030303	5	0.21212121	0.21212121	0.21212121	12	0.03030303	0.21212121	0.75757576	1.00000000	0.17407766	0.46056619	0.87038828
3	3	12	0.03030303	4	0.39393939	0.39393939	0.39393939	12	0.03030303	0.39393939	0.57575758	1.00000000	0.17407766	0.62764591	0.75878691
4	4	12	0.03030303	3	0.57575758	0.57575758	0.57575758	12	0.03030303	0.57575758	0.39393939	1.00000000	0.17407766	0.75878691	0.62764591
5	5	12	0.03030303	2	0.75757576	0.75757576	0.75757576	12	0.03030303	0.75757576	0.21212121	1.00000000	0.17407766	0.87038828	0.46056619
6	6	12	0.03030303	1	0.93939394	0.93939394	0.93939394	12	0.03030303	0.93939394	0.03030303	1.00000000	0.17407766	0.96922337	0.17407766
6	1	15	0.03030303	6	0.03030303	0.03030303	0.03030303	15	0.03030303	0.03030303	0.03030303	1.00000000	0.17407766	0.17407766	0.96922337
15	2	15	0.03030303	5	0.21212121	0.21212121	0.21212121	15	0.03030303	0.21212121	0.75757576	1.00000000	0.17407766	0.46056619	0.87038828
3	3	15	0.03030303	4	0.39393939	0.39393939	0.39393939	15	0.03030303	0.39393939	0.57575758	1.00000000	0.17407766	0.62764591	0.75878691
4	4	15	0.03030303	3	0.57575758	0.57575758	0.57575758	15	0.03030303	0.57575758	0.39393939	1.00000000	0.17407766	0.75878691	0.62764591
5	5	15	0.03030303	2	0.75757576	0.75757576	0.75757576	15	0.03030303	0.75757576	0.21212121	1.00000000	0.17407766	0.87038828	0.46056619
6	6	15	0.03030303	1	0.93939394	0.93939394	0.93939394	15	0.03030303	0.93939394	0.03030303	1.00000000	0.17407766	0.96922337	0.17407766

XXVI Congreso Anual de la Sociedad Nuclear Mexicana
XIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica
Puerto Vallarta, Jalisco, México, del 5 al 8 de Julio de 2015

Total i, w _i	i	n	μ_i^2	ΣW_i	μ_i^2	η_i^2	ξ_i^2	n	μ_p^2	η_p^2	ξ_p^2	Comprobación	μ_p	η_p	ξ_p			
7 28	1	14	0.02564103	7	a	0.02564103	0.02564103	0.02564103	a	0.02564103	0.02564103	0.94871795	1.00000000	1	0.16012815	0.16012815	0.97402153	
	2				b	0.17948718	0.17948718	0.17948718	a	0.02564103	0.17948718	0.79487179	1.00000000	2	0.16012815	0.42365927	0.89155583	
	3				c	0.33333333	0.33333333	0.33333333	a	0.02564103	0.33333333	0.64102564	1.00000000	3	0.16012815	0.57735027	0.80064077	
	4				d	0.48717949	0.48717949	0.48717949	a	0.02564103	0.48717949	0.48717949	1.00000000	4	0.16012815	0.69798244	0.69798244	
	5				e	0.64102564	0.64102564	0.64102564	a	0.02564103	0.64102564	0.33333333	1.00000000	5	0.16012815	0.80064077	0.57735027	
	6				f	0.79487179	0.79487179	0.79487179	a	0.02564103	0.79487179	0.17948718	1.00000000	6	0.16012815	0.89155583	0.42365927	
	7				g	0.94871795	0.94871795	0.94871795	a	0.02564103	0.94871795	0.02564103	1.00000000	7	0.16012815	0.97402153	0.16012815	
	14					b	0.17948718	0.02564103	0.79487179	b	0.17948718	0.02564103	0.79487179	1.00000000	8	0.42365927	0.16012815	0.89155583
						b	0.17948718	0.17948718	0.64102564	b	0.17948718	0.17948718	0.64102564	1.00000000	9	0.42365927	0.42365927	0.80064077
						b	0.17948718	0.33333333	0.48717949	b	0.17948718	0.33333333	0.48717949	1.00000000	10	0.42365927	0.57735027	0.69798244
						b	0.17948718	0.48717949	0.33333333	b	0.17948718	0.48717949	0.33333333	1.00000000	11	0.42365927	0.69798244	0.57735027
						b	0.17948718	0.64102564	0.17948718	b	0.17948718	0.64102564	0.17948718	1.00000000	12	0.42365927	0.80064077	0.42365927
						b	0.17948718	0.79487179	0.02564103	b	0.17948718	0.79487179	0.02564103	1.00000000	13	0.42365927	0.89155583	0.16012815
						c	0.33333333	0.02564103	0.64102564	c	0.33333333	0.02564103	0.64102564	1.00000000	14	0.57735027	0.16012815	0.80064077
						c	0.33333333	0.17948718	0.48717949	c	0.33333333	0.17948718	0.48717949	1.00000000	15	0.57735027	0.42365927	0.69798244
						c	0.33333333	0.33333333	0.33333333	c	0.33333333	0.33333333	0.33333333	1.00000000	16	0.57735027	0.57735027	0.57735027
						c	0.33333333	0.48717949	0.17948718	c	0.33333333	0.48717949	0.17948718	1.00000000	17	0.57735027	0.69798244	0.42365927
						c	0.33333333	0.64102564	0.02564103	c	0.33333333	0.64102564	0.02564103	1.00000000	18	0.57735027	0.80064077	0.16012815
						d	0.48717949	0.02564103	0.48717949	d	0.48717949	0.02564103	0.48717949	1.00000000	19	0.69798244	0.16012815	0.69798244
						d	0.48717949	0.17948718	0.33333333	d	0.48717949	0.17948718	0.33333333	1.00000000	20	0.69798244	0.42365927	0.57735027
						d	0.48717949	0.33333333	0.17948718	d	0.48717949	0.33333333	0.17948718	1.00000000	21	0.69798244	0.57735027	0.42365927
						d	0.48717949	0.48717949	0.02564103	d	0.48717949	0.48717949	0.02564103	1.00000000	22	0.69798244	0.69798244	0.16012815
						e	0.64102564	0.02564103	0.33333333	e	0.64102564	0.02564103	0.33333333	1.00000000	23	0.80064077	0.16012815	0.57735027
						e	0.64102564	0.17948718	0.17948718	e	0.64102564	0.17948718	0.17948718	1.00000000	24	0.80064077	0.42365927	0.42365927
						e	0.64102564	0.33333333	0.02564103	e	0.64102564	0.33333333	0.02564103	1.00000000	25	0.80064077	0.57735027	0.16012815
						f	0.79487179	0.02564103	0.17948718	f	0.79487179	0.02564103	0.17948718	1.00000000	26	0.89155583	0.16012815	0.42365927
						f	0.79487179	0.17948718	0.02564103	f	0.79487179	0.17948718	0.02564103	1.00000000	27	0.89155583	0.42365927	0.16012815
						g	0.94871795	0.02564103	0.02564103	g	0.94871795	0.02564103	0.02564103	1.00000000	28	0.97402153	0.16012815	0.16012815
8 36		1	16	0.02222222	8	a	0.02222222	0.02222222	0.02222222	0.02222222	0.02222222	0.95555556	1.00000000	1	0.14907120	0.14907120	0.97752522	
		2				b	0.15555556	0.15555556	0.15555556	0.02222222	0.15555556	0.82222222	1.00000000	2	0.14907120	0.39440532	0.90676470	
		3				c	0.28888889	0.28888889	0.28888889	0.02222222	0.28888889	0.68888889	1.00000000	3	0.14907120	0.53748385	0.82999331	
		4				d	0.42222222	0.42222222	0.42222222	0.02222222	0.42222222	0.55555556	1.00000000	4	0.14907120	0.64978629	0.74535599	
		5				e	0.55555556	0.55555556	0.55555556	0.02222222	0.55555556	0.42222222	1.00000000	5	0.14907120	0.74535599	0.64978629	
		6				f	0.68888889	0.68888889	0.68888889	0.02222222	0.68888889	0.28888889	1.00000000	6	0.14907120	0.82999331	0.53748385	
		7				g	0.82222222	0.82222222	0.82222222	0.02222222	0.82222222	0.15555556	1.00000000	7	0.14907120	0.90676470	0.39440532	
	8	h				0.95555556	0.95555556	0.95555556	0.02222222	0.95555556	0.02222222	1.00000000	8	0.14907120	0.97752522	0.14907120		
									0.15555556	0.02222222	0.82222222	1.00000000	9	0.39440532	0.14907120	0.90676470		
									0.15555556	0.15555556	0.68888889	1.00000000	10	0.39440532	0.39440532	0.82999331		
									0.15555556	0.28888889	0.55555556	1.00000000	11	0.39440532	0.53748385	0.74535599		
									0.15555556	0.42222222	0.42222222	1.00000000	12	0.39440532	0.64978629	0.64978629		
									0.15555556	0.55555556	0.28888889	1.00000000	13	0.39440532	0.74535599	0.53748385		
									0.15555556	0.68888889	0.15555556	1.00000000	14	0.39440532	0.82999331	0.39440532		
									0.15555556	0.82222222	0.02222222	1.00000000	15	0.39440532	0.90676470	0.14907120		
									0.28888889	0.02222222	0.68888889	1.00000000	16	0.53748385	0.14907120	0.82999331		
					0.28888889	0.15555556	0.55555556	1.00000000	17	0.53748385	0.39440532	0.74535599						
					0.28888889	0.28888889	0.42222222	1.00000000	18	0.53748385	0.53748385	0.64978629						
					0.28888889	0.42222222	0.28888889	1.00000000	19	0.53748385	0.64978629	0.53748385						
					0.28888889	0.55555556	0.15555556	1.00000000	20	0.53748385	0.74535599	0.39440532						
					0.28888889	0.68888889	0.02222222	1.00000000	21	0.53748385	0.82999331	0.14907120						
					0.42222222	0.02222222	0.55555556	1.00000000	22	0.64978629	0.14907120	0.74535599						
					0.42222222	0.15555556	0.42222222	1.00000000	23	0.64978629	0.39440532	0.64978629						
					0.42222222	0.28888889	0.28888889	1.00000000	24	0.64978629	0.53748385	0.53748385						
					0.42222222	0.42222222	0.15555556	1.00000000	25	0.64978629	0.64978629	0.39440532						
					0.42222222	0.55555556	0.02222222	1.00000000	26	0.64978629	0.74535599	0.14907120						
					0.55555556	0.02222222	0.42222222	1.00000000	27	0.74535599	0.14907120	0.64978629						
					0.55555556	0.15555556	0.28888889	1.00000000	28	0.74535599	0.39440532	0.53748385						
					0.55555556	0.28888889	0.15555556	1.00000000	29	0.74535599	0.53748385	0.39440532						
					0.55555556	0.42222222	0.02222222	1.00000000	30	0.74535599	0.64978629	0.14907120						
					0.68888889	0.02222222	0.28888889	1.00000000	31	0.82999331	0.14907120	0.53748385						
					0.68888889	0.15555556	0.15555556	1.00000000	32	0.82999331	0.39440532	0.39440532						
					0.68888889	0.28888889	0.02222222	1.00000000	33	0.82999331	0.53748385	0.14907120						
					0.82222222	0.02222222	0.15555556	1.00000000	34	0.90676470	0.14907120	0.39440532						
					0.82222222	0.15555556	0.02222222	1.00000000	35	0.90676470	0.39440532	0.14907120						
					0.95555556	0.02222222	0.02222222	1.00000000	36	0.97752522	0.14907120	0.14907120						

XXVI Congreso Anual de la Sociedad Nuclear Mexicana
 XIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica
 Puerto Vallarta, Jalisco, México, del 5 al 8 de Julio de 2015

Total i, w _i	i	n	μ_1^2	ΣW_i	μ_i^2	η_i^2	ξ_i^2	n	μ_p^2	η_p^2	ξ_p^2	Comprobación	μ_p	η_p	ξ_p	
									0.01754386	0.01754386	0.96491228	1.00000000	1	0.13245324	0.13245324	0.98229949
									0.01754386	0.12280702	0.85964912	1.00000000	2	0.13245324	0.35043832	0.92717265
									0.01754386	0.22807018	0.75438596	1.00000000	3	0.13245324	0.47756693	0.86855395
									0.01754386	0.33333333	0.64912281	1.00000000	4	0.13245324	0.57735027	0.80568158
									0.01754386	0.43859649	0.54385965	1.00000000	5	0.13245324	0.66226618	0.73746841
									0.01754386	0.54385965	0.43859649	1.00000000	6	0.13245324	0.73746841	0.66226618
									0.01754386	0.64912281	0.33333333	1.00000000	7	0.13245324	0.80568158	0.57735027
									0.01754386	0.75438596	0.22807018	1.00000000	8	0.13245324	0.86855395	0.47756693
									0.01754386	0.85964912	0.12280702	1.00000000	9	0.13245324	0.92717265	0.35043832
									0.01754386	0.96491228	0.01754386	1.00000000	10	0.13245324	0.98229949	0.13245324
									0.12280702	0.01754386	0.85964912	1.00000000	11	0.35043832	0.13245324	0.92717265
									0.12280702	0.12280702	0.75438596	1.00000000	12	0.35043832	0.35043832	0.86855395
10	1			10	a	0.01754386	0.01754386	0.01754386	0.12280702	0.22807018	0.64912281	1.00000000	13	0.35043832	0.47756693	0.80568158
55	2			9	b	0.12280702	0.12280702	0.12280702	0.12280702	0.22807018	0.54385965	1.00000000	14	0.35043832	0.57735027	0.73746841
	3			8	c	0.22807018	0.22807018	0.22807018	0.12280702	0.33333333	0.43859649	1.00000000	15	0.35043832	0.66226618	0.66226618
	4			7	d	0.33333333	0.33333333	0.33333333	0.12280702	0.43859649	0.43859649	1.00000000	16	0.35043832	0.73746841	0.57735027
	5			6	e	0.43859649	0.43859649	0.43859649	0.12280702	0.54385965	0.33333333	1.00000000	17	0.35043832	0.80568158	0.47756693
	6	20	0.01754386	5	f	0.54385965	0.54385965	0.54385965	0.12280702	0.64912281	0.22807018	1.00000000	18	0.35043832	0.86855395	0.35043832
	7			4	g	0.64912281	0.64912281	0.64912281	0.12280702	0.75438596	0.12280702	1.00000000	19	0.35043832	0.92717265	0.13245324
	8			3	h	0.75438596	0.75438596	0.75438596	0.12280702	0.85964912	0.01754386	1.00000000	20	0.47756693	0.13245324	0.86855395
	9			2	i	0.85964912	0.85964912	0.85964912	0.22807018	0.01754386	0.75438596	1.00000000	21	0.47756693	0.35043832	0.80568158
	10			1	j	0.96491228	0.96491228	0.96491228	0.22807018	0.12280702	0.64912281	1.00000000	22	0.47756693	0.47756693	0.73746841
									0.22807018	0.22807018	0.54385965	1.00000000	23	0.47756693	0.57735027	0.66226618
									0.22807018	0.33333333	0.43859649	1.00000000	24	0.47756693	0.66226618	0.57735027
									0.22807018	0.43859649	0.33333333	1.00000000	25	0.47756693	0.73746841	0.47756693
									0.22807018	0.54385965	0.22807018	1.00000000	26	0.47756693	0.80568158	0.35043832
									0.22807018	0.64912281	0.12280702	1.00000000	27	0.47756693	0.86855395	0.13245324
								20	0.33333333	0.01754386	0.64912281	1.00000000	28	0.57735027	0.13245324	0.80568158
									0.33333333	0.12280702	0.54385965	1.00000000	29	0.57735027	0.35043832	0.73746841
									0.33333333	0.22807018	0.43859649	1.00000000	30	0.57735027	0.47756693	0.66226618
									0.33333333	0.33333333	0.33333333	1.00000000	31	0.57735027	0.57735027	0.57735027
									0.33333333	0.43859649	0.22807018	1.00000000	32	0.57735027	0.66226618	0.47756693
									0.33333333	0.54385965	0.12280702	1.00000000	33	0.57735027	0.73746841	0.35043832
									0.33333333	0.64912281	0.01754386	1.00000000	34	0.57735027	0.80568158	0.13245324
									0.43859649	0.01754386	0.54385965	1.00000000	35	0.66226618	0.13245324	0.73746841
									0.43859649	0.12280702	0.43859649	1.00000000	36	0.66226618	0.35043832	0.66226618
									0.43859649	0.22807018	0.33333333	1.00000000	37	0.66226618	0.47756693	0.57735027
									0.43859649	0.33333333	0.22807018	1.00000000	38	0.66226618	0.57735027	0.47756693
									0.43859649	0.43859649	0.12280702	1.00000000	39	0.66226618	0.66226618	0.35043832
									0.43859649	0.54385965	0.01754386	1.00000000	40	0.66226618	0.73746841	0.13245324
									0.54385965	0.01754386	0.43859649	1.00000000	41	0.73746841	0.13245324	0.66226618
									0.54385965	0.12280702	0.33333333	1.00000000	42	0.73746841	0.35043832	0.57735027
									0.54385965	0.22807018	0.22807018	1.00000000	43	0.73746841	0.47756693	0.47756693
									0.54385965	0.33333333	0.12280702	1.00000000	44	0.73746841	0.57735027	0.35043832
									0.54385965	0.43859649	0.01754386	1.00000000	45	0.73746841	0.66226618	0.13245324
									0.64912281	0.01754386	0.33333333	1.00000000	46	0.80568158	0.13245324	0.57735027
									0.64912281	0.12280702	0.22807018	1.00000000	47	0.80568158	0.35043832	0.47756693
									0.64912281	0.22807018	0.12280702	1.00000000	48	0.80568158	0.47756693	0.35043832
									0.64912281	0.33333333	0.01754386	1.00000000	49	0.80568158	0.57735027	0.13245324
									0.75438596	0.01754386	0.22807018	1.00000000	50	0.86855395	0.13245324	0.47756693
									0.75438596	0.12280702	0.12280702	1.00000000	51	0.86855395	0.35043832	0.35043832
									0.75438596	0.22807018	0.01754386	1.00000000	52	0.86855395	0.47756693	0.13245324
									0.85964912	0.01754386	0.12280702	1.00000000	53	0.92717265	0.13245324	0.35043832
									0.85964912	0.12280702	0.01754386	1.00000000	54	0.92717265	0.35043832	0.13245324
									0.96491228	0.01754386	0.01754386	1.00000000	55	0.98229949	0.13245324	0.13245324

5. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis realizado de la comparativa entre las cuadraturas tipo EQ_N y la desarrollada del tipo SQ_N tenemos lo siguiente:

- Es notoria la convergencia que se tiene para los dos tipos de cuadratura en cuanto al valor de la k_{eff} , puesto que las cuadraturas convergen bastante rápido, salvo que la SQ_N al ser simétrica converge con menos iteraciones internas.
- Se puede observar que el conjunto de cuadraturas EQ_N tiende a estabilizarse al mismo valor de k_{eff} a partir de la aproximación S_{10} , mientras que esto no sucede para la SQ_N .
- De acuerdo a la metodología empleada en la generación de las direcciones angulares para las diferentes aproximaciones del conjunto de cuadratura SQ_N , al aumentar el orden de la aproximación, no se presentan valores negativos en los pesos.
- Los datos obtenidos al incrementar las aproximaciones entre ambas cuadraturas, de S_2 hasta S_{16} para los flujos promedios, arrojan resultados del mismo orden, indicando que ambas cuadraturas aplicadas en el programa son factibles.
- Comparando las diferencias relativas entre las aproximaciones S_2 y S_{16} para ambas cuadraturas, se muestra la ganancia en el flujo mayor, al utilizar una cuadratura de mayor orden.

Es necesario realizar un análisis más exhaustivo ya sea comparando con otros conjunto de cuadraturas y tomando en consideración con la simple o doble precisión en el cálculo y observar su impacto en el resultado. Así mismo, para tener una comparativa con respecto a métodos estocásticos, es necesario considerar medios o fuentes no isotrópicas, para esto último se tendría que implementar la dispersión anisotrópica en AZTRAN.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido del proyecto estratégico No. 212602 (AZTLAN Platform) del Fondo Sectorial de Sustentabilidad Energética CONACYT – SENER.

REFERENCIAS

1. Bengt G. Carlson and Clarence E. Lee, *Mechanical Quadratures and the Transport Equation*, LAMS-2573, Los Alamos National Laboratory, (1961).
2. K. D. Lathrop and Bengt G. Carlson, *Discrete Ordinates Angular Quadrature of the Neutron Transport Equation*, LA-3186, Los Alamos National Laboratory, (1964).
3. Bengt G. Carlson, *Tables of Equal Weight Quadrature EQ_N Over the Unit Sphere*, LA-4734, Los Alamos National Laboratory, (1971).
4. J. P. Jenal, P. J. Erickson, W. A. Rhoades, D. B. Simpson, M. L. Williams, *The Generation of a Computer Library for Discrete Ordinates Quadrature Sets*, ORNL/TM-6023, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee 37830, (1977).
5. Edmundo del Valle G., *TDNKYZ: Un Programa que Resuelva las Ecuaciones de Transporte en Geometría XYZ y Estado Estacionario Usando el Método Nodal RTN-0*, Instituto

- Politécnico Nacional, Escuela Superior de Física y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Nuclear, México D.F., (1997).
6. Edmundo del Valle G., *Desarrollo de un Método Nodal DSA para Transporte Neutrónico en Ordenadas Discretas y Estado Estacionario para Geometría XYZ Usando el Método Nodal RTN-0*, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Física y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Nuclear, México D.F., (1994).