

MÉTODO DE MONTE CARLO Y SUS APLICACIONES EN REACTORES NUCLEARES Y FÍSICA MÉDICA

ININ

Arturo Delfín Loya

[http:](http://www.aztlanplatform.mx/noticias-neutronica/curso-basico-de-mcnp/)

[//www.aztlanplatform.mx/noticias-neutronica/curso-basico-de-mcnp/](http://www.aztlanplatform.mx/noticias-neutronica/curso-basico-de-mcnp/)

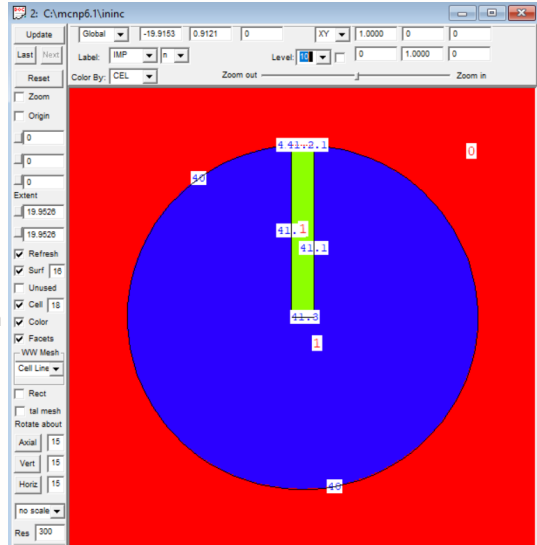
Noviembre, 2018



instituto nacional de
investigaciones nucleares



- ▶ **Cortes interactivos de 2 dimensiones**
- ▶ **Puede mostrar muchas variables del modelo**
 - ▶ Celdas y números de superficie
 - ▶ Importancia imp: <pt>
 - ▶ Densidad de material rho, den
 - ▶ Parámetros de reducción de varianza
 - ▶ Números de material
- ▶ **Los errores en geometría se muestran como líneas discontinuas (rojas) - - - - -**



Línea de Título ... (requerido)

Tarjeta de Celdas

.....

.....

Línea en blanco (separador)

Tarjeta de Superficies

.....

.....

Línea en blanco (separador)

Tarjeta de Datos

.....

.....

Línea en blanco (separador)

... Estas líneas son ignoradas

... puede incluir notas

- * Los nombres de las tarjetas inician en las primeras 5 columnas
- * 80 columnas o menos por línea
- * Formato de campo libre
- * No se diferencian mayúsculas y minúsculas: UC, lc, MeZcLaDo
- * Continuación: 5 espacios en blanco o &
- * Tarjetas de comentarios empiezan con "c " o "C "
- * Comentario sobre la línea empieza con "\$ "
- * Para la mayoría de los números, estos son los mismos:
1 1. 1.0 1e0 1e+00 1.0e+0
- * Unidades; Longitud: cm, Masa: g
Energía y Temperatura: *MeV*, *K*
Densidad atómica: *átomos/(barn - cm)*
Tiempo: shakes, $1\text{sh} = 1e^{-8} \text{ seg}$
 $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$

Regiones en el espacio se llaman CELDAS

- Las celdas pueden ser infinitas en extensión

Todo el espacio es particionado en celdas, sin gaps o sobreposiciones

- Celdas adyacentes comparten una o más superficies límites comunes.

SUPERFICIES

- Superficies analíticas de 1er y 2do orden, dividen el espacio en dos, uno "dentro"(-) y otro "fuera"(+)

Las celdas son definidas por:

- Intersecciones, uniones, de espacios, una lista de los números asignados de superficie; posiblemente operadores de intersección o unión.

Una colección de celdas son conocidas como UNIVERSO

- Un universo esta embebido dentro del contenedor de una celda, para prod. una geometría jerárquica.

Modelo de propiedades por celda

- Asignadas a cada celda: material, densidad, temp., importancia, número de universo,...

Un MATERIAL es una colección de isótopos

- La fracción de masa o átomos, se específica para cada isótopo.

TALLIES

- Acumula resultados de flujo, corriente o rapidez de reacción, etc

Las CELDAS son la unidad básica de la geometría

- Volumen de espacio delimitado por superficies
- Sistema de coordenadas cartesianas
- Cálculo de volúmenes para celdas sencillas, NO para complicadas

Las CELDAS se emplean para:

- Construcción del modelo
- Especificación de los materiales
- Métodos de reducción de varianza
- Desarrollo de Tallies

Todo el espacio debe ser definido

- Cada punto XYZ se encuentran ya sea en una superficie o dentro de una celda definida de forma única
- Al menos una celda describirá el exterior del problema (mundo exterior)

Estructuras repetidas y capacidad de generar mallas

- Las celdas pueden contener geometría definida - mallas o estructura repetida

Puede tomar el complemento de una celda

- #100 el espacio NO está en la celda 100
-

Celda #	Material #	Densidad	Lista de Superficies	Datos de Celda
10	300	9.65e-2	1 -2 3 -4 5 -6	
	Densidad	positiva	<i>atm/bar – cm</i>	
10	300	-1.0	1 -2 3 -4 5 -6	imp:n=1.0
	Densidad	negativa	<i>g/cm³</i>	
20	0		-7:8 -9	
	Vacío	Material #=0	Omitir densidad	

Superficies se usan para definir espacios

- * El signo define el "sentido" de la superficie (+ o -)
por superficies
- * Combinado con operadores boléanos
intersección espacio
unión :

Ecuaciones de primer, segundo y cuarto orden

- * Plano
- * Esfera
- * Cilindro
- * Cono
- * Elipsoide, hiperboloide, paraboloides
- * Toroide

Macrobodyes

- * Cuerpos primitivos: caja, cilindro finito, hexagonal, cuña . . .
- * MCNP traslada internamente los cuerpos a superficies

Se puede especificar una superficie dando unos cuantos puntos

Tipos de superficie de contorno especial

- * Reflector (espejo) *10
- * Blanco (isotrópico) +10
- * Periódico (ver manual)

Calcula la mayoría de las áreas de superficie

Superficie #	Nombre	Datos			
10	px	5.0			
	Plano normal	al eje-x	$x - D = 0$		Dato = D
50	so	1.1			
	Esfera en el	origen	$x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$		Dato = R
30	rcc	-6.0 0.0 0.0	12.0 0.0 0.0		4.0
	Cilindro circular	recto			
	* Centro de la base	(-6.0, 0.0, 0.0)			
	* Altura de la lata	12 <i>cm</i>	sobre el eje-x		
	* Radio	4 <i>cm</i>			

Mnemonic	Tipo	Descripción	Ecuación	Tarjeta de Entradas
P PX PY PZ	plane	general normal to x -axis normal to y -axis normal to z -axis	$Ax + By + Cz - D = 0$ $x - D = 0$ $y - D = 0$ $z - D = 0$	$A \ B \ C \ D$ D D D
SO S SX SY SZ	sphere	centered at origin general centered on x -axis centered on y -axis centered on z -axis	$x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$ $(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2 = 0$ $(x - \bar{x})^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$ $x^2 + (y - \bar{y})^2 + z^2 - R^2 = 0$ $x^2 + y^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2 = 0$	R $\bar{x} \ \bar{y} \ \bar{z} \ R$ $\bar{x} \ R$ $\bar{y} \ R$ $\bar{z} \ R$
C/X C/Y C/Z CX CY CZ	cylinder	parallel to x -axis parallel to y -axis parallel to z -axis on x -axis on y -axis on z -axis	$(y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2 = 0$ $(x - \bar{x})^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2 = 0$ $(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 - R^2 = 0$ $y^2 + z^2 - R^2 = 0$ $x^2 + z^2 - R^2 = 0$ $x^2 + y^2 - R^2 = 0$	$\bar{y} \ \bar{z} \ R$ $\bar{x} \ \bar{z} \ R$ $\bar{x} \ \bar{y} \ R$ R R R

Mnemonic	Tipo	Descripción	Ecuación	Tarjeta de Entradas
SQ	ellipsoid hyperboloid paraboloid	axis parallel to x -, y -, or z -axis	$A(x - \bar{x})^2 + B(y - \bar{y})^2 + C(z - \bar{z})^2 + 2D(x - \bar{x}) + 2E(y - \bar{y}) + 2F(z - \bar{z}) + G = 0$	$A \ B \ C \ D \ E$ $F \ G \ \bar{x} \ \bar{y} \ \bar{z}$
GQ	cylinder, cone ellipsoid paraboloid hyperboloid	axis not parallel to x -, y -, or z -axis	$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyz + Fzx + Gz + Hy + Jz + K = 0$	$A \ B \ C \ D \ E$ $F \ G \ H \ J \ K$
TX	elliptical or circular torus.	$(x - \bar{x})^2/B^2 + (\sqrt{(y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2} - A)^2/C^2 - 1 = 0$	$\bar{x} \ \bar{y} \ \bar{z} A \ B \ C$	
TY	Axis is parallel to x -,	$(y - \bar{y})^2/B^2 + (\sqrt{(x - \bar{x})^2 + (z - \bar{z})^2} - A)^2/C^2 - 1 = 0$	$\bar{x} \ \bar{y} \ \bar{z} A \ B \ C$	
TZ	y -, or z -axis	$(z - \bar{z})^2/B^2 + (\sqrt{(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2} - A)^2/C^2 - 1 = 0$	$\bar{x} \ \bar{y} \ \bar{z} A \ B \ C$	
XYZP	surfaces defined by points – see pages 3-15 to 3-17			

► BOX = Caja Ortogonal

3. Enter Parameters. Click Help for more information.

Enter the coordinates of a corner of the box.

Vx

Vy

Vz

A vector along one side with the length being the length of the side.

A1x

A1y

A1z

A perpendicular vector of another side.

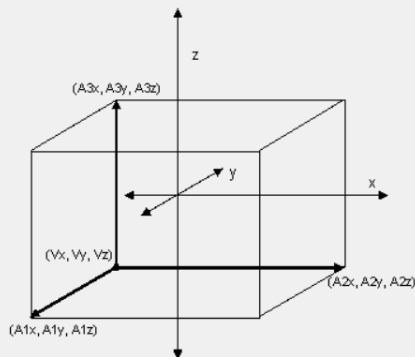
A2x

A2y

A2z

A perpendicular vector of the third side.

A3x A3y A3z



► RPP = Paralelepipedo Rectangular

3. Enter Parameters. Click Help for more information

Enter the coordinates, surfaces normal to major axes,, x, y, z values relative to origin.

Xmin

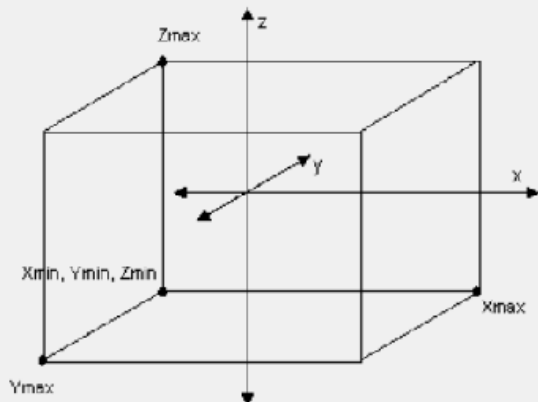
Xmax

Ymin

Ymax

Zmin

Zmax



► SPH = Esfera

3. Enter Parameters. Click Help for a picture and more information.

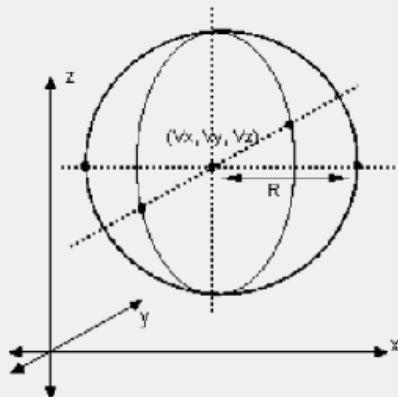
Enter the coordinates of the center of the sphere.

V_x

V_y

V_z

R



► RCC = Cilindro Circular Recto

3. Enter Parameters. Click [Help](#) for a picture and more information

Enter the coordinates of the center of the base.

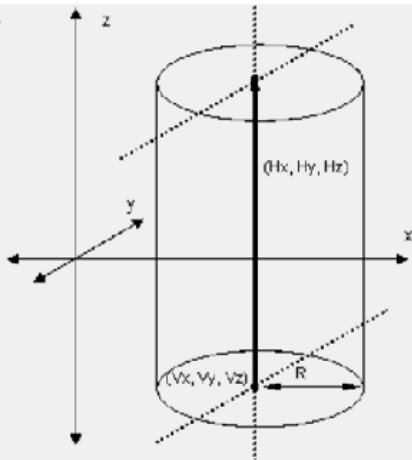
V_x V_y V_z

Enter the cylindrical axis vector.

H_x H_y H_z

Enter the radius of the cylinder.

R



► RCC = Cilindro Elíptico Recto

3. Enter Parameters. Click Help for a picture and more information.

Enter the (x, y, z) coordinates at the center of the bottom plane of the REC.

Vx Vy Vz

Enter the axis height vector from (Vx, Vy, Vz) .

Hx Hy Hz

Enter the ellipse major axis radial vector (normal to (Hx, Hy, Hz)).

V1x V1y V1z

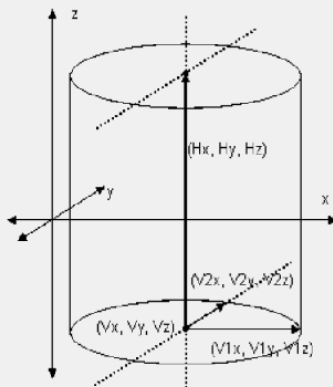
Enter the ellipse minor axis radial vector
(normal to H and V1).

V2x

V2y

V2z

Optionally, the V2x entry may be the minor axis radius where the direction is determined from the cross product of H and V1. V2y and V2z may be left blank.



► ELL = Elipsoide

3. Enter Parameters. Click Help for more information.

- ☐ Define using center, major axis vector, and minor axis radius.
- ☐ Define using foci

Enter the minor axis radius length

Rm

Enter the coordinates of the center of the ellipsoid.

V1x

V1y

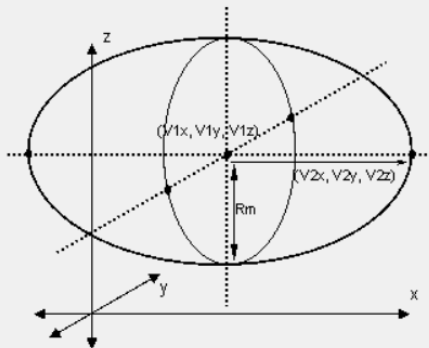
V1z

Enter the major axis radius vector from V1.

V2x

V2y

V2z



► TRC = Cono Recto Truncado

3. Enter Parameters. Click Help for a picture and more information.

Enter the (x, y, z) coordinates at the center of the bottom plane of the TRC..

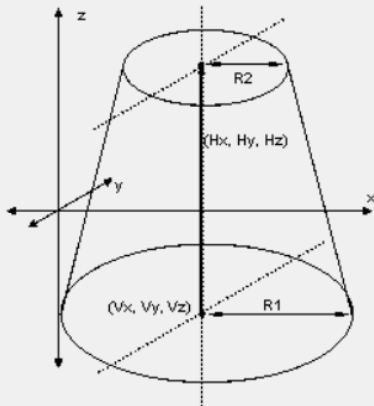
Vx Vy Vz

Enter the cone axis height vector from (Vx, Vy, Vz).

Hx Hy Hz

R1 Radius of the lower base.

R2 Radius of the upper base.



► **WED = Cuña**

3. Enter Parameters. Click Help for a picture and more information.

Enter the coordinates of the vertex of the wedge.

Vx Vy Vz

Enter the vector of the first side of the triangular wedge.

V1x V1y V1z

Enter the vector of the second side of the triangular wedge.

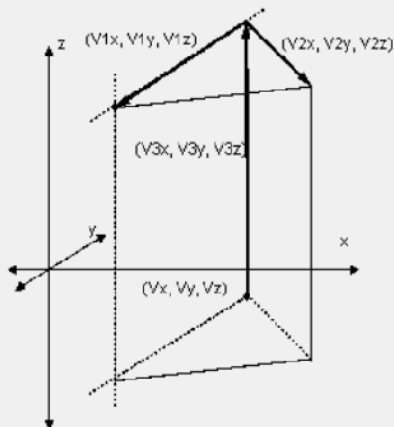
V2x V2y V2z

Enter the height vector.

V3x

V3y

V3z



► ARB = Poliedro Arbitrario

3. Enter Parameters. Click Help for a picture and more information.

Enter eight triplets describing the corners of the polyhedron. Enter (0, 0, 0) for unused triplets.

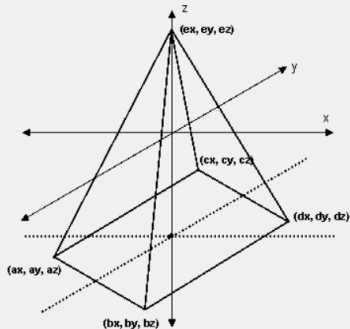
	x	y	z		x	y	z
A	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	B	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
C	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
E	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	F	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
G	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	H	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Enter six 4-digit integers describing each side of the ARB in terms of the corner numbers for that side. For example, the entry 1278 would define this plane surface to be bounded by the 1st, 2nd, 7th, and 8th of the above triplets for the corners.

N1	<input type="text"/>
N2	<input type="text"/>
N3	<input type="text"/>
N4	<input type="text"/>
N5	<input type="text"/>
N6	<input type="text"/>

Note:

Example Image, an infinite number of shapes are possible.



► HEX = Hexagonal Recto (RHP Simplificado)

3. Enter Parameters. Click Help for more information.

Enter the coordinates of the center of the base.

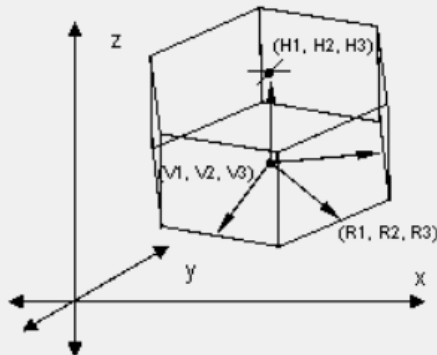
V1 V2 V3

Enter a vector from bottom to top along the axis.

H1 H2 H3

Enter a vector from the axis to the center of the first facet.

R1 R2 R3



► RHP = Prisma Hexagonal Recto (General)

3. Enter Parameters. Click Help for a picture and more information.

Enter the coordinates of the center of the base.

V1 V2 V3

Enter a vector from bottom to top along the axis.

H1 H2 H3

Enter a vector from the axis to the center of the first facet.

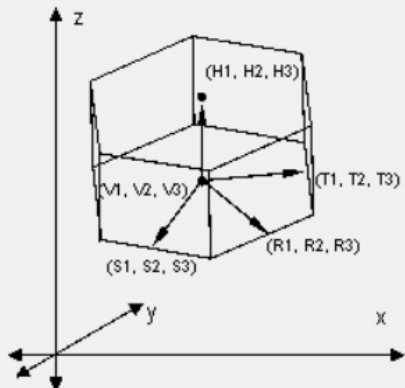
R1 R2 R3

Enter a vector from the axis to the center of the second facet.

S1 S2 S3

Enter a vector from the axis to the center of the third facet.

T1 T2 T3



► BOX = Caja Infinita

3. Enter Parameters. Click Help for a picture and more information.

Enter the coordinates of a corner of the box.

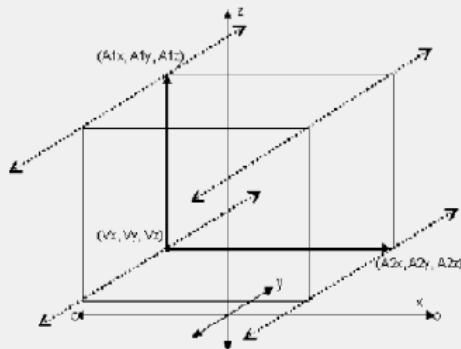
V_x V_y V_z

A vector along one side with the length being the length of the side.

$A1x$ $A1y$ $A1z$

A perpendicular vector of another side.

$A2x$ $A2y$ $A2z$



Los datos se identifican por su posición en relación con otros datos en la tarjeta

Ejemplo:

7 RCC 0 0 0 0 12 0 5

Es la Superficie 7 (celda), un Cilindro Circular Rector (rrc) colocado en 0 0 0 (centro de la base) cuya "altura" es de 12 cm en la dirección "Y" y cuyo radio es de 5 cm.

MCNP obtiene el valor de un parámetro desde su posición en la secuencia de datos en la tarjeta.

Los datos se identifican mediante "argumentos" que consisten en una palabra clave y un valor.

Ejemplo:

SDEF POS = 0 0 0 ERG = 12

Especifica una FUENTE ubicada en 0 0 0 (centro de la base) cuya energía es 12 MeV

MCNP obtiene el valor de un parámetro de los "argumentos" en la tarjeta.

Los datos se identifican por una combinación de posición y argumentos.

Ejemplo:

6 1 -8.7 -1 imp:n=1

Describe la celda 6 rellena con material 1 cuya densidad es de 8.7 g/cm^3 , y que tiene una ubicación negativa en la superficie 1 y cuya importancia de neutrones es 1

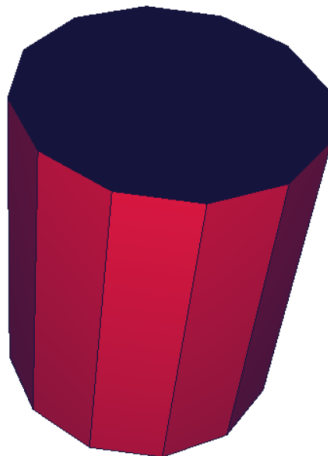
MCNP determina los valores de los parámetros por posición y argumento.

- **Modificar el ejercicio 1, visualizar (Vised), y ejecutar el archivo de entrada**
Desarrolle este input ("inin2")

- Cambie de esfera a cilindro, eje y, base en el origen, altura 12 y radio 5
- Coloque la fuente en $x, y, z = 0, 6, 0$
- La fuente que sea de 1 MeV
- Poner importancia en las tarjetas celdas.
- Utilizar Hierro (100%).

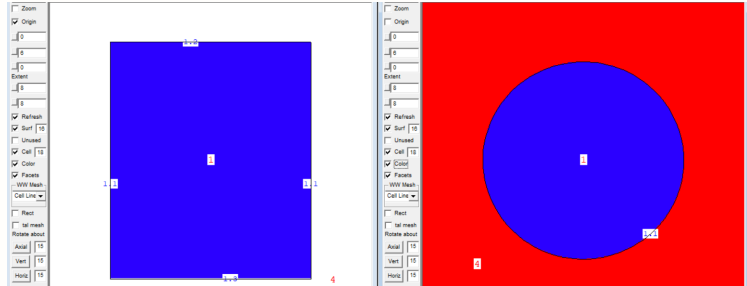
ZAID 26000 1

- Introduzca en la tarjeta de datos la instrucción "print".
- Observe los archivos de salida



- Todo el espacio fase es definido

- Dentro de la superficie 1 = celda 1
- Fuera de la superficie 1 = celda 2



$$F(x, y, z) = S$$

dónde:

- ▶ $F=0$ es una ecuación de superficie
- ▶ x, y, z coordenadas arbitrarias 3D
- ▶ S resultado del punto xyz en la ecuación

S es el "sentido" de un punto con respecto a la superficie

- ▶ $S > 0$ punto fuera de la superficie
- ▶ $S = 0$ punto está en la superficie
- ▶ $S < 0$ punto dentro de la superficie

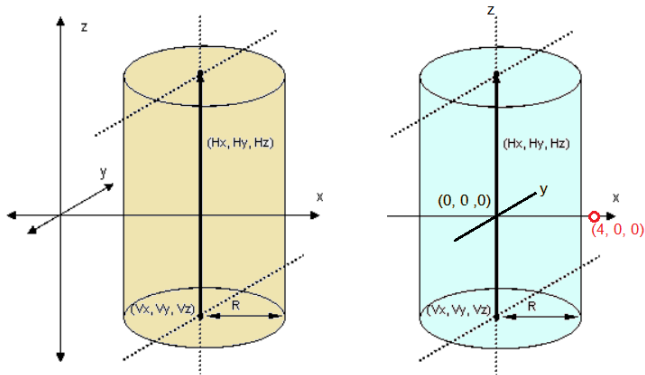
Para macrobodies

- ▶ el interior del cuerpo se define para tener sentido negativo
- ▶ fuera del cuerpo se tiene sentido positivo

SO Eq. de Superficie - esfera en el origen

- ▶ $x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = S$ $R = 3,0$
- ▶ sustituye $(0, 0, 0)$, y encuentra S
- ▶ $0^2 + 0^2 + 0^2 - 3^2 =$ negativo
- ▶ dentro de la esfera se tiene sentido negativo

Cilindros

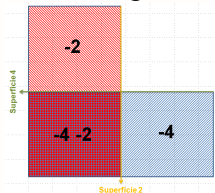


- ▶ dentro del cilindro tiene sentido **negativo**
- ▶ fuera del cilindro tiene sentido **positivo**

Operador **Intersección** espacio entre las superficies

-2 -4 quiere decir

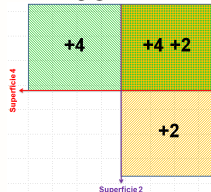
- ▶ sentido negativo wrt 4 y
- ▶ sentido negativo wrt 2



únicamente el cuadrante coloreado con rojo y azul

Operador **Unión** ":" entre las superficies +2 : +4 quiere decir

- ▶ sentido positivo wrt 2 o
- ▶ sentido positivo wrt 4 o
- ▶ AMBOS

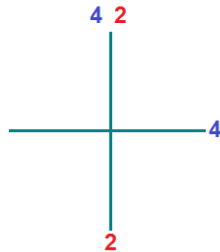
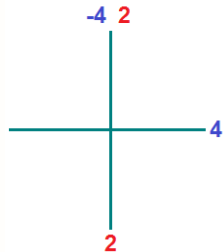
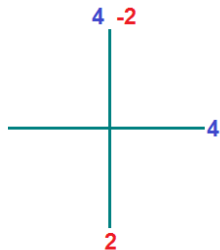
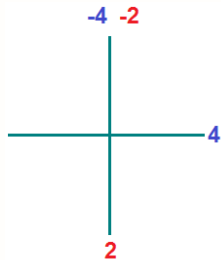


Sólo un criterio de sentido es necesario cumplir para que un punto esté por encima de 4 o del lado derecho de 2 o ambos

Geometría en MCNP, Ejercicio

Monte Carlo y sus Aplicaciones C2

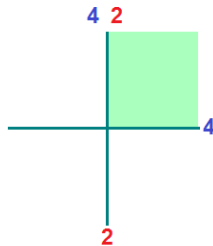
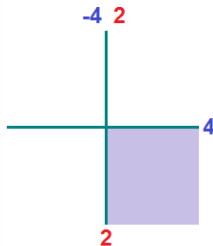
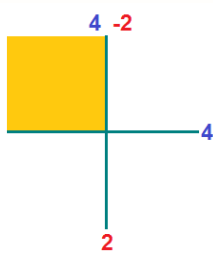
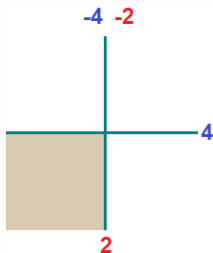
31/37



Geometría en MCNP, Ejercicio

Monte Carlo y sus Aplicaciones C2

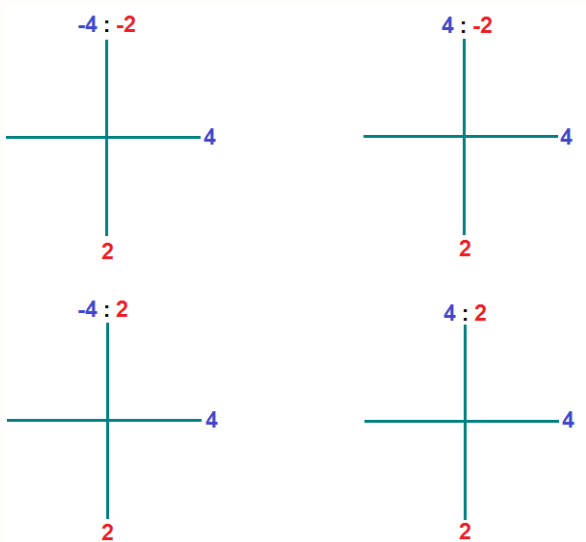
32/37



Geometría en MCNP, Ejercicio

Monte Carlo y sus Aplicaciones C2

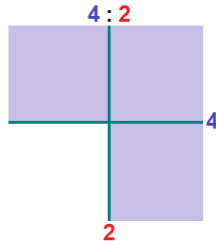
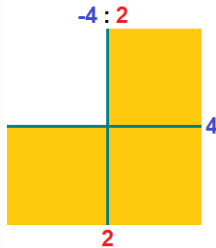
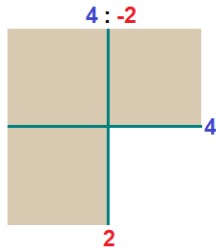
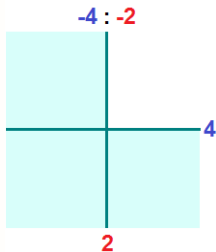
33/37



Geometría en MCNP, Ejercicio

Monte Carlo y sus Aplicaciones C2

34/37



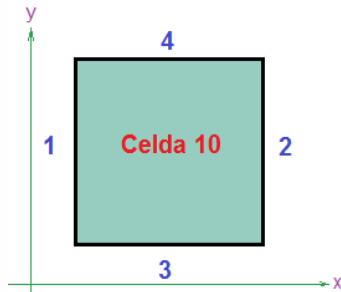
Superficies:

1	px	-5.0
2	px	5.0
3	py	-5.0
4	py	5.0

Definición de intersección lógica para la celda 10

+1 -2 +3 -4

Todos los criterios de sentido, deben ser ciertos para los puntos en la celda 10



Desarrolle este input
("inin3")

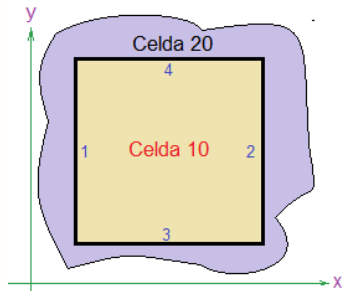
Superficies

1	px	-5.0
2	px	5.0
3	py	-5.0
4	py	5.0
5	pz	-5.0
6	pz	5.0

Definición de unión lógica para la celda 20

-1 : 2 : -3 : 4 : -5 : 6

Sólo uno (o más) criterios de sentido,
debe cumplirse para los puntos de la celda
20



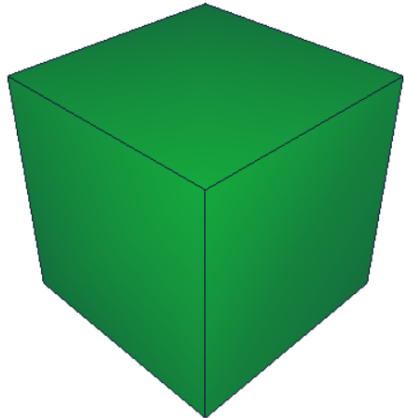
Desarrolle este input
("inin4")

RPP

```
1 rpp -5.0 +5.0 -5.0 +5.0 -5.0 +5.0
```

Cuál es la definición lógica para las

celdas 10 y 20



Desarrolle este input ("inin5")