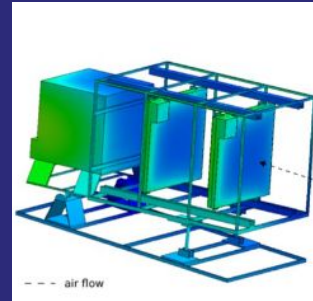


Muografía aplicada a una torre de Hidrotratamiento catalítico

Pedro Rodrigo Arango Zuñiga (UNMSM)

Tutores: Christian Sarmiento (UIS)
Luis Núñez (UIS)



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

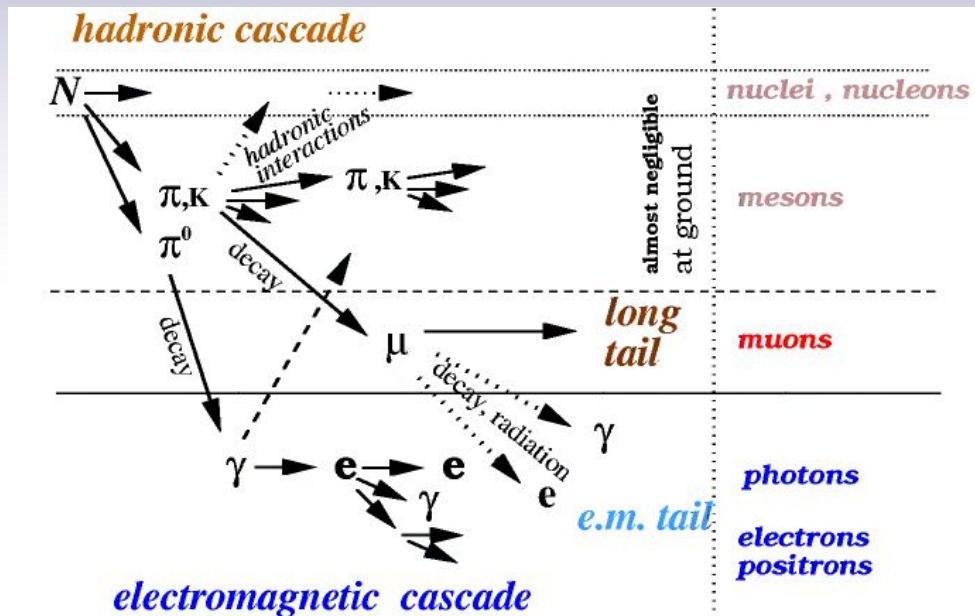




INTRODUCCIÓN



Fuente: Hess, V. F. Observations of the penetrating radiation on seven balloon flights. Physik. Zeitschr.



Fuente: Peter L. Biermann, Günter Sigl (auth.), Martin Lemoine, Günter Sigl (eds.), "Physics and Astrophysics of Ultra-High-Energy Cosmic Rays" -Springer-Verlag Berlin Heidelberg,2001.



I	II	III
Electrón e^- Masa: 0.511 MeV/c ² q _e : -1 S: 1/2	Muon μ^- Masa: 105.67 MeV/c ² q _e : -1 S: 1/2	Tau τ^- Masa: 1.77 GeV/c ² q _e : -1 S: 1/2
Neutrino del electrón ν_e Masa: < 2.2 eV/c ² q _e : 0 S: 1/2	Neutrino del muon ν_μ Masa: < 0.17 MeV/c ² q _e : 0 S: 1/2	Neutrino del tau ν_τ Masa: < 15.5 MeV/c ² q _e : 0 S: 1/2

Propiedades del Muón

Fuente: Andrea Trapote Fernández, "Modelización de procesos de producción de pares quark top en el detector CMS y LHC", Trabajo fin de grado - Grado en Física, Universidad de Oviedo.

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n z^2 e^4}{m_e v^2} \left[\ln \left(\frac{2m_e \gamma^2 v^2}{I(1 - \beta^2)} \right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2} \right]$$

Fórmula de Bethe Bloch - Interacción de partícula masiva y cargada con el medio



Interacción de Muones con la materia

Se define la opacidad a lo largo de un camino, como:

$$\varrho(L) \equiv \int_L \rho(\xi) d\xi$$

Entonces, cuando los muones atraviesan un objetivo, solo lograrán pasar aquellos que superen una cierta energía umbral para una opacidad dada en una cierta dirección. La expresión para esta energía mínima se calcula como sigue:

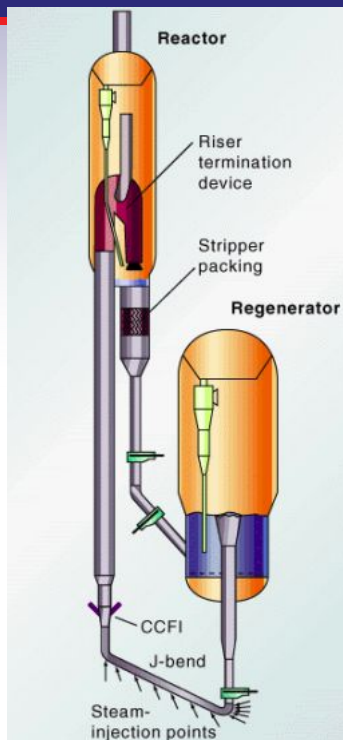
$$E_{min} + \int_0^{\varrho} \frac{dE}{d\varrho} d\varrho = 0$$

Así, el flujo integrado que atraviesa el objetivo viene dado por:

$$I(\varrho, \theta) = \int_{E_m(\varrho)}^{\infty} \Phi(E, \theta) dE$$

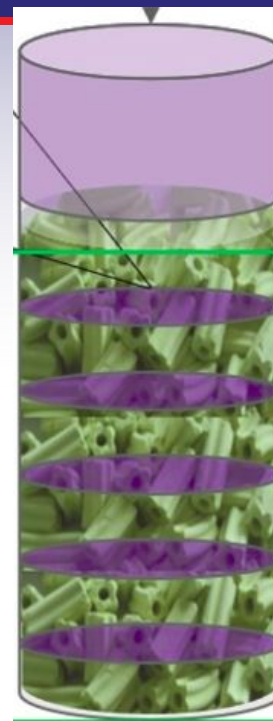
Donde

$\Phi(E, \theta)$: Espectro de Muones en el lugar de estudio.



Torre de Craqueo Catalítico

Fuente: : Jéssica González de la Puente. "Modelado de un sistema de Fluid Catalytic Cracking", Universidad de Valladolid, curso 2013 - 2014.

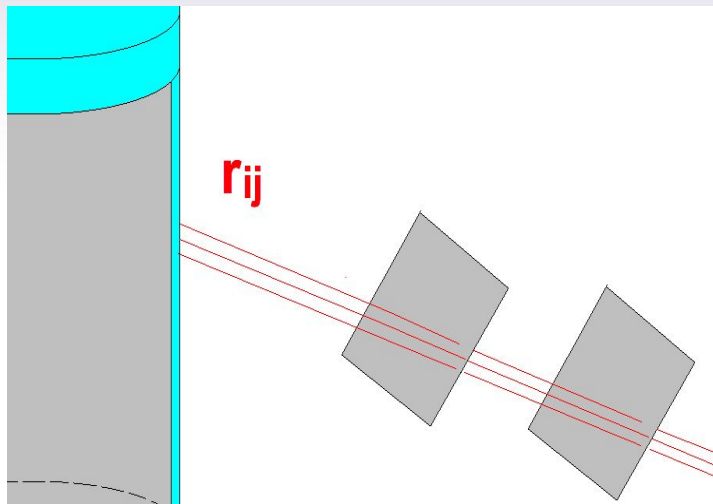


Torre de Hidrotratamiento con lecho fijo

Fuente: Liseth Duarte, Laura Garzón, Victor Gabriel Baldovino - Medrano, "An analysis of the physicochemical properties of spent catalysts from an industrial hydrotreating unit", Elsevier, 2019.



El flujo a través del Hodoscopio se puede calcular sumando trackings con una dirección fija “rij”, es decir:



$$N_{ij} = \Delta t \times T_{ij} \times I(\varrho)$$

Donde:

T_{ij} : Aceptancia que depende del ángulo sólido y el área definida por

Γ_{ij} en el Hodoscopio.

Δt : Tiempo que dura la observación.



Si definimos la variación en el flujo debido al incremento de densidad, como:

$$\Delta I(\varrho, \delta\varrho) = I(\varrho + \delta\varrho) - I(\varrho)$$

Entonces la condición de N.Lesparre para que se detecte dicho cambio es:

$$\Delta t \times T_{ij} \times \frac{(\Delta I(\varrho, \delta\varrho))^2}{I(\varrho)} > n^2$$

n : Número de sigmas para el intervalo de confianza.

Tomando la condición de N.Lesparre y re escribiéndola en función del número de muones esperados en ij .

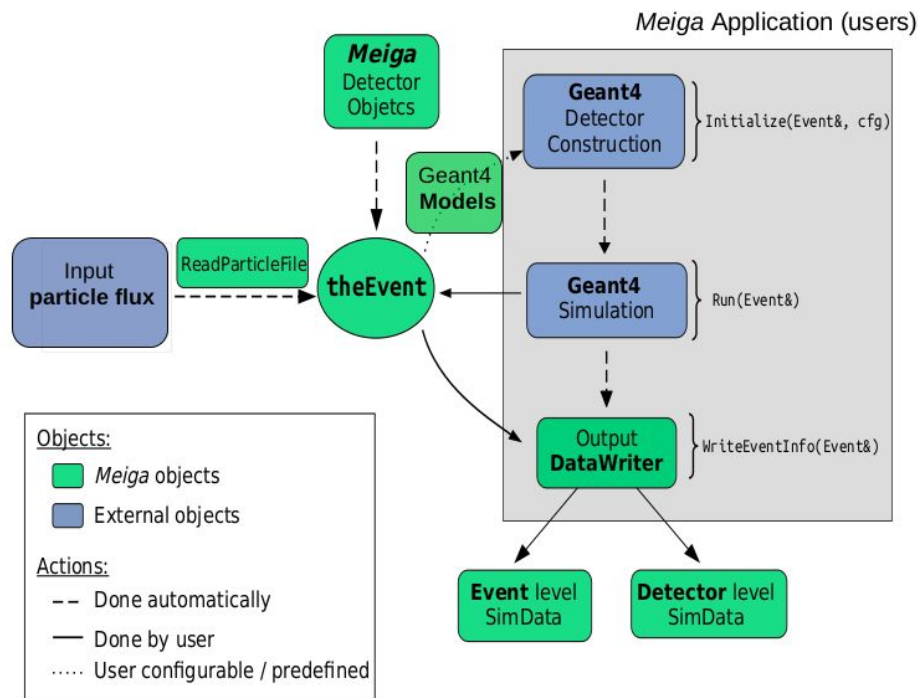
$$\frac{N_{ij}}{I(\varrho)} \times \frac{(\Delta I(\varrho, \delta\varrho))^2}{I(\varrho)} > n^2 \rightarrow N_{ij} > \frac{n^2}{\left(\frac{\Delta I(\varrho, \delta\varrho)}{I(\varrho)}\right)^2}$$

Entonces, la condición de detectabilidad es aquella en la cual dado una diferencia, entonces se busca que en cada dirección N_{ij} se supere dicho umbral, así a mayor cambio de densidad, menor requerimiento de tiempo de observación.



Framework o Entorno de Modelamiento

Framework structure



Example II: G4HodoscopeSimulator

15

Simulation of a muon telescope using three grids of scintillator bars

DetectorList.xml

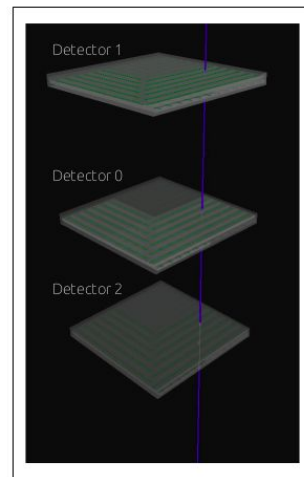
```

<detectorList>
  <injectionMode type="eCircle">
    <x unit="m"> 0 </x>
    <y unit="m"> 0 </y>
    <z unit="m"> 0 </z>
    <radius unit="m"> 0.5 </radius>
    <height unit="m"> 1.5 </height>
  </injectionMode>

  <detector id="0" type="eHodoscope">
    <x unit="m"> 0.0 </x>
    <y unit="m"> 0.0 </y>
    <z unit="m"> 0.0 </z>
  </detector>

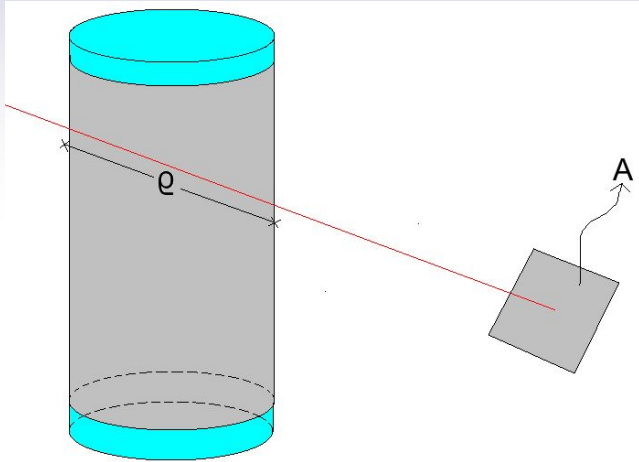
  <detector id="1" type="eHodoscope">
    <x unit="m"> 0.0 </x>
    <y unit="m"> 0.0 </y>
    <z unit="m"> 1.0 </z>
  </detector>

  <detector id="2" type="eHodoscope">
    <x unit="m"> 0.0 </x>
    <y unit="m"> 0.0 </y>
    <z unit="m"> -1.0 </z>
  </detector>
</detectorList>
  
```





Tomamos un plano detector ideal para una cierta dirección como se muestra y calculamos el número de muones que ingresan en dicha superficie :



$$N = I(\varrho) \times \delta\Omega \times A \times \Delta t$$

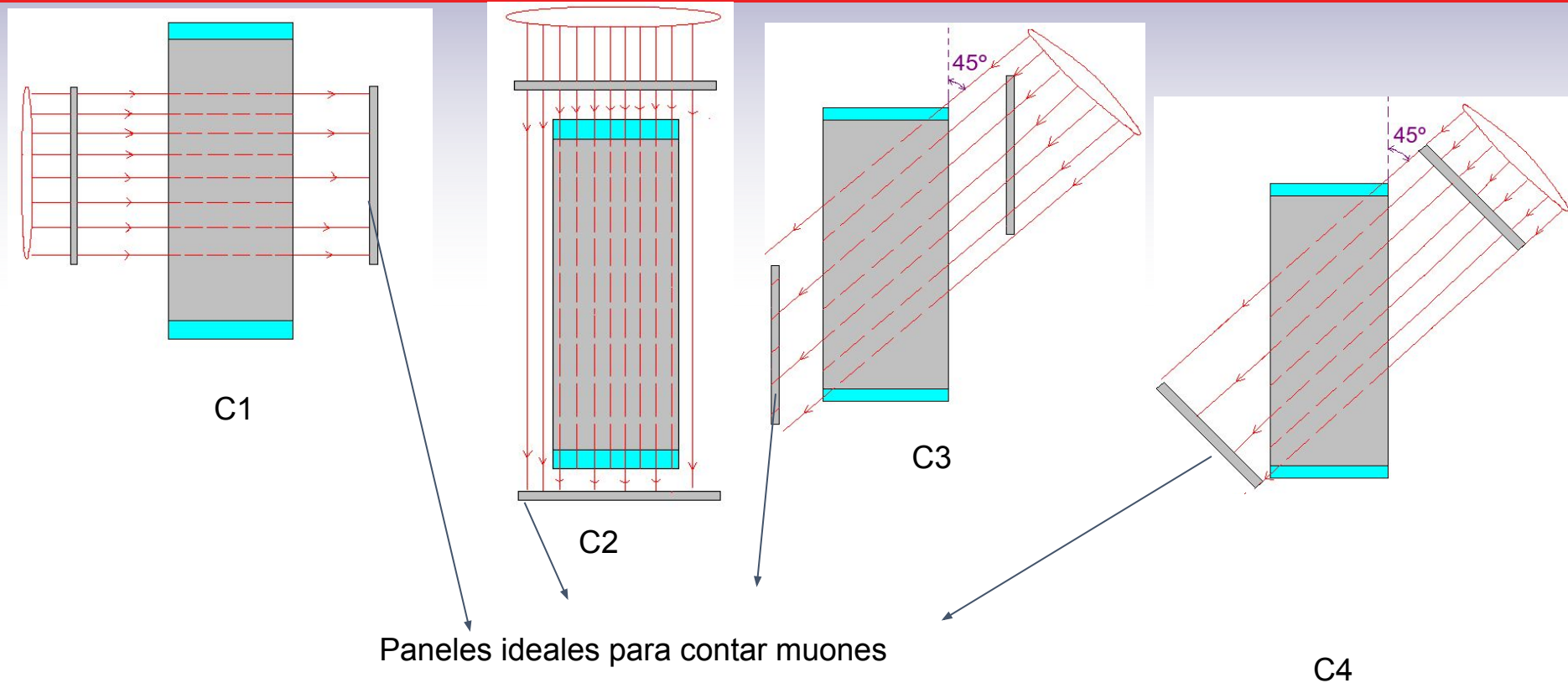
$$\Delta N = \Delta I(\varrho, \delta\varrho) \times \delta\Omega \times A \times \Delta t$$

$$\rightarrow \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta I(\varrho, \delta\varrho)}{I(\varrho)}$$

Por lo tanto, el problema de detectar el cambio de densidad mediante el cambio del flujo, es el mismo que detectarlo mediante el cambio del número de muones detectados ΔN :

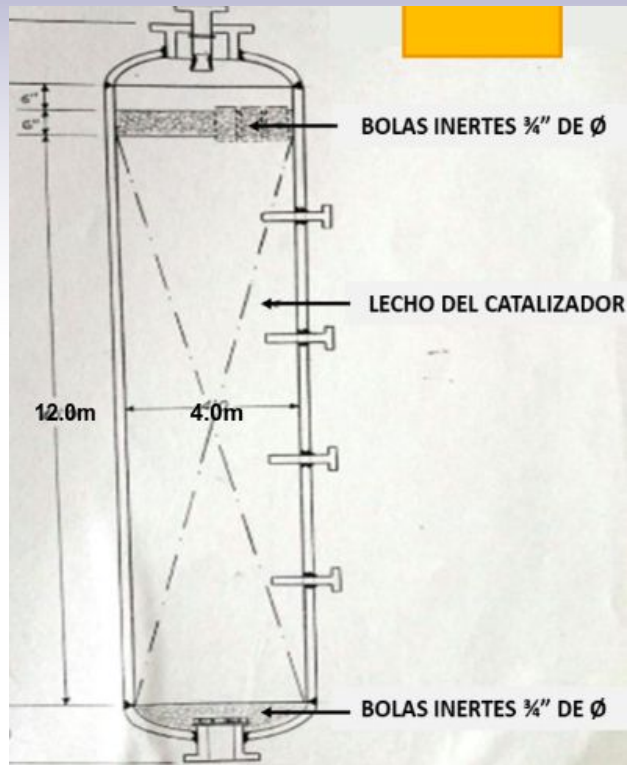


Esquema de los Modelos a implementar





MODELO - Definiendo geometría



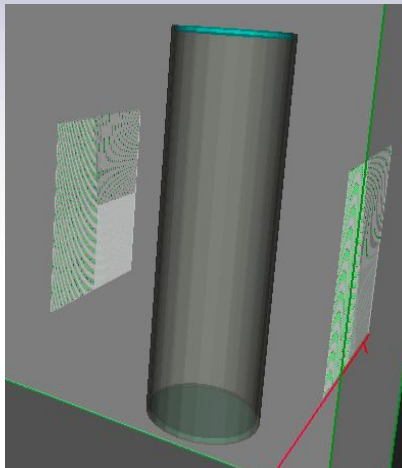
Detalle en elevación de Torre modelada



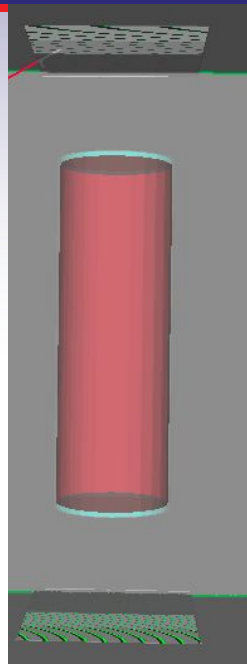
Detalles de revestimiento considerado



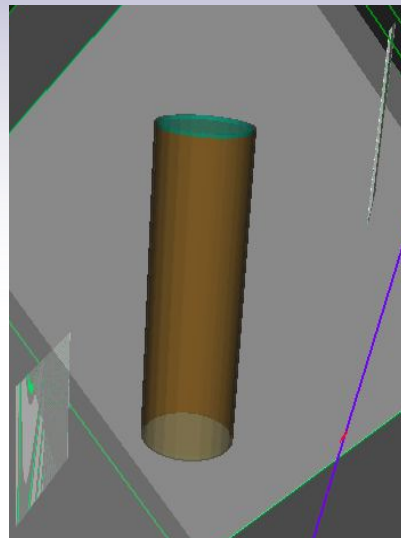
Implementación de los modelos en MEIGA



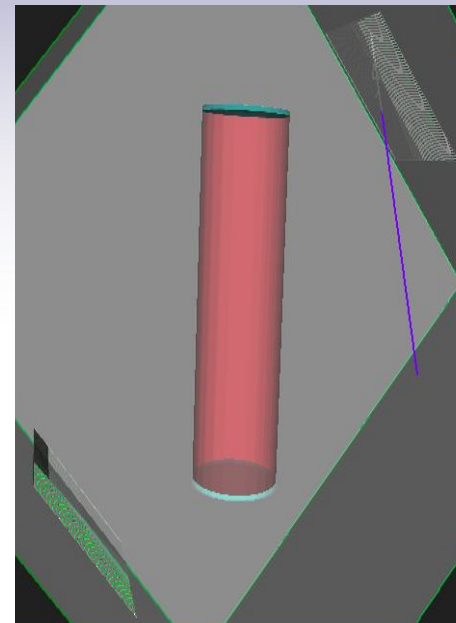
C1



C2



C3



C4



MODELO - Definiendo materiales

Cálculo de la densidad real y aparente de la Píldora cilíndrica

Los datos de la píldora limpia son:

	Al_2O_3	MoO_3	NiO
% masa inicio	76.00 %	20.00 %	4.00 %

Densidades y poros		
Al_2O_3	3.95	g/cm^3
MoO_3	4.69	g/cm^3
NiO	6.67	g/cm^3
v_p	0.4	cm^3/g

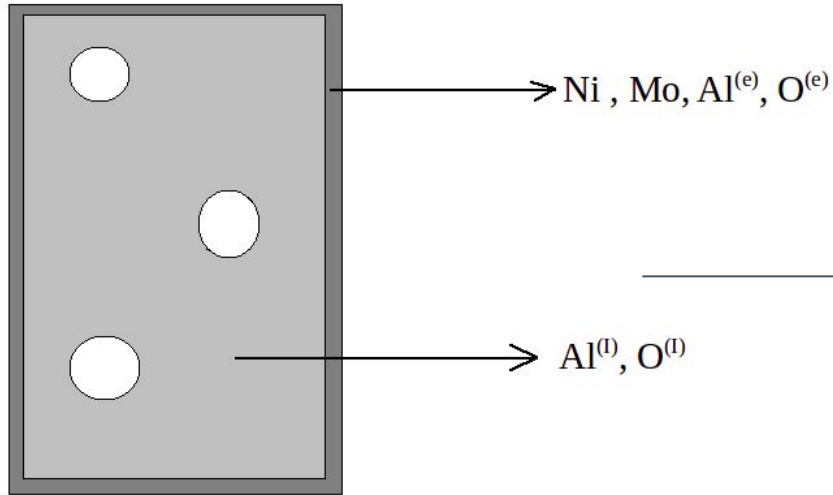
La densidad real y aparente de la Píldora en función de sus componentes se calcula con las expresiones:

$$\rho_{ca} = \frac{1}{\sum \frac{\%mk}{\rho_k}} \quad \rho_{ca}^A = \frac{1}{\frac{1}{\rho_{ca}} + v_p} \quad \longrightarrow$$

ρ_{ca}	4.15	g/cm^3
ρ_{ca}^A	1.56	g/cm^3

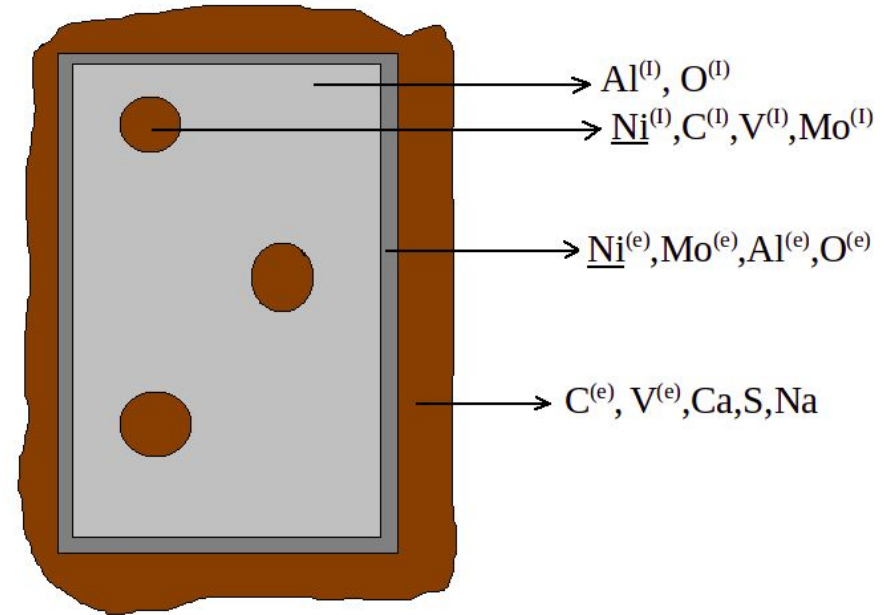


La píldora cilíndrica posee poros y elementos activos (solo en su superficie) como se muestra en el siguiente esquema:



El interior es principalmente Al y O debido a la matriz de alúmina.

Una vez que la píldora se satura de residuos la distribución de componentes es la que se muestra en el siguiente esquema:



Se consideró que los residuos llegan a ocupar un volumen adicional en la píldora.



Los porcentajes molares para los componentes en la superficie son:

Distribución de componentes en la superficie – estado final	
	% molar
C ^(e)	52.3 %
O ^(e)	19.0 %
Ca	10.4 %
Mo ^(e)	0.3 %
S	15.3 %
Al ^(e)	1.1 %
V ^(e)	0.6 %
Ni ^(e)	0.9 %
Na	0.1 %

Y los porcentajes en masa de los residuos internos son:

Porcentajes en masa al interior de Ni,C,V		
Ni ^(l)	C ^(l)	V ^(l)
6.33 %	7.49 %	3.63 %



Se asumió una fracción de volumen disponible para Diesel de $\varepsilon^0 = 0.5$.

Por lo tanto, los porcentajes en masa para el estado final son:

Porcentajes en masa – muestra final	
Al	14.9 %
O	20.5 %
Ni	7.7 %
Mo	5.0 %
V	4.4 %
C	23.8 %
Ca	10.8 %
S	12.7 %
Na	0.1 %



Ahora, para calcular la densidad de la píldora una vez que se ha llenado de residuos , usamos la expresión:

$$\rho_{ca}^{A,r} = \frac{\phi}{\eta} \rho_{ca}^A \quad / \quad \eta = 1 + \phi \rho_{ca}^A \sum \frac{\%m_k^{(e)}}{\rho_k^{(e)}}$$

ϕ : Fracción entre la masa final a la masa inicial de la píldora

η : Fracción entre el volumen final al volumen inicial de la píldora

Y el volumen de vacíos se reduce con la expresión:

$$\varepsilon^r = 1 - \eta + \eta \varepsilon^0$$

Finalmente, la densidad equivalente del lecho fijo se calculó con las siguientes expresiones:

$$\rho_{eq}^0 = \varepsilon^0 \rho_{Diesel} + (1 - \varepsilon^0) \rho_{ca}^A$$

$$\rho_{eq}^r = \varepsilon^r \rho_{Diesel} + (1 - \varepsilon^r) \rho_{ca}^{A,r}$$



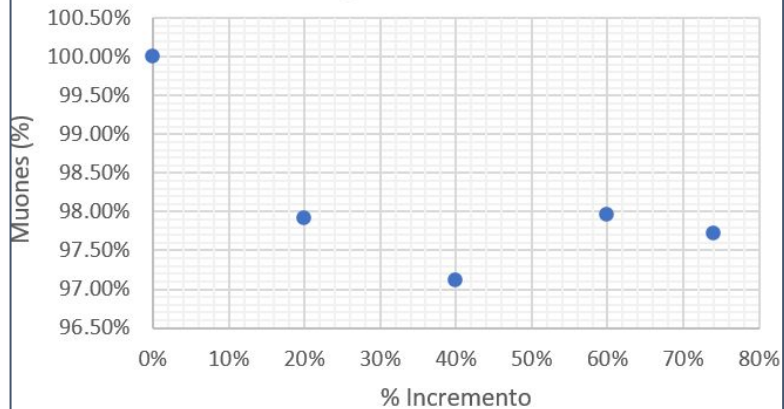
Materiales Definidos para los modelos

	+0%'	+20%'	+40%'	+60%'	+74%'
ρ_{eq}^r (g/cm ³)	1.205	1.446	1.688	1.928	2.097
$\rho_{ca}^{A,r}$ (g/cm ³)	1.560	1.790	1.940	2.045	2.102
Al	40.22 %	27.65 %	21.04 %	17 %	15 %
O	43.3 %	31.97 %	26.025 %	22.375 %	20.52 %
Ni	3.14 %	5.41 %	6.6 %	7.33 %	7.70 %
Mo	13.34 %	9.16 %	6.97 %	5.63 %	4.97 %
V		2.2 %	3.36 %	4.07 %	4.42 %
C		11.85 %	18.07 %	21.88 %	23.78 %
Ca		5.39 %	8.22 %	9.95 %	10.82 %
S		6.34 %	9.67 %	11.71 %	12.73 %
Na		0.03 %	0.045 %	0.055 %	0.06 %
ϵ_0^r	50.0 %	36.6 %	23.2 %	9.8 %	0.4 %
Incr% residuos	0 %	26.9 %	53.9 %	80.8 %	99.6 %
% masa_residuos	35.27 %	21.52 %	11.69 %	4.32 %	0.16 %

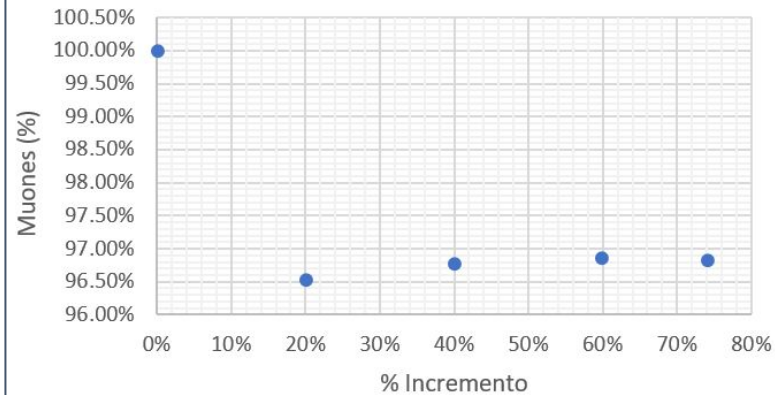


RESULTADOS

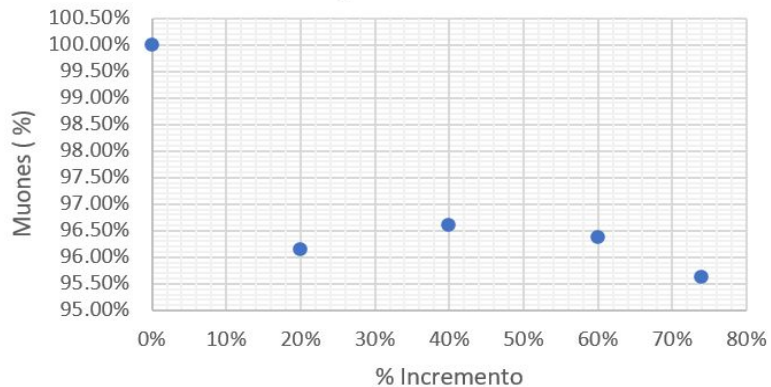
Configuración C1



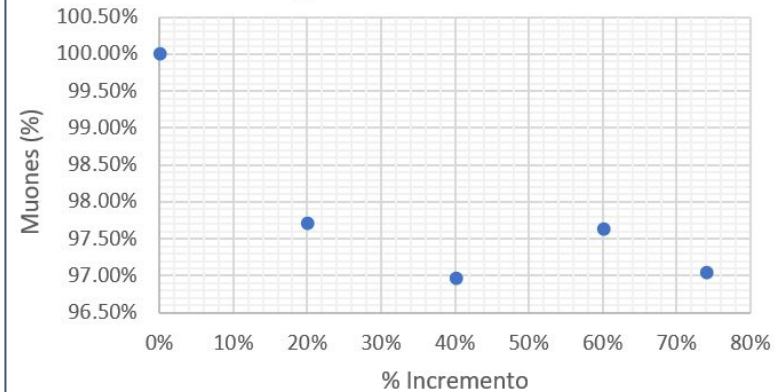
Configuración C2



Configuración C3

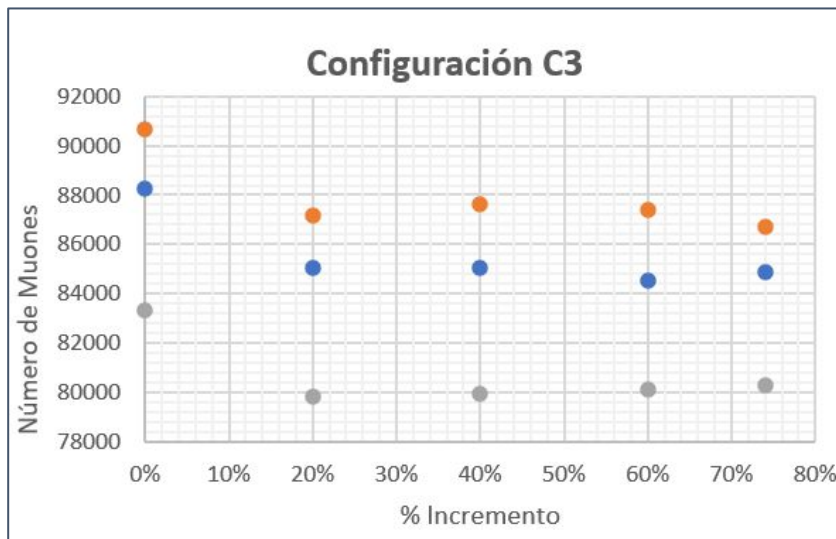


Configuración C4

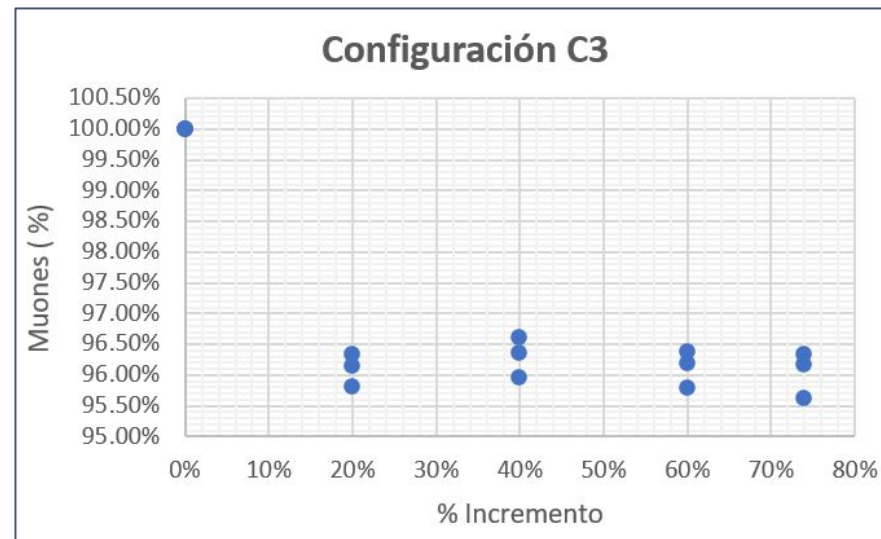




Repetición de simulaciones para configuración C3



Variación en el Número de Muones



Variación porcentual del número de Muones - - promedio 3.86%



- Para los incrementos porcentuales considerados y el número de simulaciones realizadas, las variaciones de densidad a partir de 20% sí son distinguibles.
- Las configuraciones de máxima y mínima opacidad (C1 y C2) no se corresponden con el mínimo valor umbral de detección para N_{ij} .



<http://laconga.redclara.net>



contacto@laconga.redclara.net



lacongaphysics



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.