

Multipacting

Bruce Yee-Rendon*

*Nuclear Transmutation & Accelerator Division
Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC)
Japan Atomic Energy Agency (JAEA)*

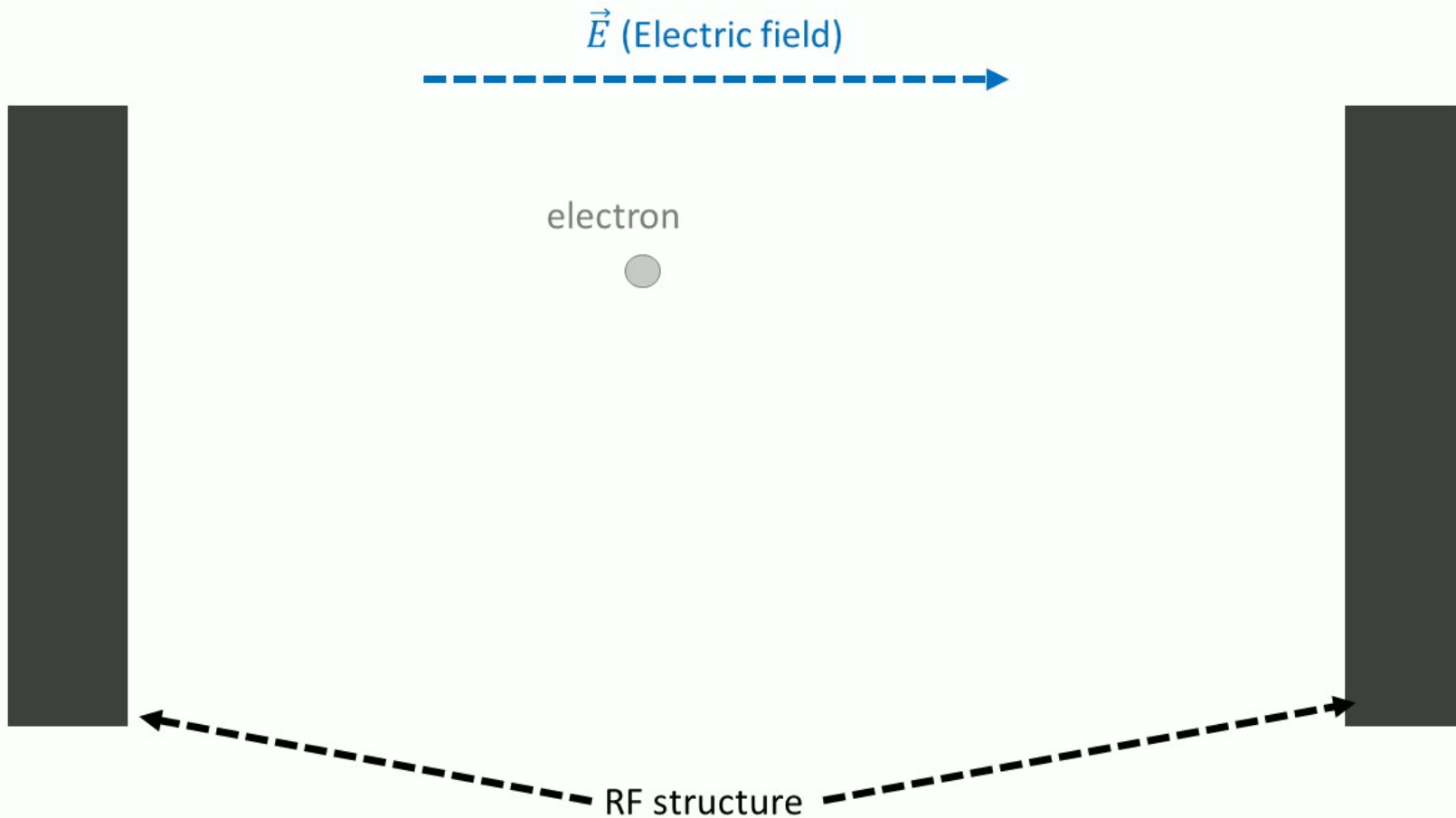
*byee@post.j-parc.jp

Contenido

- Introducción
- Motivación
- Simulaciones
- Resultados

Introducción

“Multipacting”(MP) es un fenómeno de rápida multiplicación de electrones dentro de estructuras de radio frecuencia.



Motivación

MP limita el rendimiento de las cavidades superconductoras (especialmente), limitando el gradiente de aceleración. Y en los casos extremos, la energía depositada por las colisiones en las superficies puede resultar en la pérdida del estado superconductor de las cavidades.

Simulaciones

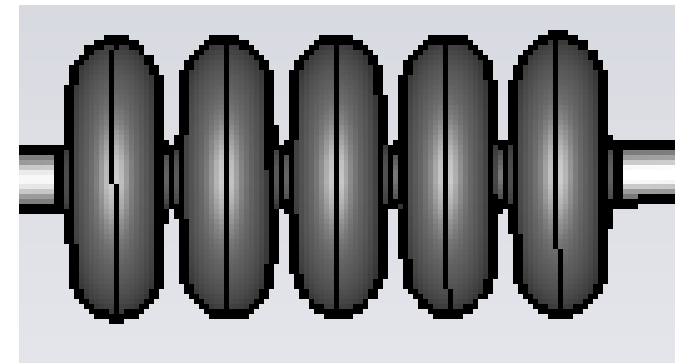
El estudio de MP en cavidades se llevara a cabo usando el siguiente procedimiento:

- Diseño electromagnético (3D CST modelo)
- Particle in Cell (PIC) model (MP estudios at CST)
 - Material de la cavidad (SEY)
 - Fuente de electrones primarios
 - Análisis de los indicadores de MP
 - Esquemas de mitigación

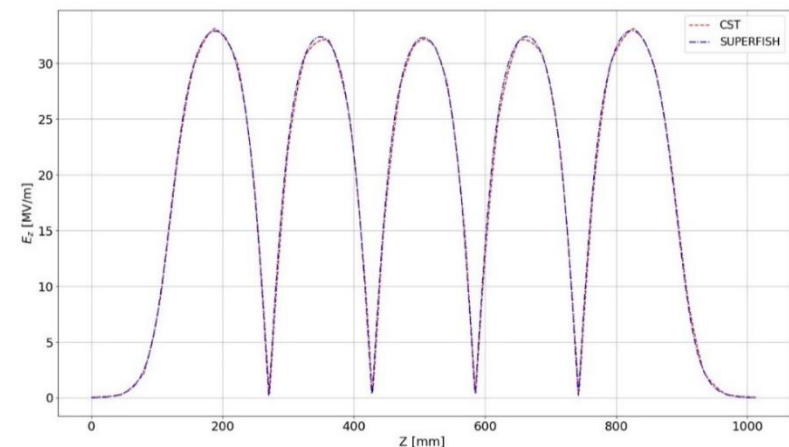
MP cavidades elípticas superconductoras

Esta platica presenta los estudios de MP en la cavidades elípticas superconductoras del proyecto JAEA-ADS.

| | |
|----------------------|---------|
| Parameters | EllipR1 |
| Freq [MHz] | 648 |
| Energy range [MeV] | 180-500 |
| # of Cells | 5 |
| Bg | 0.68 |
| Epeak/Eacc | 2.1 |
| Bpeak/Eacc [mT/MV/m] | 4.2 |
| Eacc [MV/m] | 14 |



CST 3D model EllipR1.



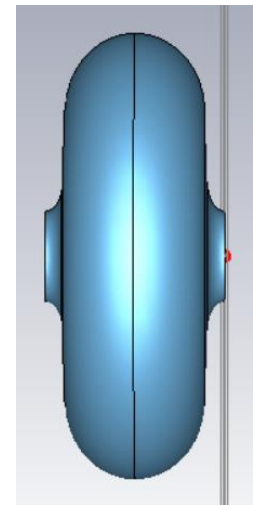
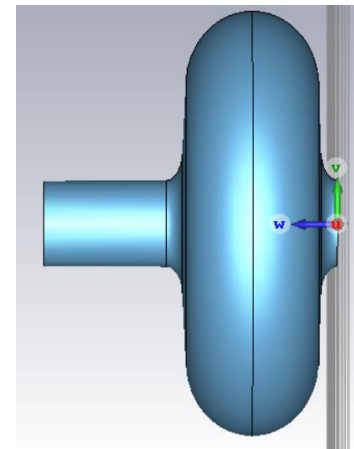
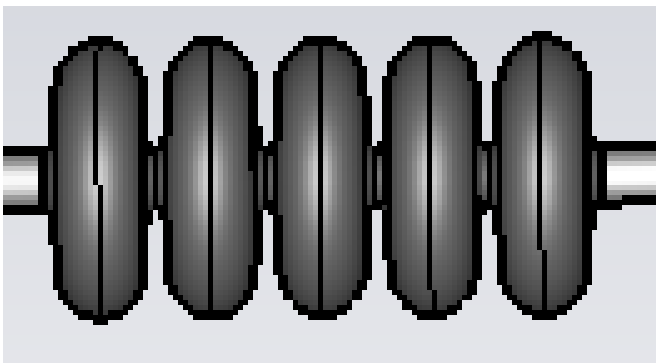
Ez profile at cavity center.

MP estudios

Para la correcta evaluación de MP, requerimos una resolución $< 0.1\text{mm}$.

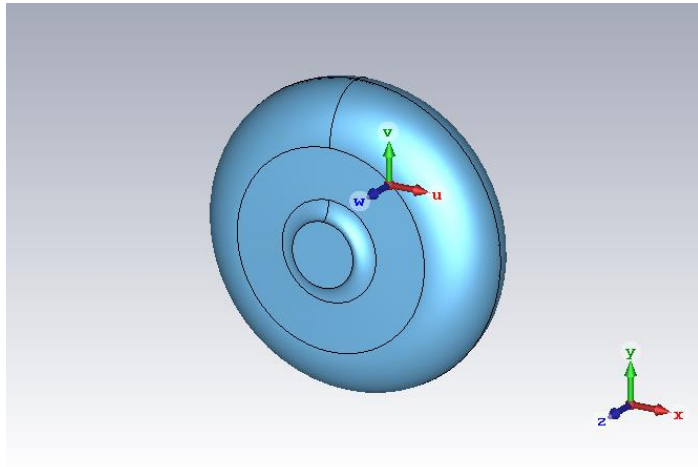
Esto resulta en una gran cantidad de *mesh cells* (10^7) que requiere un gran poder de computo.

Como solucionar este problema?

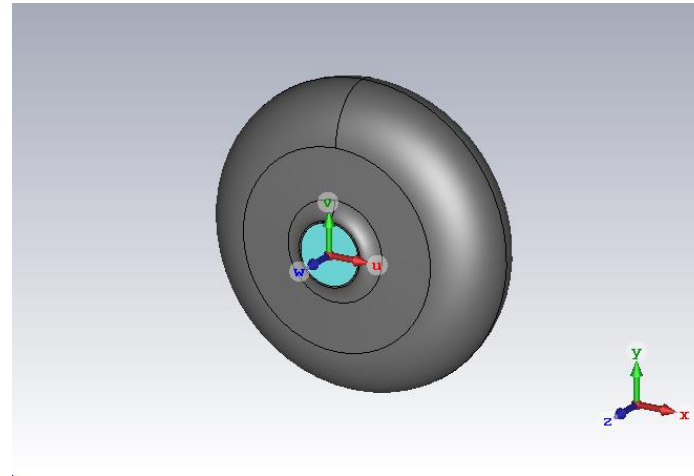


PIC estudios

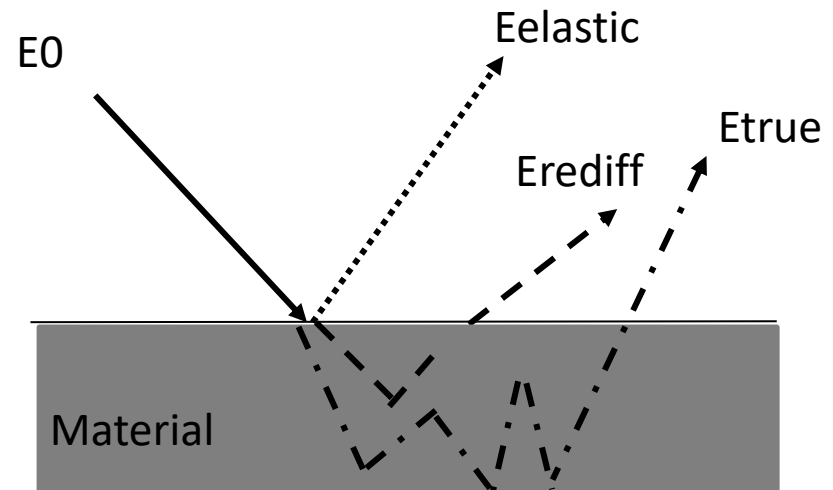
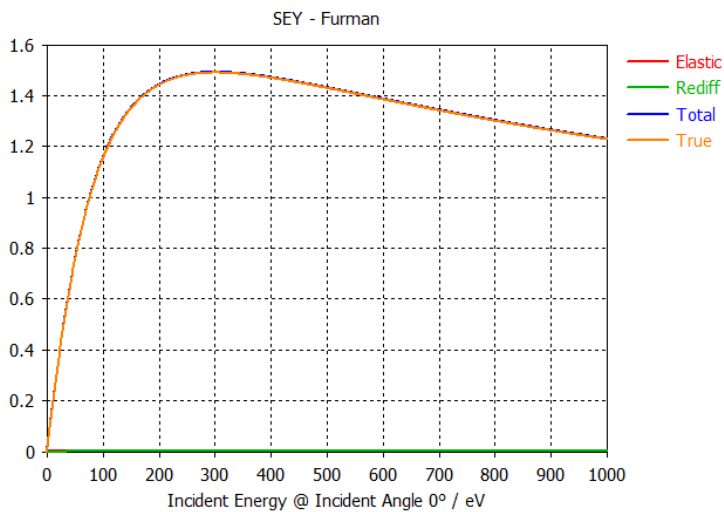
Modelo electromagnético



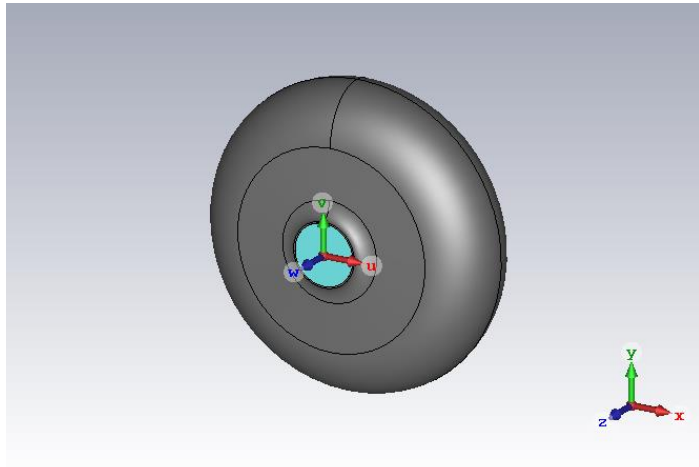
PIC Modelo



Seleccionar el material de la cavidad (Secondary Emission Yield [SEY])

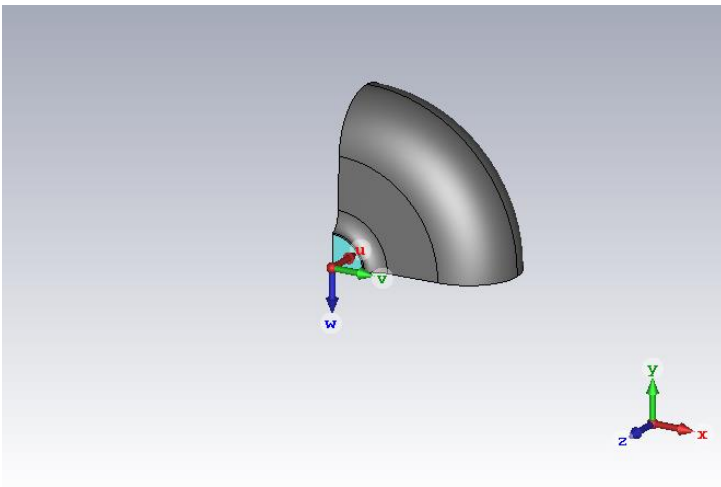


PIC model

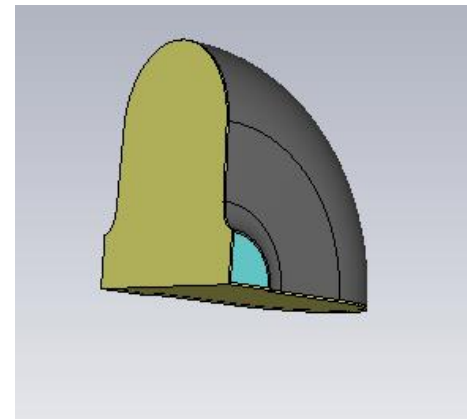


Aun con una celda, el numero de mesh cell son del orden de 10^7 .

Por lo que se puede simplificar mas simulando $\frac{1}{4}$ de celda.

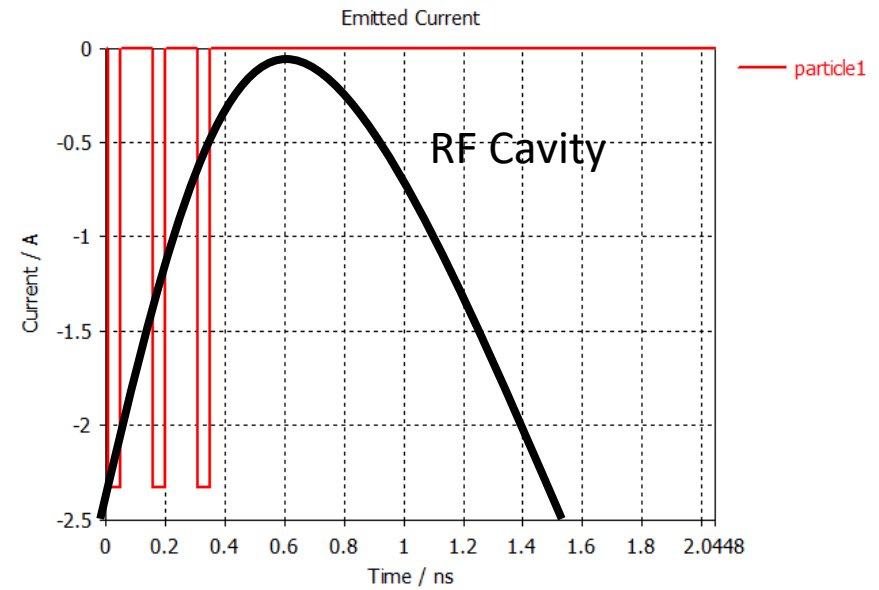
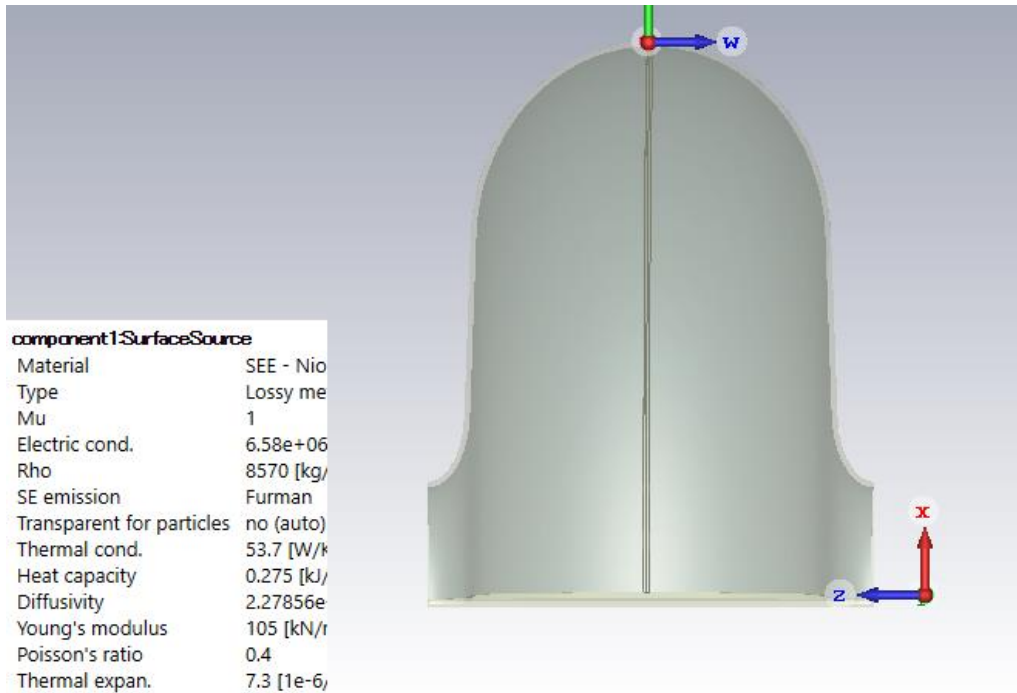


Sin embargo, debemos poner "Mirror conditions" para poder simplificar el modelo.



El origen de los electrones

Mediciones anteriores, muestran que el principal lugar donde MP ocurre en elípticas cavidades es alrededor del ecuador de la cavidad.

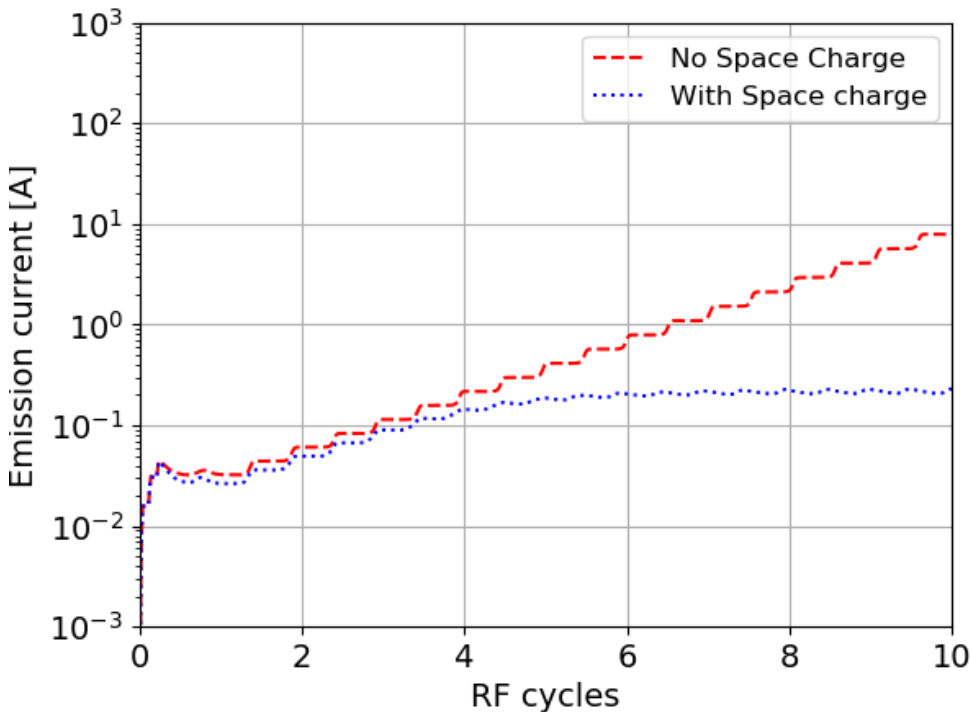


MP



MP con *Space charge*

- MP estudios sin *space charge* -> predicen un **crecimiento infinito** de electrones.
- Este comportamiento de los electrones **coincide** con la **etapa inicial** de las mediciones de MP.
- Sin embargo, las valores que indican MP (corriente de emisión, power, energía, etc.) no son correctamente estimados.

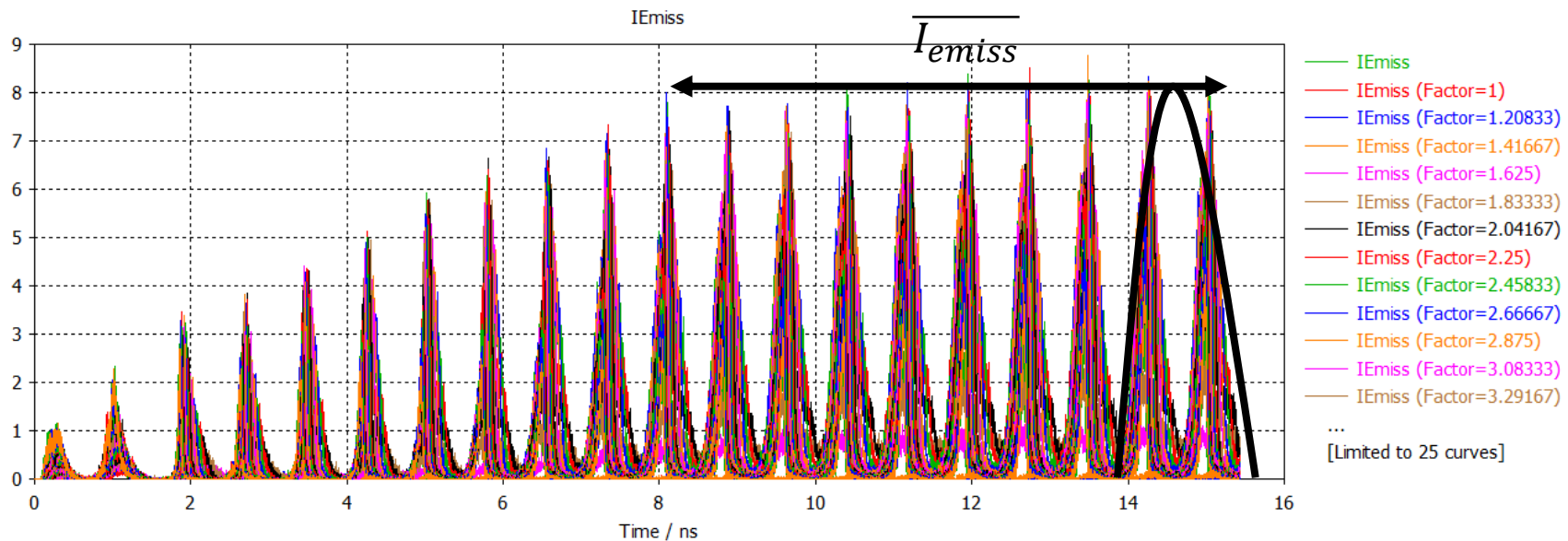


- Experimentos observan una **saturación** de la corriente de emisión.
- Por lo que la “**effective SEY**” deja de ser un claro indicador de MP, por lo que usare la corriente de emisión en su lugar.

Indicadores de MP

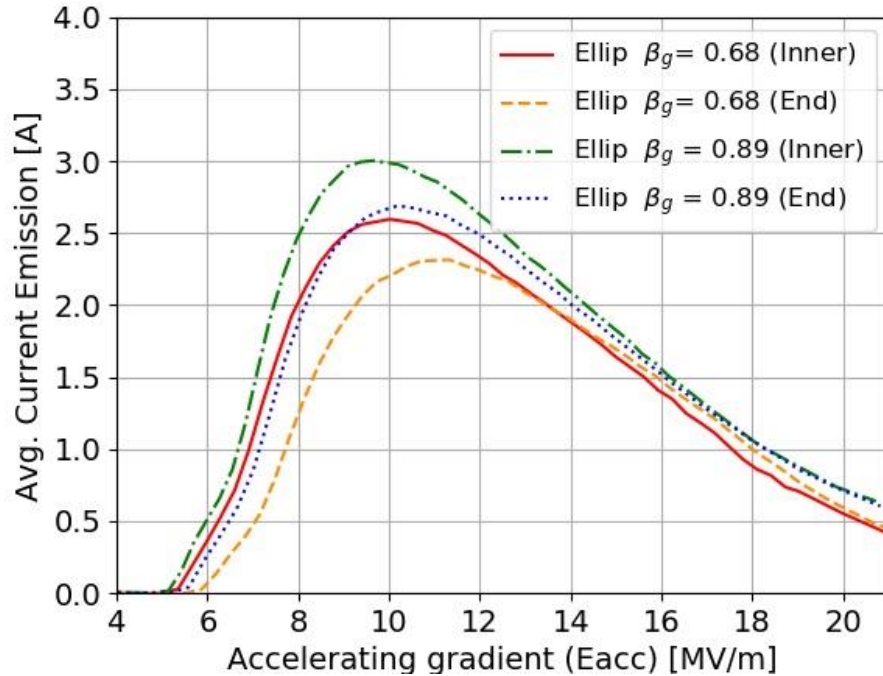
Usaremos la corriente de emisión, como indicador de MP. Para realizar esto haremos un promedio de la corriente en los últimos 5 RF periodos.

Y para simular diferentes gradiente de aceleradores los campos electromagnéticos importados será multiplicados por un factor.

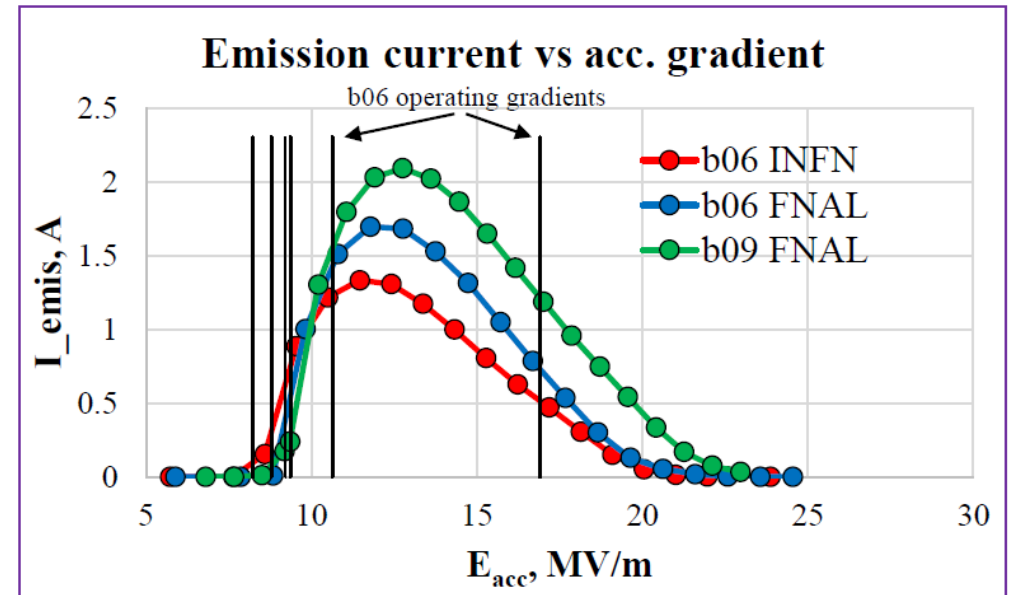


MP resultados y comparaciones

JAEA-ADS



FNAL



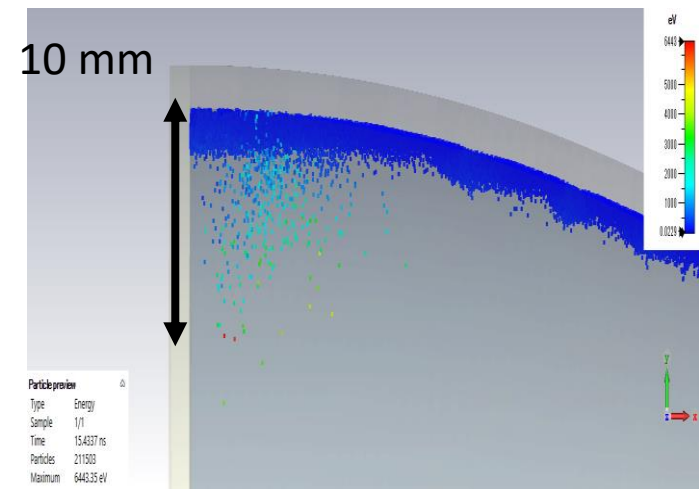
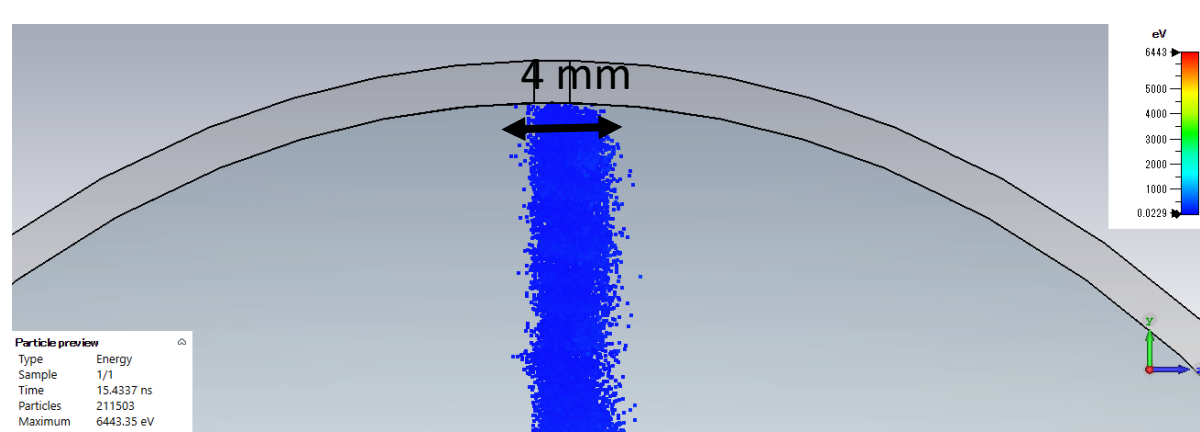
La corriente de emisión es 1.5 veces grandes para JAEA-ADS con respecto a la de FNAL.

Por lo tanto, dos estrategias de mitigación fueron implementadas para reducir MP:

- 1) Modificar la geometría local alrededor del ecuador (convexa o cóncava)
- 2) Cambiar la forma de dome (use elípticos dome mas redondo)

MP alrededor del ecuador

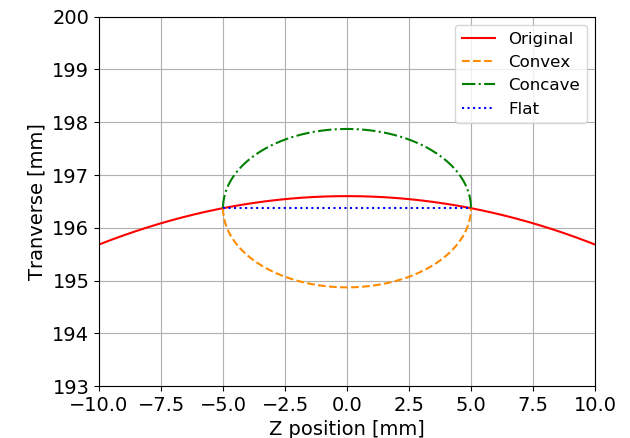
MP es localizada alrededor del ecuador en una región de algunos mm.



Por lo tanto, se modifico la área alrededor de 1 cm alrededor del ecuador.

Se estudio la celda interior de la cavidad EllipR1 en tres casos:

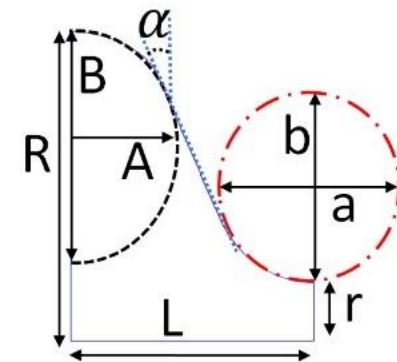
- 1) Flat (blue)
- 2) Convex (5 mm radius)
- 3) Concave (1 mm radius)



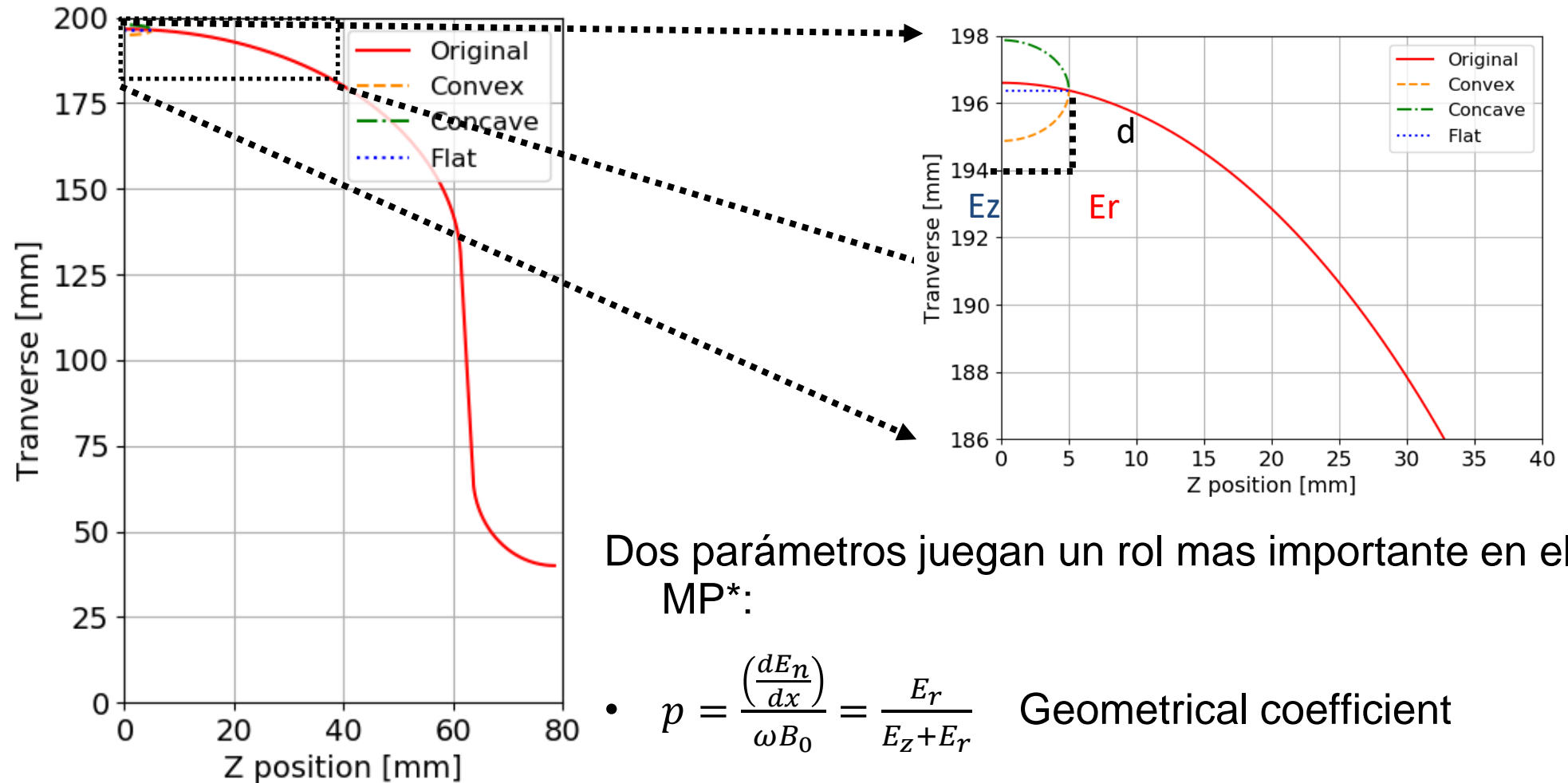
Geometrías redondas en el domo

Geometrías mas redondas en el dome, podría reducir MP, por lo que se decidió usar nuevas cavidades con diferente geometrías.

| Parameter | Original | Round | 5_4 |
|--------------------|----------|-------|-------|
| R [mm] | 196.6 | 195.4 | 196.6 |
| A [mm] | 61.5 | 60.5 | 54 |
| B [mm] | 68.9 | 61.5 | 58.8 |
| a [mm] | 14.8 | 15.7 | 22.6 |
| b [mm] | 26.5 | 28.1 | 42.2 |
| Epk/Eacc | 2.15 | 2.13 | 2.06 |
| Hpk/Eacc [mT/MV/m] | 4.19 | 4.21 | 4.50 |
| Freq [Mhz] | 647.9 | 647.9 | 647.9 |



Analizando las condiciones de MP

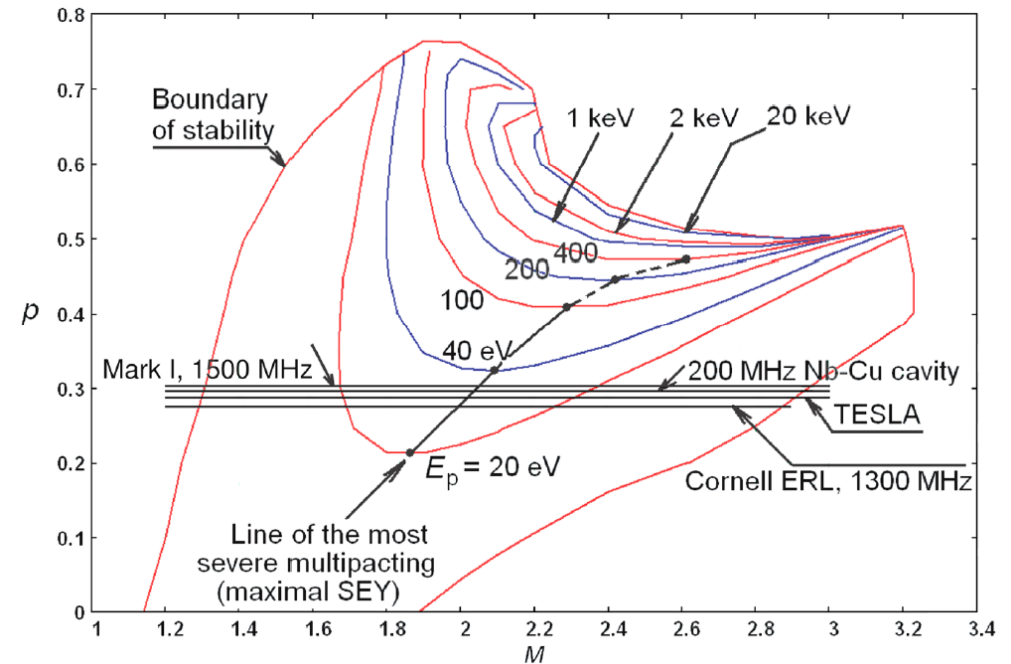
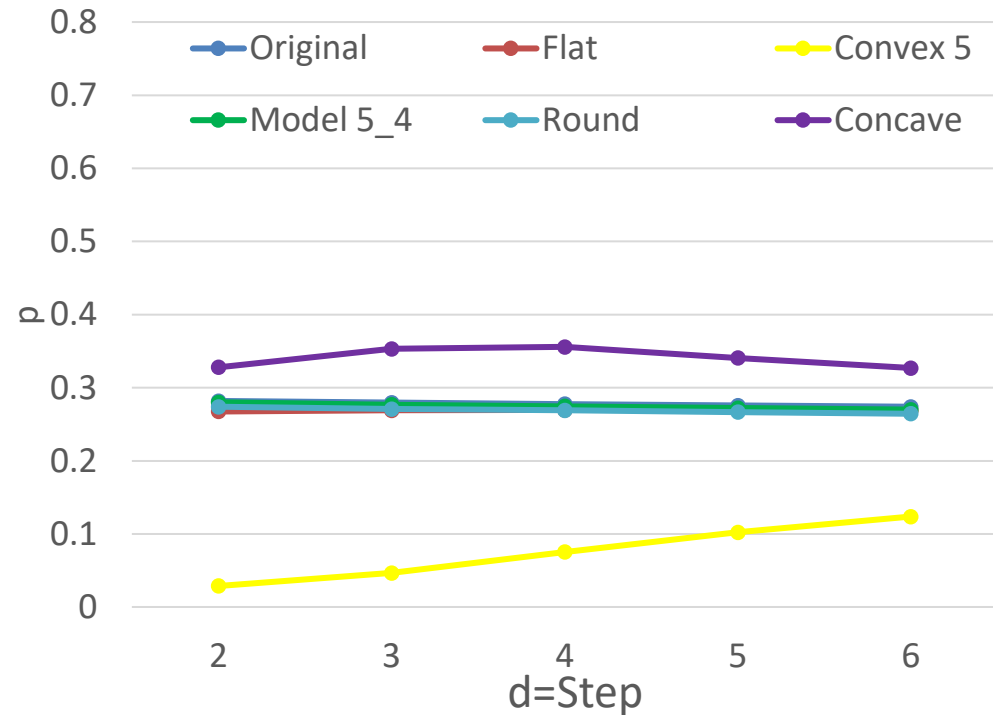


Dos parámetros juegan un rol mas importante en el MP*:

- $p = \frac{\left(\frac{dE_n}{dx}\right)}{\omega B_0} = \frac{E_r}{E_z + E_r}$ Geometrical coefficient
- $M = eB_0/m\omega$ Field coefficient

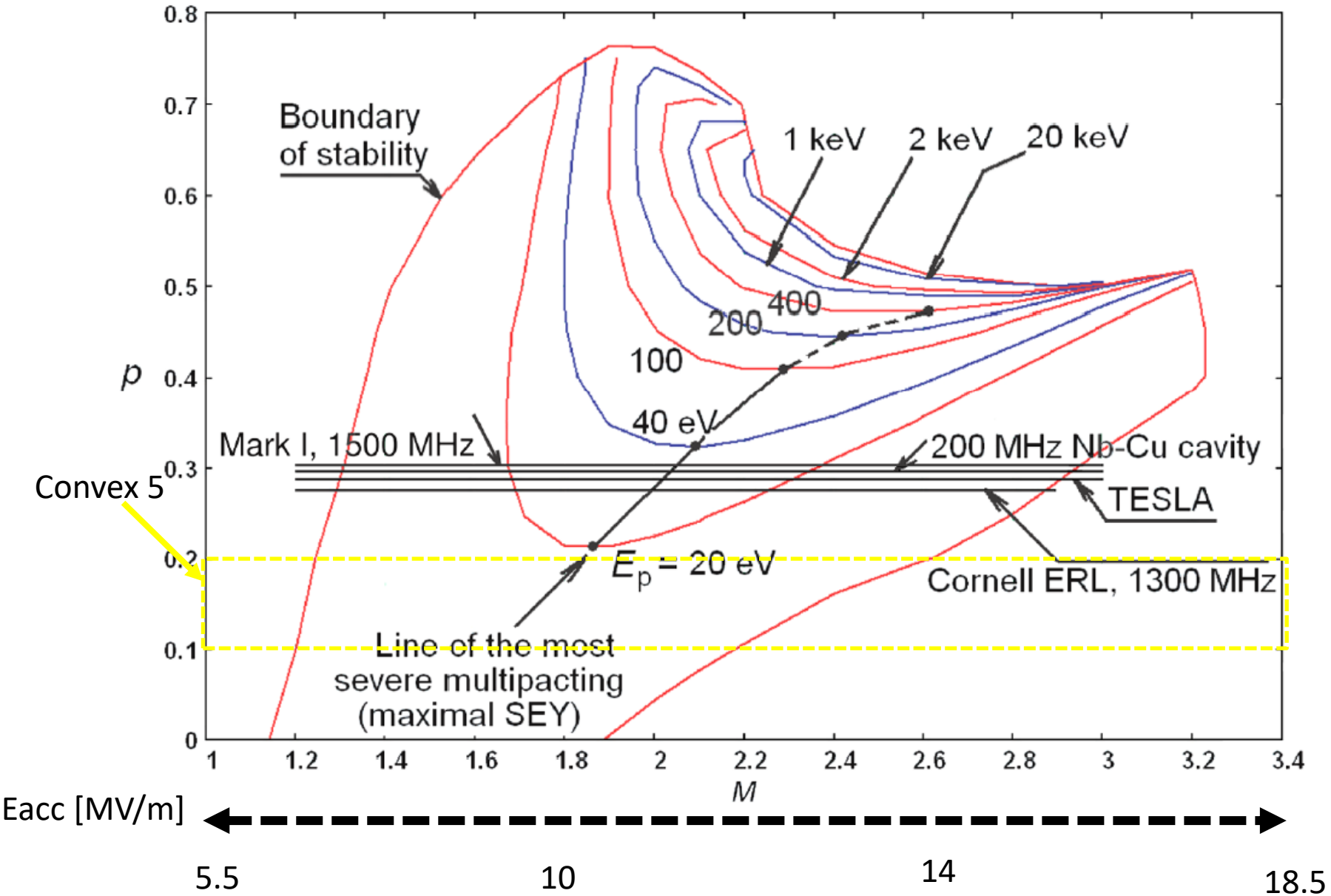
*V. Shemelin et al, Phys. Rev. ST Accel. Beams 16, 012002 (2013)

Two point 1st order MP



Los valores de p para diferentes cavidades presenta un valor mas constante e igual, sin embargo, El valor p para la geometría convexa (amarilla) incrementa en dirección del centro de la cavidad.

MP two point 1st order condition



MP conclusiones

- MP es un fenómeno que ocurre en RF estructuras, este efecto reduce el rendimiento de estas estructuras.
- En particular, para las cavidades superconductoras puede ser una limitante para su funcionamiento, y en algunas ocasiones podría ser la razón de su posible “quencheo”.
- MP en cavidades requiere simulaciones con una alta resolución de los cálculos de las interacciones electromagnéticas para llevar a cabo la correcta evaluación del MP.
- Efectos de la space-charge es importante para poder simular condiciones realistas de la cavidad.
- Y finalmente, buscar las medidas de mitigación para poder sobrepasar esa limitación.