

Desarrollo de software de simulación del conjunto crítico RA4 UNR

Ugo F.D. , Orso J.

Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura.

CIUNR, Universidad Nacional de Rosario.

Email: ugofernando@yahoo.com.ar

Resumen:

Se desarrolló un software que pretende simular el funcionamiento del Conjunto Crítico RA4 (Siemens Unterrichts Reaktor - SUR 100). Para este trabajo se tomaron en consideración todos los límites de operación y seguridades establecidas en la documentación mandataria que rige las puestas en funcionamiento.

Este programa tiene como objetivo simular todos los pasos y procesos que implica el arranque, la puesta a crítico, la variación de potencia y el apagado del reactor para el personal en entrenamiento.

Para la simulación se utilizó el software Visual Basic 6.0, con una pantalla que simula la consola de control del Conjunto Crítico (ver Figura).

En esta primera versión los valores que representan el flujo neutrónico son estimados, tomando como referencia las hojas de operaciones realizadas con una configuración de núcleo fija y sin elementos en los canales de experimentación.

ABSTRACT

A software was developed to simulate the operation of reactor nuclear RA-4 (Siemens Unterrichts Reaktor – SUR 100). The operation and safety limits established in the mandatory documentation have been taken into account for this particular work.

The purpose of this software is to simulate the start, the getting into critical state, the variation of reactor power and the shutdown, for the training of staff.

Visual Basic 6.0 software was used for the simulation, with a screen that replicates the reactor control console.

In this first version of the software, the values that represent the neutron flux are estimated by reference to the record book, with a fixed core configuraton and without elements in the channels of experimentation.

Descripción del RA4

Es un reactor de núcleo homogéneo de potencia máxima 1000mW, la forma física del núcleo es cilíndrica con un diámetro de 24cm Y 26cm de altura, dividido en dos partes, la superior fija y la inferior móvil desde una posición de reposo (alejada 4,7cm de la fija) hasta tomar contacto con la superior (en funcionamiento).

El núcleo está compuesto de discos apilados de distinta altura, de U3O8 enriquecido hasta el 20% mezclado homogeneamente con polietileno, este material aparte de cumplir la función de soporte del material fisionable, funciona como moderador de los neutrones.

El control del reactor se lleva a cabo con dos placas de control de 25 x 24cm de cadmio, con un recorrido de 25cm, ubicadas a los lados del núcleo.

Todo esto está rodeado por grafito que cumple las funciones de reflector de neutrones, sigue una capa plomo para atenuar radiaciones Gamma y finalmente un tanque de agua con ácido bórico en solución saturada como protección biológica con capacidad de absorber neutrones (Fig.2).

Una fuente de neutrones RaBe con una actividad de 10mCi provee las condiciones necesarias para el arranque.

El RA4 tiene un tubo de F3B trabajando en la zona de contador proporcional para el canal de arranque, una cámara de ionización para el canal de marcha logarítmico y una segunda cámara de ionización para el canal lineal de marcha.

Algunos parámetros físicos del reactor son:

Antireactividad total del núcleo: 4900 pcm (partes del núcleo separadas)

Variación de reactividad del núcleo por temperatura 25 pcm/°C.

Reactividad placas total 420 pcm con un recorrido entre 0cm y 25cm, 16.8 pcm/cm, la supongo lineal en todo el recorrido para simplificar el programa.

Suponemos que la reactividad de la placa no varía con la temp. dentro del rango de operación permitida.

$$\beta_{RA4} = 0,0073$$

$$\lambda_{RA4} = 0,084 \text{ s}^{-1}$$

$$I^*_{RA4} = 4,75 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$Cte_{RA4} \text{ I/W} = 5,44 \cdot 10^7 \text{ W/A [1]}$$

Toma de datos

Se realizaron varias operaciones con distinta temperatura y condiciones de núcleo para tratar de interpretar la relación entre todos los parámetros involucrados, finalmente se tomaron los datos de una operación en la que la temperatura del núcleo era de 22,2°C, en los canales auxiliares de experimentación se colocó grafito y en el canal central de irradiación un cilindro de acrílico de diámetro 20mm y largo 600mm, dando como resultado los datos de la tabla 1.

Temperatura reactor 22,2°										
Nucleo	Placa 1	Placa 2	Contador	Lin. Arranque	Log. Arranque	Lineal Marcha	Log. Marcha	Potencia	Nota	
(cm)	(cm)	(cm)	Imp/Min	Imp/seg	Imp/Min	(A)	(A)	(mW)		
0	0	0	7550	95	900	3,70E-13	1,00E-11	< 1	Arranque	
3	0	0	13000	160	2000	7,50E-13	1,00E-11	< 1	Arranque	
3,5	0	0	16000	205	3000	8,10E-13	1,00E-11	< 1	Arranque	
4	0	0	23000	320	6000	1,29E-12	2,00E-11	< 1	Arranque	
4,5	0	0	68000	850	30000	3,50E-12	6,00E-11	< 1	Arranque	
4,7	0	0	80900	1000	40000	4,00E-12	8,00E-11	< 1	Arranque	
4,7	10	0	94000	1200	45000	4,90E-11	9,00E-11	< 1	Arranque	
4,7	15	0	120000	1450	60000	6,00E-12	7,00E-11	< 1	Arranque	
4,7	20	0	151000	2200	90000	9,00E-12	2,00E-10	1	Arranque	
4,7	25	0	281400	3600	150000	1,50E-11	1,00E-10	1	Arranque	
4,7	25	5	334000	4200	200000	1,70E-11	2,40E-10	1	Arranque	
4,7	25	7,5	438000	5200	250000	2,20E-11	3,10E-08	1	Arranque	
4,7	25	10	0	0	0	3,50E-11	5,00E-10	2	Apagado HT arr.	
4,7	25	11	0	0	0	5,40E-11	8,00E-10	3	Ret. F. neutrones	
4,7	25	12,4	0	0	0	5,40E-11	8,00E-10	3	Crítico	
4,7	25	12,4	0	0	0	1,60E-10	2,50E-09	9	Crítico	
4,7	25	12,4	0	0	0	1,70E-09	2,40E-08	92	Crítico	
4,7	25	12,4	0	0	0	9,10E-09	1,00E-07	500	Crítico	
4,7	25	12,4	0	0	0	1,80E-08	2,00E-07	1000	Crítico	
Con F.neutrones			Con F. N., Sin HT Canal arranque				Sin Fuente N, Sin HT arranque			

Tabla1: Datos operación 22,2°

Descripción del programa

En pantalla principal se representan todos los comandos y todas las indicaciones que están presente en la consola del operador, la parte superior izquierda representa el canal de arranque, la parte superior derecha los graficadores de potencia y canal lineal de marcha, en la parte inferior todos los controles y sobre ellos los paneles indicadores de alarmas y scrams, como agregado hay una representación gráfica de los distintos

elementos del reactor para ayudar a entender los movimiento de cada componente (Fig.1).

El programa fue dividido en varias partes por razones de simplicidad, Prueba de funciones, unión núcleo y retiro placa1, retiro placa2 y crítico.

Prueba de funciones: se incluyeron en la pantalla barras de deslizamiento, botones e indicadores que permiten verificar los límites de disparo de las alarmas y scrams, estos límites de operación son los indicados en la documentación mandataria por la que se rigen las operaciones del RA4.

Unión núcleo y retiro placa1:

En la condición de arranque se ve el comportamiento de la fuente de neutrones, tomamos los valores de flujo con fuente junto al núcleo y con la fuente alejada 20 cm del núcleo. Como el movimiento del retiro de la fuente no puede ser interrumpido, lo que impide tomar valores intermedios en el recorrido, el comportamiento se aproximó con una ecuación lineal.

Para iniciar la operación se debe unir el núcleo esto se produce oprimiendo el pulsador “unir núcleo”, este proceso finaliza automáticamente cuando las dos mitades del núcleo están unidas, para simular la variación del flujo con respecto a la posición del núcleo, se tomaron los datos obtenidos experimentalmente y se aproximaron con una ecuación que relaciona la posición del núcleo con el flujo de neutrones (Fig.3).

El retiro de la placa1 también es automático y se lleva a cabo pulsando la palanca de control de esta placa.

Experimentalmente se observa que la variación de la temperatura (en los ensayos estudiados) no influye significativamente en el flujo final luego de unir núcleo y retirar placa1. Por esta razón se simuló el comportamiento de esta placa con una ecuación lineal.

Ahora el comportamiento del flujo en la etapa “unión núcleo y retiro placa1” está dada por la siguiente ecuación:

$$F. \text{ Lin. Arranque} = (1,1 - (0,0099 \times \text{PosFuente})) \times (83 + 0,602 e^{(1,572 \times (\text{Pos. Núcleo}))}) \times (0,11 \times (\text{PosPlaca1} + 1))$$

En esta etapa del programa la indicación de los canales de marcha se calculan a partir del lineal de arranque.

Retiro placa2: en la operación, el retiro de esta placa es progresivo por que nos estamos aproximando a la condición de crítico, en esta parte el programa siempre se está en condición de subcrítico, por lo que el flujo de neutrones es debido a la fuente de neutrones y la multiplicación debida al elemento fisionable del núcleo, esta multiplicación es proporcional al Kef (siempre que sea <1) que tenga el reactor en ese momento.

Para obtener esta relación se graficó Flujo Lin. Marcha Vs. Kef (Fig.4) tomando los datos experimentales.

$$\text{Flujo Lin. Marcha} = 8,89 \cdot 10^{-12} + 1,11 \cdot 10^{-9} \text{ Kef}$$

En esta etapa del programa la indicación de los canales de arranque se calculan a partir del lineal de marcha, hasta llegar a 2mW de potencia donde deben desconectarse los canales de arranque.

Cuando se llega a los 30mW de potencia se debe retirar la fuente de neutrones.

Critico: esta condición es fuertemente dependiente de la temperatura, para obtener la relación entre ambos parámetros se grafican los valores experimentales de crítico para las temperaturas medidas con las mismas condiciones de operación (mismo núcleo y mismos materiales en los canales de experimentación) (Fig. 5) dando como aproximación.

$$\text{PosPlaca2Critico}_{[\text{cm}]} = 1,25 \text{ Temp}_{[\text{°C}]} - 15,36$$

En este punto el programa sabe en que posición de la placa2 está la condición de crítico y calcula la evolución del flujo neutrónico basado en la ecuación de la cinética para reactividades muy cercanas a "0" tanto positivas como negativas.

$$F L. \text{Marcha}_{(T)} = F L. \text{Marcha}_{(0)} \left(\left(\frac{\beta}{\beta - \rho} \right) e^{(\lambda \rho T / (\beta - \rho))} - \left(\frac{\rho}{\beta - \rho} \right) e^{((\beta - \rho)t / l^*)} \right)$$

En esta ecuación el valor de ρ se calcula tomando la posición de la placa2 con respecto a la posición de crítico (ya conocida porque se sabe la temperatura), esta medida en cm se multiplicada por el valor de reactividad/cm de la placa para darnos el valor de reactividad que se agregó o quitó.

Finalmente la potencia es calculada por la ecuación:

$$\text{Potencia}_{[W]} = 5,44 \cdot 10^7 \frac{[W/A]}{[A]} F. L. \text{Marcha}_{[A]} \quad (\text{Fig6})$$

Resultados:

Se obtuvo un programa que brinda resultados satisfactorios pudiendo simularse el proceso de puesta en marcha y operación con los enclavamientos y límites de operación usados actualmente.

Conclusiones:

Con este trabajo se deja un camino abierto para el aprendizaje de operadores del conjunto crítico. En futuras versiones del simulador se pretende agregar un modelo que represente el comportamiento del núcleo y las placas de control.

REFERENCIAS:

- 1- Marenzana, A. Informe de seguridad RA4 , FCEIA;UNR
- 2- Glasstone S L, Sesonske A *Ingeniería de Reactores Nucleares* Reverté, Buenos Aires (1968)
- 3- Rubio Scola, Héctor E.; Rubio Scola, Ignacio Control Automático del Reactor Nuclear RA4 FCEIA;UNR

FIGURAS

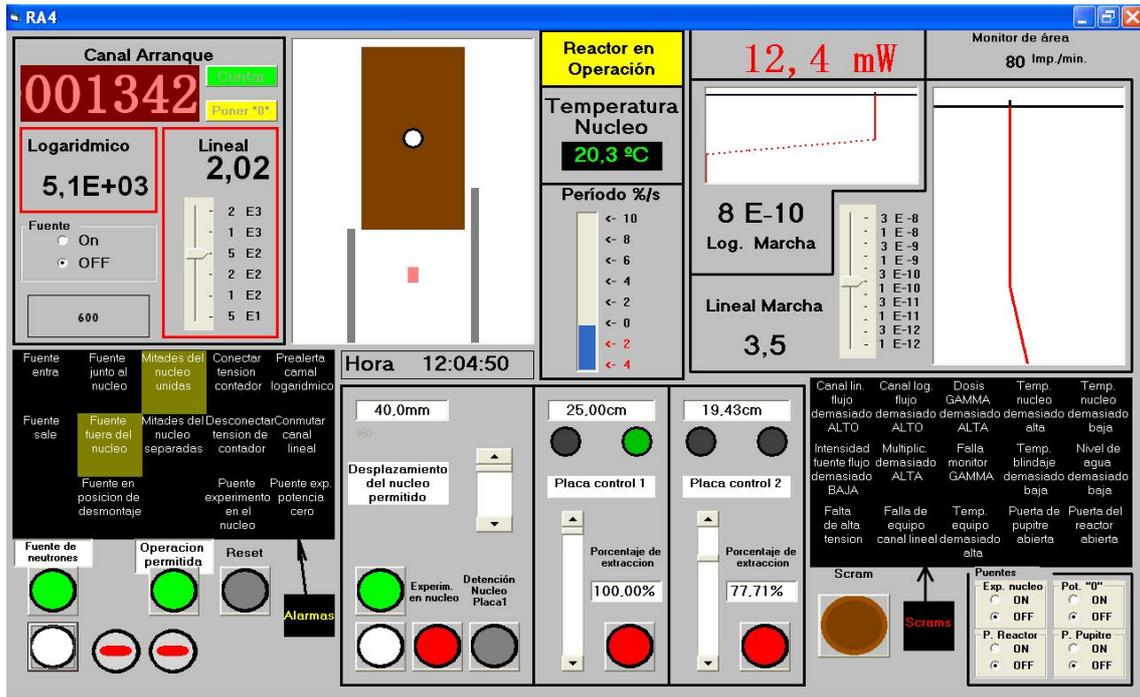


Fig.1: Pantalla principal

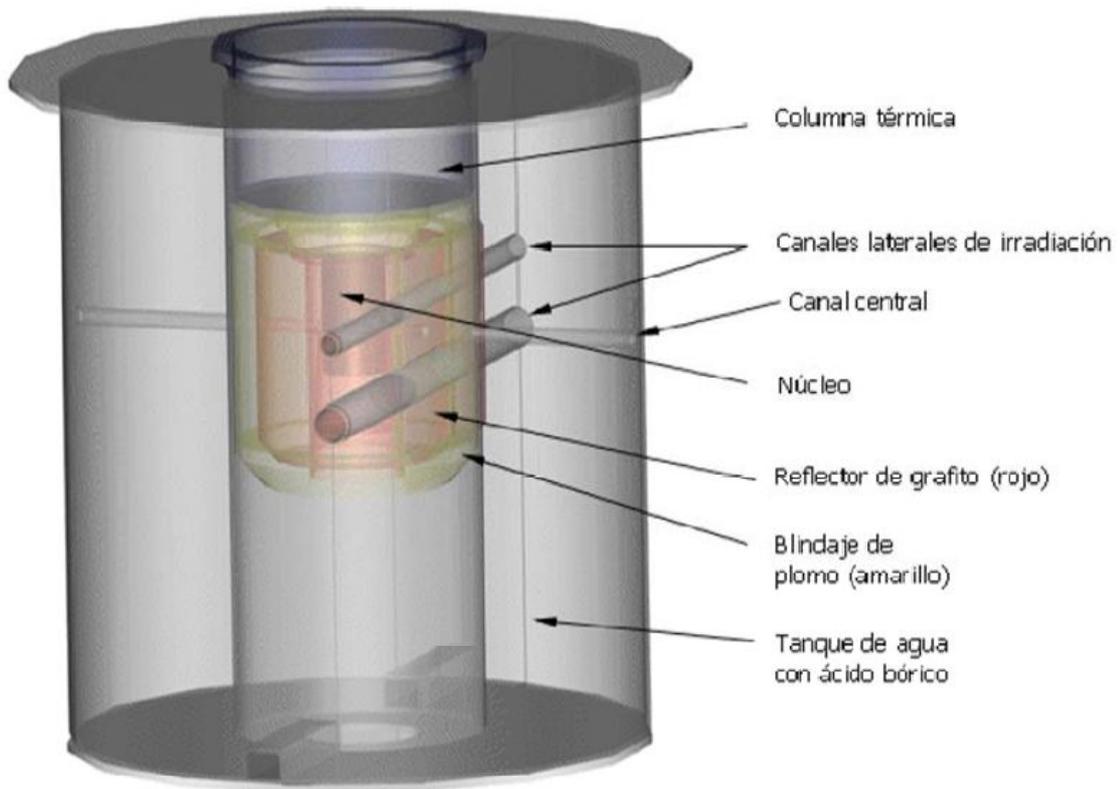


Fig.2: Esquema del reactor RA4 [2]

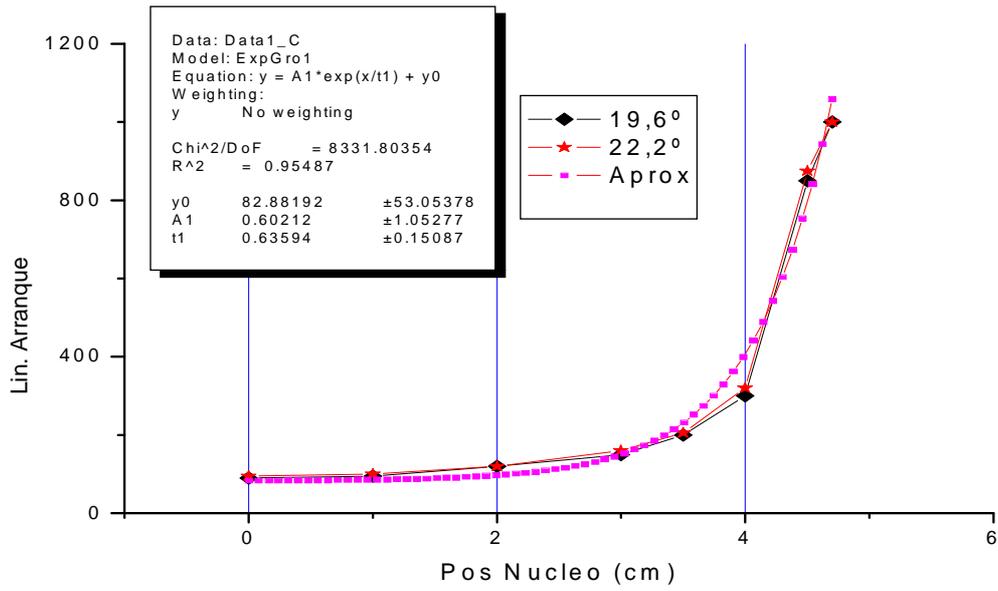


Fig.3: Relación Flujo(I/s) Vs. Posición núcleo(cm) con fuente junto al núcleo

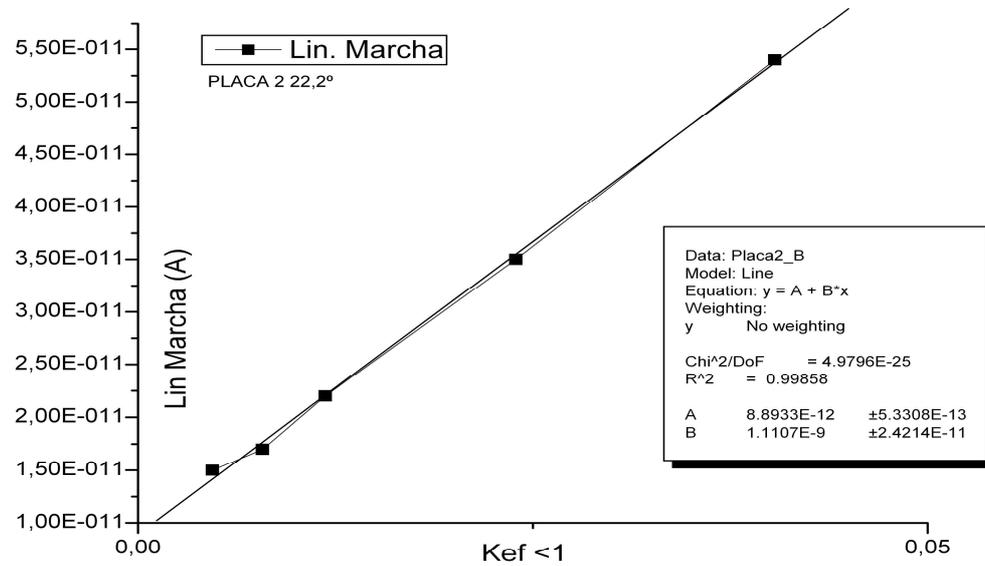


Fig.4: Flujo Lin. Marcha(A) Vs Kef

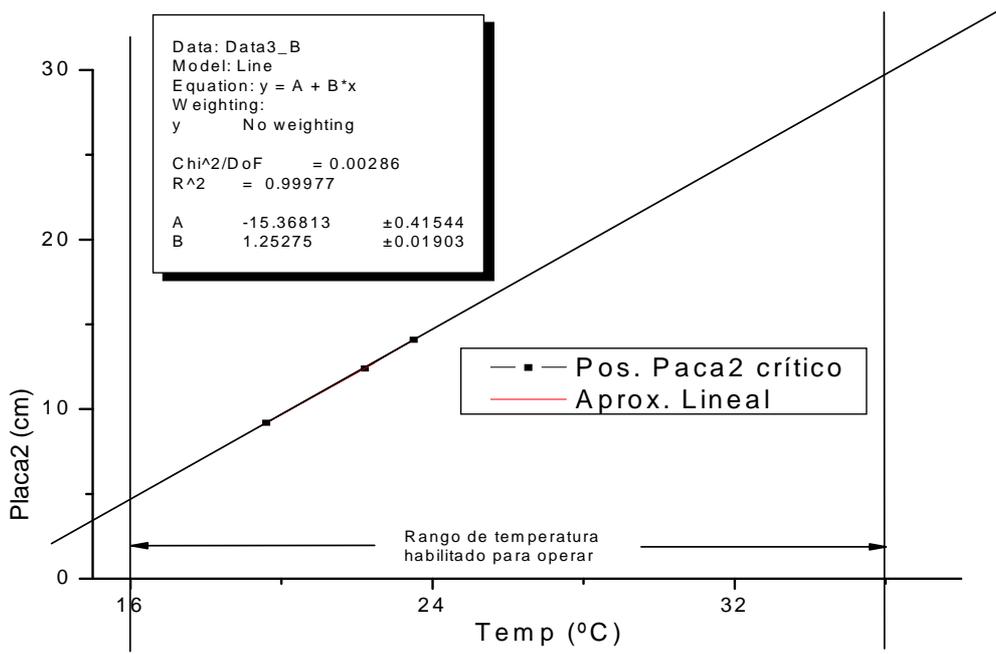


Fig.5: Temperatura(°C) Vs. Posición crítico placa2(cm)

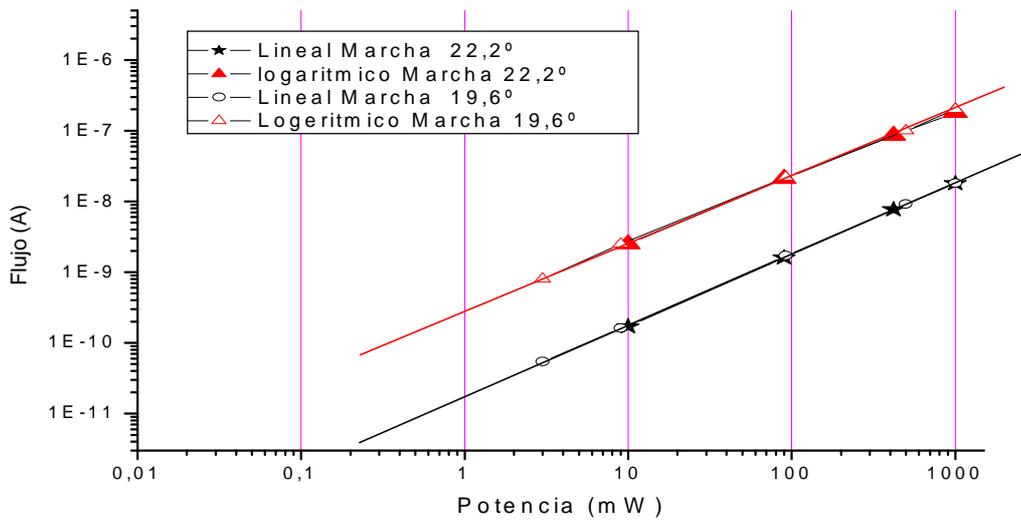


Fig.6: Gráfico Potencia Vs. Flujo para operaciones a 22,2°C y 19,6°C