

## **TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS Y DE COMUNICACIÓN PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA DE REACTORES NUCLEARES Y RADIOPROTECCIÓN**

MURÚA Carlos A. – 22.036.006  
CHAUTEMPS Norma A. – 16.159.710  
ODETTO Jorge O. – 7.680.707

Reactor Nuclear RA-0 – Universidad Nac. de Córdoba - Comisión Nacional de Energía Atómica  
(murua.cnea@gmail.com)

Área Temática : Tecnologías de la Información y la Comunicación en los procesos educativos

Con la finalidad de formar en Física de Reactores a personal de las centrales nucleares argentinas, y con la condición que dicha formación debía impartirse principalmente en la locación de dichas centrales, se diseñó una estrategia pedagógica que combina la utilización de recursos convencionales con nuevas tecnologías informáticas.

Dado que el Reactor Nuclear RA-0 es una herramienta óptima para enseñar Física de Reactores, se priorizó la utilización del mismo, tanto en forma local como remota.

La estrategia pedagógica se basa en cuatro pilares:

- Clases teóricas en la Central (con Moodle como apoyo)
- Seguimiento remoto de los parámetros del Reactor Nuclear RA-0 mientras opera (RA0REMOTO)
- Utilización, vía web, del simulador del Reactor Nuclear RA-0 (RA0SIMUL)
- Realización en el Reactor Nuclear RA-0 de los prácticos de Física de Reactores

El trabajo hace hincapié en los sistemas RA0REMOTO y RA0SIMUL

El sistema RA0REMOTO es un apéndice del Sistema Electrónico de Adquisición de Datos (SEAD) del Reactor Nuclear RA-0. Dicho sistema adquiere las señales de la instrumentación del Reactor y las envía a un servidor en el que se ejecuta el software que “publica” en Internet los parámetros del reactor. Los alumnos pueden, durante las clases teóricas, monitorear cualquiera de las señales del reactor mientras el mismo opera, lo que permite al docente contrastar la teoría con la realidad.

El RA0SIMUL es un simulador del R.N. RA-0, que permite a los alumnos conectarse vía web en cualquier ocasión y “operar” un reactor analizando los conceptos de Física subyacentes

Palabras claves: Reactor – Nuclear – Remoto – Física – Simulador

# **TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS Y DE COMUNICACIÓN PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA DE REACTORES NUCLEARES**

MURÚA Carlos A. – 22.036.006  
CHAUTEMPS Norma A. – 16.159.710  
ODETTO Jorge O. – 7.680.707

Reactor Nuclear RA-0 – Universidad Nac. de Córdoba - Comisión Nacional de  
Energía Atómica  
(murua.cnea@gmail.com)

Área Temática : Tecnologías de la Información y la Comunicación en los procesos  
educativos

## **EL REACTOR NUCLEAR RA-0**

En los comienzos del año 2011 se recibió un requerimiento de la Central Nuclear Embalse (Provincia de Córdoba, a 120 km. de la ciudad de Córdoba) al grupo de trabajo del Reactor Nuclear RA-0 (Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de la Universidad Nacional de Córdoba). El requerimiento era para el dictado de distintos módulos de dos cursos (uno para técnicos y otro para profesionales). Los módulos que debían ser dictados por la U.N.C. eran específicamente los de Matemáticas, Física Nuclear, Física de Reactores Nucleares, Radioprotección y Seguridad Nuclear.

En el caso específico de la Física de Reactores Nucleares, se priorizó la utilización del Reactor Nuclear RA-0 dado que el mismo es una herramienta óptima para la docencia.

El Reactor Nuclear RA-0 es una facilidad crítica (o reactor nuclear de potencia cero), que utiliza Uranio Enriquecido al 20 % como combustible y Agua Liviana como moderador. El hecho de ser un reactor de potencia cero (la potencia máxima autorizada es de 1 W en funcionamiento continuo y de 10 W en transitorios) lo constituye en un instrumento muy versátil para la enseñanza y la experimentación. Pueden realizarse en él una cantidad importante de mediciones de parámetros tanto operativos como de seguridad. Una cuestión importante a destacar es que los fenómenos físicos básicos de física de reactores que tienen lugar en el núcleo de un reactor como el RA-0, son exactamente iguales que los fenómenos físicos análogos que tienen lugar en reactores nucleares de mucha mayor potencia, incluidos los reactores utilizados para generar energía eléctrica (centrales nucleares). Así, los conceptos de reactividad, población neutrónica, período del reactor, efectos de la temperatura, el vacío o las barras de control sobre la reactividad pueden ser observados, medidos y analizados en un reactor de muy baja potencia, como el R.N. RA-0, y esos conocimientos pueden ser extrapolados casi sin modificaciones a reactores de potencias varias órdenes de magnitud mayor. Teniendo esto en cuenta,

y dada la disponibilidad del R.N. RA-0 en el ámbito de la U.N.C., es que se decidió priorizar su utilización, tanto en forma local (presencial en las instalaciones del RA-0), como así también en forma remota.

En las figuras siguientes se observan el núcleo del R.N. RA-0 y su Consola de Comando y Monitoreo



En el marco de todo lo expresado anteriormente, y específicamente para la docencia correspondiente a Física de Reactores Nucleares, se diseñó una estrategia pedagógica que combina la utilización de recursos convencionales con el uso de las nuevas tecnologías informáticas.

La estrategia pedagógica mencionada se basa en cuatro pilares :

- Clases teóricas **PRESENCIALES** en la Central Nuclear Embalse (con utilización de una pizarra electrónica y un servidor Moodle como apoyo)
- Seguimiento **REMOTO** de los parámetros del Reactor Nuclear RA-0 mientras el mismo opera (RA0REMOTO)
- Utilización **REMOTA** (via navegador web) de un simulador del Reactor Nuclear RA-0 (RA0SIMUL)
- Realización **PRESENCIAL** en el Reactor Nuclear RA-0 de diversos prácticos de Física de Reactores.

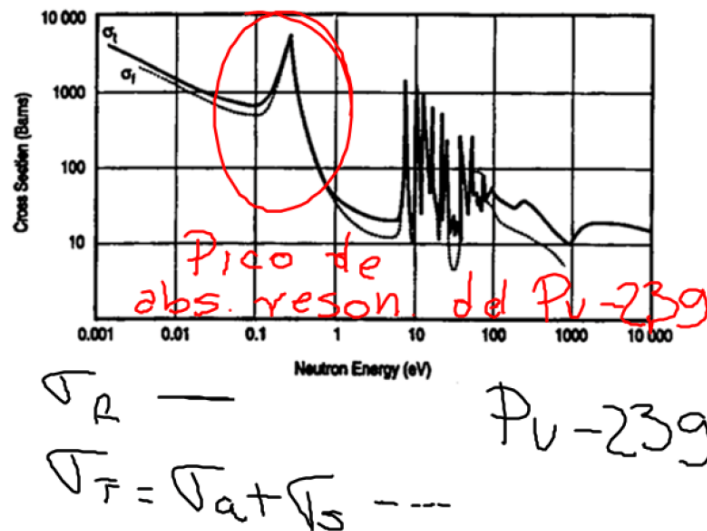
## **CLASES TEÓRICAS**

Las clases teóricas se dictan en la misma Central Nuclear Embalse, para grupos de entre 15 y 30 alumnos.

Dado que el curso es intensivo, la dedicación de los alumnos es exclusiva mientras dura el mismo, por lo que las jornadas son de más de 5 horas diarias de clases. Ante esta realidad se desestimó la utilización de filminas o presentaciones informáticas dada la actitud pasiva que generan en los alumnos, y se optó por la utilización de una “pizarra electrónica”. Esta herramienta posibilita por un lado la utilización de recursos gráficos de forma similar a una presentación, pero al mismo tiempo mantiene la atención de los alumnos como una pizarra tradicional, con la ventaja que al terminar la clase se puede generar un archivo con la clase completa tal cual fue plasmada por el docente en la pizarra.

El archivo así generado es “subido” a un servidor Moodle , donde queda a disposición de los alumnos para ser descargado y utilizado como material de estudio, sumado a la bibliografía que también se utiliza en la materia (elaborada por los docentes que dictan la misma)

En la figura siguiente se observa una “pantalla” de la pizarra electrónica, en donde se aprecia cómo sobre un gráfico “importado” el docente puede resaltar detalles y conceptos al modo tradicional de utilización de un pizarrón.



## RAOREMOTO

El sistema RAOREMOTO es una combinación de hardware y software que permite monitorear en forma remota (a través de una página web) los principales parámetros operativos del reactor (en este caso el R.N. RA0), y al mismo tiempo permite interactuar con los operadores del mismo para solicitar la ejecución de una acción operativa.

Este sistema sólo puede utilizarse mientras el Reactor se encuentra operando, y permite, por un lado, que los estudiantes aprecien en una instalación y durante una operación real, como evolucionan los distintos parámetros operativos del Reactor (contaje en los canales de Arranque, corriente en los canales de Marcha, la dosis de radiación, reactividad, potencia, etc.), ante distintas variaciones de los parámetros de comando; y correlacionar este comportamiento con las situaciones “teóricas” estudiadas previamente en clase. Además de analizar el comportamiento de los diferentes parámetros operativos, el sistema RAOREMOTO permite también la realización de mediciones con el fin de calcular u obtener el valor de alguna/s variable/s físicas del Reactor (nivel de crítico del moderador, posición de crítico de las barras de control, relación nivel de moderador-reactividad, calibración de barras de control, etc.)

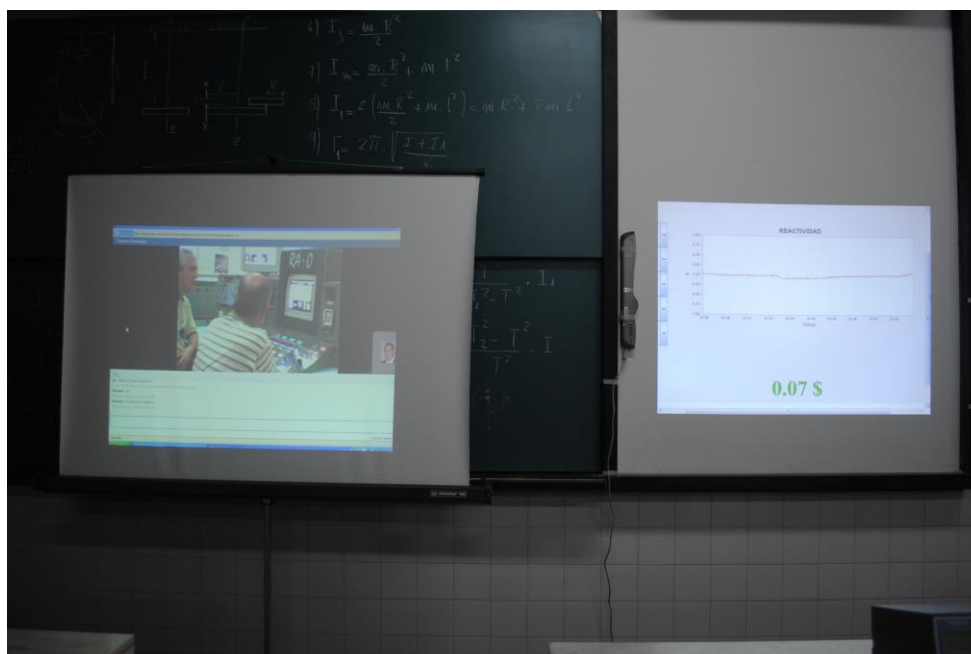
Es decir, permite tanto la realización de mediciones de **parámetros operativos** como de **variables físicas** del Reactor.

En la figura siguiente se observa la pantalla del sistema una vez que es cargado :



En la misma se han destacado las tres áreas principales : en el área de Selección del Parámetro el usuario elige una de todas las señales disponibles para ser visualizada. Es importante destacar que al accederse al sistema mediante un navegador, cada usuario puede abrir múltiples ventanas en el mismo con el fin de visualizar distintos parámetros simultáneamente.

En la figura siguiente se observa el sistema funcionando en un aula de la F.C.E.F. y N. : a la izquierda aparece la aplicación que permite comunicarse con los operadores del reactor (y visualizar sus acciones sobre la Consola de Comando), mientras que a la derecha aparece una pantalla monitoreando una de los parámetros operativos del Reactor (en este caso la reactividad)

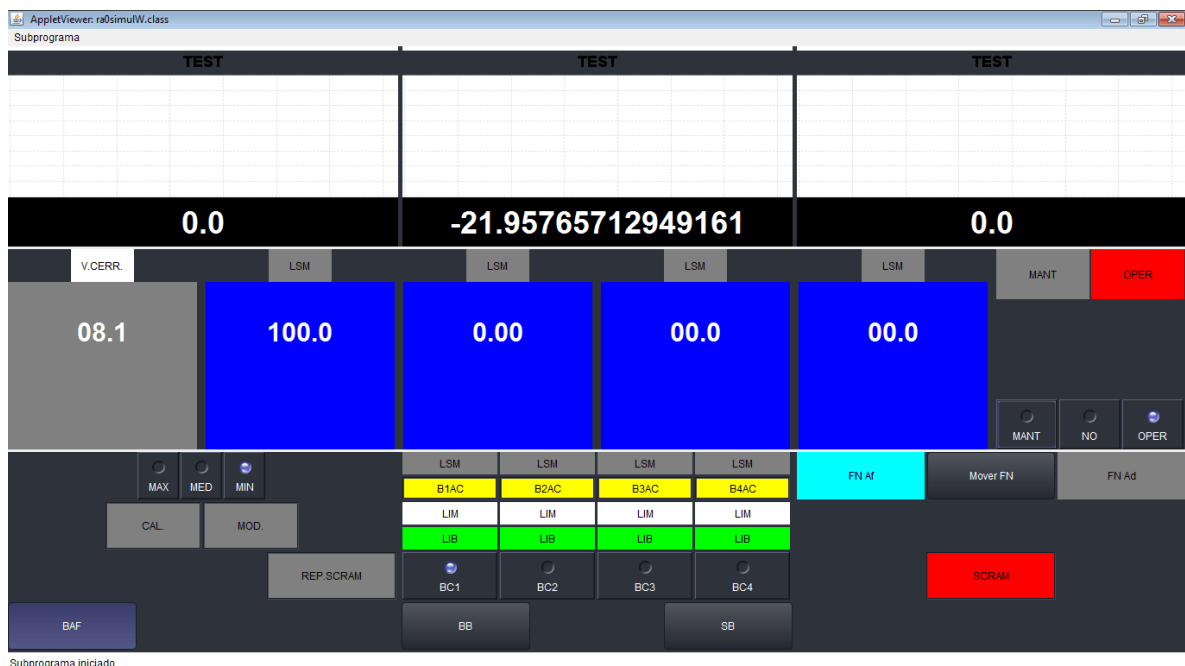


# RAOSIMUL

El sistema RA0REMOTO presenta una importante ventaja pero al mismo tiempo un inconveniente. La ventaja es que las señales provienen de un Reactor y una operación reales, lo que permite al estudiante verificar que los conceptos teóricos se corresponden con el comportamiento físico real del Reactor. El inconveniente es que al ser necesario que el Reactor se encuentre operando para poder usarlo, no es utilizable durante buena parte del tiempo.

Para solucionar este problema, y poner a disposición del estudiante de Física de Reactores una herramienta disponible en forma continua en el tiempo, se desarrolló un SIMULADOR DEL REACTOR NUCLEAR RA-0, denominado RA0SIMUL. Dicho simulador es también accesible via web (a través de un navegador).

El RA0SIMUL reproduce tanto la Consola de Comando del R.N. RA-0, permitiendo por ende al estudiante “operar” el reactor actuando sobre los mismos dispositivos sobre los que actúa el operador en un caso real, y por ende analizar la variación de los parámetros operativos y su correlación con el comportamiento teórico de los mismos desarrollado previamente en clase. Otra ventaja del uso del simulador es que es mucho más versátil que el Reactor “real”, permitiendo en ocasiones secuencias operativas no disponibles en la realidad, con el consiguiente aprendizaje de las consecuencias de operar en esas condiciones. Por último, la importancia del simulador radica fundamentalmente en el hecho de que no hay límite de tiempo en cuanto al uso del mismo, pudiendo el estudiante acumular “horas de experiencia” en el funcionamiento de este tipo de dispositivos.



En la figura anterior se observa la pantalla del simulador, con el área de la Consola de Comando en la zona inferior de la pantalla, el área de monitoreo de la posición de las



barras de control y del nivel de moderador en la zona media, y en la porción superior de la pantalla se reproducen los monitores de computadora con los que es posible seguir la evolución de los principales parámetros operativos del Reactor.

## **PRÁCTICOS DE FÍSICA DE REACTORES**

Con anterioridad al comienzo del dictado de los cursos por parte del grupo de trabajo del R.N. RA-0, ya se dictaban en el mismo los trabajos prácticos correspondientes a la materia Física de Reactores. Dichos prácticos se llevan a cabo en grupos no mayores a quince estudiantes, los cuales dedican dos jornadas consecutivas en las instalaciones del Reactor a realizar mediciones de variables físicas fundamentales de la Física de Reactores Nucleares (nivel de crítico del moderador, posición de crítico de las barras de control, relación nivel de moderador-reactividad, calibración de barras de control, etc.)



## **CONCLUSIONES**

La experiencia acumulada en el dictado de la materia Física de Reactores nos permite afirmar que el abordaje de la misma utilizando metodologías diversas, tanto presenciales como remotas, y tanto continuas como esporádicas favorece el aprendizaje de la materia, debiendo señalarse que si bien la utilización del simulador les permite a los alumnos estudiar en forma repetitiva los conceptos desarrollados en la teoría; lo que prioriza de forma más rotunda como factor fijador de conceptos es la comparación entre la teoría y el comportamiento observado durante la operación real del R.N. RA-0.