

# **Construcción, uso y reforma del Reactor Argentino 1 (RA1)**

**Carlos Domingo**

**Octubre 2005**

## **1. La Construcción del RA1**

Hago esta nota a pedido de algunos de mis compañeros del reactor. Pido perdón por la omisión de algunos nombres pero mi memoria no es la que tenía hace 45 años.

Si la memoria no me falla fue a principios de 1957 cuando se tomó la decisión de construir un reactor. El grupo de rectoristas tenía tres generaciones de cursos en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), de Argentina. La primera: Sastre, Najsiletti, Buchler, Roxin, Koppel y algún otro que no me recuerdo ahora, habían salido a estudiar en el exterior, en EEUU, y por lo menos dos (Sastre y Buchler) se habían quedado allí, este último en el laboratorio de Argonne en Chicago).

En la segunda generación estábamos: Clara Mattei, Vera Vinitzky, Elba Pezonni, Cosentino, Velia Hoffman, Miguel Geiger, María Huergo (que luego pasó a Radioquímica), Shonfeld, Landoni, Catalina, Lamiratto y Carlos Domingo. Entraron con nosotros un excelente físico, Bollini, y una matemática, la doctora Muján Otaño.

Recibimos, junto con alumnos extranjeros y militares, cursos intensivos en Bariloche en 1955, que dictaron Fidel Alsina, Durañona, Luco, Balanzat y otros. Luego, en Buenos Aires, nos dieron cursos de Radioquímica (Sonia Nasif, María Elena Palacios, Jaime Paíza), Electrónica (Manifesto y Pinasco), Teoría de Reactores (Santaló) y complementos de Matemática (Staricco) y pequeños cursos dados por Galloni, Portela y algunos profesores visitantes. La preparación fue muy buena y los profesores excelentes, pero no había trabajos que hacer.

El profesor Gamba era el jefe de la Sección Reactores y Alsina (un maestro en su Física y su forma de pensar) era el que estaba más en contacto con nosotros. Yo fui a un curso teórico en Harwell (Inglaterra) y llegué a la conclusión, por lo allí observado, de que había que ponerse en algún trabajo práctico. Creamos con Vera y Velia un grupo que estudiaba blindaje contra la radiación y hacía experimentos, lo cual nos relacionó con los equipos de detección de neutrones. No teníamos mucho que hacer. Estudiábamos, dábamos y recibíamos cursos, calculábamos reactores pero nuestro conocimiento práctico, a pesar de que el grupo era capaz e instruido, era muy pobre. Hicimos trabajos como cálculos para la gente del ciclotrón (lo cual me relacionó con unas primitivas calculadoras IBM de donde partiría mi futura especialidad en computación) y en la búsqueda de un terreno para un reactor que supuestamente se iba a comprar a la General Electric. Nunca se compró.

Entretanto llegó la tercera generación de estudiantes a los cursos de la Comisión de Energía Atómica, jóvenes y brillantes. Chamero, Solanilla, Huber, Sare, Bertoni, Tepper, Guillermo

Ricabarra y su esposa Fina. Aumentó la gente deseosa de trabajar pero no había proyectos. Fue entonces que llegó la idea de construir el reactor. Si no me equivoco, la idea partió de Buchler, que trabajaba en el laboratorio de Argonne (donde Fermi hizo el primer reactor). Habían hecho allí un pequeño reactor experimental, el Argonaut, y cuando Quillahlt, el director de nuestra Comisión de Energía Atómica visitó el lugar, Buchler lo convenció de que nos convenía hacer una copia de ese reactor. Sabía que los de Argonne nos darían planos, asesoramiento y nos alquilarían el Uranio enriquecido que el reactor requería.

Cuando Quillahlt llegó y declaró esto hubo un entusiasmo general. Al poco tiempo llegaron los planos que fueron analizados al detalle. Nuestro análisis del blindaje reveló que la tapa superior era insuficiente cuando el reactor estaba a la potencia máxima. Consultamos esto con Alsina que aceptó nuestros cálculos. Una pregunta a los del reactor en EEUU reveló que en efecto, muchos neutrones rápidos salían del reactor y se reflejaban en el techo produciendo un nivel de radiación muy alto en el recinto del reactor, lo cual impedía trabajar a plena potencia. Se aumentó el espesor de la tapa, pero no lo suficiente, pues la gente del taller ya había comenzado a construir la grúa según los planos y esta no podía levantar una tapa tan pesada. Surgió entonces la idea de hacer un techo de material liviano que reflejaría menos los neutrones. Esto dio resultado y la radiación en el recinto de nuestro reactor fue muy inferior a la de su análogo de Argonne.

Sería imposible recordar el aporte de cada uno. Se trató de calcular la masa crítica del reactor para diferentes disposiciones del uranio, cálculo complicado por la geometría, que no era un anillo completo.

El reactor consistía en un tanque cilíndrico de aluminio de alta pureza, de 1 m de alto y 1.40 m de diámetro rodeado de grafito para moderar y reflejar hacia adentro los neutrones. En el interior había otro cilindro de aluminio lleno de grafito. En el espacio anular entre ambos cilindros se ponían las placas con el "combustible", unas 100 placas de 70 cm de largo, 10 cm de ancho y 0.6 cm de espesor formadas por una forro muy fino de aluminio y llenas de óxido de uranio enriquecido (20% de isótopo 235 fisionable y el resto del uranio 238 normal). Al llenarse de agua natural purificada el espacio anular, los neutrones rápidos producidos por las fisiones del uranio 235 se frenaban en el agua y cuando tenían baja velocidad eran capaces de fisionar más átomos de 235, fisiones que producían más neutrones y, cuando se habían puesto placas suficientes, se establecía una reacción en cadena que producía un gran flujo neutrónico en todo el tanque. El grafito que rodeaba el tanque y el del cilindro central también contribuían al frenado de los neutrones. El flujo neutrónico era máximo en el cilindro interior de grafito, en el cual había algunos agujeros donde se podían poner sustancias para irradiar (por ejemplo oro, que al absorber neutrones se vuelve oro radioactivo que se usa en medicina). El nivel del flujo neutrónico o potencia se controlaba con placas de cadmio que estaban en huecos en el borde del tanque exterior y se podían subir mucho o bien adentrarlas más abajo, donde había más flujo neutrónico. Como el cadmio es un absorbente de neutrones, al bajar las placas se corta la reacción en cadena y el flujo baja, si las extraemos el flujo sube. En casos de emergencia (por ejemplo falla de electricidad o que se llegara a potencia muy alta) las placas caían automáticamente y cortaban la reacción en cadena. El operador del reactor, sacando o introduciendo más las placas controlaba el flujo y podía llevar el reactor a cualquier potencia. Un sistema de control automático permitía dejarlo en una potencia que el operador prefijara.

La reacción de fisión produce calor, que es el calor que se usa en los reactores de potencia para producir electricidad. Pero en un reactor para experimentos y producción de radioisótopos como el nuestro el calor debe ser eliminado. Esto se lograba haciendo circular el agua hacia un tanque en un sótano donde se enfriaba y se volvía al reactor. Se aprovechaba esta circulación para purificar constantemente el agua. Cualquier contaminante en el agua o en los materiales del reactor puede imposibilitar la reacción en cadena. Una válvula muy segura permitía vaciar el reactor enviando toda el agua al tanque, lo cual impedía el frenado de los neutrones y cortaba de inmediato la reacción en cadena. Era otro dispositivo de seguridad más. Un reactor puede, si tiene uranio demás y se lo opera incorrectamente, aumentar su potencia en miles de veces en fracciones de segundo, por lo cual el sistema de control y de corte rápido es esencial. Cuando un átomo de  $^{235}\text{U}$  fisiona produce, además de los neutrones que mantienen la reacción en cadena, dos fragmentos de fisión, altamente radioactivos que se quedan en las placas de uranio. Un escape de potencia del tipo antes mencionado puede fundir el aluminio, producir una explosión por reacción con el agua, los materiales producidos por la fisión, que son altamente radioactivos se escaparían con el vapor y contaminarían la zona.

El taller de la CNEA, dirigido por Di Marzio, avanzó rápidamente en la construcción de las placas de control, el sistema de circulación de agua de enfriamiento, el tanque de aluminio del reactor. Fue clave el ingeniero Giordani en estos trabajos.

En el tanque interno se produce radiación de toda clase, electrones de alta energía, neutrones rápidos, neutrones lentos, rayos gamma, por lo cual el blindaje es esencial. Velia Hoffman supervisaba y trabajaba en la construcción del blindaje de cemento para el cual se trajo barita en vez de pedregullo por tener el bario un mejor poder de frenado de los neutrones rápidos. Había que diseñar los encofrados de las diferentes clases de bloque y controlar con cuidado el vaciado y vibrado de cemento especial con la cantidad adecuada de barita. En el tanque interno se produce radiación de toda clase, electrones de alta energía, neutrones rápidos, neutrones lentos, rayos gamma, por lo cual el blindaje es esencial. Una masa de cemento de 7 x 7 x 3 m rodeaba al tanque y al grafito interno. Koppel se encargó de controlar el corte del grafito de alta pureza (comprado a Francia) que rodeaba el tanque. Roxin asesoraba y discutía problemas con todos.

Un problema especial lo presentó la construcción de los elementos combustibles. Estos estaban constituidos por placas de óxido de uranio forradas por una fina cubierta de aluminio de alta pureza. Se producían por un procedimiento de extrusión a la temperatura en que el aluminio es deformable. El grupo de metalurgia dirigido por Jorge Sábato, que contaba con gente muy preparada, estudió el problema y llegó a hacer un prototipo usando óxido de uranio natural preparado en el país y aluminio común. Pero declararon que no estaban en condiciones de arriesgarse a hacerlo con el uranio enriquecido que nos alquilaba EEUU. Más adelante veremos como se solucionó esto. Miguel Geiger estudió el sistema de control. De paso encontró un error en los planos. La fuente de neutrones que sirve para arrancar el reactor y que se retira cuando el reactor llega a crítico podía entrar pero no podía salir. Rectificó el error y consultamos a los de Argonne. No hubo respuesta.

Entretanto se designó un grupo para ir a Argonne a experimentar con el funcionamiento y el experimento crítico y para contratar una compañía que nos hiciera los elementos combustibles. Fueron nombrados Alsina, Geiger y Tepper. Este último renunció y se fue a

Israel a trabajar en el programa atómico. No supimos más de él. Yo perdí un amigo pero gané la oportunidad de ir con el grupo. Fuimos en Agosto de 1967.

En Argonne, Buchler nos recibió muy bien. Notamos, sin embargo, que tendía a exagerar las dificultades que íbamos a encontrar. Nuestra sensación es que deseaba ser contratado como asesor. Pero no teníamos autoridad para proponerlo. Caímos en el reactor como intrusos, en medio de un curso internacional, pero pronto nos ganamos la amistad de Harry Briant, el director del reactor, que resultó un personaje formidable. Alsina y Geiger encontraron un error en la lista de chequeo del arranque del reactor y redactaron una lista correcta. Se la presentamos a Harry que la leyó atentamente y, sin mediar palabras, arrancó la que tenían y puso la nuestra. Desde ese momento nos trató con deferencia y nos invitó a los experimentos secretos que se hacían cuando se iban los alumnos y se sometía al reactor a condiciones de alta potencia, manejos con el agua y cambios de geometría. Aprendimos mucho. De paso nos enteramos de que el error descubierto por Geiger era cierto, en el primer ensayo la fuente de neutrones para el arranque del reactor entró a su posición pero no pudo salir.

Nos preocupaba el contrato para hacer los elementos combustibles cuando se produjo algo notable. Maza, del grupo de metalurgia de la CNEA nos envió una muestra del prototipo producido con nuestro óxido de uranio natural. A Harry le pareció muy buena y se la dio a nuestro amigo Helios Bergua, un metalurgista español que yo había conocido en Harwell. Pasó un informe a Harry diciendo que era un trabajo de alta calidad, mucho mejor que lo que tenía el Argonaut. Nos parecía entonces un absurdo buscar una compañía que nos hiciera las placas en EEUU, pero no sabíamos que hacer sobre todo porque Harry Briant nos decía que las que se hicieron para su reactor eran muy malas. La solución la dio Harry en una astuta maniobra. Propuso a las autoridades que, en vista de la baja calidad de la empresa que le hacía las placas de uranio para su reactor, las que había que reemplazar se mandaran a hacer a la CNEA de Argentina. Sabía que esto no ocurriría. Su propósito era armar un escándalo y que le consiguieran algo mejor y, por otra parte, ayudarnos a obligar a nuestros metalúrgicos a que hicieran nuestros elementos. La maniobra dio resultado y los elementos combustibles, quizá lo técnicamente más difícil del reactor, se hicieron en el país. La experiencia de varios años demostró que eran excelentes.

Cuando regresamos a Buenos Aires, en noviembre de 1957, el progreso había sido grande. El galpón para el reactor estaba hecho. Casi todo el blindaje listo para ser colocado y al mes siguiente los tubos y las válvulas del sistema de refrigeración estaban en prueba continua de funcionamiento y se instalaba el sistema de purificación bajo la responsable supervisión de Cosentino, encargado del sistema de enfriamiento. Las placas de control se hallaban también en prueba y se comenzó la instalación del grafito y el tanque. Geiger ayudado por Mayans y con asesoramiento de Manifesto y Pinasco construía el equipo de control y yo probaba los detectores Geiger y las cámaras de ionización del sistema y revisaba los monitores de radiación usando nuestra fuente de neutrones. Trabajábamos de 12 a 18 horas por día.

Todos los equipos, desde los detectores de radiación a las válvulas de vaciado se sometían a pruebas intensivas, nada debía fallar. Es indescriptible el entusiasmo y dedicación que teníamos. Una vez Geiger trabajó 24 horas seguidas en el equipo electrónico. En Enero de 1958 todo estaba listo para llevarlo a estado crítico, es decir ponerle el uranio suficiente para

que se pudiera subir y bajar a voluntad el flujo neutrónico (o sea la potencia) subiendo o bajando las placas de control.

En el procedimiento para llegar a este estado (experimento crítico) se van agregando de a poco placas de uranio con las placas de control de cadmio bajadas, el nivel de flujo neutrónico se hace detectable introduciendo una fuente de neutrones cuyo flujo neutrónico es aumentado por las fisiones en el uranio. El nivel de flujo de neutrones se estabiliza, en un nivel muy bajo. Se levantan las placas lentamente. Estas son de cadmio que es un fuerte absorbente de neutrones. Al ir las sacando sube el nivel de flujo. Si se llegan a sacar del todo y el reactor se estabiliza (se dice que está subcrítico) se vuelven a bajar y se agrega algo más de uranio. Se repite el sacado, estabilización, bajado de placas, y nuevo agregado de uranio. Se trata de llegar a una situación en que el reactor con todas las placas abajo sea subcrítico (se estabilice) pero en algún punto de la subida de las placas, antes de que estén quitadas del todo, el flujo de neutrones comience a subir lentamente sin estabilizarse (reactor supercrítico). Entonces se lo puede controlar: subiendo un poco las placas sube el nivel, bajándolas, baja. Se lo puede llevar a la potencia deseada, compatible con los límites del calentamiento y el blindaje, y estabilizarlo en dicha potencia. Se dice que el reactor es crítico pues tiene uranio suficiente para poder subir o bajar la potencia pero puede ser prácticamente cortada la reacción en cadena con solo bajar las placas de cadmio.. Un escape incontrolado (por haber agregado demasiado uranio) haría subir en forma intolerable el nivel de radiación y aún podría poner a hervir el agua, si es muy rápido podría fundir el aluminio que reaccionaría con el agua y produciría escape de los productos de fisión radioactivos que se forman en las placas de uranio.

Cuando llegó la preparación del experimento crítico, bajo la dirección de Alsina, estábamos algo asustados. Nuestra fuente de neutrones era demasiado pequeña para el arranque y había peligro de que, al ir agregando uranio, el reactor se volviera supercrítico a un nivel indetectable de flujo neutrónico y tuviéramos, en décimos de segundo, un nivel incontrolable de potencia. Se hizo todo con una lentitud enorme, agregando el uranio de a poco y verificando que el flujo neutrónico se estabilizara bien en cada agregado. Con esas medidas, que se hacían con las cuentas de un tubo contador Geiger (pues no hubo tiempo de instalar las cámaras de ionización y los registradores) calculábamos en cada paso la masa crítica prevista. El apuro en poner el reactor crítico provenía de las autoridades y tenía un tono de competencia futbolística: los brasileros iban a inaugurar su reactor (comprado a la General Electric) unos pocos días después. Había que terminar antes.

El experimento crítico duró desde el mediodía hasta el amanecer del día siguiente. En un momento parecía que no tendríamos uranio suficiente y no alcanzaríamos la criticalidad. Los de metalurgia nos trajeron unas placas sobrantes que habían quedado con poco uranio en los primeros experimentos de construcción. Al agregarlas el efecto fue despreciable. Recuerdo que yo aconsejé ponerlas en la parte central del conjunto de placas, esperando que le mayor flujo neutrónico de la zona compensara su falta de uranio. El efecto fue totalmente negativo. Entonces comprendimos que en el centro convenía poner las placas con más uranio. Se nos ocurrió el truco: cambiar la posición de los elementos combustibles que ya estaban en el interior del reactor. No todos tenían igual cantidad de uranio. Poniendo los de mayor cantidad de uranio más hacia el centro del conjunto de elementos el nivel de flujo neutrónico se estabilizaba a un nivel mayor, es decir, nos acercábamos más al estado crítico.

Con unos pocos cambios del lugar de las placas de uranio, el reactor entró en crítico al amanecer y su potencia se controló fácilmente con las placas de control de cadmio. Todo funcionaba. Hubo vivas, abrazos y vino. Los que habíamos trabajado más intensamente en las últimas semanas, entre otros Geiger, Velia, Guillermo y yo, estábamos agotados. En la última semana yo había dormido, a lo más, tres horas diarias. Los demás, Cosentino, Alsina, Fina, no estaban mejor.

## **2. Uso del reactor RA1**

El reactor se usó para infinidad de experimentos y para obtener radioisótopos, algunos como el oro radioactivo para uso medicinal, requerían una larga irradiación. Se entrenó a mucha gente y el clima de entusiasmo, estudio y trabajo se prolongó mucho tiempo. Se sustituyeron equipos importados por otros hechos en el país: el grupo de Lara (un nicaragüense que trabajaba en la CNEA) fabricó cámaras detectoras de neutrones, un militar retirado trajo excelentes registradores que había construido copiando los de Honeywell, un fabricante nacional nos trajo los rectificadores de corriente de fabricación propia. Hicimos experimentos críticos con otras distribuciones del combustible ganando mucha experiencia. El grupo trabajaba con un gran espíritu de colaboración y todos discutíamos todo. Aunque yo era nominalmente el director eso sólo se tenía en cuenta para las relaciones exteriores, que a veces se ponían tensas.

Entre tanto los radioquímicos producían y aplicaban radioisótopos para todas las aplicaciones técnicas y científicas que se les ocurrían a los de este creativo grupo. Había radioisótopos que necesitaban hasta 30 horas de funcionamiento continuo del reactor lo cual era molesto y agotador pues un reactor no se puede dejar funcionando solo. Requiere vigilancia continua. Surgió pues la idea de aumentar su potencia.

## **3. La reforma del reactor RA1**

Después de un año de funcionamiento y varios experimentos nos dimos cuenta de que el reactor se podía optimizar reduciendo su tamaño de manera que se completara el anillo de elementos combustibles alrededor de un cilindro de grafito de menor diámetro donde se esperaba obtener un pico de flujo neutrónico tres veces mayor que el de la disposición de anillo incompleto del modelo original copiado. Unos experimentos críticos hechos afuera del reactor en un recipiente de cemento que construimos nos convencieron de que eso era posible. A la vez decidimos mejorar el sistema de enfriamiento agregando una pequeña torre de enfriamiento lo cual permitiría aumentar la potencia del reactor unas cinco veces. Hubo que cambiar el tanque, piezas de grafito y las placas de control. En lo esencial era la construcción de un nuevo reactor.

Aparte del grupo del reactor, Velia, Geiger, Fina, Guillermo, se agregaron Chamero y Diz, el infaltable, querido y temido encargado de nuestra seguridad que estaba atento para evitar nuestra tendencia al apuro y descuido del riesgo. El trabajo más arduo fue desarmar el viejo reactor pues el nivel de radiación de las placas combustibles y otras piezas era muy alto. Con ayuda de Juliá, y la colaboración de todos se construyeron herramientas y aparatos para manejar esto respetando los niveles tolerables de irradiación bajo la vigilancia de Diz. Huber y Sare se encargaron del sistema de enfriamiento, Bertoni diseño y construyó un detector de

temperatura, Mayans y Geiger trabajaron en las nuevas placas de control y Juliá, este último un mecánico de automóviles que se reveló como un ingeniero nuclear espontáneo e intuitivo, fue clave en construir los equipos para desarmar el reactor. También ideó una forma de curvar las placas de uranio que hubo que adosar al cilindro central de grafito para tener un exceso adecuado de reactividad. Nuestro jefe, Gamba, no estaba muy enterado de lo que hacíamos, fue un trabajo un poco clandestino. Sabíamos que si hubiéramos presentado formalmente el proyecto de reforma era muy posible que la dirección lo rechazara. Lo hicimos pasar como mantenimiento y cambios menores.

Alsina estaba en Venezuela asesorando la compra de un reactor a General Electric para instalar allí. Recibimos mucha ayuda del taller y de los demás del grupo de reactores. El personal de ayuda Hurtado, Rebuxione, Raudino, Zunino, Burés, colaboraron eficazmente. Fue notable el espíritu de colaboración de todos, nos comunicábamos todo y cualquier idea era apreciada y discutida por todos. Después de casi 8 meses de trabajo intenso, éxitos, errores y rectificaciones, el 24 de Diciembre de 1959 el reactor se ensayó a plena potencia, dando algo más que la prevista. El reactor funcionó por varios años más. Pero esta es una historia que deben contar otros pues yo abandoné el país y la ingeniería nuclear muy poco después. Sin embargo como experiencia vital de lo que se puede hacer fue apasionante. Los que se quedaron hicieron un reactor experimental mayor y con la experiencia ganada se pudieron construir los reactores de potencia que ahora tiene Argentina.

Después de esa experiencia comprendí que el subdesarrollo es un autobloqueo mental que puede vencerse por el trabajo intenso y responsable con espíritu de colaboración sin complicidad y de competencia sin conflicto. Los enemigos no están afuera: son la flojera o la soberbia propias.