

# Programación de un robot industrial y simulación 3D para tareas de mantenimiento en el reactor CAREM25

Alejandro Nunia, Enrique Boroni y Sol Pedre

Grupo de Robótica CAREM CAB - CNEA

Centro Atómico Bariloche

Comisión Nacional de Energía Atómica

Bariloche, Argentina

Email: {alejandro.nunia, enrique.boroni, sol.pedre}@cab.cnea.gov.ar

**Resumen**—El uso de la robótica y la automatización para incrementar la seguridad en plantas nucleares es una práctica recomendada por la IAEA (International Atomic Energy Agency). Una de las motivaciones más fuertes es evitar la exposición de seres humanos a ambientes peligrosos durante tareas de inspección, mantenimiento, operación, decomisión y respuesta a accidentes. Estos sistemas robóticos se han comenzado a implementar recientemente en todas las etapas del ciclo de vida de una planta nuclear. La Comisión Nacional de Energía Atómica está desarrollando un nuevo reactor modular, de diseño completamente argentino, llamado CAREM25. Entre las innovaciones de este reactor, se encuentra el desarrollo de un sistema robótico para la inspección y mantenimiento de los Generadores de Vapor (GV). El sistema propuesto incluye el uso de un manipulador robótico industrial, junto con su programación, herramientas diseñadas específicamente, un sistema de transporte basado en rieles y la simulación 3D de todos los componentes en el entorno real. La idea principal es aprovechar la precisión, repetibilidad, estándares de seguridad y confiabilidad alcanzados en el campo de los manipuladores robóticos industriales, combinándolo con el diseño particular de los elementos necesarios para lograr una solución aplicable al mantenimiento en plantas nucleares. En este trabajo, presentamos un resumen del sistema, puntualizando la programación del robot, la planificación de la tarea y su validación mediante simulación 3D de las tareas en el entorno.

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las principales motivaciones para la investigación en robótica es el uso de robots para evitar la exposición de humanos a ambientes peligrosos. Esta es una preocupación importante en el desarrollo de sistemas robóticos para plantas nucleares, junto con la automatización como un medio para incrementar la seguridad [1]. En este sentido, la IAEA apoya firmemente el uso de robots en tareas de mantenimiento, inspección, decomisión y respuesta a accidentes en plantas nucleares [2]. Por lo tanto, el uso de esta tecnología es fundamental en el diseño y construcción de nuevas generaciones de plantas nucleares.

En los últimos años, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) está desarrollando el CAREM25, un nuevo reactor modular pequeño [3]. Dado que es un reactor de nueva generación, el diseño incluye varias medidas de seguridad inherentes, y la automatización y robótica desde su concep-

ción. En particular, se está desarrollando un sistema robótico para mantenimiento e inspección de los Generadores de Vapor (GV) del reactor. El sistema propuesto incluye el uso de un manipulador robótico industrial, disponible comercialmente, su programación para la tarea, el diseño de herramientas para el robot, y un sistema de transporte basado en rieles dentro de la contención. Además, el desarrollo incluye la simulación 3D del sistema completo para su validación en la maqueta virtual del reactor.

La idea principal es aprovechar la precisión, repetibilidad, estándares de seguridad y confiabilidad alcanzados en el campo de los manipuladores robóticos industriales, combinándolo con el diseño particular de los elementos necesarios para lograr una solución aplicable al mantenimiento en plantas nucleares. Esta sinergia sólo puede lograrse incluyendo estos sistemas desde las primeras etapas del diseño, lo que a su vez implica un constante cambio.

En este trabajo, presentamos un resumen del sistema y nos focalizamos en la programación del robot, la planificación de la tarea y su validación mediante simulación 3D. El trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección II se comentan algunos trabajos relacionados en el área de la robótica aplicada al mantenimiento de GV en reactores nucleares, la sección III presenta un resumen del sistema completo, en la sección IV se discute la planificación y simulación 3D de la tarea, en V se detallan avances en la configuración y programación del robot, y en la sección VI se detalla un caso de estudio. Finalmente, en la sección VII se encuentran algunas conclusiones.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

Desde hace bastante tiempo, se han utilizado sistemas robóticos o mecatrónicos en distintas etapas del ciclo de vida de plantas nucleares, en especial manipuladores telecomandados remotamente para manejar material radioactivo [4]. Sin embargo, muchos de estos sistemas dependían del comando remoto de un operador humano. El desarrollo de sistemas automáticos o semi-automáticos es reciente, y se

está transformando en una parte importante del diseño de nuevas centrales nucleares.

Durante los últimos años, se han presentado varios trabajos que proponen e implementan el uso de robots móviles y manipuladores para realizar tareas de inspección y mantenimiento. Algunos proponen incluso sistemas completos de varios robots [5] [6], en su mayoría diseñados específicamente para la tarea a realizar y la planta nuclear particular donde van a realizarla. Un análisis completo de estos sistemas está fuera del alcance de este trabajo, se puede encontrar un buen resumen en [7].

En particular, se han propuesto algunos sistemas robotizados para la inspección y mantenimiento de los GV. El Instituto Coreano de Investigación en Energía Atómica desarrolló un manipulador de 5 grados de libertad (GdL) para esta tarea en sus reactores PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor) [5]. El sistema incluye el manipulador, su controlador y un sistema de adquisición de datos. Un equipo de Instituto de Tecnología de Beijing desarrolló un sistema para corroborar el tensionado de los pernos en los GV antes de la presurización en reactores chinos [8]. El sistema consiste de varios robots de 2 GdL para medir la tensión en un arreglo altamente distribuido. En [9], se presenta un sistema basado en visión para ayudar a un operador humano durante la inspección de los tubos de cada GV utilizando un manipulador de 3 GdL remotamente comandado. El sistema, que está implementado en los reactores VVER de Croacia, asiste en el centrado de la sonda de inspección en cada tubo, y también en el seguimiento de los tubos.

En estos trabajos, se crearon robots especialmente diseñados para acomodar el diseño particular de la planta en la que operará el sistema. En nuestro caso, el diseño de la planta nos permite adaptar un manipulador industrial existente para desarrollar la tarea. Por supuesto, es necesario diseñar y construir diversos elementos para su adaptación al entorno particular (herramientas, transporte, medidas para la radiación, entre otros). Sin embargo, la posibilidad de adaptar una herramienta existente en una industria que ha llegado a altos niveles de maduración presenta una oportunidad interesante y prometedora.

### III. RESUMEN DEL SISTEMA COMPLETO

El objetivo principal del sistema propuesto es el mantenimiento de los GV. A diferencia de diseños previos de plantas nucleares, en este reactor los GV están integrados en el recipiente de presión, resultando en un diseño más simple y seguro. Varios GV idénticos, con muchos pequeños tubos cada uno, se encuentran distribuidos a igual distancia a lo largo de la superficie interna del recipiente de presión. Chequear la integridad de cada tubo de cada GV es muy importante para prevenir que agua contaminada se filtre al circuito secundario.

La tarea se lleva a cabo cada vez que se para el reactor para el recambio de combustibles. La dosis de radiación estimada durante esta operación, es decir, directamente en frente de la brida del GV abierta, es de  $80 \mu\text{Sv/h}$ . Si bien un humano no puede trabajar más de 85 horas al año en ese ambiente, es una dosis pequeña para los componentes de un robot [1]

[10]. En resumen, chequear la integridad de cada tubo en cada GV es una tarea repetitiva, que lleva mucho tiempo y requiere largos períodos de exposición de un operario humano, lo que la convierte en una aplicación ideal para un sistema robotizado.

El sistema propuesto utiliza un brazo robótico industrial, junto con herramientas especialmente diseñadas, una máquina para la remoción de las bridas y un sistema de transporte basado en rieles. En la Figura 1 puede verse un diagrama simplificado con todas las tareas requeridas, incluyendo un resumen de los movimientos del robot y de la máquina para remoción de las bridas. La tarea completa es coordinada por un PLC, que comanda el robot, el sistema de transporte y la máquina de remoción de bridas, cumpliendo también la función de reportar al sistema de control de planta el estado de la tarea. En la Figura 2 puede verse un esquema del sistema rodeando el recipiente de presión.

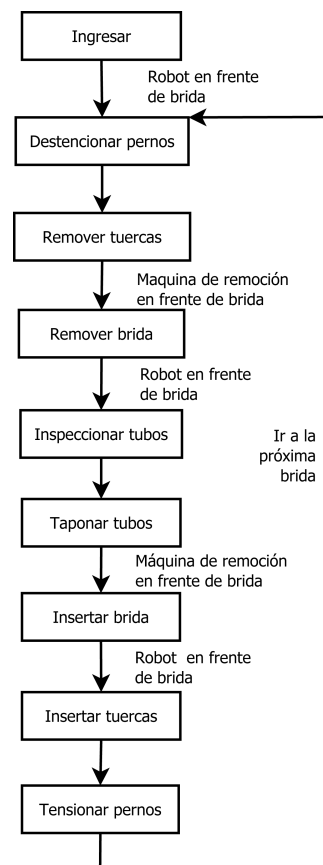


Figura 1. Resumen de las tareas necesarias para la inspección y mantenimiento de los GV

### IV. SIMULACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE LA TAREA

Como se mencionó anteriormente, el sistema robotizado trabaja dentro de la contención del reactor, alrededor del recipiente de presión. Este es un ambiente muy sensible y estrecho, con muchas cañerías y diversidad de equipos de otros procesos. Para lograr un desempeño seguro del sistema, se planifican las tareas asignadas a las diferentes máquinas y se realizan simulaciones 3D para la validación de las mismas.

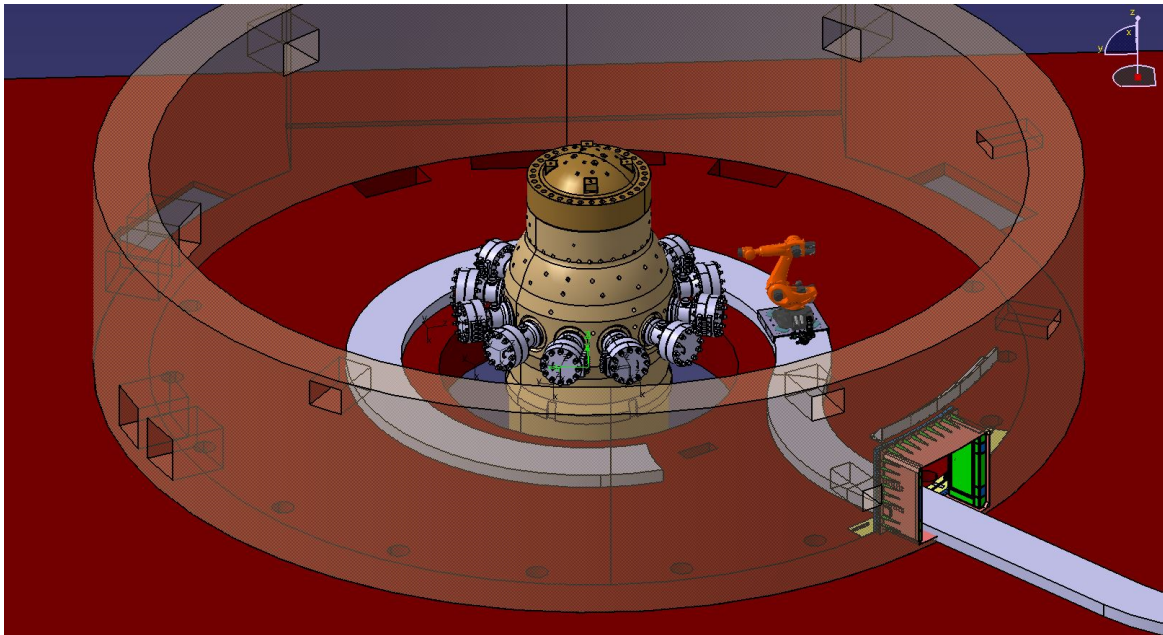


Figura 2. Vista del sistema operando alrededor el recipiente de presión dentro de la contención.

#### IV-A. Simulación

El proyecto CAREM25 ha adoptado como herramienta de modelado 3D el software de diseño CATIA, de la empresa Dassault Systemes [11]. En el mismo se lleva a cabo todo el modelado de planta, equipos y cañerías. Esto permite realizar las simulaciones de las tareas del sistema robótico en el entorno virtual de la planta a través del uso del software DELMIA de la misma empresa. Este programa importa directamente modelos de CATIA, y permite utilizarlos como recursos dentro su ambiente. Adicionalmente cuenta con un catálogo de brazos robóticos industriales de diferentes fabricantes, entre los que se encuentra el modelo KUKA KR 500.

La posibilidad de simular la tarea completa que el robot y sus dispositivos auxiliares desempeñan en la planta, es imprescindible para descubrir posibles colisiones durante las trayectorias u otro tipo de incompatibilidades durante etapas tempranas del proyecto. Además, trabajar en línea dentro de un modelo siempre actualizado de la planta, permite incorporar ágil y sistemáticamente las nuevas modificaciones en el entorno de trabajo. Esta característica es indispensable para planificar adecuadamente toda la tarea del robot de forma coordinada con otras áreas y grupos de trabajo.

DELMIA es un producto que permite crear, simular y validar celdas robóticas completas, facilitando el armado de la distribución de planta y permitiendo el testeado de los programas generados. En este entorno 3D, uno o varios dispositivos pueden ser simulados, permitiendo análisis de trayectorias y colisiones. Los dispositivos pueden ser tanto equipos industriales de diversos fabricantes provistos en el catálogo, como también máquinas diseñadas específicamente para determinadas tareas, a las que se le configuran ciertos movimientos, uniones y comandos que pueden ser actuados durante la

simulación. También permite evaluar distintas alternativas para las actividades del robot, y de esta manera optimizar los tiempos de ciclo.

La simulación 3D permite realizar un comisionado virtual del proceso, mediante software que admite programas en el lenguaje nativo del robot, e interactúa con los controladores reales a través del estándar RRS-II. Esta característica hace posible el comisionado de procesos en plantas que aún no concluyen su fase de construcción, como es el caso de reactor CAREM25. En otros casos, permite validar un proceso en un entorno virtual antes de ejecutarlo en el hardware real, reduciendo los tiempos de implementación.

#### IV-B. Celda real en planta

Respecto a nuestro proceso en particular, consiste en una celda con 12 estaciones de trabajo distribuidas en la periferia del recipiente de presión del reactor. En cada una de estas estaciones de trabajo el robot deberá inspeccionar la integridad de los tubos de los generadores de vapor y taponar aquellos que se encuentren pinchados, entre otras cosas. Para realizar estas tareas es necesario retirar la brida ciega que cierra el conjunto, esto es realizado por una máquina que se mueve en un carro independiente y está diseñada específicamente para este fin (ver Figura 1)

De esta sencilla explicación se desprende que serán varias las máquinas trabajando en conjunto, y varias las tareas que habrá que realizar de forma coordinada. Esta “coordinación” de la celda robotizada será llevada a cabo por un PLC. Este controlador permite tanto el cableado duro de E/S como también la adquisición de señales de otros dispositivos inteligentes a través de buses de campo.

Haciendo uso de esta característica, y aprovechando el modo de funcionamiento “Automático Externo” del robot, se pueden

coordinar las tareas del mismo dentro de una secuencia de operación, utilizando los módulos ProfiBus del robot y el PLC. Así mismo, la máquina de apertura de bridas será controlada por un módulo de E/S distribuidas con comunicación ProfiBus. El posicionamiento en las estaciones de trabajo también sería controlado por el PLC, ya que el riel estará instrumentado con sensores de proximidad que determinarán la posición de las plataformas.

## V. CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL ROBOT

Teniendo en cuenta los pesos y las distancias involucradas, la precisión y repetibilidad requeridas, los paquetes de programación y la posibilidad de contar con un vendedor y el soporte técnico en Argentina, se seleccionó un robot KUKA KR-500 L340 para llevar a cabo las tareas [12].

Usando KRL (lenguaje robot propietario de KUKA) se desarrollan las rutinas con movimientos pre-programados para llevar a cabo las tareas descritas en la Figura 1, empleando herramientas diseñadas específicamente para cada una de ellas. Las rutinas también incluyen el control de las señales de cada herramienta (adquisición y actuación) por lo que se implementa un sistema de intercambio rápido de herramientas el cual dispone de conexiones eléctricas y neumáticas entre sus partes, particularmente se opta por el modelo comercial Schunk SWS-L-510 (ver Figura 3).

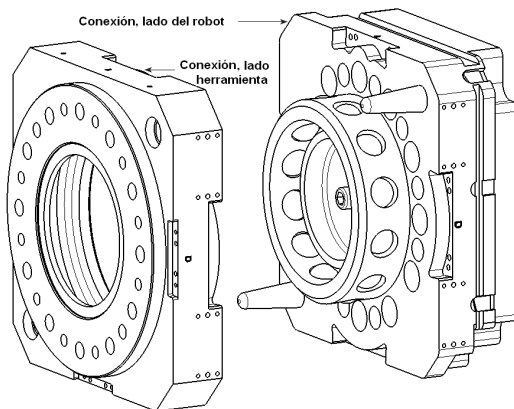


Figura 3. Sistema de intercambio rápido

Para lograr la interacción del robot con sus herramientas es necesario contar con hardware que permita accionar los actuadores y recibir los estados de las distintas señales, para esto se integra una isla de válvulas electro-neumáticas y otra de señales eléctricas. La periferia mencionada se conecta al controlador del robot mediante un bus de campo, DeviceNet en este caso, permitiendo así el control de las distintas herramientas mediante las rutinas del robot.

Para cubrir algunas de las necesidades particulares de la tarea, se seleccionaron ciertos paquetes de software del fabricante. Teniendo en cuenta que pueden ser necesarias pequeñas modificaciones en los movimientos pre-programados, debido a cambios en el ambiente y a posibles expansiones de los materiales a causa del calor, se implementa también un paquete

de programación llamado KUKA RSI (Robot Sensor Interface) el cual permite realizar correcciones de trayectoria en tiempo real. Las rutinas desarrolladas con este módulo deben ser realimentadas mediante cámaras y otros sensores, además de monitoreadas por un operador humano. Por ejemplo, un sistema de visión para la detección de tubos, similar al descrito en [9] está siendo desarrollado; también se efectuó el manejo del robot mediante un Joystick, situación que puede darse en el caso de emergencias o tareas no previstas.

Aunque las tareas pueden ser completamente automatizadas, dada la sensibilidad del ambiente de trabajo, hay varios puntos de parada en los cuales se requiere la confirmación de un operador humano ubicado remotamente. Para esto, se está desarrollando un Interfaz Humano-Máquina (HMI por sus siglas en inglés) para informar el estado actual de la operación y requerir las confirmaciones. Gracias a una comunicación Ethernet con el robot, se puede obtener información sobre el estado operativo del mismo y brindar información al operario a la hora de tomar una decisión.

Otro punto a tener en cuenta, y una de las principales preocupaciones, es la seguridad. Por lo tanto, los movimientos del robot están supervisados por un paquete especial, denominado KUKA Safe Robot, el cual permite restringir o confinar el área de movimiento del mismo y mantener un monitoreo activo de dichas zonas. Adicionalmente se están desarrollando sistemas de medición y protección extras para contar con redundancias en este aspecto.

Actualmente se está construyendo una maqueta en tamaño real la cual cuenta con dos conjuntos completos de brida y placa tubo de GV. Por el momento se incursiona en algunos casos de estudio para verificar y validar las funcionalidades y prestaciones antes mencionadas. Se ha probado satisfactoriamente:

- Todos los tipos de movimientos, incluyendo diferentes herramientas y también acoplado sistemas cinemáticos externos al robot.
- Acoplado y desacoplado automático de diferentes herramientas mediante el intercambiador rápido Schunk.
- Controlar una herramienta acoplada al robot mediante las conexiones eléctricas y neumáticas que ofrecen el mecanismo Schunk y la periferia instalada.
- Adquirir información sobre el estado del robot y modificar su recorrido, en tiempo real, mediante una computadora externa y una conexión Ethernet.
- Realizar modificaciones de trayectorias utilizando un Joystick a través de un bus DeviceNet.
- Configurar diferentes zonas de monitoreo mediante el paquete KUKA Safe Robot.

Cada uno de estos eslabones es necesario para poder construir la programación completa del robot en la maqueta y luego conseguir una solución final en el proyecto propuesto. En la Figura 4 puede verse el KR-500 en nuestro laboratorio acercándose a una herramienta para el acople automático.

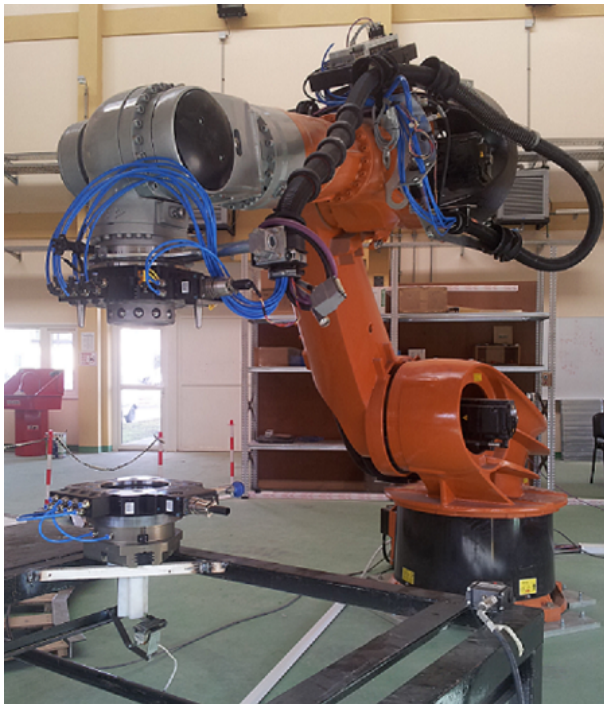


Figura 4. Robot KR-500 en nuestro laboratorio acercándose a una herramienta para el acople automático.

## VI. CASO DE ESTUDIO: ROBOT, CINTA TRANSPORTADORA Y RIEL

El primer paso en la implementación de todas las herramientas (HW y SW) que nos permitirán realizar la integración de los equipos que constituyen la celda robotizada, fue configurar un caso de estudio que nos permita abordar cada aspecto del proyecto como un problema individual.

De esta manera, se decidió realizar una rutina en la cual un PLC en configuración maestro Profibus, coordinara una celda en la cual actúan en conjunto: el robot, una cinta transportadora, y un modelo a escala del riel que se pretende instalar en la planta. Esta rutina fue simulada en el DELMIA e implementada en el mundo real. En la Figura 5 puede verse una imagen de la celda en el DELMIA y en la Figura 6 la celda real en nuestro laboratorio.

La rutina comienza al presionar un pulsador de marcha conectado a una entrada del PLC, y consiste en tomar una herramienta neumática con el intercambiador rápido, poner en marcha una cinta transportadora sobre la que se desplaza una caja, detectar que la caja alcanzó el final de la cinta, indicar al robot que tome la caja y la transporte hasta el inicio del riel donde se encuentra una plataforma, activar la plataforma para se desplace hasta el final del riel, y finalmente indicar al robot que tome la caja para llevarla nuevamente a la cinta transportadora, donde todo el ciclo comienza nuevamente.

Si bien el caso de estudio es sencillo, utiliza gran parte de los paquetes tecnológicos necesarios para constituir la celda real.

Con respecto a la configuración y programación del PLC

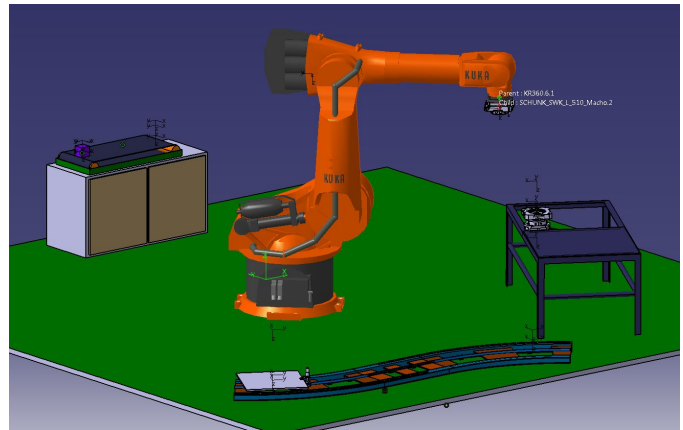


Figura 5. Celda en el simulador DELMIA



Figura 6. Celda en el laboratorio

como maestro de la celda:

- Entradas digitales cableadas al PLC: pueden contarse el pulsador de arranque, el sensor óptico de presencia en el final de la cinta transportadora y los sensores de proximidad instalados en el riel.
- Salidas digitales cableadas al PLC: tenemos la activación del motor de la cinta transportadora y la activación del motor de la plataforma en ambas direcciones por medio de un cuadro de relés.
- Entradas en cuadratura cableadas al PLC: conexión del encoder incremental que mide la velocidad de la plataforma y puede utilizarse para calcular la posición de la misma.
- ProfiBus: esta red vincula al PLC y al robot, se utiliza para enviarle comandos y recibir información de este último. Por ejemplo, un dato que se le envía a través de esta red es el número de programa que tiene que ejecutar, así como el momento en que debe comenzar su ejecución. También se reciben señales discretas, como la que indica que el robot ha posicionado la caja en su lugar, para que

el PLC active el siguiente equipo.

Con respecto a la configuración y programación del robot:

- ProfiBus: configuración en modo esclavo para recibir el número de programa a ejecutar y enviar las señales descritas en la comunicación con el PLC.
- DeviceNet: esta red vincula al robot con varios de sus módulos periféricos. Estos son: la isla de válvulas neumática, el módulo E/S digital WAGO, y el módulo E/S digital / analógico BERGOFF. Por medio de la isla de válvulas se actúan el intercambiador rápido y todas las herramientas del robot, que también dispone de entradas y salidas digitales utilizadas en nuestro caso para identificar la herramienta montada y enviar señales eléctricas a los actuadores de la misma.
- Programación de las rutinas, invocadas por el PLC, para llevar a cabo la tarea:
  - Rutina para el funcionamiento en modo “Automático Externo”.
  - Ubicar el robot en una posición conocida (denominada HOME), en la cual se inicializan algunas salidas, valores de velocidades, aceleraciones y otros parámetros del robot.
  - Buscar la herramienta de acuerdo a un índice previamente definido en el sistema y verificar que el mismo coincida físicamente con el de la herramienta en cuestión gracias a una codificación eléctrica que posee.
  - Tomar la caja y transportarla al lugar correspondiente (cinta o riel).
  - Dejar la herramienta en su respectivo lugar y retornar al HOME.

Gracias a este caso de estudio, se analizaron y pusieron en funcionamiento gran parte de los paquetes tecnológicos necesarios para el proyecto. La simplicidad del mismo permitió abordar cada segmento como un problema individual, para luego ir integrándolos hasta lograr la interacción de las partes. El trabajo por delante es complejo, pero ya se cuenta con las herramientas para descomponerlo en subsistemas y resolverlos de a uno.

## VII. CONCLUSIONES

En este trabajo, presentamos un resumen de un sistema robótico en desarrollo para la inspección y mantenimiento de generadores de vapor de un reactor nuclear. El sistema está integrado en el diseño del reactor CAREM25, un nuevo reactor modular pequeño que está desarrollando la Comisión Nacional de Energía Atómica. El sistema propuesto incluye el uso de un manipulador robótico industrial, disponible comercialmente, su programación, el diseño de herramientas para el robot, y un sistema de transporte basado en rieles dentro de la contención del reactor. Además, el desarrollo incluye la simulación 3D del sistema completo para su validación en la maqueta virtual del reactor. La idea principal es aprovechar la precisión, repetibilidad, estándares de seguridad y confiabilidad alcanzados en el campo de los manipuladores

robóticos industriales, combinándolo con el diseño particular de los elementos necesarios para lograr una solución aplicable al mantenimiento en plantas nucleares. En el trabajo, nos focalizamos en la descripción y avances realizados en la programación del robot, la planificación de la tarea, y la validación mediante simulación 3D. Además, presentamos el desarrollo de un caso de estudio que combina gran parte de las soluciones tecnológicas necesarias para el proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] L. P. Houssay, “Robotics and radiation hardening in the nuclear industry,” Master’s thesis, University of Florida, August 2000.
- [2] N. P. E. Section, “Nuclear power plant outage optimisation strategy,” International Atomic Energy Agency, Wagramer Strasse 5, Vienna, Austria, Tech. Rep. IAEA-TECDOC-1315, Oct. 2002.
- [3] CNEA. (2011, Feb.) Argentinian Nuclear Power Plant. [Online]. Available: <http://www.youtube.com/watch?v=hbVqrMwVhaU>
- [4] T. Moore, “Robots for nuclear power plants,” *IAEA Bulletin*, vol. 26, pp. 31–38, 1985.
- [5] Seungho Kim and Seung-Ho Jung and Sung-Uk Lee and Chang-Hoi Kim and Ho Chul Shin and Yong-Chil Seo and Nam-Ho Lee and Kyung Min Jung, “Application of robotics for the nuclear power plants in Korea,” in *Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2010 1st International Conference on*, Oct 2010, pp. 1–5.
- [6] Hamilton, A and Burany, S.J. and Peralta, S.B. and Greenland, L., “Robotic removal of high-activity debris from a nuclear primary heat transfer system,” in *Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2010 1st International Conference on*, Oct 2010, pp. 1–6.
- [7] J. Iqbal, A. Tahir, R. ul Islam, and R. un Nabi, “Robotics for nuclear power plants; challenges and future perspectives,” in *2nd International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI)*, Sept 2012, pp. 151–156.
- [8] Yang Yang and Xingguang Duan and Meng Li and Yonggui Wang and Qingsong Liu and Tao Zhang, “Design of automatic measuring robot for steam generator in nuclear power plant,” in *Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2013 IEEE International Conference on*, Dec 2013, pp. 625–630.
- [9] B. Birgmajer, Z. Kovacic, and Z. Postruzin, “Integrated vision system for supervision and guidance of a steam generator tube inspection manipulator,” in *Computer Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications*, Oct 2006, pp. 644–649.
- [10] K. U. Vandergriff, “Designing equipment for use in gamma radiation environments,” Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, United States of America, Tech. Rep. ORNL/TM-11175, May 1990.
- [11] Dassault Systemes. (2014) CATIA. [Online]. Available: <http://www.3ds.com/products-services/catia/>
- [12] KUKA. (2014) KR 500-3. [Online]. Available: [http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial\\_robots/heavy/kr500\\_2/](http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial_robots/heavy/kr500_2/)