



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA RETROFITTING PARA EL ROBOT ASEA IRB6-S2 USANDO LINUXCNC

Juan Sebastian Toquica Arenas, jstoquica@gmail.com¹

Alberto J. Álvares, alvares@AlvaresTech.com¹

¹Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - CEP 70910-900, Brasil.

Resumen: Este trabajo presenta una alternativa para el Retrofitting de un manipulador robótico industrial ASEA IRB6-S2 compuesto por 5 grados de libertad (DOF). Aportando a la consolidación de una arquitectura abierta de control universal para manipuladores robóticos, independiente de los sistemas desarrollados por los fabricantes. Mediante la técnica Retrofitting el manipulador esta nuevamente en funcionamiento y podrá ser integrado con un Célula de Manufactura Flexible (FMC). La verificación del estado de la estructura mecánica del robot y migración tecnológica del sistema de control y potencia son actividades fundamentales de la metodología propuesta. La integración del sistema mecánico con el sistema de control actualizado hará posible el desplazamiento deseado del robot a través de los pulsos generados por el controlador LinuxCNC. El control propuesto se caracteriza por tener aspectos de una arquitectura abierta que permite mejoras e integraciones futuras por parte de cualquier usuario del sistema. Las ecuaciones homogéneas que modelan la cinemática directa e inversa del robot mediante la convención de Denavit-Hartenberg (DH), están presentes en el controlador LinuxCNC lo que proporcionará flexibilidad, y validará la arquitectura propuesta mediante las características de software OpenSource.

Palabras-chave: Retrofitting, Robot IRB6-S2, LinuxCNC, Cinemática, FMC.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta el proceso de retrofitting realizado sobre un robot tipo manipulador IRB6-S2 donado por la FIAT a la universidad de Brasilia y que estaba fuera de operación debido a que su sistema de control dejó de funcionar inesperadamente. El robot fue desmontado para verificar el estado de la estructura mecánica, y principalmente para cambiar los motores de cada una de las juntas de los grados de libertad (DOF) del manipulador. En paralelo fue elaborada la parte de potencia para la alimentación eléctrica de todo el sistema. Para este tipo de metodologías no es conveniente el uso de componentes originales del robot, debido al tiempo invertido en probar cada uno de los componentes, sin tener seguridad de que existan algunos en buen estado, así como la incompatibilidad existente entre las tecnologías análogas usadas por los proveedores de los manipuladores antiguos y la tecnología digital usada actualmente (Bomfim *et al.*, 2012).

El manipulador IRB6-S2 fue fabricado en Suecia en 1973 por la empresa ABB (antes ASEA), con más de 40 años de evolución tecnológica, las actualizaciones han estado basadas principalmente en los sensores de cada una de las juntas y el desarrollo de software específicos y con mejor rendimiento en el procesamiento y generación de señales. Mientras que la parte de la estructura mecánica del manipulador no ha sufrido cambios relevantes, por tanto es posible integrar robots antiguos con tecnología moderna mediante técnicas como el retrofitting (Lages and Bracarense, 2003).

Una de las principales ventajas al aplicar el retrofitting a robots industriales es obtener el control total sobre el sistema, debido a que la arquitectura a implementar es abierta y puede ser modificada, mejorada o interpretada por cualquier usuario. A diferencia de las arquitecturas propietarias desarrolladas por cada uno de los proveedores en las cuales no existe flexibilidad para poder desarrollar sobre dicho sistema nuevas funcionalidades o integrar nuevos componentes software o hardware, limitando de esta forma la dependencia de los usuarios finales de los manipuladores industriales con los proveedores (Lages *et al.*, 2012).

En el presente trabajo se detallan las etapas que siguieron los autores para que el manipulador estuviera nuevamente funcional e pudiera ser integrado en una Celda de Manufactura Flexible (FMC), como también es presentado un caso de estudio donde se validó la cinemática inversa del robot con un procedimiento diferente a la aplicación final que tendrá el robot dentro de la FMC.

2. TRABAJOS RELACIONADOS SOBRE RETROFITTING DE ROBOTS

Hacia la década del 70 fueron fabricados los primeros robots manipuladores con aplicación industrial, por tanto actualmente es necesario el mantenimiento del sistema mecánico y de control, o en algunos casos se debe reemplazar por nuevos, para que de esta forma las empresas eviten detener la producción en su línea de producción. No es un secreto que las grandes compañías están en capacidad financiera para la adquisición de nuevos manipuladores, mientras que las pequeñas y medianas empresas no están en condiciones de acceder a dichas tecnologías por los altos costos relacionados.

Como parte de la evolución tecnológica el Retrofitting contribuyó desde la década del 90 para tener una alternativa en la actualización de robots antiguos con tecnología moderna. Justificando de esta forma que los avances en más de 40 años desde la creación de estos manipuladores, solo está diferenciada en la mejora de los sensores de las articulaciones y en el desarrollo de software específicos de control, por consiguiente la estructura mecánica continua vigente (Lages and Bracarense, 2003).

A nivel académico se han generado varios proyectos de retrofitting de robots industriales, los cuales han sido donados a las instituciones académicas para que sean aprovechados en investigaciones relacionadas al sector productivo. De esta forma, un proceso de Retrofitting para un robot industrial IRB2000 fue generado describiendo la construcción de un nuevo banco de control que permite alojar una arquitectura abierta de control independiente de los algoritmos de control y sistemas de potencia suministrados por el fabricante (De Lima *et al.*, 2010).

El sistema de accionamiento del robot fue conectado a través de una red CAN-Bus a una interface HMI alojada en un computador y desarrollada en Simulink/Matlab. Este desarrollo hace parte del software con módulos de control personalizados que consideran las características del robot, como su región de trabajo, la limitación de velocidad de las articulaciones, parámetros de la cinemática etc. Una de las características adicionales realizadas, fue el control de la orientación del “puño” del robot, mediante un dispositivo Wiimote (Control de Nintendo Wii). La herramienta permite un control de movimiento preciso del efector final del manipulador, con una arquitectura flexible, y con la característica de red distribuida permite integrar otros robots o mecanismos relacionados.

Una aplicación adicional en la implementación de Retrofitting fue desarrollada a nivel académico motivado por el aumento de los costos de adquisición de manipuladores, ya que los fabricantes generan protocolos e interfaces de comunicación cerradas para las estructuras lógicas de los robots, dificultando la integración con nuevas aplicaciones (Lages *et al.*, 2012). De esta forma se presentó una propuesta de arquitectura abierta específicamente para el manipulador Asea IRB6-S2 desarrollado originalmente para un robot antropomórfico. Dicha arquitectura propone un módulo de procesamiento distribuido para el control de los robots. El sistema tiene dos buses de campo, uno para el control en tiempo real de los parámetros del robot y otro para la adquisición de los datos de supervisión, con conexiones tipo CAN y Ethernet, respectivamente.

Un software diseñado para una arquitectura abierta fue desarrollado en Java y C++, con un computador con sistema operativo Linux y una variante para el procesamiento en tiempo real RTAI. Las etapas para el Retrofitting generado se basaron en la identificación y verificación del sistema mecánico y actualización del sistema electrónico. Adicionalmente, el Retrofitting del trabajo tuvo como resultado adicional la comparación en el uso de los sensores de posición y velocidad originales del robot en relación a encoders digitales, brindando mejor precisión y facilitando el proceso de integración tecnológica con la segunda tecnología enunciada (Lima II and *et al.*, 2004).

La metodología Retrofitting permite mejorar la productividad de los procesos en una línea de producción, de máquinas con capacidad para ser actualizadas tecnológicamente, mediante la mejora en los parámetros que controlan las variables del sistema de control, sistema de supervisión, HMI, o simplemente una mejor programación de las actividades realizadas por la máquina. Una aplicación de Retrofitting fue implementada en dos máquinas industriales elevando los índices de producción, una diseñada para contar periódicos y la segunda para el posicionamiento de botellas de vidrio en cajas plásticas en una línea de producción de lavado y embotellamiento (Ribeiro *et al.*, 2007).

Con un robot de 5 grados de libertad se realizó el mecanizado de piezas de material de baja densidad que permitió la operación a través de una arquitectura de control abierta basada en LinuxCNC, que cuenta con un sistema de simulación y verificación que se ejecuta cuando inicia el ciclo de mecanizado (Milutinovic, 2011). El trabajo presenta un modelo de robots reconfigurables que permite la incorporación de sistemas CAD/CAM para generar piezas basadas en la operación de fresas verticales. Una aplicación diferente es presentada a lo largo del presente trabajo, debido a que posible conocer características de una arquitectura abierta que permite la reutilización de robots obsoletos para que estén nuevamente funcionales y sean incorporados en una línea de producción.

Un nuevo modelo de arquitectura abierta de control para robots bajo el estándar ISO 7498-1 (Capas OSI) fue propuesto e implementado en sistemas embebidos, en el cual la programación de tareas de control fue realizada en alto nivel y después decodificado para procesadores DSC, usados en el control de movimiento de un robot de 6 DOF. La capacidad modular de esta propuesta permite la integración con otros sistemas o la cooperación con otros manipuladores, debido a la definición de 5 capas del sistema OSI. Lo anterior facilitará integrar nuevas funcionalidades y mejorar la estructura de las capas propuestas validando los sistemas abiertos de control (Oliveira *et al.*, 2010).

Los costos de inversión en Retrofitting pueden ser de hasta el 14% del valor actual de un nuevo robot con características similares en el mercado brasileiro. De esta forma es posible aprovechar el uso de la estructura mecánica del robot Asea IRB6-S2, cambiando los componentes de control y potencia, debido a la falta de compatibilidad con los sistemas producidos actualmente [1]. Las etapas desarrolladas para ejecutar el Retrofitting y generar una arquitectura abierta son detalladas en la propuesta realizada por Bomfim (Bomfim *et al.*, 2014). En el trabajo realizado el software para la in-

terface con el usuario y generación de pulsos hacia los drivers de los motores son software licenciados compatibles con Windows (Matlab e Mach 3). La selección de este software de desarrollo se seleccionó por la fácil instalación y uso del sistema de control, sin la inversión de recursos empresariales para capacitar los operarios en otros ambientes de desarrollo. Teniendo en cuenta que los software mencionados necesitan licencias activas y compatibles en el sitio de la aplicación de la metodología mencionada.

El modelamiento cinemático y la simulación de un robot de 6 grados de libertad fue realizada aplicando las capacidades propias de un controlador tipo OpenSource como lo es LinuxCNC, permitiendo que el robot siguiera una determinada trayectoria generada mediante un archivo en código G (Preez, 2014). Aunque el trabajo realizado no presenta implícitamente la adecuación bajo una arquitectura abierta de controle, al usar este tipo de software basados en lenguaje libre es posible determinar los resultados del trabajo desarrollado por Preez (Preez, 2014), dentro del contexto de arquitecturas abiertas de control para robots manipuladores.

3. CINEMÁTICA DIRECTA E INVERSA DO ROBÔ IRB6-S2

Para un control eficiente de la posición y la orientación de la herramienta final del manipulador, en el proceso de manufactura es necesario la definición de un modelo matemático que permita relación lógica entre las articulaciones o grados de libertad del manipulador (Siciliano, 2009).

3.1 Descripción de Parámetros DH para el Manipulador IRB6-S2

Mediante los parámetros establecidos por algoritmo Denavit-Hartenberg (DH), el cual relaciona dos eslabones contiguos del manipulador, es posible establecer los valores DH (Barrientos, 2007). Es necesario plasmar gráficamente los sistemas de coordenadas según el algoritmo DH para establecer los valores correspondientes que relacionan cada una de las articulaciones, por tanto la definición de los sistemas de coordenadas se puede apreciar en la fig. 1.

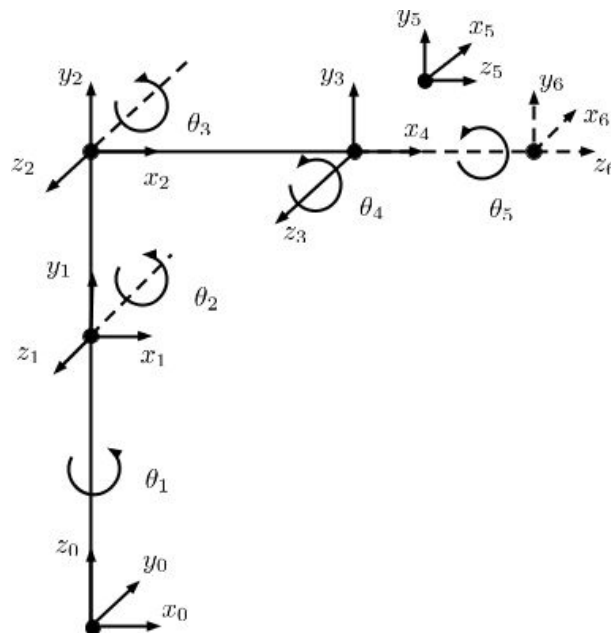


Figura 1: Definición Sistema de Coordenadas IRB6-S2

Es posible deducir los valores de las variables DH para una posición home como la expuesta en la Fig. 1, las cuales están plasmadas en la tabla 1. Los sistemas de coordenadas 4 y 5 conviven en el mismo origen, los cuales forman el “puño” del robot:

Tabela 1: Tabla Parámetros DH para el Robot IRB6-S2

Joint	α_i	$a_i[m]$	$d_i[m]$	θ_i
1	90	0	$\lambda_1 = 0.70$	θ_1
2	0	$l_2 = 0.45$	0	θ_2
3	0	$l_3 = 0.67$	0	θ_3
4	90	0	0	θ_4
5	0	0	$\lambda_5 = 0.095$	θ_5

3.2 Ecuaciones cinemáticas para el Manipulador IRB6-S2

Para definir la cinemática inversa del robot, la cual relaciona las variables articulares del robot en función de las coordenadas finales del efector final (Bomfim, 2013), se deben deducir las ecuaciones homogéneas que definen las variables articulares, las cuales representan el modelo fundamental para ser introducido en cualquier controlador, en este trabajo se uso LinuxCNC. Luego de la definición de los parámetros DH, es posible definir el sistema de ecuaciones con las variables articulares del sistema (Szkodny, 1995), las cuales se pueden apreciar a continuación:

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{-P_x}{P_y} \quad (1)$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \frac{S_3}{C_3} \quad (2a)$$

$$S_3 = \frac{w_1^2 + w_2^2 - (l_2^2 + l_3^2)}{2l_2l_3} \quad (2b)$$

$$C_3 = \sqrt{1 - S_3^2} \quad (2c)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{S_2}{C_2} \quad (3a)$$

$$S_2 = \frac{w_2l_3C_3 - w_1(l_3S_3 + l_2)}{l_3^2C_3^2 + (l_3S_3 + l_2)^2} \quad (3b)$$

$$C_2 = \frac{w_1l_3C_3 + w_2(l_3S_3 + l_2)}{l_3^2C_3^2 + (l_3S_3 + l_2)^2} \quad (3c)$$

$$w_1 = -S_1p_x + C_1p_y + \lambda_5S_1a_x - \lambda_5C_1a_y \quad (3d)$$

$$w_2 = p_z - \lambda_1 - \lambda_5a_z \quad (3e)$$

$$\theta_{34} = \tan^{-1} \frac{\lambda_5S_3^4}{\lambda_5C_3^4} \quad (4a)$$

$$\lambda_5S_{34} = S_1S_2p_x - C_1S_2p_y + C_2p_z - \lambda_1C_2 - l_2 - l_3C_3 \quad (4b)$$

$$\lambda_5C_{34} = -S_1C_2p_x + C_1C_2p_y + S_2p_z - \lambda_1S_2 - l_3C_3 \quad (4c)$$

$$\theta_4 = \theta_{34} - \theta_3 \quad (5)$$

$$\theta_5 = \frac{S_5}{C_5} \quad (6a)$$

$$S_5 = C_1n_x + S_1n_y, C_5 = C_1o_x + S_1o_y \quad (6b)$$

4. ARQUITECTURA DE CONTROLE ABERTA USANDO LINUXCNC

4.1 Arquitectura Controlador LinuxCNC

Inicialmente conocido como EMC2 (Enhanced Machine Controller) y ahora divulgado como LinuxCNC es un proyecto desarrollado por la NIST (National Institute of Standards and Technology), que termino incentivando la creación de una comunidad de desarrolladores voluntarios, generando que el código fuente pudiera ser modificado desde junio del año 2000. El proyecto es un controlador con licencia tipo GNU/Linux, con capacidad de controlar maquinas CNC y sistemas con cinemáticas avanzadas (Preez, 2014).

El cambio de nombre de EMC2 a LinuxCNC fue propuesto en 2011 por la existencia de una compañía con el mismo nombre, lo cual generaba confusión entre sus actuales y potenciales clientes. Adicionalmente los lideres del proyecto querían que se pudiera relacionar el software con el sistema operacional Linux, donde es ejecutado. Actualmente LinuxCNC se encuentra continuamente desarrollado por la comunidad de programadores con interés en difundir las ventajas del uso del este software a través de la simplificación, organización y mejoramiento del rendimiento del sistema de acuerdo con los feedback de los usuarios (Community, 2007). En la Fig. 2 es presentada la arquitectura general del controlador.

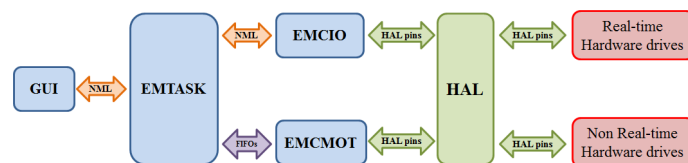


Figura 2: Arquitectura Interna por Módulos de Control de LinuxCNC

La estructura lógica de alto nivel de LinuxCNC está compuesta por 4 módulos con tareas independientes, con una capa principal denominada HAL (Hardware Abstraction Layer), siendo una interface entre software y hardware, que provee una transferencia en tiempo real desde y hacia LinuxCNC con el hardware de control o módulos lógicos de bajo nivel (Staroveški *et al.*, 2009). Adicionalmente permite la conexión lógica entre entradas y salidas del sistema simulando conexiones físicas a nivel software. Los módulos que integran LinuxCNC son Motion Controller (EMCMOT), Discrete I/O Controller (EMCIO), Task coordinating module (EMCTASK), Text-based and graphical user interfaces (GUI) (Community, 2014).

Las versiones disponibles de LinuxCNC tienen como programas ejemplos aplicaciones de máquinas CNC, y solo una configuración de robot manipulador tipo PUMA560, lo que daría valor agregado al presente trabajo al vincular el proyecto a la librería de ejemplos de este software. Aumentando el interés de los desarrolladores en hacer proyectos con robots tipo manipuladores con la presente arquitectura como una solución tipo OpenSource.

4.2 Simulação Manipulador IRB6-S2 em LinuxCNC

Teniendo vinculadas al controlador LinuxCNC las ecuaciones homogéneas, resultantes del modelamiento matemático a través de la cinemática directa e inversa del manipulador, es posible generar una simulación del movimiento del robot, así como del efector final que permita verificar el desplazamiento correcto en una trayectoria predefinida mediante un simulador basado en OpenGL disponible en LinuxCNC. En la Fig. 3 es posible verificar el modelamiento gráfico del robot, así como la trayectoria predefinida que tendrá que seguir el robot permitiendo comprobar los valores calculados de las variables articulares del sistema.

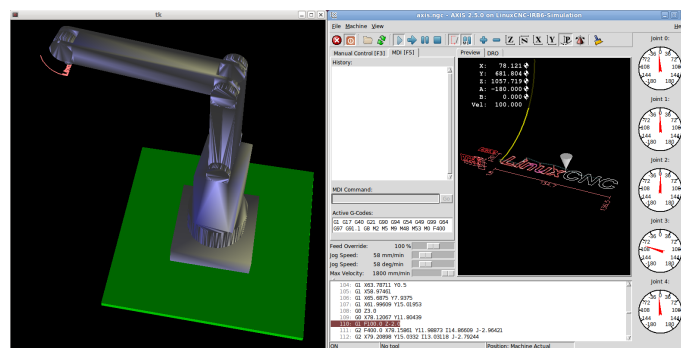


Figura 3: Definición Sistema de Coordenadas IRB6-S2

Luego de terminada la simulación realizada mediante un archivo en código G, el robot siguió de manera correcta las instrucciones generadas y consiguió realizar la simulación de forma satisfactoria, permitiendo validar la cinemática del sistema, así como la integración entre la simulación del robot junto con el archivo de la cinemática compilado bajo LinuxCNC.

4.3 Actualización del Controlador para el Robo IRB6-S2

El robot que es objeto del retrofitting para que este nuevamente funcional fue donado por la FIAT Brasil a la Universidad de Brasilia, donde fue adaptado en una FMC para el posicionamiento de piezas. Inesperadamente el sistema de control dejó de funcionar, debido a que el sistema de alimentación se vio afectado por la falta de regulación de la tensión en la ciudad de Brasilia, generando un efecto en cadena de fallas tales como la diferencia considerable en los voltajes de salida del transformador del gabinete de control. Por tanto, para aprovechar el sistema mecánico del manipulador se adoptó la metodología retrofitting para cambiar el sistema de control dañado, además de tener una arquitectura de control abierta y susceptible de modificaciones futuras sin depender del fabricante, como originalmente fue concebido.

Para la actualización tecnológica del robot IRB6-S2 por la metodología de retrofitting es necesario el uso de componentes compatibles con lógica digital. Estos componentes son válidos para manipuladores que sean susceptibles de poder ser nuevamente funcionales en un entorno académico o industrial Bomfim *et al.* (2014). A continuación en la tab. 2 se presentan los componentes usados para el proceso de actualización tecnológica del manipulador.

Tabela 2: Componentes Usados para el Retrofitting

Item	Componente	Cantidad
1	Interface Paralela - LPT1	1
2	Driver Digital para Servo Motores - G320X	5
3	Encoder AMT102	5
4	Motor tipo Servo - KL23-130-60	5
5	Fuente de Poder - 1200W 60VDC 20A	1
6	Computador Personal	1

A continuación se puede apreciar en la fig. 4 el robot antes de iniciar el proceso de actualización tecnológica para tenerlo nuevamente funcional bajo la plataforma LinuxCNC.



Figura 4: **Robot Original Fuera de Servicio sin Modificaciones**

Inicialmente se realizaron pruebas con los componentes controlados por LinuxCNC antes de ser montados en el robot, de esta forma se construyó un banco de pruebas en el cual se simulaban los 5 DOF del robot, representados en cada uno de los motores. Dicho banco permitió verificar el estado de los nuevos componentes que integran el sistema de control, la configuración inicial según cada uno de los manuales de los fabricantes y la integración con LinuxCNC. En la fig. 5 se puede apreciar el banco de pruebas fabricado:

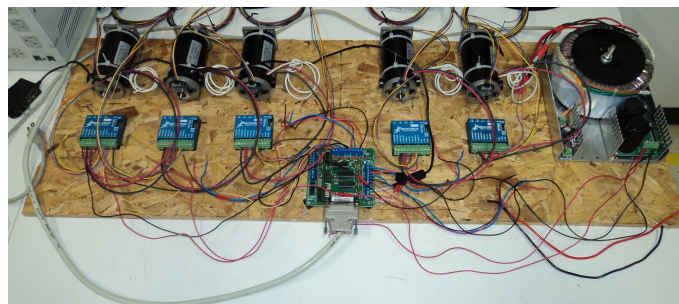


Figura 5: **Banco de Testes dos Componentes**

El sistema de transmisión de movimiento desde los motores hasta los eslabones del robot están a cargo de un sistema de reducción denominado "Harmonic-Drive", los cuales son acoplados al eje de cada motor, para luego transmitir el movimiento mediante un acople. Este tipo de transmisión se puede apreciar en la 6 a continuación.

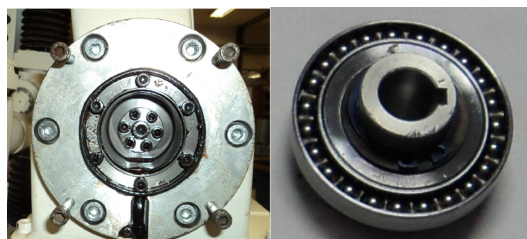


Figura 6: **Acople en ABS y Harmonic Drive**

Fue necesario diseñar mediante software CAD/CAM los acoples de los motores para que fueran compatibles con los Harmonic Drive, debido a que los ejes de los motores originales tenían el diámetro mayor a los nuevos motores. Posteriormente fueron elaborados en una impresora 3D con material tipo ABS. Los acoples se pueden apreciar en la fig. 7 a continuación junto con el modelo de motor que fue usado para el retrofitting.

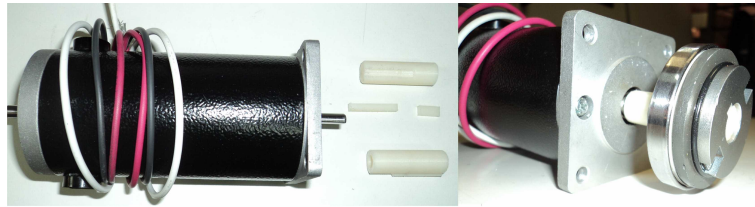


Figura 7: Robot Original Inicial sin Modificaciones

Con la fabricación de los acoples en ABS y con la fijación de los harmonic drive en los ejes de cada motor, se realizó el montaje de los motores con sus respectivos enconders en el robot, permitiendo de esta forma probar en un inicio el movimiento independiente de cada junta. El montaje final del robot con el nuevo sistema de control se puede apreciar en la fig. 8.



Figura 8: Montaje IRB6-S2 después del Retrofitting

5. VALIDACIÓN DE LA CINEMÁTICA DEL ROBOT ASEA BASADA EN LINUXCNC

La validación de la cinemática del robot fue realizada usando un programa NC generado por un sistema CAD/CAM, interpretado por LinuxCNC, el cual se puede apreciar en la fig. 9 junto con la trayectoria antes y después del movimiento realizado por el robot.

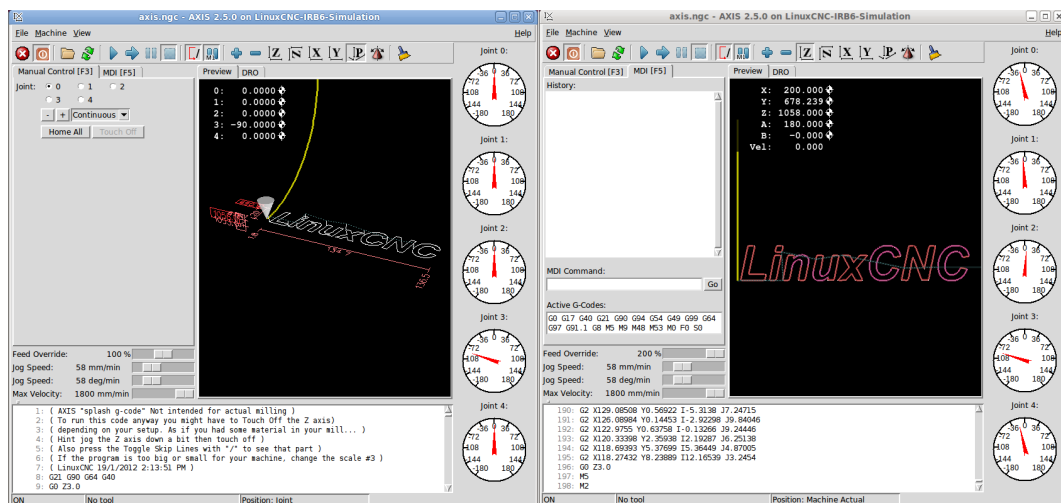


Figura 9: Programa NC Generado por Sistema CAD/CAM

Este procedimiento se realizó con el objetivo de generar una trayectoria de la herramienta del manipulador usando en este caso un bolígrafo fijado en el extremo de la última articulación del manipulador, el cual realiza la trayectoria predefinida, y que adicionalmente depende del movimiento de cada una de las articulaciones del robot controladas a través de la cinemática inversa vinculada con el controlador LinuxCNC, permitiendo verificar gráficamente en una hoja de papel el recorrido del bolígrafo.

Se presenta en la fig. 10 el soporte fabricado para permitir la fijación del bolígrafo con la última articulación del robot, así como también se puede apreciar el manipulador realizando el seguimiento de la trayectoria programada mediante el programa NC, interpretado por LinuxCNC. De igual forma es posible constatar en la fig. 10 la trayectoria a seguir mediante simulación generada por LinuxCNC, junto con el modelado del robot en lenguaje OpenGL.

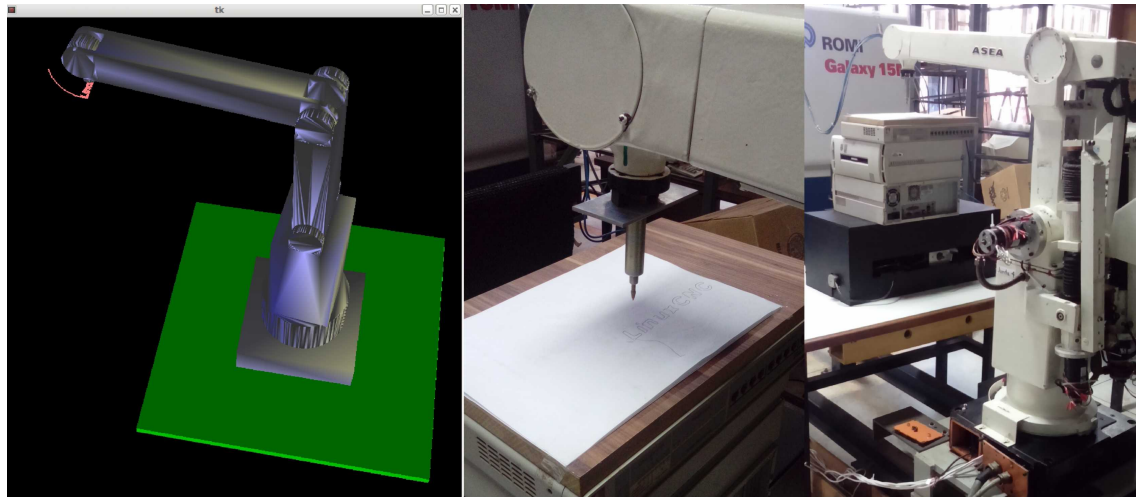


Figura 10: Robot en Movimiento Siguiendo la Trayectoria Definida por el Programa NC:
a) Simulación Virtual; b) Detalle de la Fijación del Bolígrafo; C) Robot en Operación

En linuxCNC se procedió a definir la posición inicial de la herramienta, en este caso el bolígrafo, del eje Z o eje vertical mediante el contacto entre la hoja de papel y la punta del bolígrafo. Este procedimiento es importante para tener la referencia de la herramienta usada, ya que la cinemática del manipulador no tiene en cuenta el tipo de elemento terminal que se quiera adicionar para la aplicación requerida con el robot.

Al finalizar el movimiento del robot se puede verificar en el papel la concordancia existente entre la trayectoria predefinida por el programa NC y el resultado generado con el bolígrafo, tal y como se puede apreciar en la fig. 11. Con este procedimiento es posible validar la cinemática inversa del robot, debido a que los trazos generados por el bolígrafo coinciden con la figura representada en la simulación generada por LinuxCNC.

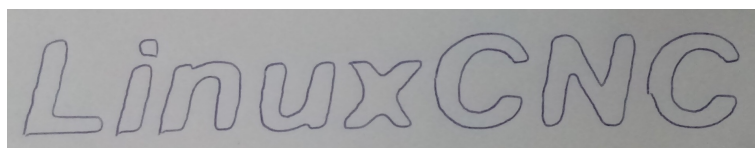


Figura 11: Resultado de la Trayectoria Realizada por el Robot

Existen algunas fallas en el movimiento del bolígrafo y por tanto en la representación gráfica del procedimiento, lo cual provocó que las letras plasmadas en el papel no estén totalmente acordes con la simulación generada por LinuxCNC y la trayectoria definida por programa NC. Esto se debe básicamente a la longitud del soporte fabricado para el bolígrafo, el cual al momento del movimiento del robot carece de firmeza y por tanto se desplaza al existir un momento por la fuerza generada por el apoyo que realiza el bolígrafo sobre el papel para permitir generar los trazos correspondientes. De igual forma existe inestabilidad de la mesa donde está fijado el papel, lo cual produce

6. INTEGRACIÓN DEL ROBOT CON LA FMC

La función principal del robot IRB6-S2 en el presente trabajo está definida dentro de una FMC del laboratorio Graco (UnB), la cual debe garantizar el posicionamiento de piezas brutas y acabadas. El manipulador presente en la FMC está acompañado de equipos dispuestos en diferentes estaciones de trabajo, tales como una unidad de procesamiento (centro de mecanizado), unidad de inspección (micrómetro láser), unidad de almacenamiento de piezas (pallet), un vehículo tipo AGV, así como sistema de control (Unidad de Gestión) Teixeira (2006).

A continuación se presentará en la Fig. 12 el modelo funcional de las tareas propias del robot dentro de una FMC con la plataforma LinuxCNC, usando diagrama IDEF0, permitiendo de esta forma verificar las funciones propias del sistema de manipulación y transporte de piezas.

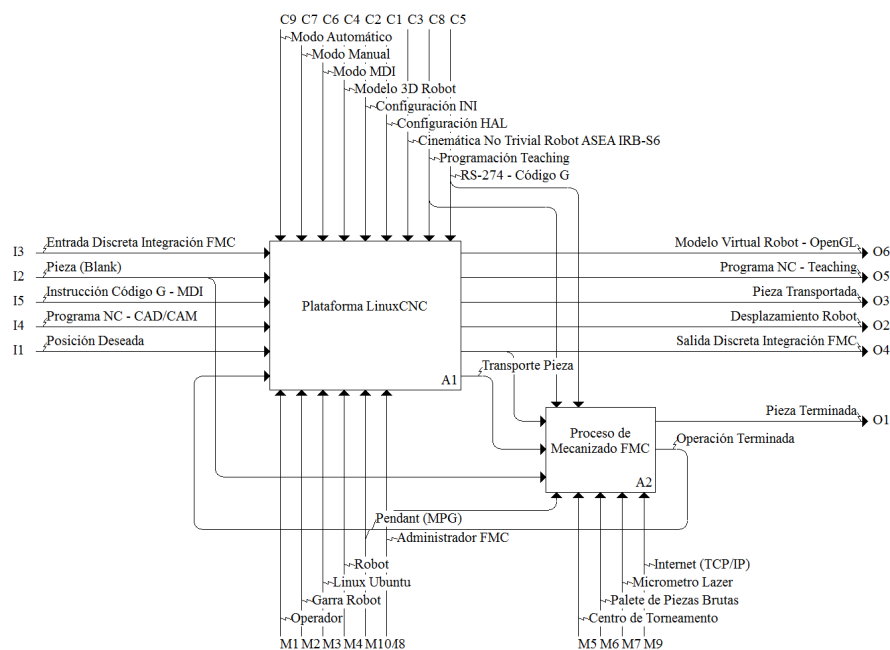


Figura 12: Modelo IDEF0 de la Integración con la FMC

7. CONCLUSIONES

Para verificar la precisión del desplazamiento mediante un procedimiento de calibración, es posible posteriormente realizar un estudio de capacidad del proceso, midiendo físicamente en la hoja la dimensiones generadas por los trazos del movimiento del robot, comparando las con las dimensiones del programa NC generado.

Para aplicaciones industriales LinuxCNC se convierte en una alternativa interesante debido a que evita el uso de licencias comerciales desde su sistema operativo, para el presente proyecto fue usado Linux Ubuntu. Esta característica disminuye considerablemente los costos de inversión de la metodología retrofitting añadiendo valor agregado a la activación o actualización tecnológica de robots industriales obsoletos o fuera de operación.

Fue posible validar a nivel virtual con la simulación generada por LinuxCNC e a nivel práctico con los trazos generados por el efector final del robot, la cinemática inversa vinculada al controlador LinuxCNC, convirtiéndolo en una solución basada en arquitectura abierta para el permitir el control de cualquier manipulador industrial en operación o susceptible de ser actualizado tecnológicamente mediante la metodología retrofitting.

El presente trabajo describe por una parte los procedimientos que fueron seguidos por los autores para el proceso de migración tecnológica o retrofitting de un robot industrial de 5 DOF, el cual no estaba en funcionamiento. De igual forma, se presentó el hardware y software usados que permitió el control del manipulador a través de una arquitectura flexible y escalable de desarrollo. De esta forma el retrofitting se convierte en una alternativa totalmente viable para el sector académico y sector industria en el uso de la estructura mecánica de robots industriales para que sean integrados en un ambiente de producción, como en este caso a una FMC.

Compartiendo los resultados más detallados del proceso descrito en el presente trabajo, así como los recursos desarrollados para el proyecto para quien desee contribuir, usar y desarrollar nuevas aplicaciones basadas en los resultados obtenidos hasta el momento enmarcadas en la automatización industrial, es dispuesto un blog donde es posible verificar y acompañar cada uno de los procedimientos descritos a lo largo del presente escrito. El link de acceso es el siguiente <https://plus.google.com/116960304375198732734>.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo quisieran agradecer al CNPq por la beca de maestría vinculada a uno de los integrantes del proyecto, así como por el fomento a la investigación científica.

9. REFERENCIAS

- Barrientos, A., 2007. *Fundamentos de Robótica*. McGraw-Hill, segunda edición.
- Bomfim, M.H.S., 2013. "Remanufatura de manipuladores robóticos com arquitetura aberta". *Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em engenharia mecânica da UFMG. Belo Horizonte, MG*.
- Bomfim, M.H.S., Gontijo, R.A., Bracarense, A.Q. and II, E.J.L., 2012. "Overhauling of a asearobot ir6 with open architecture". *International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, Vol. XXI.
- Bomfim, M., Fagner Coelho, A., Lima, E. and Gontijo, R., 2014. "A low cost methodology applied to remanufacturing of robotic manipulators". *Congresso Brasileiro de Automática*, Vol. 20, pp. 1506–1513.

- Community, L., 2007. "About linuxcnc". URL http://wiki.linuxcnc.org/cgi-bin/wiki.pl?EMC_Components.
- Community, L., 2014. "Emc components". URL http://www.linuxcnc.org/docs/2.5/html/common/Getting_EM.html.
- De Lima, A., Poubel, L., Lizarralde, F., Leite, A. and Gleizer, G., 2010. "Atualização de hardware e software de um robô industrial". *Congresso Brasileiro de Automática*, Vol. XVIII, pp. 4403–4410.
- Lages, W., Bayan, R.V. and Q., B.A., 2012. "Arquitetura aberta para retrofitting de robôs". *UFRGS*.
- Lages, W. and Bracarense, A., 2003. "Robot retrofitting: A perspective to small and medium size enterprises". *Austrian-Brazilian Automation Day*, Vol. III, pp. 1–11.
- Lima II, E. and et al., 2004. "Sensing for retrofitting of an industrial robot". *Information Control Problems in Manufacturing*, Vol. 1, pp. 545–550.
- Milutinovic, D., 2011. "Reconfigurable robotic machining system controlled and programmed in a machine tool manner". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 53, pp. 1217–1229.
- Oliveira, A., Pieri, D. and Moreno, U., 2010. "An open-architecture robot controller applied to interaction tasks". *Advances in Robot Manipulators*, pp. 99–112.
- Preez, R., 2014. "3d 6-dof serial arm robot - kinematics and implementation in linuxcnc". *ASM*.
- Ribeiro, A., Almeida, A., de Souza, M. and Lima II, E., 2007. "Metodologia para implementação de retrofitting de controladores de equipamentos de automação de processos". *Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, Vol. VIII, pp. 19–28.
- Siciliano, B., 2009. *Robotics: Modelling, Planning and Control*. Springer, 1st edition.
- Staroveški, T., Brezak, D., Udiljak, T. and Majetić, D., 2009. "Implementation of a linux-based cnc open control system". *International Scientific Conference on Production Engineering*, Vol. XII, pp. 209–216.
- Szkodny, T., 1995. "Forward and inverse kinematics of irb-6 manipulator". *Mechanism and machine theory*, Vol. XXX, pp. 1039–1056.
- Teixeira, E., 2006. *Desenvolvimento da unidade de gerenciamento de uma célula flexível de manufatura integrada a um sistema CAD/CAPP/CAM*. Universidade de Brasília, Brasília.

10. RESPONSABILIDADES Y DERECHOS DE AUTOR

Los autores son los únicos responsables por el contenido de este trabajo.

IMPLEMENTATION OF A RETROFITTING TECHNIQUE FOR ASEA IRB6-S2 INDUSTRIAL ROBOT USING LINUXCNC

Juan Sebastian Toquica Arenas, jstoquica@gmail.com¹

Alberto J. Álvares, alvares@AlvaresTech.com¹

¹Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica y Mecatrónica, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - CEP 70910-900, Brasil.

Abstract: This work presents an alternative for the Retrofitting methodology of a industrial robotic manipulator ASEA IRB6-S2 integrated by 5 degrees of freedom (DOF). Contributing to consolidation of an universal open control architecture for robotics manipulators, independently of the denseolved systems by the manufacturers. Through Retrofitting technique the manipulator is again working and can be integrate with a Flexivel Manufacturing Cell (FMC). The verification of the mechanical structure state and technology migration of the control system are the main activities of proposed methodology. Integration of Mechanical system with actualized control will make possible the disered displacement of the robot through pulses generated from LinuxCNC controller. The Propoused control is characterized by having a open architecture aspects that can allow improvements and future integrations for any other system user. Homogeneous equations modeled the direct and inverse kinematic of the robot through Denavit-Hartenberg (DH) convention, they are in the LinuxCNC controller, providing flexibility, and can validate the propoused architecture trhough OpenSource software properties.

keywords: Retrofitting, Robot IRB6-S2, LinuxCNC, Kinematics, FMC.