

# REPRESENTACION INTEGRADA DE ACCIONAMIENTOS MECANICOS Y CONTROL DE EJES ORIENTADA A LA COMUNICACIÓN Y DOCENCIA EN MECATRONICA

Julio Garrido Campos

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. E.I. Industriales, Campus Lagoas Marcosende, 36200, Universidad de Vigo, jgarri@uvigo.es

David Santos Esterán, Juan Sáez López, José Ignacio Armesto Quiroga

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. E.I. Industriales, Campus Lagoas Marcosende, 36200, Universidad de Vigo, marin@uvigo.es, juansaez@uvigo.es, armesto@uvigo.es

## Resumen

*La aproximación “mecatrónica” al diseño y realización de máquinas hace un uso extensivo de tecnologías electrónicas para el control y coordinación de ejes mecánicos permitiendo que el control realice funcionalidades que antes eran hechas únicamente por los elementos mecánicos. Sin embargo, los métodos existentes para representar estas dos vistas tecnológicas (mecánica y electrónica/lógica) se han ignorado mutuamente, paralelamente a lo que sucedía con los perfiles docentes y profesionales correspondientes: mecánico y automático. Esto, desde el punto de vista docente, complica por ejemplo la descripción pedagógica de sistemas mecánicos servoaccionados con todos los requerimientos propios de una solución mecatrónica conjunta. Este artículo desarrolla un nuevo modelo de representación de diseños mecatrónicos que integre efectivamente ambas vistas tecnológicas. El uso de esta metodología facilitará la comunicación entre diseñadores mecánicos y diseñadores de control, así como la introducción de restricciones mecánicas en docencia de control y viceversa.*

**Palabras Clave:** Mecatrónica, Modelado, Docencia en ingeniería.

## 1 INTRODUCCION

La creación de máquinas es un proceso que conjuga de conocimientos de diferentes áreas. En algunos casos, como las máquinas con servoejes, la interacción e interdependencia entre la mecánica y control puede ser muy elevada. La posibilidad de definir en tiempo de funcionamiento, relaciones cinemáticas temporales entre ejes, así como el uso de ejes virtuales asociados a ejes reales y levas electrónicas entre otras técnicas, simplifica el diseño mecánico a costa de aumentar el del control. Distribuyendo así la complejidad de la aplicación en dos campos que deben estar perfectamente integrados

para obtener una solución óptima difícil de alcanzar con un enfoque monodisciplinar.

Consecuencia de una mayor integración es la posibilidad de simplificar y reducir las transmisiones mecánicas, obteniendo como resultado sistemas más eficientes energéticamente y aumentado aún más dicha flexibilidad. La documentación e intercambio de información de un problema multidisciplinar con una solución multidisciplinar requiere de un sistema de representación común que sirva como base.

La ingeniería gráfica dispone de diferentes técnicas de representación muy adecuadas para cada campo. Pero actualmente, cada disciplina tiene los suyos propios. Todos ellos evolucionaron de forma prácticamente independiente del resto, con objetivos y resultados diferentes por ello no se tienen en consideración los unos a los otros. Por ejemplo, el dibujo técnico de planos mecánicos tiene como finalidad la fabricación, montaje y ensamblaje de sistemas mecánicos, no tiene previsto métodos para representar su relación con el sistema de control. Por ejemplo, se puede dibujar el servomotor y eje que acciona, pero sigue faltando mucha información, como a que posiciones se va a mover, a que velocidades, etc. Por otro lado, los lenguajes de programación, se emplean para abstraer de las complejidades del código máquina o ensamblador. Y salvo comentarios de texto en el código fuente tampoco tienen métodos para representar su relación con el sistema mecánico que controlan. Por ejemplo, un servoeje, no es más que otra variable pero a diferencia de otras, cambios en su valor implica un movimiento de un objeto físico.

Así pues, se presentan dos opciones, modificar estándares existentes o crear uno nuevo. En este artículo se estudia la segunda opción. Este nuevo sistema de representación se podría ver como una combinación de los principales sistemas de representación empleados en el diseño de maquinaria. Pero presentando únicamente aquellas informaciones comunes y relevantes para todas las

partes, obviando lo que se considerarían detalles para el resto.

La dificultad reside en seleccionar ese conjunto de información común relevante y descartar el resto y combinar normas como son la ISO128 [1], ISO3952 [2], PLC-Open for Motion Control [3] en una metodología que presente la información de forma conjunta y fácilmente interpretable para especialista de las diferentes áreas implicadas. Este artículo desarrolla un nuevo modelo de representación de diseños mecatrónicos teniendo en cuenta estas consideraciones: MMCS (*Mechanical and Motion control Schematics*).

No se pretende en este artículo hacer una propuesta formal ni al detalle de una nueva norma pero si proponer una serie de fundamentos metodológicos.

## 2 TECNICAS DE DISEÑO GRAFICO EMPLEADAS EN EL DISEÑO MECANICO DE EJES CONTROLADOS.

Para la revisión de las diferentes normas utilizadas en la ingeniería gráfica, desde el campo mecánico y de control, se han agrupado estas normas en tres apartados que se desarrollan a continuación, Dibujo Técnico, Lenguajes de Programación y Otras normas de interés.

### 2.1 DIBUJO TECNICO

Este apartado engloba los diferentes sistemas de representación gráfica empleados en arquitectura, topografía, electricidad y otras muchas ramas de la ingeniería incluyendo la mecánica. Cuenta con numerosas normas y estándares que regulan diferentes aspectos. Por ejemplo la parte 20 de la ISO128 [1] detalla convenios generales para las líneas, la ISO 5455 [4], las escalas, la ISO 6433 [5] referencias de los elementos, etc. Su uso es amplio, aceptado y presente en la literatura y documentación científica y técnica.

Los dibujos se suelen clasificar en croquis o planos. Se emplean proyecciones o vistas de los objetos haciendo uso de escalas. Mediante el uso de cotas y otros símbolos se añade más información.

#### 2.1.1 Planos mecánicos.

A su vez existen diferentes tipos de planos. Por ejemplo, en el caso de la ingeniería mecánica, si se trata de un plano para la fabricación de una pieza se incluirán además tolerancias de fabricación, acabados, materiales, etc. Los servoaccionamientos,

en cualquiera de sus variedades, husillo, correa, piñon-cremellera, rotativo, etc. pueden aparecer en cualquiera de estos tipos planos. Estos pueden detallar componentes individuales como guías, rodamientos, carro, servomotor, etc. o pueden aparecer como un conjunto dentro de una envolvente al estilo de los módulos lineales.

Los detalles concretos de esos componentes, fundamentales para el diseño mecánico, no lo son sin embargo para el control. Además, este tipo de planos son representación con una orientación demasiado estática, no se identifican claramente los elementos móviles. Tampoco se especifican los sistemas de referencia ni las cotas empleadas para la descripción de los de movimiento a realizar. Por ejemplo, el acoplamiento de una parte móvil con aquellas a las que traslada se tiene que deducir de la interpretación de la construcción y ensamblaje de las propias piezas. Esto entraña cierta dificultad en caso de no estar familiarizados con estos tipos de planos o si la máquina es compleja.

Además, los planos mecánicos se limitan a la especificación de condiciones geométricas, pero no establecen condiciones cinemáticas o dinámicas. Los elementos eléctricos como finales de carrera o sensores de *homing* se pueden representar en su versión mecánica pero sin especificar su función o identificación según normas eléctricas.

En la Figura 1 se puede ver un plano mecánico de un módulo lineal de correa comercial [6]. Para el sistema de control la información relevante se limita:

- A la carrera efectiva, en este caso la cota L menos el ancho del carro móvil.
- Y el punto concreto del carro móvil o herramienta o útil, respecto del cual se va a medir la posición, que se usará como realimentación para el sistema de control.

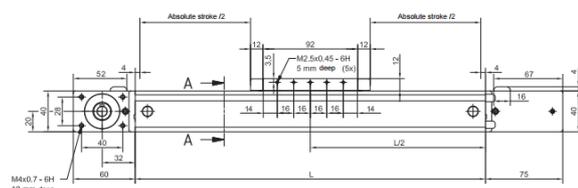


Figura 1 Vista lateral del plano mecánico de un módulo lineal de correa

#### 2.1.2 Esquemas cinemáticos.

En el estándar ISO 3952 [2] define un sistema de símbolos gráficos orientado a la representación simplificada de sólidos rígidos y las relaciones mecánicas entre ellos que definen un mecanismo. Esta norma no tiene en cuenta detalles constructivos

como los que se puede encontrar en planos mecánicos. En la Figura 2 pueden verse ejemplos típicos de esta norma. En la Figura 3 puede observarse los símbolos propuestos por esta norma aplicable al módulo lineal de la Figura 1.

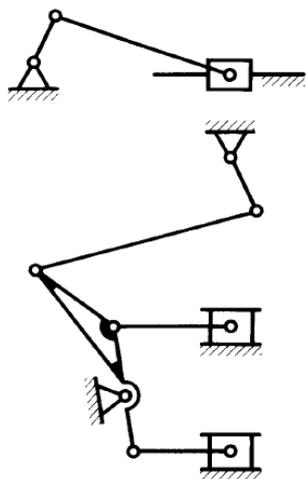


Figura 2 Ejemplos de diagramas cinemáticos según norma ISO 3952

2.1.2	Unión deslizante	Unión de dos miembros que permite el movimiento rectilíneo de un miembro con relación al otro		
-------	------------------	---	--	--

Figura 3 Símbolo de la norma ISO3952 para representación de movimientos lineales

Esta simplificación elimina información importante para proceder al diseño detallado y fabricación como son cotas, medidas, acabados, etc. Los sistemas de referencia y coordenadas en esta norma se usan con fines de modelado. En la literatura se pueden encontrar ejemplos donde se combina esta representación simbólica en aplicaciones de servoaccionamientos [7] [8]. También se hace uso de ella para representación esquemática de CNC, como por ejemplo en [9].

Pese a tener una orientación hacia la cinemática y dinámica del sistema, la norma carece de una simbología para incluir vínculos temporales entre partes móviles creada por el sistema de control. Añade detalles innecesarios para el sistema de control, como son los tipos de pares que existen entre los enlaces de los elementos mecánicos. Aunque su uso no está tan extendido como en el caso de los planos mecánicos, se pueden encontrar en la literatura trabajos en donde se hace uso de una representación esquemática de ejes lineales a la que se añaden detalles necesarios para la exposición de las ideas a tratar [10] [11] [12] [13] [14].

## 2.2 LENGUAJES DE PROGRAMACION PARA CONTROL MULTIEJE: PLC\_OPEN FOR MOTION CONTROL

Los ordenes, secuencias de movimientos y relaciones a los servoaccionamientos se describen comúnmente mediante recursos de los lenguajes de programación. Existen múltiples soluciones para implementar y describir el funcionamiento de las máquinas. El estándar más importante es el IEC 61131-3, [3] que propone diferentes lenguajes de programación, Ladder Diagram (LD), Structured Text (ST), Instruction List (IL), Function Block Diagram (FBD) y Sequential Flow Chart (SFC). Su uso está muy extendido y es ampliamente aceptado tanto por usuarios como por fabricantes de equipamiento.

El IEC 61131-3 fue adoptado por PLC-Open [15], que lo amplió especificando, entre otras, un conjunto de librerías de bloques de función para el control de ejes [16] (*Motion Control*). Esta norma define, pero no implementa, un conjunto de FBs (bloques de función) para programar el control de servoaccionamientos. Abarca desde movimientos simples, PTP (punto a punto) hasta complejos movimientos coordinados que crean relaciones virtuales/lógicas entre ejes de formas equivalentes a su realización mecánica, como por ejemplo engranajes, levas mecánicas, etc. Estas relaciones software puede activarse y alterarse durante el funcionamiento de la máquina cambiando el estado lógico de los ejes con efecto en la mecánica.

El comportamiento de los ejes de la máquina resulta de la ejecución de una secuencia de estas instrucciones, ejecutadas por un PLC. En los comentarios del programa se podrían añadir información sobre lo que hace pero si la mecánica es compleja la descripción sería complicada y dada malas interpretaciones sin contar con algún tipo de plano mecánico o similar.

La interpretación de un programa de estas características puede ser muy complicada incluso para especialistas en la materia. Los programas de control de ejes no tienen asociado ningún tipo de representación gráfica explicitando la relación con la vista mecánica, salvo graficas de parámetros fundamentales de los ejes como velocidad y posición. Además, las instrucciones contienen información irrelevante para el sistema mecánico, como son los nombres de las instancias lógicas, variables, tipos de datos, detalles sobre la ejecución, etc. Los programas de control de ejes actuales emplean frecuentemente ejes virtuales. Es decir, ejes lógicos que no tienen asociado ningún servoaccionamiento físico real. También se pueden usar con ejes auxiliares, *encoders* aunque no tengan accionamiento asociado.

### 2.3 OTRAS NORMAS

Existen otras normas de interés que tienen una relación tangencial con el tema expuesto en este artículo y que se comentan brevemente a continuación, pues de algunas de ellas se utilizan conceptos e ideas.

Es el caso de las norma ISO 841 [17], específica de CNC, describe la metodología para nombrar los diferentes ejes que componen dichas máquinas así como los sentidos y direcciones de dichos ejes. Por ejemplo, un sistema cartesiano de tres ejes perpendiculares es notaria por XYZ. Un segundo sistema UVW. En caso de ejes paralelos se puede usar notación X1, X2, etc. Para ejes rotativos A, C, D perpendiculares a X, Y, Z. Su principal limitación para la representación integrada de mecánica y control se debe a que en este tipo de máquinas las relaciones lógicas entre los ejes están preestablecidas.

Existen otras normas de representación donde aparecen componentes relacionados con los servoaccionamientos, como las normas de planos eléctricos, pero muy orientadas a especificar las conexiones entre los varios componentes que conforman el accionamiento eléctrico.

Otros ejemplos de normas con una relación tangencial serían la ISO 369 [18], consistente en una lista de iconos que pretenden estandarizar la representación de diferentes operaciones en los IHM de los controles de los CNCs; la ISO 2203 [19], signos para engranajes, es otra norma aplicable a elementos típicos de cadenas cinemáticas de servo ejes, como engranajes dentados de reductoras pero tiene un enfoque muy mecánico. De otras normas como la ISO [20] para neumática se podría tomar símbolos como ventosas o pinzas. Incluso información que no esté bajo ninguna norma también puede ser útil para complementar y detallar el funcionamiento como por ejemplos cronogramas o gráficas con las curvas de las levas electrónicas.

### 2.4 REPRESENTACIONES NO ESTANDARD

El sistema S5 es un robot manipulador para transferir. En general los fabricantes de componentes mecánicos como reductoras, guías, módulos lineales, hacen uso de las normas gráficas. Complementan la información con tablas de características, fotos o vista en tres dimensiones, etc. Este tipo de información también la incluyen los fabricantes de equipamiento electrónico así como su representación simbólica.

Para encontrar alguna representación mecatrónica de los servoaccionamientos hay que buscar en los manuales de usuario de los controladores y las

herramientas de programación con funcionalidad para manejar servoaccionamientos. Aquí hay dos soluciones, las basadas en PLC-Open y las propietarias. Las primeras ya se han comentado, simplemente destacar que en ocasiones se acompañan de representaciones esquemáticas de la mecánica, sin atender a ningún estándar, y de cronogramas [21] [22] [23]. Confirmando de otra forma la necesidad del sistema de representación aquí propuesto. En el segundo grupo hay herramientas de programación gráfica que mezclan los diagramas de estados con órdenes de control ejes acompañadas de unos iconos para hacer más fácil la interpretación [24]. Pero en cualquier caso se limita al ámbito software y no trasciende a la mecánica.

También se pueden encontrar representaciones que no atienden a ninguna norma pero que cumplen su función mediante esquemas simples o representaciones 3D, como por ejemplo [25] [26] [27]

## 3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA.

En la Tabla 1, a modo de resumen, se presentan indicando las ventajas, limitaciones y el ámbito de uso, de los principales métodos de representación que se pueden emplear en el diseño de máquinas con servoaccionamientos.

Todos los sistemas tienen sus ventajas pero las limitaciones son demasiado importantes requiriendo de una modificación tan sustancial que desvirtuaría el objetivo inicial del sistema de dibujo o lenguaje de programación. Por ello se opta por plantear un nuevo sistema de representación. Aunque reutilizando en la medida de lo posible las normas existentes ya que así se harán más sencillo el trabajo y el intercambio de información aprovechando la familiaridad y experiencia previa con las técnicas y normas conocidas.

### 3.1 EJE LINEAL

El eje lineal (Figura 4) es uno de los casos más simples. En la Figura 5: Eje lineal de husillo se representa un módulo lineal. Se puede identificar el servomotor, la campana de acoplamiento, el carro móvil y el cuerpo del módulo en cuyo interior se encuentra el husillo, rodamientos y las guías con los patines. En la Figura 1 se presentó un plano mecánico detallado.

Tabla 1. Comparativa sistemas de representación.

Ambato	Información relevante común	Limitaciones	Ventajas
<b>Diagramas cinemáticos</b>	Elementos móviles, relación entre ellos, trayectorias	Visita 2D, cotas. Información excesiva sobre pares mecánicos, tipo de componente , etc.	Sencillez, interpretación visual rápida de elementos móviles y sus relaciones.
<b>Planos mecánicos</b>	Cotas y medidas de desplazamiento elementos móviles. Sistemas de referencia de posición.	Interpretación cinemática confusa debido a exceso de información relativa a cotas, materiales, acabados tanto de elementos fijos como móviles.	Información precisa de cotas y medidas. En concreto de los elementos móviles. Referencias de posición respecto a la máquina real.
<b>CNC</b>	Notación de ejes	Orientado maquinas CNC, diseños y cinemáticas concretos y definidos de antemano	Norma de amplio uso que se puede adoptar parcialmente sin problemas.
<b>Programación</b>	Relación entre ejes, secuencia de movimientos, detalle tipo de movimiento.	Ningún tipo de referencia, salvo opción de comentarios en código a la mecánica. Detalles de la implementación del código sobrantes, como nombres variables, condiciones lógicas, control de otros sistemas de la máquina, etc.	Describe la secuencia de movimientos de la máquina. La relaciones cinemáticas temporales, engranajes electrónicos, levas electrónicas, ejes virtuales, etc. Difícil interpretación para no programadores.

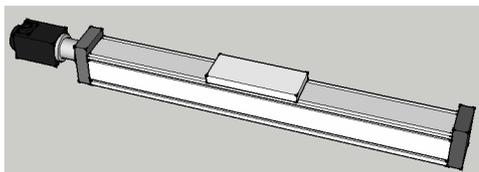


Figura 4: Vista lateral del eje lineal y sus sucesivas simplificaciones

Se propone usar la letra “O” mayúscula, para notar el origen del eje y una flecha con un signo + o -, según convenga para indicar el sentido (Figura 6). Una vez se tiene representado el punto desde el que se va a realizar la medida hay que indicar el segundo punto. Que bien podría ser un extremo del carro móvil, el punto medio, un punto notable de la herramienta que transporta.

Puesto que estos planos deberían ser zona común entre diseño mecánico y programación, las cotas deberían indicarse como variables cuyo nombre pueda ser empleando en el propio código del programa PLC-Open, aplicando para ello las restricciones que la norma aplica a los nombres de las variables. Este es un aspecto importante del modelo

porque de una manera fácil se puede asociar la información del plano con el código del programa automatización.

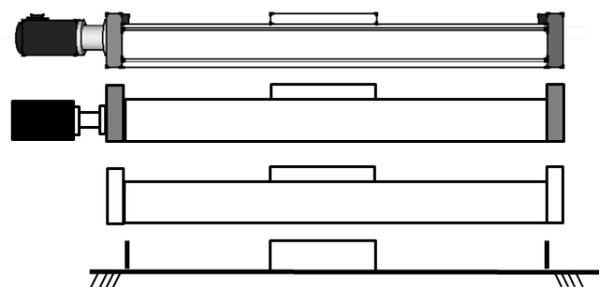


Figura 5: Eje lineal de husillo

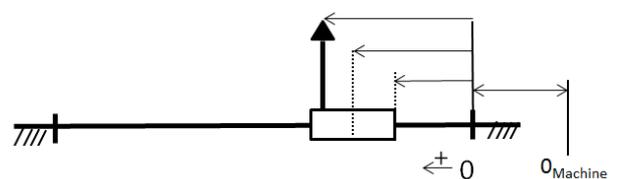


Figura 6: Diferentes puntos sobre los que medir la posición del eje

Se propone por ejemplo, que las distancias usen el prefijo “D” seguido del identificador del punto de origen y el punto de medida. Por ejemplo “D\_Omachine\_Tool” que sería la distancia entre el “cero máquina” y el punto de aplicación de la herramienta. Estos esquemas mecánicos y control de ejes o MMCS (*Mechanical and Motion control Schematics*) se podrían combinar con el código fuente mediante un simple comentario en el código. Por ejemplo, el siguiente programa, activa un eje, lo referencia a una posición concreta para después ejecutar un movimiento absoluto referido a dicha origen y finalmente un movimiento relativo a la anterior posición. En los comentarios se indica que MMCS se debe consultar para aclarar detalles y casar las órdenes de control con la mecánica.

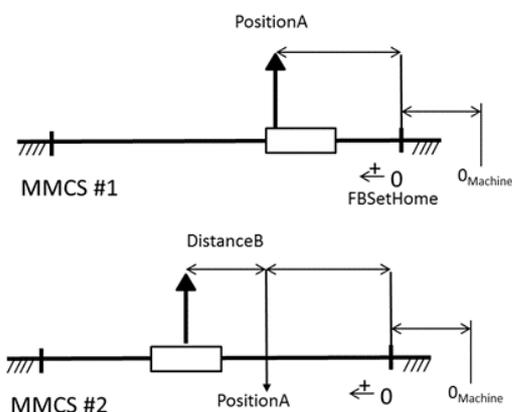


Figura 7: Ejemplo

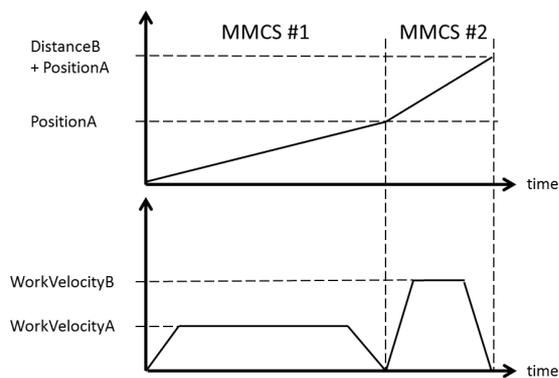


Figura 8: Cronograma ejemplo eje lineal  
En la Figura 7 se muestran los MMCS que representan la operación de referenciado y los dos movimientos (Figura 8).

### 3.2 DOS EJES PARALELOS, EJE VIRTUAL

Otro ejemplo de dos ejes, son las configuraciones en Gantry (Figura 9).

Se trata de dos o más ejes paralelos que se desplazan de forma sincronizada para transportar una estructura solidaria a los carros móviles. Es claro que si la diferencia de posición de ambos carros es excesiva la estructura se torcería y quedaría bloqueada.

Para minimizar la diferencia de posición entre los ejes estos tienen que estar sincronizados. Un eje recibiría las órdenes de movimiento y haciendo de maestro sobre el segundo eje, que sería el esclavo y se moverían sincronamente.

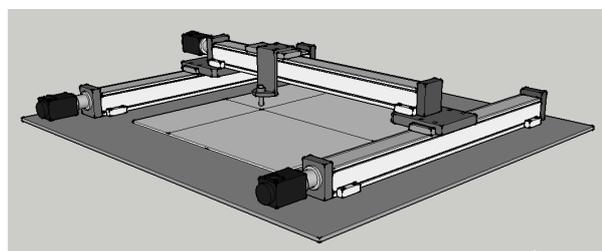


Figura 9: Sistema de ejes con dos ejes paralelos en configuración Gantry.

La relación maestro-esclavo, es una condición cinemática temporal creada por software. El controlador de ejes, lee la posición el eje maestro y la utiliza como posición de destino para el eje esclavo. En el identificador del eje maestro se indicaría con una letra M seguida de los ejes esclavos. Y en el eje esclavo, una S seguida del identificador el eje maestro. Por ejemplo X\_MY, es decir, eje X maestro de eje Y. Y a su vez Y\_SX (Figura 11).

El tiempo que tarda en leerse la posición del eje maestro y transmitírsela al eje esclavo, produce un retardo que tiene como consecuencia que el esclavo se posicione en una posición en la que el maestro ya no está. Generándose una diferencia entre ambos.

Una posible solución es el uso de ejes virtuales. Los ejes virtuales son ejes lógicos, con un comportamiento teórico e ideal que no tienen asociado accionamiento ni mecánica real.

```

FBPowerAxis( axis:=LinearAxis1, enable:= PowerLinearAxis1);

// Homing mechanics reference details MMCS#1
FBSetHome( axis:= LinearAxis1, execute:= FBPowerAxis.Status AND DoHomeAxis);

// Move absolute axis to point A, (details MMCS#1)
FBMoveToPointA( axis:=LinearAxis1, execute:= (LinearAxis1.Details.Homed AND MoveToA),
                Position:=PositionA, Velocity:= WorkVelocityA);

// Move relative axis a distance B, (details MMCS#2)
FBMoveDist ( axis:=LinearAxis1, execute:= FBMoveToPointA.Done,
            Distance:= DistanceB, Velocity:=WorkVelocityB);

```

Figura 10: Homing y posicionado.

Surge por tanto la necesidad de representar en un plano de naturaleza mecánica un recurso que solo tiene representación lógica dentro del control de ejes. Se propone representarlos de forma similar a los ejes reales, pero con línea discontinua y puesto que no tiene carro móvil asociado un rombo o flecha. Se notaría con prefijo V y seguirían las mismas normas de notación que los ejes reales teniendo en cuenta su posición virtual en la máquina. De esta forma el ejemplo virtual maestro de los dos ejes reales se notaría como VX\_MX1\_MX2.

El código en ST de PLC-Open que establecería las relaciones entre el eje virtual y los esclavos junto con una orden de movimiento quedaría de la siguiente forma (Figura 12). Aunque un eje solo puede ser esclavo de un único maestro en un momento dado, podría serlo de diferentes maestros en diferentes momentos. En este caso, se podrían indicar en el nombre del eje esclavo los de los maestros, solo los de maestro que mayor tiempo ejerza el control o ninguno. También se puede plantear que si la relación maestro-esclavo tiene una duración temporal escasa respecto al tiempo total, obviar la indicación.

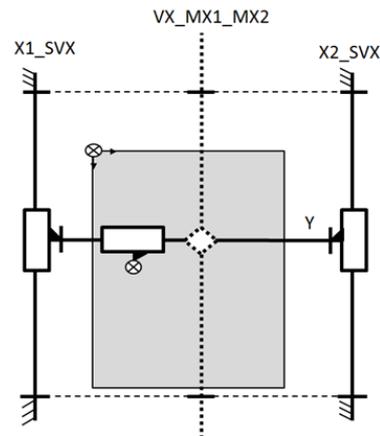


Figura 11: Vista superior del sistema Gantry.

#### 4 SUMARIO Y CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema de representación preliminar para la representación de sistemas básicos de control de ejes: M.MCS (*Mechanical and Motion control Schematics*).

```

FBPowerX1( axis:=X1_SVX, enable:=ActivateAxis); // MC_Power to axis X1
FBPowerX2( axis:=X2_SVX, enable:=ActivateAxis); // MC_Power to axis X2
FBPowerY( axis:=Y, enable:=ActivateAxis); // MC_Power to axis Y

// MC_GearIn, function Blocks for activate Master-Slave control between VX and X1 and X2
// See details MMCS #3
FBGearIN1( master:=VX_MX1_MX2 ,slave:=X1_SVX, execute:=ActivateGearVX_X1_X2,
           RatioNumerator:=1, RatioDenominator:=1, ReferenceType:=_eMC_REFERENCE_TYPE#_mcFeedback);

FBGearIN2( master:=VX_MX1_MX2 ,slave:=X2_SVX, execute:=ActivateGearVX_X1_X2,
           RatioNumerator:=1, RatioDenominator:=1, ReferenceType:=_eMC_REFERENCE_TYPE#_mcFeedback);

// MC_MoveAbsolute, function block to move VX and because of previous MC_GearIn, synchronously X1 and X2
FBMoveVX( axis:=VX_MX1_MX2, execute:= (MoveX1_X2 AND FBGearIN1.InGear AND FBGearIN2.InGear),
          position:= PositionDestinationX, velocity:= WorkVelocityX);

// MC_MoveAbsolute, function block to move Y
FBMoveY( axis:=Y, execute:= MoveY,
         position:= PositionDestinationY, velocity:= WorkVelocityY);

```

Figura 12: Activación de relación maestro esclavo entre un eje virtual y dos reales.

A partir de los elementos básicos del modelo presentados en este artículo, se han definido modelos de representación para otros elementos tanto mecánicos, como eléctricos y de control, como por ejemplo, ejes rotativos, finales de carrera, sensores, campos de visión de cámaras, TCP de robots, representación de ECAM sobre el propio esquema, etc. Estas representaciones de sistemas más complejos no se han presentado en este artículo. Un sistema de representación combinado permitiría el intercambio de información entre diferentes perfiles formativos y profesionales sin tener que conocer las herramientas y normas gráficas de otros. El modelo ha permitido presentar de una forma sencilla y precisa, sistemas mecatrónicos en el ámbito docentes, tanto al alumnado con perfil formativo mecánico como de control y automatización.

La nueva propuesta está siendo empleada para la docencia de "sistemas de control ejes" permitiendo presentaciones simples y claras de sistemas mecatrónicos.

## Referencias

- [1] ISO, "128:2003 Technical drawings, parts 1-2x".
- [2] ISO, "3952 Kinematic Diagrams – Graphical symbols, parts 1-4".
- [3] IEC, "61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages".
- [4] ISO, "5455:1979 Technical drawings – Scales".
- [5] ISO, "6433:2012 Technical product documentation -- Part references".
- [6] UNIMOTION, "MTJ 65 LINEAR UNIT," p. <http://unimotion.eu/en/index/browseproductscategory/cid/587>.
- [7] F. G. a. W. G. Yongjun Bai, "Design of mechanical presses driven by multi-servomotor," *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2011.
- [8] H. L. a. Y. Zhang, "Seven-bar mechanical press with hybrid-driven mechanism for deep drawing;," *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2010.
- [9] W. G. D. Z. T. H. Wenjie Tian, "A general approach for error modeling of machine tools," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 79, pp. 17-23, 2014.
- [10] J. Yang and Y. Altintas, "Generalized kinematics of five-axis serial machines with non-singular tool path generation," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, pp. 119-132, 2013.
- [11] W. Liping, X. Huayang, G. Liwen and Z. Yu, "A novel 3-PUU parallel mechanism and its kinematic issues," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2016.
- [12] P. Xu, C.-F. Cheung, B. Li, L.-T. Ho and J.-F. Zhang, "Kinematics analysis of a hybrid manipulator for computer controlled," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2016.
- [13] J. Zhang, Y. Zhao and Y. Jin, "Kinetostatic-model-based stiffness analysis of Exechon PKM," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2016.
- [14] Y. Jiang, T.-m. Li and L.-p. Wang, "Dynamic modeling and redundant force optimization of a 2-DOF parallel kinematic machine with kinematic redundancy," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2014.
- [15] PLC-Open, "<http://www.plcopen.org/index.html>".
- [16] PLC-Open, "TC-2 Motion Control," p. [http://www.plcopen.org/pages/tc2\\_motion\\_control/index.htm](http://www.plcopen.org/pages/tc2_motion_control/index.htm).
- [17] ISO, "841:2001 Industrial automation systems and integration -- Numerical control of machines -- Coordinate system and motion nomenclature".
- [18] ISO, "369 Machine tools -- Symbols for indications appearing on machine tools," 2009.
- [19] ISO, "2203 Technical drawings -- Conventional representation of gears," 1973.
- [20] ISO, "1219 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams".
- [21] OMRON, "NJ/NX-series Motion Control Instructions Reference Manual (W508)," pp. 3-282.
- [22] "Manual PLC Lib: Tc2\_MC2 TWINCAT 3," p. 74, 2016.
- [23] ABB, "Flying Shear [http://www.baldormotion.com/includes/load\\_apps.asp?ID=AN00122](http://www.baldormotion.com/includes/load_apps.asp?ID=AN00122)".
- [24] SIEMENS, "SIMOTION SCOUT Configuration Manual," p. 37.
- [25] Z. W. & P. G. Maropolous, "Real-time error compensation of a three-axis machine tool," *Int J Adv Manuf Technol*, 2013.
- [26] R. Halicioglu, L. C. Dulger and A. T. Bozdana, "Modeling, design, and implementation of a servo press for metal-forming application," *Int J Adv Manuf Technol*, 2016.
- [27] J. E. T. & R. F. D. &, "Rapid prototyping of fuzzy controller pneumatic," *Int J Adv Manuf Technol*, 2007.
- [28] J.-S. Mo, Z.-C. Qiu, J.-Y. Wei and X.-M. Zhang, "Adaptive positioning control of an ultrasonic linear motor system," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2016.
- [29] Z. T. W. C. Z. Y. B. H. C. Y. Li E., "Type Synthesis and Analysis of Two-Axis Swaying Platform with Virtual Rotation Axis," *Advances in Reconfigurable Mechanisms and Robots II*, pp. pp 455-469, 2015.