

# Sistema inteligente de inspección y referenciado para operaciones de perfilado de paneles termoaislantes

Informe técnico

Diciembre, 2018

Alberto Villalonga, Fernando Castaño, Javier López, Rodolfo Haber



## INDICE

Resumen .....	3
Introducción.....	3
Estudio del proceso de perfilado de paneles de XPS mediante hilo caliente de titanio y de los requisitos de las operaciones de corte. ....	3
Máquina Coner ThermoCUT Pro 300 Maxi.....	4
Cut 1000S- 3D Series .....	4
Estudio de los sistemas de visión artificial para inspección 3D.....	6
Propuesta conceptual de sistema de supervisión y control inteligente para fábrica adaptativa. Prolegómenos.....	8
Diseño mesa giratoria .....	8
- Motor giratorio 90 grados con encoder (ZABER).....	8
- Mesa de granito.....	9
- Mesa aluminio.....	9
- Elementos de sujeción de la pieza de XPS. ....	10
- Pórtico para sensor.....	11
Diseño conceptual de sistema de supervisión y control inteligente.....	12
Conclusiones.....	15
Referencias .....	15

## **Resumen**

En este informe se presenta el diseño conceptual para el desarrollo y validación de un sistema inteligente de toma de decisiones para inspección y referenciado asistido de operaciones de perfilado de paneles termoaislantes de poliestireno extruido de alta densidad (XPS), utilizados como revestimiento para envoltorio de edificios. El principal reto tecnológico es la disminución de los tiempos de fabricación, reducir los errores o defectos de fabricación en las operaciones de perfilado con máquinas de corte mediante hilo caliente de titanio. El resultado esperado es un sistema de toma de decisiones que lleva a cabo medidas de corrección a partir de imágenes tomadas mediante un sensor de desplazamiento láser 3D. Estas correcciones son requeridas dada las posibles variaciones dimensionales de los paneles de XPS.

## **Introducción**

El diseño de un sistema inteligente de toma de decisiones, basado en técnicas de Inteligencia Artificial es una de las etapas clave en la transformación digital de las pequeñas y medianas empresas [1]. Los sistemas inteligentes de monitorización y control basados en técnicas como la Lógica borrosa y las redes neuronales artificiales han mostrado su viabilidad en muchas aplicaciones en la industria manufacturera [2,3]. En los procesos de fabricación y específicamente los procesos de mecanizado han sido intensamente utilizadas técnicas de optimización y parametrización óptima para afrontar retos en la macro y micro escala relacionados con el acabado superficial, la detección del desgaste de las herramientas y en general para la selección óptima de condiciones de operación [4, 5].

En este trabajo se utilizarán los sistemas neuroborrosos para la corrección de la posición relativa panel-hilo de corte [6]. El objetivo de este sistema inteligente es, a partir de la información obtenida mediante el sistema de inspección de visión artificial, corregir en proceso los posibles errores dimensionales de las piezas o ajustar las referencias del sistema de posicionamiento de la herramienta de corte, ya sea de forma automática por medio de una tabla de búsqueda anidada o de forma asistida mediante la intervención de un operador [7]. El diseño de este sistema requiere de la instalación previa del sistema de visión artificial y de su caracterización básica a través de breves estudios experimentales. Para el diseño del sistema se requerirá del uso de herramientas computacionales de diseño, como pueden ser herramientas para procesamiento de imágenes, Matlab o Simulink como herramienta de cálculo ingenieril, LabVIEW o LabWindows/CVI para la implementación de los algoritmos de toma de decisiones, entre otras herramientas [8].

## **Estudio del proceso de perfilado de paneles de XPS mediante hilo caliente de titanio y de los requisitos de las operaciones de corte.**

En esta sección se presenta el estado de la técnica en relación con las soluciones de máquinas dotadas de control numérico para perfilado de paneles de XPS, así como de las operaciones de corte y herramientas más apropiadas y que cumplen los requisitos planteados. Esta tarea tiene como punto de partida las especificaciones y requisitos de funcionamiento que debe cumplir un sistema automático o asistido para realizar el perfilado de paneles de XPS, a definir. Las especificaciones han sido principalmente requisitos tales como la precisión o tolerancias admitidas para las operaciones de corte,

tiempo de ejecución de las operaciones, tipos de materiales, entre otros. A partir de estas especificaciones se ha realizado un breve estudio que ha incluido una revisión del estado de la técnica sobre soluciones de máquinas dotadas de control numérico para perfilado de paneles de XPS, así como de las operaciones de corte y herramientas más apropiadas y que cumplen los requisitos planteados, y que se presentan a continuación.

### **Máquina Coner ThermoCUT Pro 300 Maxi**

La empresa Coner comercializa la máquina que ofrece una mejor relación prestaciones-coste de adquisición y mantenimiento. La máquina de corte por hilo térmico es un dispositivo controlado por computadora que utiliza un cable de resistencia de titanio que se calienta hasta aproximadamente 800 ° C. El calor liberado por el cable hace que el material se evapore en su entorno inmediato, lo que da el efecto de "cortar". El control digital de los parámetros de trabajo, combinado con la capacidad de crear sus propias bibliotecas de materiales, hace que los elementos de corte se caractericen por una precisión sin precedentes. El uso de muchas técnicas de acabado disponibles le permite crear la ilusión de una variedad de materiales. Los proyectos creados de esta manera son muy atractivos visualmente y con un precio.

Las máquinas THERMOCUT permiten cortar cualquier objeto espacial en materiales con una densidad de hasta 60 kg / m<sup>3</sup> y se someten a tratamiento térmico, por ejemplo: poliestireno, styrodur, espuma de poliuretano y otros. A continuación, se muestra la máquina con sus elementos principales. Esta es la máquina escogida por sus características, aunque dispone de un software cerrado, el diseño que veremos más adelante se ha realizado a partir de la misma.



<http://www.coneritalia.it/wp-content/uploads/2016/02/1->

16.jpg

### **Cut 1000S- 3D Series**

Esta máquina de corte por hilo dispone de CNC para corte controlado por computadora de contornos 2D y 3D de Styrofoam, Styrodur, EPP y otras espumas. La mesa de la máquina extremadamente estable está hecha de perfiles de acero soldados y pintados, es variable y permite mover los portales juntos o separados para una configuración rápida e individual de la máquina. 4 ejes independientes permiten realizar cortes 3D con diferentes

contornos de tamaño en el portal A y B, como conos o columnas cónicas. La tensión del hilo de corte para cortes paralelos está controlada por un muelle duro y para cortes independientes de 4 ejes con un cambio de longitud de hasta 150 mm mediante un muelle blando. Estas máquinas son adecuadas para procesar tableros de aislamiento y bloques de hasta un tamaño de 1.250x1.050 mm (X / Y) y un grosor de 1.250 a 5.000 mm (cable). Sin embargo, tiene un elevado coste.

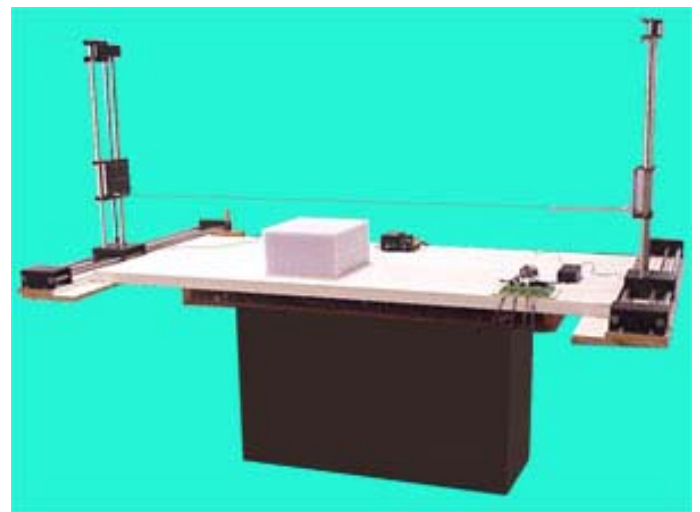
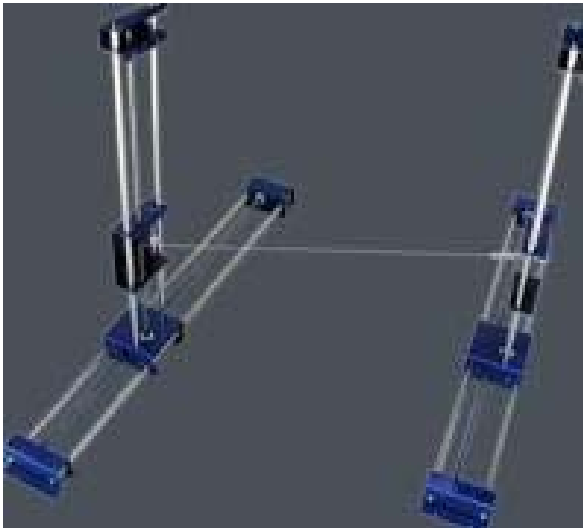


**cnc-multitool GmbH** [info@cnc-multitool.com](mailto:info@cnc-multitool.com)

<http://www.cncmultitool.com/cnc/foam-cutting-machine/independent-axis/craft/cut2500s.html>

#### FC5539K CNC Hot Wire Foam Cutter HD-Kit

Finalmente, mostramos el modelo FC5539K, el más económico del mercado, y en el que usuario se instala todas las partes y componentes, incluido el software. Sin embargo, hay grandes limitaciones en cuanto a la precisión de este equipo.



<http://www.tekoa.com/fc5539k-cnc-hot-wire-foam-cutter-hd-kit-pr-14.html>

### **Estudio de los sistemas de visión artificial para inspección 3D.**

El estudio a realizar en esta tarea ha permitido conocer el estado de la técnica de los sistemas de visión artificial, disponibles comercialmente, que permitan realizar operaciones de inspección tridimensional, además de las herramientas computacionales disponibles para la adquisición y manejo de imágenes. Estos sistemas tienen como objetivo conocer las dimensiones geométricas de las piezas a cortar, así como la calidad de las operaciones de corte realizadas.

El estudio se centró en el elemento más importante para realizar la inspección, el sensor, a través del cual determinaremos la altura de las planchas XPS. Realizado el estudio de los diferentes dispositivos encontrados en el mercado, para realizar las funciones necesarias para el proceso de medición de los paneles XPS, son los siguientes:

- Sensor de desplazamiento 3D (Serie DS1000), marca Cognex:

Realizado el análisis de propiedades de este dispositivo, éste ofrece las funciones necesarias de acuerdo con las especificaciones del proyecto, pero examinando cada una ellas, encontramos funciones que no son necesarias para nuestro proyecto, como, por ejemplo, no es necesario obtener la visión de la pieza entera (3D) ya que solo necesitaremos que el sensor capte el perfil de la plancha para obtener los puntos que determinan la altura. La ventaja principal que tiene, es la buena precisión, ya que el error de medición está bastante por debajo de las especificaciones de fijadas (1 mm), frente a otros modelos considerados en este estudio. El principal inconveniente es el elevado coste, lo que limita su implantación industrial a nivel de planta y también la amortización.

**Beneficios**

Solución completa de visión por computadora 2D y 3D

- Más opciones de sensores
- Incluye el controlador VC5
- Fácil implementación gracias al software Cognex Designer™

Medición en unidades reales (mm)

- Sistema 3D calibrado
- Precisión a nivel micrométrico

Inspección independiente del contraste

- Objeto oscuro sobre fondo oscuro
- Independiente del color

Capacidad para combinar cámaras en 3D y 2D

- Muchas aplicaciones requieren ambas



[http://www.cognex.com/uploadedImages/2014\\_Taxonomy/Products/Product\\_Pages/Machine\\_Vision/3D\\_Machine\\_Vision/DS1000/ds1000\\_set.jpg?n=7951](http://www.cognex.com/uploadedImages/2014_Taxonomy/Products/Product_Pages/Machine_Vision/3D_Machine_Vision/DS1000/ds1000_set.jpg?n=7951)

- Sensor óptico de perfiles LES 36 HI/VC6, marca Leuze electronics:

Este dispositivo se ajusta más a los requisitos y especificaciones del proyecto, tiene las características necesarias, y no solo para realizar las funciones que necesitamos. Cumple con la tolerancia establecida, y el software es más abierto para el control del dispositivo. Esto permite implementar una biblioteca/software propio y realizar el control en función de nuestras tareas concretas. Se realizaron varias reuniones con la empresa suministradora de Leuze, y se han realizado varios ensayos.

Evaluados ambos dispositivos, se seleccionó el sensor óptico **LES 36 HI/VC6**, principalmente porque es un dispositivo más simple, con un acceso a su software más fácil, y todo esto, hace que su precio sea inferior al de otros dispositivos con más características. No tenemos en cuenta que la tolerancia sea menor en el Cognex, con respecto al Leuze, ya que estamos dentro del rango máximo establecido.

*Características LES 36 HI/VC6:*



[http://www.leuze.com/selector/ci\\_img/Heiler/Volumes/Volume0/opusdata/d100001/derivates/2/167/770/78/DV002\\_326px\\_PPIC\\_LPS36-EN\\_hohe\\_Aufl\\_kl-Messb\\_anthrazit\\_R.jpg](http://www.leuze.com/selector/ci_img/Heiler/Volumes/Volume0/opusdata/d100001/derivates/2/167/770/78/DV002_326px_PPIC_LPS36-EN_hohe_Aufl_kl-Messb_anthrazit_R.jpg)

<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Basic data</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Series36</li><li>○ ContainsLxSsoft configuration software</li><li>○ Application3D object detection, Object measurement</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Special design</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Special designSynchronization input</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Optical data</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Light sourceLaser, Red</li><li>○ Laser class2M, IEC/EN 60825-1:2007</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Measurement data</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>○ X-axis measurement range150 ... 600 mm</li></ul>

- Measurement range z-axis 200 ... 800 mm
- Geometric resolution, x-axis 1 ... 1.7 mm
- Geometric resolution, z-axis 1 ... 3 mm
- Repeatability of Z-axis, relative to measurement distance 0.5 %
- Measurement time 10ms
- Linearity of Z-axis, relative to measurement distance 1 %
- Minimum object size, x-axis 2 ... 3 mm
- Minimum object size, z-axis 2 ... 6 mm
- Black/white behavior 1 %

En el anexo se muestran todas las características de este sensor láser.

El siguiente paso después de realizar la elección del dispositivo de medida es el diseño del sistema de control y supervisión inteligente. Sin embargo, es imprescindible realizar el diseño de componentes esenciales tales como la estructura portante que desplazará la pieza de XPS para ser medida con el láser y llevar a cabo la compensación y posterior corte. También es imprescindible el diseño de la mesa giratoria, y la simulación mediante elementos finitos de toda la estructura diseñada. A continuación, se muestran los detalles.

### **Propuesta conceptual de sistema de supervisión y control inteligente para fábrica adaptativa. Prolegómenos**

#### **Diseño mesa giratoria**

La mesa es la estructura en la que se colocará la plancha de XPS para ser cortada. La mesa está formada por un motor que gira al menos 90 grados sobre el cual se apoya una estructura de aluminio, la cual servirá para sustentar la plancha XPS. Todo ello irá encima de una mesa anti vibratoria, para que no haya ninguna perturbación en la medida y en el corte producidas por la vibración de motores y los desplazamientos del sensor.

Características de los componentes:

- Motor giratorio 90 grados con encoder (ZABER)
  - Capacidad de carga 50 Kg (peso calculado 28Kg).
  - Velocidad max 24 grados y 10 Nm.
  - Comunicación USB 2.0 o RS-232.





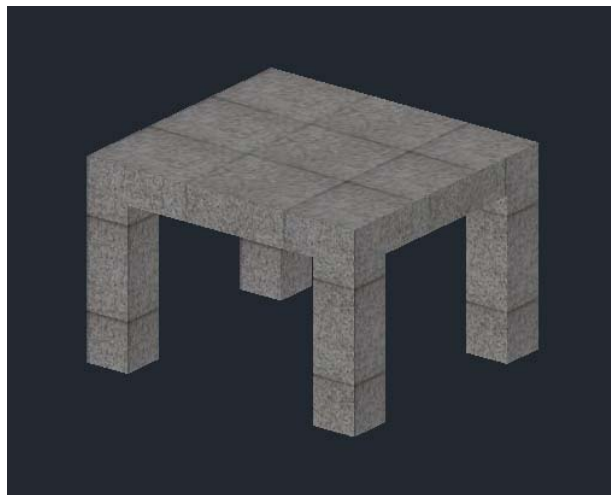
Motor giratorio Zaber

El anclado a la mesa anti vibración se realizará por medio de tornillos M6.

- Mesa de granito

- Dimensiones aproximadas 588 x 652 mm (espesor 80 mm)
- Altura 480 mm en función de la estructura de la máquina.
- En la base de las patas lleva tacos anti vibración para peso superior a 150 Kg

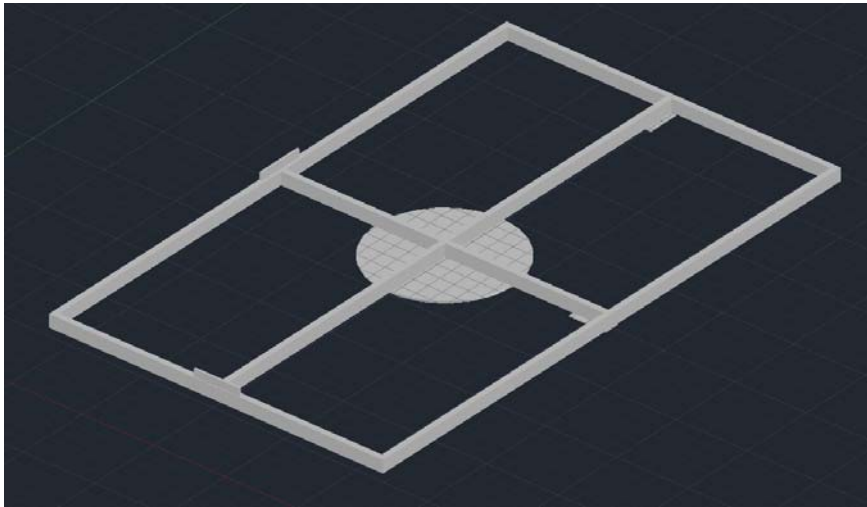
A continuación, se muestra el diseño de la mesa de granito.



Mesa granito realizada en AutoCAD 2015 Mechanical

- Mesa aluminio

- Dimensiones 2424 x 1465
- Perfiles en cuadrado (50 x 25 x 1.5 mm).
- Plancha de 8 mm en la zona central para repartir la carga sobre el motor, sobre la que irán soldado los perfiles en forma de cruz. A continuación se muestra el diseño realizado en AutoCAD.



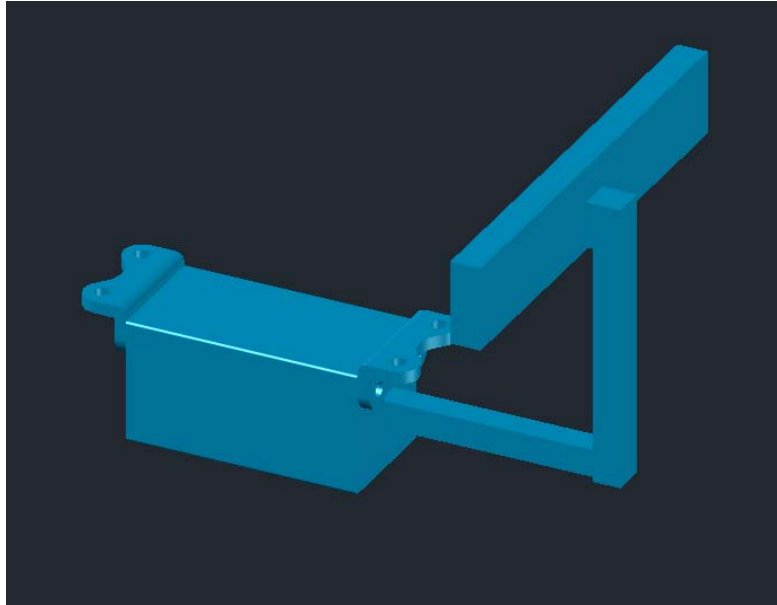
Estructura mesa giratoria realizada en AutoCAD 2015 Mechanical

- Elementos de sujeción de la pieza de XPS.

Una vez diseñada la mesa y la estructura, una cuestión clave es cómo se fijará la pieza de XPS a la mesa para ser medida, compensada y finalmente cortada. Para ello, y después de un estudio y simulación del conjunto se eligieron elementos de sujeción FESTO formados por:

- Dos cilindros compactos neumáticos de 30 mm de carrera, con vástago anti giro.
- Se realizar una pieza en el extremo del vástago (125 x 27.5 mm) para repartir el esfuerzo por mayor superficie de la plancha.
- Cada cilindro irá colocado en dos lados distintos de la mesa.

Para la línea de alimentación de aire, los cilindros actúan con una presión de 6 bar para ejercer la fuerza necesaria. A continuación, se muestra el diseño realizado.

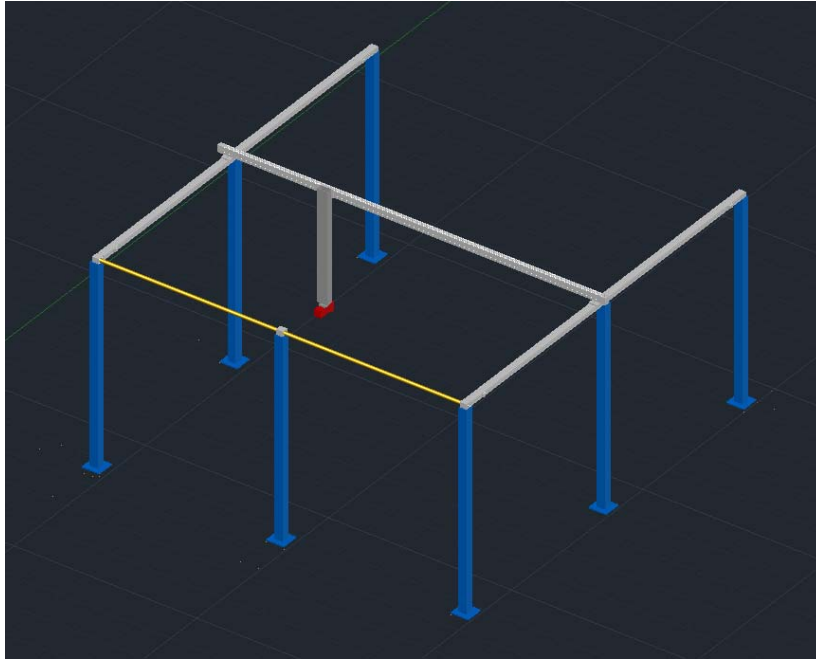


Sujeción neumática AutoCAD 2015 Mechanical

#### - Pórtico para sensor

El sistema de medición e inspección diseñado requiere necesariamente de la instalación en la planta y que no interfiera con el proceso productivo. De este modo, después de un profundo estudio y análisis se eligió una estructura tipo pórtico para instalar el sensor, suministrado por la empresa Hepcomotion. Las características son las siguientes:

- Dimensiones 3200 x 3080 mm
- Columnas de acero de 70 x 70 mm, por fuera de la propia estructura de la máquina para soportar el peso de los carriles PD2URT (Eje X) y PD2URD (Eje Y) (2 unidades unidas por un eje con motor central, para repartir los esfuerzos).
- El carril del eje X, llevará acoplado una pequeña estructura para montar el sensor a la altura deseada
- Los motores para realizar el desplazamiento son NEMA 34, los cuales llevara una tarjeta controladora y su propia fuente de alimentación.



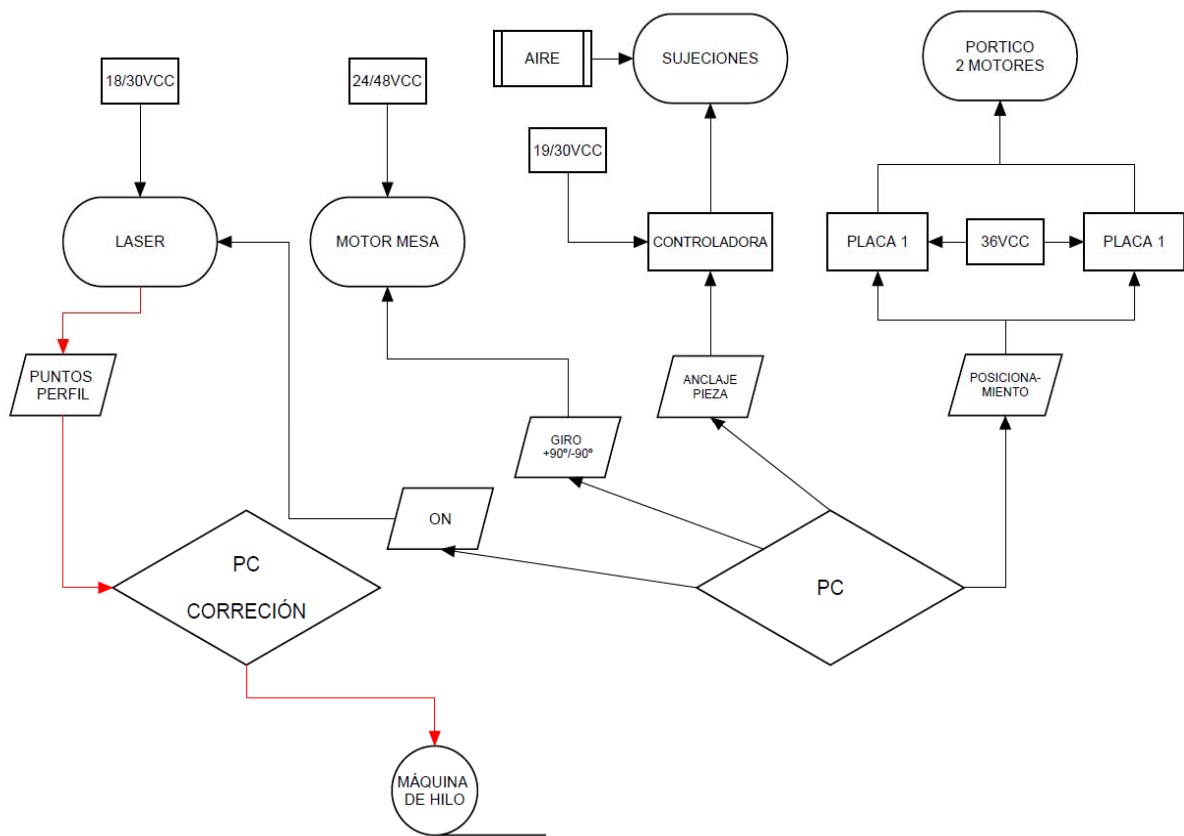
Pórtico para movimiento del láser LES36HI/VC6 en AutoCAD 2015 Mechanical

En los anexos a final del documento se muestran las características y los planos de los componentes, así como de todos los elementos que se han diseñado y simulado.

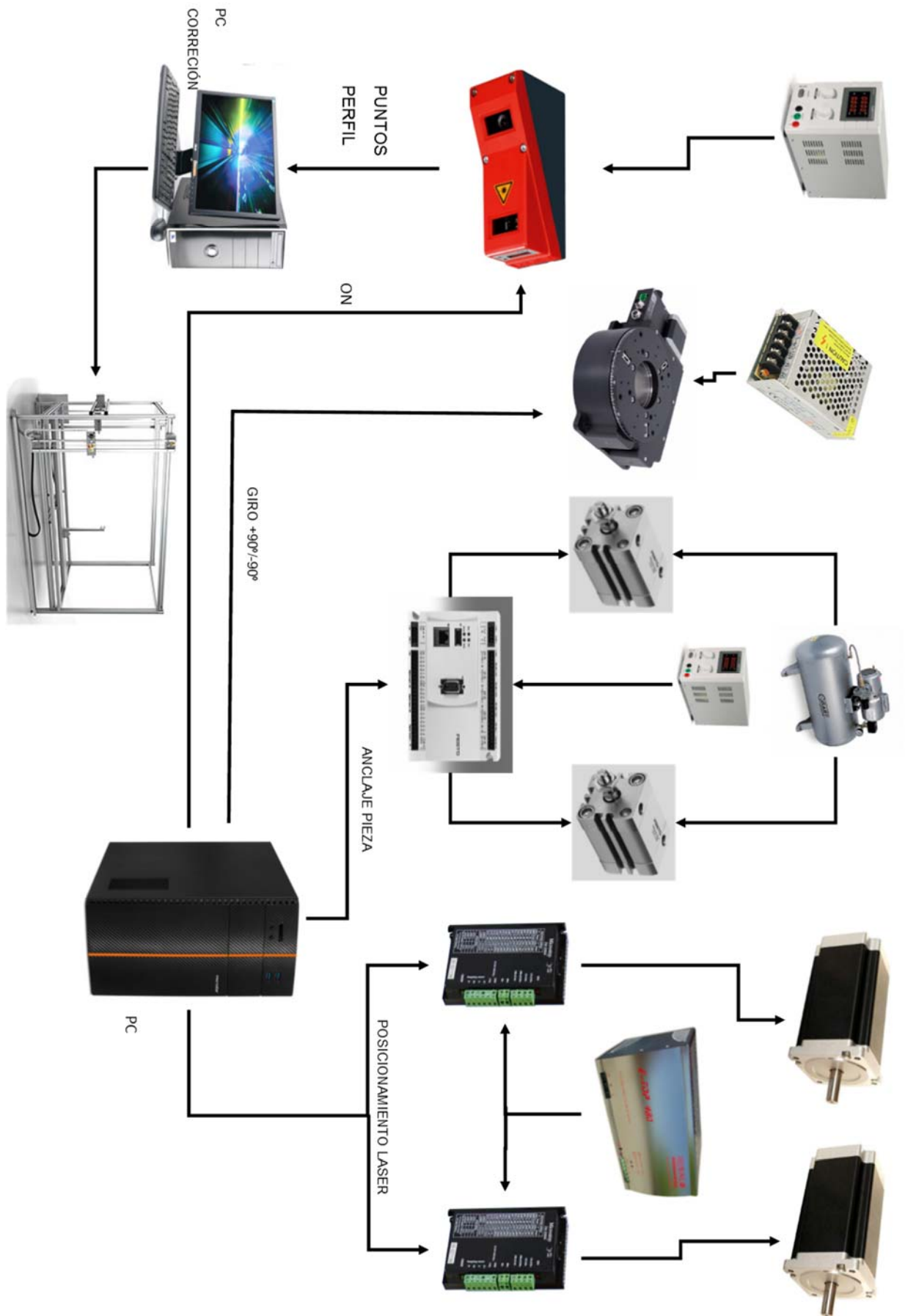
### **Diseño conceptual de sistema de supervisión y control inteligente**

Los diferentes componentes que forman parte del proyecto tienen entradas y salidas de información entre ellos. Esa información es procesada por un PC, que controlará el flujo de entrada de los dispositivos, a saber: motor de la mesa giratoria, controladora de los actuadores neumáticos (a través de una tarjeta), y el pórtico-láser (2 tarjetas para ambos motores eje X y eje Y; láser). Un único dispositivo de cómputo (PC) procesará los datos obtenidos por el láser de medición. Al tener que procesar demasiados datos hemos considerado utilizar otro PC para no saturar el sistema en uno solo, y realizar las operaciones más rápido. De todos estos componentes hay que tener en cuenta otro flujo, que es la alimentación de cada uno de ellos que será aportada por diferentes fuentes de tensión ya que cada uno de ellos tiene distintas tensiones.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo y finalmente se muestra el diseño final del sistema de control y supervisión inteligente con todos los componentes seleccionados y realizadas las simulaciones y estudios correspondientes.



Esquema conceptual del sistema



Esquema conceptual del sistema de supervisión y control

## Conclusiones

En este informe se presentan las contribuciones que se han centrado en el estudio del proceso de perfilado de paneles de XPS mediante hilo caliente de titanio y de los requisitos de las operaciones de corte, el estudio de los sistemas de visión artificial para inspección 3D y el Diseño y desarrollo de sistema inteligente de toma de decisiones. En este aspecto, se ha realizado el diseño inicial del sistema inteligente de toma de decisiones, para la corrección de la posición relativa panel-hilo de corte. El objetivo de este sistema inteligente es, a partir de la información obtenida mediante el sistema de inspección de visión artificial, corregir en proceso los posibles errores dimensionales de las piezas o ajustar las referencias del sistema de posicionamiento de la herramienta de corte, ya sea de forma automática por medio de una tabla de búsqueda anidada o de forma asistida mediante la intervención de un operador. Finalmente, este informe recoge una propuesta conceptual de sistema de supervisión y control inteligente para el proceso de fabricación adaptativa de paneles compuestos. Este diseño se ha realizado en el marco del estudio para propuesta conceptual de sistema de supervisión y control inteligente para fábrica adaptativa. Se trata de una propuesta conceptual de un sistema de supervisión y control inteligente para una fábrica adaptativa de paneles de XPS compuestos para revestimiento de edificios. La propuesta de diseño está enmarcada dentro del contexto de la Industria 4.0 o la fábrica inteligente. El enfoque de Fábrica Inteligente es necesario dado los requisitos de fabricación a medida de los paneles de XPS, según las especificaciones dimensionales de cada edificio.

## Referencias

- [1] S. Iarovy, J. L. M. Lastra, R. Haber, and R. Del Toro, "From artificial cognitive systems and open architectures to cognitive manufacturing systems," in *Proceeding - 2015 IEEE International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2015*, 2015, pp. 1225–1232, doi: 10.1109/INDIN.2015.7281910.
- [2] R. Haber-Guerra, S. Y. Liang, J. R. Alique, and R. Haber-Haber, "Fuzzy control of spindle torque in high-speed milling processes," *J. Manuf. Sci. Eng. Trans. ASME*, vol. 128, no. 4, pp. 1014–1018, 2006, doi: 10.1115/1.2194063.
- [3] A. Gajate, R. E. Haber, J. R. Alique, and P. I. Vega, *Transductive-weighted neuro-fuzzy inference system for tool wear prediction in a turning process*, vol. 5572 LNAI. 2009.
- [4] R. E. Haber, G. Beruvides, R. Quiza, and A. Hernandez, "A simple multi-objective optimization based on the cross-entropy method," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 22272–22281, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2764047.
- [5] G. Beruvides, F. Castaño, R. Quiza, and R. E. Haber, "Surface roughness modeling and optimization of tungsten-copper alloys in micro-milling processes," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 86, 2016, doi: 10.1016/j.measurement.2016.03.002.
- [6] R. E. Haber, J. R. Alique, A. Alique, and R. H. Haber, "Controlling a complex electromechanical process on the basis of a neurofuzzy approach," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 21, no. 7, pp. 1083–1095, 2005, doi: 10.1016/j.future.2004.03.008.
- [7] R. E. Haber, C. Juanes, R. Del Toro, and G. Beruvides, "Artificial cognitive control with self-x capabilities: A case study of a micro-manufacturing process," *Comput. Ind.*, vol. 74, 2015, doi: 10.1016/j.compind.2015.05.001
- [8] F. Castaño, G. Beruvides, A. Villalonga, and R. E. Haber, "Self-tuning method for increased obstacle detection reliability based on internet of things LiDAR sensor models," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 5, 2018, doi: 10.3390/s18051508.