

Diseño e Implementación de una Celda de Manufactura Robotizada, para la Réplica de Piezas 3D, mediante fresado en el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-EL

Acuña Fausto, Singaña Marco, Acosta Nora, Caizalitín Edwin

*Ingeniería Mecatrónica. Departamento de Energía y Mecánica de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE
Latacunga - Ecuador.*

fvacunia@espe.edu.ec

masingania@espe.edu.ec

acostanora@gmail.com

edwin_zgz@yahoo.es

Resumen – En la manufactura, una de las operaciones frecuentes es la réplica de partes y piezas utilizando múltiples procesos complejos, costosos y demorados hasta obtener el modelo exacto. Una de las tecnologías para la réplica de piezas 3D en la actualidad es a través de un escáner 3D, que digitaliza un objeto y crea una nube de puntos que se recubren en una malla dando su forma final. La información que se obtiene mediante este proceso se puede utilizar para varias aplicaciones industriales en el campo de la manufactura, a través de máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) para la reproducción de las piezas o a su vez mediante brazos robóticos industriales que están a la vanguardia en celdas de manufactura en los países industrializados. Para la réplica, se utiliza herramientas informáticas tales como: NumiSoft que junto con el escáner digitaliza piezas en 3D, la aplicación SolidWorks, adquiere los datos escaneados y los convierte en superficies, Mastercam, obtiene las trayectorias para el mecanizado y el complemento CAM Rob de KUKA Sim Pro, que genera el lenguaje del robot a partir de los códigos G, éste se exporta al controlador del robot, permitiendo así que el brazo robótico junto al cabezal fresador realice las trayectorias de fresado y se obtenga de esta manera las réplicas. A través de las pruebas y resultados se determinó que: el proceso de réplica de piezas no es totalmente exacto, debido a fallas en el escaneo y en menor proporción a la precisión de la máquina durante el mecanizado.

Palabras clave: Ingeniería Mecatrónica\ brazo robótico industrial\ cabezal fresador\ réplicas 3d\ fresado

I. INTRODUCCIÓN

A través del tiempo la manufactura ha sido practicada por artesanos y sus aprendices, se ha venido practicando durante miles de años, empezando a tallar piedra, madera, metales, entre otros.

Con la llegada de la segunda revolución industrial la manufactura se benefició con la tecnología de las computadoras y diversos dispositivos electrónicos, haciendo

posible el desempeño de tareas con una mayor eficiencia, mayor control y administración, teniendo un bajo costo.

En países industrializados, debido a la precisión y versatilidad de los robots industriales se utilizan para operaciones de manufactura. Los robots de fresado son equipos tecnológicos de última generación, que permiten realizar trabajos muy precisos y eficaces. [1], [2]

Existe en España, un proyecto similar utilizado para realizar prótesis, en ITOSA (Instituto Técnico Ortopédico) ubicado en Barcelona, que ha logrado automatizar la fabricación de prótesis gracias al proyecto “llaves en mano” que ha realizado el Centro Tecnológico ASCAMM. [3]

En España, específicamente en Gijón (Asturias), la fundación PRODINTEC ha realizado ya varios servicios de mecanizado para distintas empresas. El procedimiento para éstas resulta sencillo, ya que solo deben aportar con el diseño para realizar el mecanizado mediante robot. A partir del CAD se obtiene una trayectoria CAM en el espacio, capaz de generar esa pieza con una máquina de 3 o 5 ejes. Esta trayectoria va a ser seguida por un robot que dispone de siete ejes (seis del robot más uno externo). Incrementando los grados de libertad y el alcance de posiciones distintas. [4]

En empresas como FABLAB VLC de España, el sistema está compuesto de dos robots industriales KUKA sobre un eje lineal y una mesa giratoria, esto aplica un concepto sencillo e innovador, que se caracteriza por su fácil manejo gracias al cambio rápido y flexible de las herramientas. Las trayectorias de movimiento y mecanizado están programadas mediante un sistema CAM. [5]

Tomando en cuenta que los robots industriales ofrecen una gran facilidad en cuanto al mecanizado. Solamente el 2% de robots industriales en el mundo están destinados a estos

procesos, debido a que algunas máquinas ya son diseñadas para estos fines. [6]

En el caso de América latina, países como México, Argentina y Chile acoplan robots industriales en sus procesos de fabricación. En Argentina la empresa PRODISMO cuenta con una celda de mecanizado de Moldes. [7], [8]

Para el caso del Ecuador, los robots industriales están siendo incluidos recientemente en los procesos de fabricación, como son paletizado y soldadura.

En esta investigación, se muestra el primer proyecto de esta naturaleza, realizado en nuestro país, en este proceso se utiliza un escáner 3D de luz estructurada y triangulación para la obtención de modelos y para el mecanizado se cuenta con un robot industrial, el mismo que tiene acoplado un cabezal fresador para operaciones de mecanizado.

II. DISEÑO DEL PROYECTO

En la celda de manufactura se encuentra acoplado al robot de carga ligera KUKA KR16, un cabezal fresador JÄGER Chopper 1500-H, además se cuenta con un escáner 3D OPTINUM NOOME0.

Para el diseño de la celda de manufactura robotizada, se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Dimensionar del área de trabajo.
- Definir el tipo de material para el fresado.
- Seleccionar las herramientas y los sistemas de sujeción
- Diseñar la mesa de trabajo.
- Diseñar el Layout de la celda.

A. Área de trabajo

El área de trabajo para el robot que ejecutará las operaciones de fresado, se determina mediante los movimientos del robot respecto a sus ejes cartesianos y analizando también el alcance máximo que tiene cada eje, el dimensionamiento del área de trabajo se realizó como se muestra en la Fig. 1.

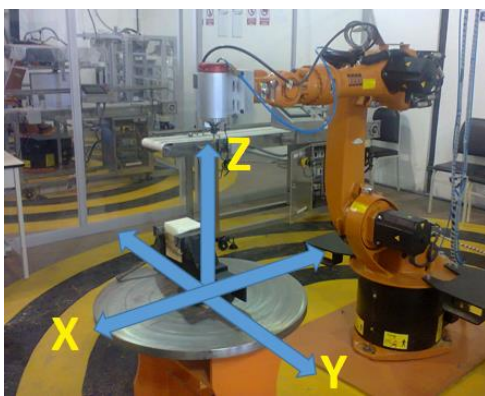


Fig. 1: Recorrido del Robot.

Al analizar las mediciones realizadas para determinar el área de trabajo, en el caso del movimiento en el eje Z, lo más adecuado es la posición en la que el robot se encuentra en reposo (HOME), que es la distancia desde la base hacia el punto central de la herramienta (TCP) sobre el eje Z y será de 500mm. El área de recorrido será respecto a una base cuyo punto central se encuentra a 620mm del piso, para determinar los desplazamientos máximos en los ejes X e Y se midió los recorridos con el cabezal girado 90° en cada extremo, obteniéndose un valor de 740mm, como se muestra en la Fig.2.



Fig. 2: Medición de alcance del Robot.

B. Parámetros de corte

Se determinó el material más adecuado para el mecanizado a partir de las características del robot y el cabezal fresador que son los siguientes. [9]

Potencia= 1.5 KW

Velocidad de giro= 30000 rpm.

Debido a las características del robot se limita el trabajo a materiales blandos, como: aluminio, duralón, grilon, poliuretano, plásticos, etc., ya que gracias a sus excelentes propiedades químicas y térmicas, al poco peso que poseen, a los niveles de ruido reducidos y al no ser necesarios lubricantes, son las opciones más acertadas para mecanizar en una celda de manufactura.

Para el fresado robotizado se debe considerar los siguientes factores: la fuerza de corte (F_c), la potencia de corte (P_c) y la potencia de mecanizado (P_m), donde la fuerza se calcula a partir de la masa disponible que se obtiene: al restar de la capacidad de carga del robot KUKA KR16 (16 Kg) [10] la masa del cabezal fresador más la masa de las placas de aluminio utilizadas para sujetar al robot, mediante las ecuaciones (1) y (2).

$$m_{\text{cabezal}} = 6 \text{ Kg} \quad \rho_{\text{aluminio}} = 2698.4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Dimensiones placa de aluminio = 140 x 170 x 19.5 mm

$$V_{aluminio}=l^3 \quad (1)$$

$$V_{Placa\ de\ aluminio} = 464100\ mm^3$$

$$V_{base\ de\ aluminio} = 2placas \times 464100\ mm^3$$

$$V_{base\ de\ aluminio} = 928200\ mm^3$$

$$\partial_{aluminio} = \frac{m_{aluminio}}{V_{aluminio}} \quad (2)$$

$$m_{base\ de\ aluminio} = \partial_{aluminio} \times V_{aluminio} = 2.50\ Kg$$

Se obtiene la masa total que soporta el extremo del robot, al sumar la masa obtenida de la base de aluminio y la masa del cabezal fresador que es de 6Kg mediante la ecuación (3).

$$m_{total} = m_{base\ aluminio} + m_{cabezal} \quad (3)$$

$$m_{total} = 8.5\ Kg.$$

El robot soporta una carga de 16 kilogramos en su extremo, a este valor se le resta el valor de masa total calculado, para determinar la masa sobrante que permitirá calcular la fuerza existente a través de la ecuación (4).

$$m_{disponible} = 16\ Kg. - m_{total} = 7.50\ Kg.$$

$$F = m_{disponible} \times g \quad (4)$$

$$F = 73.58\ N$$

El proyecto está diseñado para el mecanizado de materiales blandos por los cual se realizan pruebas con aluminio. A través de los datos técnicos del aluminio se determina la máxima profundidad permisible para el mecanizado así como el área de corte.

Para determinar el área de corte se utiliza la fórmula de la presión específica de corte (5), valor que se toma de la siguiente Tabla I. [11]

Tabla I: Presión específica de corte del aluminio.

Aplicación por grupo de material			Fresado	
			Ks	z
			N/mm ²	Factor de corrección
Aluminio Magnesio	7.1	Al, Mg no aleado	250	0,22
	7.2	Al aleado con Si<0,5%	450	0,18
	7.3	Al aleado con Si<0,5% < 10%	450	0,18

Para el cálculo se asume que la fuerza (F) calculada anteriormente es la misma que la fuerza de corte (Fc). De esta manera:

$$Ks = \frac{Fc}{Ac} \Rightarrow Ac = \frac{Fc}{Ks} \quad (5)$$

$$Ac = 0.1635\ mm^2$$

Con el valor del área de corte y el avance que se obtiene de la Tabla II [12], a continuación se determina la profundidad para el mecanizado mediante la ecuación (6).

Tabla II: Velocidad de corte y Avance del aluminio.

Material	Φ de la herramienta < 12 mm	
	Velocidad de corte (m/min)	Avance (s) (mm/rev)
Aluminio	70	0,06–0,13
	80	0,08–0,18
	120	0,10–0,25

$$a = \frac{Ac}{s} \quad (6)$$

$$a = 0.654\ mm$$

Para calcular la potencia de corte con la ecuación (7) se utiliza el valor de la fuerza de corte obtenida y la velocidad de corte de la tabla anterior.

$$Pc = Fc \times Vc \quad (7)$$

$$Pc = 147.16\ W$$

Con el valor obtenido de la potencia de corte y el valor del rendimiento de un manipulador que es del 85% [13], se determina la potencia de mecanizado a través de la ecuación (8).

$$\eta = \frac{Pc}{Pm} \Rightarrow Pm = \frac{Pc}{\eta} \quad (8)$$

$$Pm = 173.13\ W$$

C. Selección del Sistema de Sujeción

El siguiente paso en el diseño de la celda es seleccionar un sistema apropiado que permita sujetar las piezas a mecanizar, como puede ser una mesa de trabajo adecuada para asegurar los materiales que se van a mecanizar y obtener óptimos resultados.

Para realizar este diseño se tomó en cuenta aspectos como: la forma de sujeción del material, el alcance del robot

(área de trabajo), la forma de los materiales que se van a colocar sobre la mesa.

También, para el diseño de la superficie de la mesa de trabajo se tomó como referencia modelos existentes en centros de mecanizado, máquinas herramientas de fresado, donde se utilizan formas de sujeción adecuadas y comerciales, como se indica en la Fig. 3.



Fig. 3. Ejemplos de mesas de sujeción para materiales.

Para fijar los materiales se emplean accesorios de sujeción roscados tipo M12, son estándar y muy comerciales, constan de: tuercas T, bridas escalonadas, calzas, birlos, etc., de esta manera se garantiza una sujeción adecuada utilizada en centros de mecanizado a nivel industrial, como muestran en a Fig. 4.



Fig. 4: Juego de bridas para la sujeción.

D. Dimensiones de la mesa de trabajo

La forma de la superficie es redonda, debido a que este tipo de superficies permite referenciar una posición fácilmente y además ayuda cuando el robot tenga movimientos de torsión complejos que puedan producir un choque en una mesa rectangular. Se construyó en acero estructural ASTM A36, debido a que éste tipo de acero es uno de los materiales más básicos, utilizados en la construcción de estructuras para la industria. La mesa de trabajo tiene la forma que se indica en la Figura 5.



Fig. 5: Diseño de la Mesa de trabajo.

F. Diseño del Layout de la celda

Otro paso importante en el diseño es crear un ambiente virtual, ubicando todos los componentes de la celda en una sola área, para ello se utiliza el software KUKA SIM PRO, que es propio del sistema robotizado KUKA. El cabezal fresador adaptado al robot industrial se puede observar en la Fig.6.



Fig. 6: Robot industrial KUKA KR16 con cabezal fresador adaptado en el KUKA Sim Pro.

A partir de este Layout inicial se siguen colocando los elementos necesarios para tener una celda de características similares a la física. En este caso se debe buscar los elementos que más se asemejen a los reales con el fin de obtener todo lo necesario para una correcta simulación del proceso que se va a realizar. La celda de manufactura diseñada con los componentes que la conforman, se implementó como se indica en la Fig. 7.

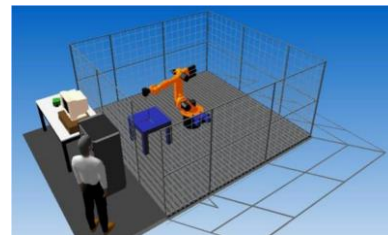


Fig. 7: Layout celda de manufactura robotizada.

El área de la celda donde se encuentra el brazo robótico es de 27m², sus dimensiones son: largo 4.97m, ancho 5.43m, como se muestra en la Fig.8.

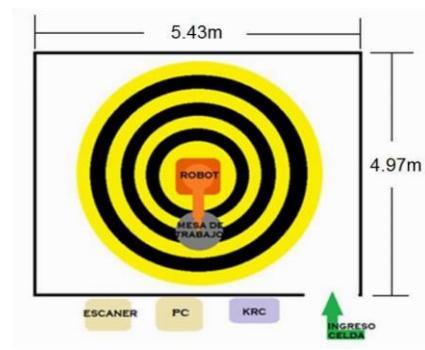


Fig. 8: Plano celda de manufactura.

III. IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA

A. Ubicación de los componentes

La celda de manufactura robotizada quedó implementada como muestra la Fig.9.



Fig. 9: Celda de manufactura robotizada. Brazo robótico industrial KUKA KR16 (1). Cabezal fresador Jäger (2). Mesa de trabajo (3). Escáner 3D (4). PC (5).

Dentro de la celda de manufactura y en el centro, se encuentra posicionado el brazo robótico y como herramienta posee el cabezal fresador, donde el eje del husillo se encuentra perpendicular a la base, la mesa de trabajo se posiciona dentro del área donde trabajará el robot, a una distancia previamente analizada que permite que el robot realice el mecanizado sin complicaciones alcanzando toda la superficie de la mesa, permitiendo de tal manera realizar un óptimo trabajo.

Adicionalmente y en un lugar apartado del área de trabajo del robot, se añadió un espacio para el escaneo, que consiste en una PC para procesar los modelos digitales y un escáner 3D Optinum, adicionalmente se instaló los programas CAD, CAM, KUKA Sim Pro y el KUKA CAM Rob PC para la programación del proceso, los elementos se muestran en la Fig. 10.

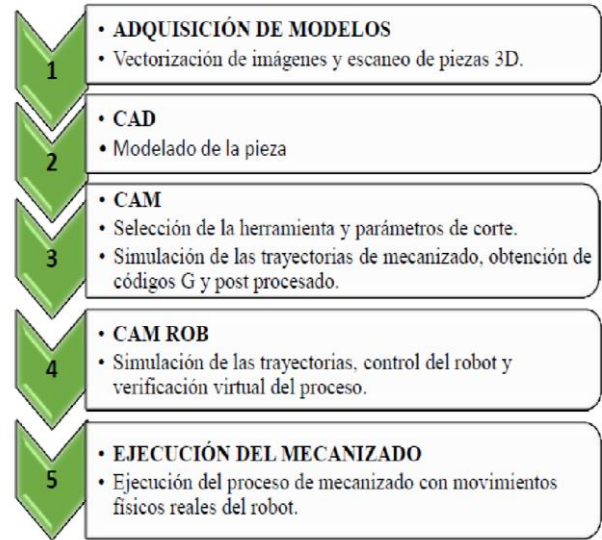


Fig. 10: Dispositivos pertenecientes a la celda de manufactura.

La celda está rodeada de vallas de acrílico, que aparte de dividir a la celda de otras, evitan que la viruta se expanda fuera de ella y brindan seguridad a los operarios.

B. Proceso para la obtención de réplicas

El proceso completo para la obtención de réplicas abarca cinco fases principales.



Se debe indicar que, el proceso de las fases de: adquisición de modelos, CAD y CAM, son diferentes para cada réplica a realizar, depende de la digitalización, el modelado y mecanizado que se realice para cada modelo. En cambio, las fases del CAM Rob y la ejecución del mecanizado, se realizan de la misma manera para todas las réplicas que se desea mecanizar.

C. Pruebas y resultados

Se maquinaron circunferencias y cuadrados de iguales dimensiones sobre grilon para determinar la precisión de mecanizado, de la misma manera se realizó en aluminio. Posteriormente se escaneó una pieza realizada en una máquina de precisión, con el fin de determinar el error en la obtención de objetos 3D, luego, se mecanizó el modelo adquirido para establecer las fallas del proceso de réplicas.

• Mecanizado en GRILON

Para determinar la precisión en el mecanizado se realizó varias piezas, se maquinó cinco circunferencias y cinco cuadrados como se indica en la Fig. 11.

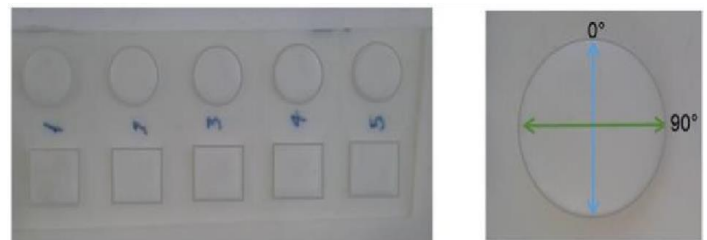


Fig. 11: Pruebas realizadas para determinar la precisión.

Los datos de las mediciones realizadas a las circunferencias, se indican en la Tabla III y se representan gráficamente en la Fig. 12.

Tabla III: Mediciones del diámetro de las circunferencias.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MEDIDA REAL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
Circunferencia 1 ($\phi 0^\circ$)	40,000	40,010	40,000	40,010	39,990	40,000
2 ($\phi 90^\circ$)	40,000	39,960	39,960	39,980	39,960	39,970
PROMEDIO	40,000	39,985	39,980	39,995	39,975	39,985

Circunferencias mecanizadas en grilon.

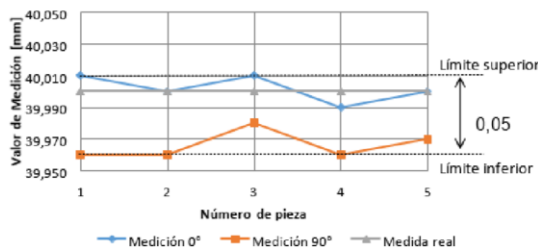


Fig. 12: Gráfico de mediciones de las circunferencias.

Se obtuvo el error existente, los cuales se aprecian en la Tabla IV.

Tabla IV: Error en las mediciones de las circunferencias.

NÚMERO DE MEDICIÓN	ERROR 1	ERROR 2	ERROR 3	ERROR 4	ERROR 5
Circunferencia 1 ($\phi 0^\circ$)	0,010	0,000	0,010	-0,010	0,000
2 ($\phi 90^\circ$)	-0,040	-0,040	-0,020	-0,040	-0,030
PROMEDIO	-0,015	-0,020	-0,005	-0,025	-0,015

Según los datos de la Tabla IV se observa que: el error del límite superior es de 0,01 y del límite inferior es de -0,04. Entonces, se determina que la precisión del mecanizado varía en un 0,05mm para las trayectorias curvas.

Se tomó mediciones de los lados de los cuadrados mecanizados, de tal manera como se observa en la Fig. 13.

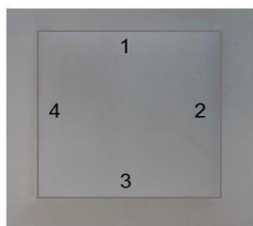


Fig. 13: Cuadrado mecanizado.

La Tabla V muestra los datos obtenidos.

Tabla V: Mediciones de los lados de los cuadrados mecanizados.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MEDIDA REAL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
Cuadrado 1 (Lado 1)	40,000	39,980	39,981	39,980	39,980	39,981
2 (Lado 2)	40,000	40,015	40,013	40,013	40,015	40,015
3 (Lado 3)	40,000	39,980	39,980	39,982	39,982	39,980
4 (Lado 4)	40,000	40,020	40,019	40,020	40,018	40,020
PROMEDIO	40,000	39,999	39,998	39,999	39,999	39,999

La Fig. 14 muestra gráficamente los datos obtenidos

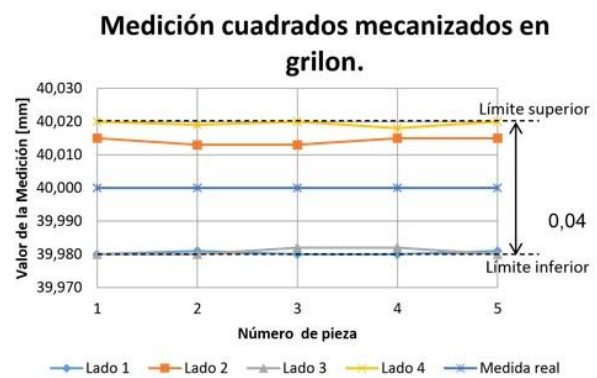


Fig. 14: Gráfico de mediciones de los cuadrados.

El error obtenido de cada una de las mediciones se muestra en la Tabla VI.

Tabla VI: Error en las mediciones de los lados de los cuadrados.

NÚMERO DE MEDICIÓN	ERROR PIEZA 1	ERROR PIEZA 2	ERROR PIEZA 3	ERROR PIEZA 4	ERROR PIEZA 5
Cuadrado 1 (Lado 1)	-0,020	-0,019	-0,020	-0,020	-0,019
2 (Lado 2)	0,015	0,013	0,013	0,015	0,015
3 (Lado 3)	-0,020	-0,020	-0,018	-0,018	-0,020
4 (Lado 4)	0,020	0,019	0,020	0,018	0,020

Según los datos de la Tabla VI se observa que: el error del límite superior es de 0,02 y del límite inferior es de -0,02. Entonces, la precisión de las trayectorias rectas varía en 0,04mm.

- Escaneo

El modelo que se aprecia en la Fig. 15 fue escaneado, para luego realizar mediciones, compararlas con la original y así determinar el error de escaneo.



Fig. 15: Pieza en aluminio.

Se realizó mediciones a cada una de las formas geométricas del modelo obtenido mediante escaneo que se muestra en la Fig. 16. Los valores obtenidos se observan en la Tabla VII

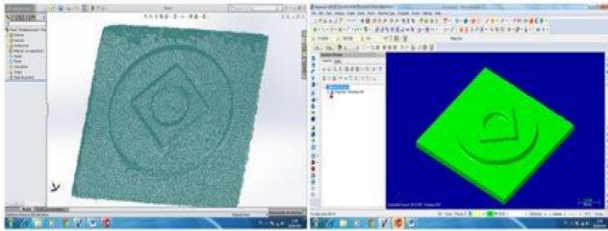


Fig. 16: Pieza escaneada y editada

Tabla VII: Medición del modelo escaneado.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MODELO	PIEZA ESCANEADA	ERROR PE - M
Cuadrado 1 (lado 1)	90,000	89,822	0,178
2 (lado 2)	90,000	91,266	1,266
3 (lado 3)	90,000	89,662	0,338
4 (lado 4)	90,000	90,490	0,490
PROMEDIO	90,000	90,310	0,310
Circunferencia grande 1 (ϕ 0°)	65,000	64,500	0,500
2 (ϕ 90°)	65,000	64,090	0,910
PROMEDIO	65,000	64,295	0,705
Circunferencia pequeña 1 (ϕ 0°)	20,000	19,833	0,167
2 (ϕ 90°)	20,000	20,010	0,010
PROMEDIO	20,000	19,922	0,078
Rombo 1 (lado 1)	30,000	29,980	0,020
2 (lado 2)	30,000	29,546	0,454
3 (lado 3)	30,000	29,705	0,295
4 (lado 4)	30,000	29,820	0,180
PROMEDIO	30,000	29,763	0,237

Los valores obtenidos de la Tabla VII, se muestran gráficamente en las siguientes figuras: Lados del cuadrado (Fig. 17.), diámetro de la circunferencia grande (Fig. 18.), diámetro de la circunferencia pequeña (Fig. 19.), lados del rombo (Fig. 20.).



Fig. 17: Gráfico de mediciones, lados del cuadrado.

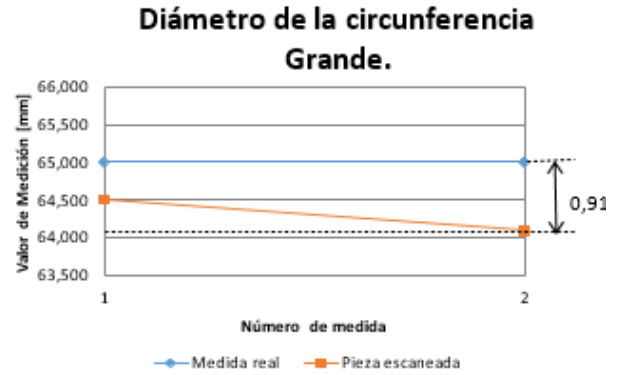


Fig. 18: Gráfico de mediciones, diámetro circunferencia grande.



Fig. 19: Gráfico de mediciones, diámetro circunferencia pequeña.



Fig. 20: Gráfico de mediciones, lados del rombo.

Con los datos obtenidos de la Tabla VII se determina el error relativo de la medición, expresado mediante la ecuación (9):

$$E_r = \frac{\Delta_x}{x} \quad (9)$$

Para el error relativo porcentual, se multiplica por 100:

$$E_r = \frac{\Delta_x}{x} (100)$$

Calculado el error porcentual de las mediciones para cada figura del modelo se obtiene: 0,34% (cuadrado), 1,08% (circunferencia grande), 0,39% (circunferencia pequeña) y 0,8% (rombo); obteniendo un mejor resultado en piezas pequeñas que en piezas grandes.

Entonces, se concluye que: el escaneo tiene una variación de $\pm 0.705\text{mm}$ en relación a las medidas de la pieza original, con un error del 1,08%.

- Escaneo y mecanizado

El modelo que se aprecia en la Fig. 21. se escaneó y se mecanizó en aluminio. Se realizó mediciones al modelo fresado para determinar el error existente en el proceso de réplicas.

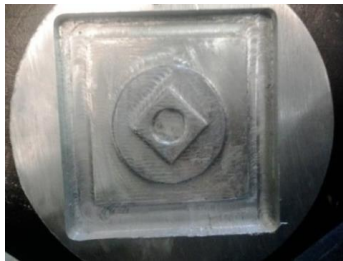


Fig. 21: Pieza mecanizada en aluminio.

Los valores obtenidos se observan en la Tabla VII

Tabla VIII: Medición de la réplica mecanizada en aluminio.

NUMERO DE MEDICIÓN	MODELO	PIEZA ESCANEADA	PIEZA MECANIZADA	ERROR PE - M	ERROR PM - PE	ERROR PM - M
Cuadrado 1 (lado 1)	90,000	89,822	89,870	0,178	0,048	0,130
2 (lado 2)	90,000	91,266	91,310	1,266	0,044	1,310
3 (lado 3)	90,000	89,662	89,700	0,338	0,038	0,300
4 (lado 4)	90,000	90,490	90,530	0,490	0,040	0,530
PROMEDIO	90,000	90,310	90,353	0,310	0,042	0,352
Circunferencia grande 1 (φ 0°)	65,000	64,500	64,540	0,500	0,040	0,460
2 (φ 90°)	65,000	64,090	64,140	0,910	0,050	0,860
PROMEDIO	65,000	64,295	64,340	0,705	0,045	0,660
Circunferencia pequeña 1 (φ 0°)	20,000	19,833	19,830	0,167	0,003	0,170
2 (φ 90°)	20,000	20,010	20,140	0,010	0,130	0,140
PROMEDIO	20,000	19,922	19,985	0,078	0,063	0,015
Rombo 1 (lado 1)	30,000	29,980	29,932	0,020	0,048	0,068
2 (lado 2)	30,000	29,546	29,600	0,454	0,054	0,400
3 (lado 3)	30,000	29,705	29,740	0,285	0,035	0,260
4 (lado 4)	30,000	29,820	29,868	0,180	0,048	0,132
PROMEDIO	30,000	29,763	29,785	0,237	0,022	0,215

Los valores obtenidos en la Tabla VIII, se representan gráficamente en las figuras a continuación: Cuadrado (Fig. 22.), circunferencia (Fig. 23.), circunferencia pequeña (Fig. 24) y rombo (Fig. 25.)



Fig. 22: Gráfico de mediciones, lados del cuadrado.

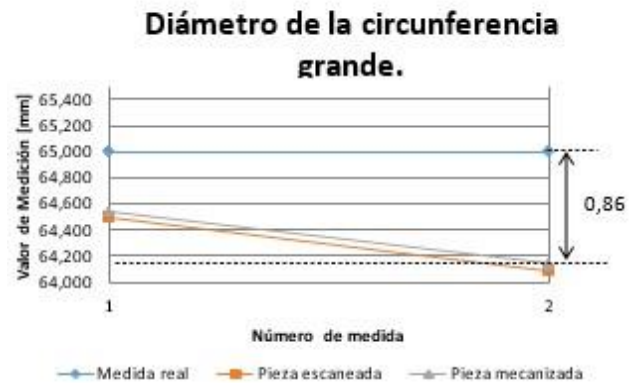


Fig. 23: Gráfico de mediciones, diámetro de la circunferencia.

Diámetro de la circunferencia Pequeña.

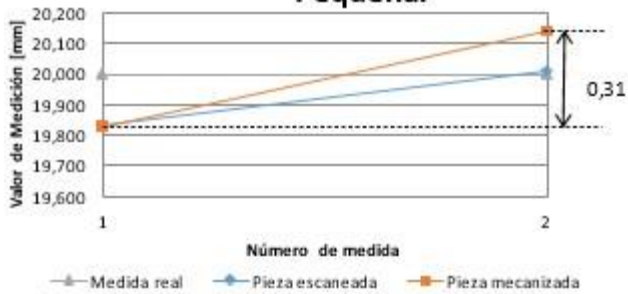


Fig. 24: Gráfico de mediciones, diámetro de la circunferencia pequeña.

Lados del rombo.

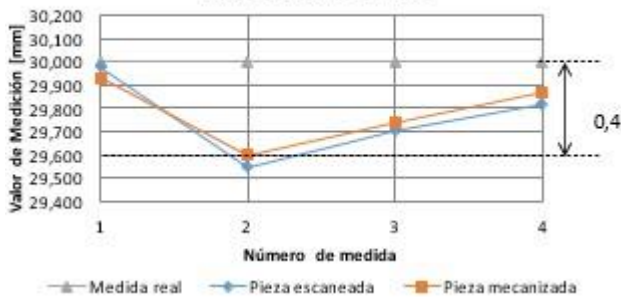


Fig. 25: Gráfico de mediciones, lados del rombo.

Se obtiene el error relativo porcentual de la réplica mecanizada, se realizó el mismo procedimiento que para el escaneo, se consigue: 0,39% de error en el cuadrado, 1,02% en la circunferencia grande, 0,075% en la circunferencia pequeña y 0,72% en el rombo.

En el mecanizado existe una variación de $\pm 0,66\text{mm}$ en relación a las medidas originales, de esta manera se pueden realizar réplicas, pero con un margen de error del 1,02% ya que es el porcentaje más crítico obtenido en base a las mediciones realizadas.

En el proceso de réplicas, el mayor porcentaje de fallas se da en el escaneo, debido al ruido (iluminación del ambiente) presente al momento de las tomas, mientras que el mecanizado respecto al modelo escaneado tiene una variación de $\pm 0,063\text{mm}$.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. CONCLUSIONES.

Se diseñó e implementó una celda de manufactura robotizada, para la réplica de piezas 3D, mediante fresado.

Mediante pruebas realizadas se concluye que: se obtiene réplicas pero con un error del 1,02% respecto a la pieza original, donde la mayor parte de fallas se da en el escaneo, por tal razón, no se recomienda este proyecto para replicar piezas de precisión.

Se mecanizó distintos tipos de piezas en varios materiales, determinado que se puede mecanizar aluminio con una precisión que varía en $\pm 0.05\text{mm}$.

A través del escaneo de piezas se consiguió modelos similares a los originales con una variación de $\pm 0.705\text{mm}$. Optimizando el tiempo de diseño en un programa CAD. Esta aplicación es útil para realizar piezas y elementos complejos, permitiendo así la eficiencia en los procesos.

La principal ventaja del mecanizado con brazo robótico industrial, es el de realizar diferentes procesos de mecanizado dentro de una misma celda, sobre diferentes mesas de trabajo, a través de la configuración de las bases correspondientes.

Mediante las pruebas realizadas se determina que el material más duro a mecanizar es el aluminio con una profundidad de 0.6mm. Sin embargo, para conservar el estado de la máquina se debe mecanizar sobre materiales con características similares o menores a las de los plásticos.

B. RECOMENDACIONES.

Para réplicas de piezas de precisión, se recomienda utilizar otro tipo de escáner 3D como puede ser el escáner laser, para obtener detalles más exactos de las piezas escaneadas.

En la recepción de datos escaneados, debe considerarse la iluminación del área de trabajo, es preferible que la pieza esté fija, es el escáner que debe moverse a su alrededor, también es aconsejable que la pieza a ser escaneada sea de color claro, de preferencia blanca y sobre una base oscura, caso contrario, existirá demasiado ruido y se tornará difícil su modelado posterior. Con éstas indicaciones se obtendrá un óptimo procesamiento de imagen.

Para mantener el buen estado del cabezal fresador, se recomienda no mecanizar materiales con características superiores a las de los plásticos.

Poseer conocimientos sobre el manejo de robots industriales, sistemas CAD-CAM y tomar en cuenta las normas de seguridad industrial para trabajar con celdas de manufactura.

REFERENCIAS

- [1] Inspecciones Técnicas, Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.inspeccionestecnicas.es/servicios/robots-de-fresado.html>. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [2] X. Conesa, measurecontrol.com, 2 Junio 2007. [En línea]. Available: <http://www.measurecontrol.com/robots-de-precision/>. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [3] F. Salinas, ASCAMM TECH, 12 Febrero 2014. [En línea]. Available: http://www.ascamm.com/files/ascammtech/ascammtech13/web-content_ok/cast_persones.html. [Último acceso: 14 Octubre 2014].

- [4] [F. J. Berenguer, I. Sastre, R. G. González, D. Cereijo, F. García y I. Felgueroso, Interempresas, 14 Octubre 2010. [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/44095-Celdarobotizada-multiproposito-para-prototipado-aplicacion-nuevas-tecnicasfabricacion.html>. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [5] I. d. D. y. Fabricación, Fab Lab Valencia, Agosto 2012. [En línea]. Available: <http://fablab.upv.es/equipamiento/celular-robotizada/>. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [6] E. G. H. Martínez, El auge del robot industrial manipulador, *MANUFACTURA, Información estratégica para la industria*, 2014.
- [7] M. G. M. Garza, El impacto de la robótica en la industria mexicana, p. 1, 2009.
- [8] COSTANTINI S.A., Julio 2011. [En línea]. Available: <http://www.costantini-sa.com/costantini-sa-casos-de-exitodetalle.php?id=1c383cd30b7c298ab50293adfecb7b18>. [Último acceso: Octubre 2014].
- [9] Jager, View All Alfred Jaeger HF Motor Spindles, 23 Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://www.alfredjaeger.de/en/chopper/Chopper-1500H-S5A.html?pdf=1>. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [10] KUKA ROBOTER, kuka-robotics.com, 11 Julio 2013. [En línea]. Available: http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-48189feb-527612db8dc4_PFO033_KR_6-2_KR_16-2_es.pdf. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [11] L. N. Arrizabalaga, Máquinas: prontuario: técnicas, máquinas, herramientas, PARANINFO, 1997.
- [12] PROFABRICACION MARIANA, blogspot.com, Octubre 2011. [En línea]. Available: <http://profabricacionmariana.blogspot.com/2011/10/velocidad-de-cortedel-aluminio.html>.
- [13] N. P. N. NARVAEZ, modelado cinemático y dinámico de un, LIMA, 2011.



Armadas ESPE Extensión Latacunga.

Marco Singaña. Nació en Latacunga provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica Nacional en Electrónica y Control, cuenta con un Diplomado Superior en Redes digitales Industriales, un Masterado en redes y Telecomunicaciones, está cursando un Masterado en Diseño, Producción y Automatización Industrial en la Escuela Politécnica Nacional. Docente de la Universidad de las Fuerzas

E-mail: masingania@espe.edu.ec



Nora Acosta Apolo. Nació en Quito provincia de Pichincha, Ecuador. Es Ingeniera en Mecatrónica, graduada de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2104. Áreas de Interés: Mecatrónica, Robótica Industrial, Sistemas CAD/CAM/CAE, Instrumentación.

E-mail: acostanora@gmail.com



Edwin Caizalitin. Nació en Latacunga provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2104. Áreas de Interés: Mecatrónica, Robótica Industrial, Sistemas CAD/CAM/CAE, Automatización de Procesos.

E-mail: edwin_zgz@yahoo.es



Fausto Acuña. Nació en Latacunga provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es Ingeniero Electromecánico en la ESPE. Maestría en Gestión de Energía en la Universidad Técnica de Cotopaxi. Docente tiempo completo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

E-mail: fvacunia@espe.edu.ec