

TÍTULO DEL PROYECTO

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D CON CONTROL DIGITAL REALIMENTADO DE POSICIÓN PARA LA MEJORA DE LA FABRICACIÓN Y REPLICABILIDAD DE PROTOTIPOS Y MAQUETAS PARA ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE LA CIUDAD DE TRUJILLO"

SIGLAS

IMPRE3D

TIPO DE PROYECTO

Aplicada

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Robótica y Automatización

DURACIÓN ESTIMADA

Fecha de inicio: 19/06/2017 Fecha de término: 31/05/2018

PARTICIPANTES

- PRADO GARDINI SIXTO RICARDO (COORDINADOR(INV. PRINCIPAL)) — 000058391
- FIESTAS SOROGASTUA ERICK MARTIN (COLABORADOR) — 000054899
- PEYESREYE CHAVEZ RALPH NOLAND (TESISTA PREGRADO) — 000050338

INSTITUCIÓN O LUGAR A EJECUCARSE

- UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO - UPAO (Automatización y Rrobotica)

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una característica común en la formación de diversas profesiones (Ingenierías, medicina, odontología, arquitectura, artes, etc..) en las Universidades de la ciudad de Trujillo, es el uso de prototipos y maquetas para facilitar el entendimiento, análisis y síntesis de diversos conocimientos. Adicionalmente se utilizan como medios de validación o producto final de diferentes trabajos de investigación o innovación tecnológica.

En general, los prototipos y maquetas están formados por diversas piezas que los estudiantes fabrican y ensamblan en muchos casos de forma manual o con instrumentos que no les aseguran la exactitud requerida, robustez, estabilidad y elegancia del prototipo final. Y si además deben fabricar más de un prototipo o maqueta de las mismas características la repetibilidad o replicabilidad es muy incierta por la propia técnica usada. Lo que puede generar casos donde el diseño y modelamiento matemático de un trabajo académico esta adecuadamente fundamentado sin embargo su validación experimental es pobre debido a las incertidumbres constructivas del producto final del trabajo. A esto hay que agregar el tiempo excesivo que invierten los estudiantes y académicos en construir prototipos y maquetas de baja calidad debido a procedimientos manuales.

Hay una gran diversidad de áreas que requieren de prototipos y maquetas eficientes en su funcionamiento para poder impartir mejor los conocimientos asociados a ellas, por ejemplo: En medicina se requiere prototipos en implantes médicos, huesos, órganos vitales, prótesis, etc...Odontología, prótesis dentales, coronas, puentes, encillas y así con todas las ciencias de la salud.

En ingeniería, el prototipado y uso de maquetas es inherente a la propia carrera y su fabricación y ensamblaje eficiente permite una mejor comprensión y entendimiento de la diversidad de conocimientos que se integran para obtener un producto determinado, en caso contrario, es decir el uso de prototipos deficientes (partes mal ensambladas, exceso de fricción, juegos entre partes, excesivas vibraciones, etc...) puede afectar la motivación del estudiante y generar desconfianza en los conocimientos teóricos impartidos dado que el prototipo no trabaja según lo que se espera de la teoría.

Otro aspecto resaltante en la formación académica es que en general hay un limitado número de módulos o dispositivos usados para la cantidad de estudiantes a recibir formación, lo que puede afectar la efectividad del conocimiento impartido debido a la pérdida de concentración en el mismo. En muchos casos los módulos o dispositivos pueden ser replicados de forma efectiva si se contara con los equipos adecuados para reproducir cada parte de las piezas que la componen y con ello obtener la cantidad de módulos requeridos con respecto al número de estudiantes.

Disponer de un Centro de Manufactura Integrada (CIM, basada en CNC, robots y sistemas de transporte computarizados) puede solucionar el disponer de piezas adecuadas para prototipos eficientes en trabajo y su posterior replicabilidad, sin embargo presentan un coste elevado, de tecnología cerrada (no accesible a los estudiantes), se requiere de un amplio espacio para su ubicación, con todos los periféricos y seguridades eléctricas necesarias para su correcto funcionamiento, además su presencia está más pensada para actividades de mayor envergadura, complejas y de perfil industrial. Por otro lado, en general los CIM están limitados al uso de un solo tipo de material o en su caso no están habilitados para trabajar con materiales biológicos o reciclables y su modo de trabajo es mediante el desgaste de la materia prima para obtener una determinada pieza, generando con ello un desperdicio considerable de materia prima. Otra desventaja de la manufactura CIM es que la complejidad geométrica de la pieza encarece el proceso.

Una propuesta de solución para la problemática descrita previamente, se encuentra en el campo de la Fabricación aditiva (o manufactura aditiva) el cual consiste en la fabricación de piezas a partir de un archivo 3D mediante la sucesiva deposición de capas de material hasta obtener la

pieza deseada. Entonces el producto de la solución en el área de fabricación aditiva, consiste en desarrollar un equipo versátil, flexible que fabrique diferentes geometrías en 3D a bajo coste, de fácil instalación, que ocupe poco espacio, estable en su funcionamiento, que no genere desperdicio de materia prima y en especial de tecnología abierta, es decir con hardware y software con código libre a fin de que permita a los estudiantes modificar y mejorar sus prestaciones futuras. Estas características de equipo se pueden conseguir con el adecuado diseño y desarrollo de una impresora 3D.

Es cierto que existen en el mercado modelos de Impresoras 3D y CNC de bajo coste %5B1-4%5D que permiten obtener piezas con geometría simple sin embargo también presentan continuos defectos en su funcionamiento cuando se quiere aumentar la complejidad de la geometría de la pieza a obtener y eso se debe a las limitaciones estructurales mecánicas, de accionamiento, sensorica y de control electrónico de dichos equipos, dado que en general usan un sistema de control simple o de lazo abierto que no permite tener información del trabajo real de la maquina con respecto al trabajo deseado del mismo. Intervenir en este tipo de equipos sin tener un adecuado *know-how* de cómo fueron diseñados y construidos puede ser contraproducente puesto que no se garantiza ninguna mejora en el producto, al contrario podría generarse daños irreversibles a los equipos por la falta de conocimiento sobre ellos.

Formulación del problema

Como influye el desarrollo e implementación de una Impresora 3D estable, versátil y flexible con control digital realimentado de posición, en la mejora de la fabricación y replicabilidad de prototipos y maquetas para estudiantes universitarios de la ciudad de Trujillo?.

II. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Titulo 1: **Diseño y Desarrollo de un Aerogenerador de viento.**

Autor: Nicolai Turcan

Universidad: Universidad Politécnica de Cataluña

Año: 2015

En este trabajo se diseña y construye un aerogenerador y tiene como característica innovadora que fabrica sus partes o componentes mediante una impresora 3D, lo que le permite una alta replicabilidad del mismo %5B5%5D.

Conclusiones: Demuestra el potencial de la impresora 3D para la fabricación de prototipos con componentes complejos en geometría. Sin embargo, hace notar su baja velocidad de manufactura, lo que por ahora impide sea parte activa de una línea de producción en serie.

Titulo 2: **Modelo cinemático y control de un brazo robótico imprimible.**

Autor: Juan Carlos Rodríguez Zambrana

Universidad: Universidad Carlos III de Madrid

Año: 2015

En este trabajo se modela la cinemática, el control y la simulación de un brazo robótico imprimible por medio de una computadora %5B6%5D.

Conclusiones: Se desarrolla el protocolo de comunicación, el modelado cinemático, la interfaz gráfica, la simulación de los movimientos en un entorno 3D. Se obtiene las partes mecánicas del brazo robotico, mediante una impresora 3D, de forma que el estudiante pasa por todas las fases de construcción de una máquina herramienta.

Titulo 3: **Diseño e implementación de un teatro móvil mediante Arduino e impresora 3D.**

Autor: Serio Jiménez Canales

Universidad: Universidad Carlos III de Madrid

Año: 2015

En este trabajo, se implementa un teatro móvil completamente automatizado de un 1 minuto de duración mediante el uso de una impresora 3D y tarjeta Arduino %5B7%5D.

Conclusiones: Se implementa satisfactoriamente el teatro mediante el uso de una impresora 3D que permitió manufacturar y optimizar el tamaño de todas las partes del teatro (acoples, soportes, engranes, etc.).

Titulo 4: **Diseño mecánico, impresión y montaje de un vehículo imprimible.**

Autor: María Ramos Montero

Universidad: Universidad Carlos III de Madrid

Año: 2012

En este trabajo, se diseña e implementa un vehículo haciendo uso de una impresora 3D, el que le permite obtener un dispositivo de bajo coste %5B8%5D.

Conclusiones: Se logra desarrollar un vehículo imprimible a bajo coste mediante el uso de una impresora 3D, pasando por todas las fases de un diseño de máquina, es decir, se analiza la estructura mecánicas del automóvil, se diseña en CAD el vehículo, se desarrolla la parte electrónica, se programa los movimientos y la integración de todos los componentes en un único dispositivo. En el trabajo se resalta, el impacto que tienen las impresoras 3D en el desarrollo del proyecto otorgándole gran flexibilidad a modificaciones futuras.

Titulo 5: Diseño y optimización para plataformas de un dron multirrotor.

Autor: Rafael Camacho Puig

Universidad: Universidad Carlos III de Madrid

Año: 2016

En este trabajo, se diseña y optimiza la estructura de un dron, a fin de minimizar su peso y con ello ahorrar energía que luego se usa para aumentar el tiempo vuelo %5B9%5D. El dron, es del tipo hexacóptero y sus piezas se fabrican mediante una impresora 3D, con un material específico que le permite tener una capacidad de carga de 6Kg. Conclusiones: Se desarrolla un dron con las siguientes características; Ligero, estable, altamente portátil, bajo coste, modular, Imprimible en alta calidad en 3D al 100% de la estructura, tren de aterrizaje con amortiguación, mayor potencia.

Titulo 6: Integración de sensores a bordo del robot mini-humanoide Bioloid.

Autor: Antonio Valbuena Sánchez

Universidad: Universidad Carlos III de Madrid

Año: 2014

En este trabajo, se optimiza los prototipos de la Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid, particularizando en el pie del robot Bioloid (ROBfoot) tal que mejore sus prestaciones de traslación y equilibrio. El trabajo diseña en CAD la estructura que soportara la electrónica y sensorica producto del estudio y que finalmente se imprime en una impresora 3D

%5B10%5D.

Conclusiones: Las modificaciones desarrolladas en el trabajo, mejoran la traslación y equilibrio de Bioloid y además es aplicable a otro tipo de robot llamado MYOD. El nuevo diseño tiene la ventaja de ser imprimible por una impresora 3D comercial ya existente en el laboratorio.

Titulo 7: Las emergentes tecnologías enfocadas al diseño. Alcances de las tecnologías de fabricación por adición.

Autor: Johnny Morocho Jerez

Universidad: Universidad del Azuay

Año: 2016

En este trabajo, se estudia la integración del diseño y la tecnología de manufactura aditiva como herramienta emergente para innovaciones en el proceso de manufactura. El estudio se enfoca en casos de la realidad Latinoamérica, por ejemplo en el área de Arquitectura, se realiza un estudio que bajo ciertas condiciones se podría construir una edificación en tan solo 24 horas %5B11%5D. También se analiza el aporte en logística, concluyendo que las impresoras 3D reducirían los costos de transporte, debido a que las plantas de manufactura estarían distribuidas de forma descentralizada, permitiendo a los emprendedores revolucionar la industria. Una democratización, en otras palabras, de la manufactura.

III. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO (IMPORTANCIA, BENEFICIARIOS, RESULTADOS ESPERADOS)

La fabricación aditiva o manufactura aditiva (ver Fig. 1) es un nuevo concepto de producción a través del cual el material (plástico o metal) es depositado capa a capa de manera controlada allí donde es necesario %5B12%5D. Con esta técnica, que comúnmente se conoce como impresión 3d, se producen formas geométricas personalizadas según las necesidades de cada sector industrial o académico. Comparada con las técnicas de fabricación tradicionales, esta tecnología reduce procesos intermedios como la producción de utillajes, por lo que permite obtener piezas hasta un 90% más rápido. Es más, al utilizar únicamente el material para la fabricación de la pieza no se generan desechos, los componentes tienen un coste menor y se produce de manera más sostenible.

La fabricación aditiva agrupa un conjunto de tecnologías donde las impresoras 3D son las más representativas por ser las más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías

de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos.

Fig. 1. La Fabricación aditiva imprime objetos con volumen (Fuente: Flickr)

Las impresoras 3D ofrecen a los desarrolladores del producto, la capacidad para imprimir partes y montajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, a menudo con un simple proceso de ensamble.

En el sector educación, las impresoras 3D son unas de las grandes apuestas para los próximos años dado que posibilitan la materialización de un concepto estudiado en un objeto real. La principal aportación de las impresoras 3D es su capacidad para materializar las ideas en objetos reales, lo que fomenta la creatividad e innovación hasta obtener el objetivo deseado, potenciando con ello la capacidad de diseño del estudiante.

Por otro lado, el desarrollo y construcción de una impresora 3D implica una integración de diferentes y relevantes tecnologías tanto de hardware como de software a través de un trabajo planificado y metódico que permite a los involucrados en ello obtener un valioso “know how” de cómo lograr equipos de alto impacto en la sociedad en especial en el sector educativo y productivo (Ver Fig. 2). Además las impresoras 3D pueden diseñarse y construirse mediante tecnología libre, lo que permitirá a los estudiantes desarrollar continuas mejoras o innovaciones sobre el producto inicial que pueden derivar en prototipos de impresoras 3D con alto potencial para ser validados, empaquetados y escalados a niveles industriales.

Fig. 2. Implementar una impresora 3D implica la integración de diferentes tecnologías.

IV. OBJETIVOS

Objetivo General	Resultados Finales	Medios de Verificación
------------------	--------------------	------------------------

Diseñar e implementar una impresora 3D con control digital realimentado de posición para la mejora de la fabricación y replicabilidad de prototipos y maquetas para estudiantes universitarios de la ciudad de Trujillo.	Impresora 3D.	Informe técnico sobre el diseño e implementación de la Impresora 3D.
	Protocolo para desarrollar hardware y software libre en sistemas embebidos avanzados.	Informe de protocolos de validación del desarrollo embebido.
	Medición de la mejora de la fabricación de prototipos y maquetas mediante el uso de la Impresora 3D.	Informe que contiene los resultados de la mejora de la aplicación de la Impresora 3D en la fabricación de prototipos y maquetas.
Objetivos Específicos	Resultados Intermedios	Medios de Verificación
Recopilar y estudiar rigurosamente la información existente sobre desarrollo de Impresoras 3D.	Ponencia sobre Diseño e Implementación de Impresoras 3D y su impacto en el sector de Educación Superior y Productivo.	Informe sobre el estudio y análisis del estado del arte del diseño e implementación de Impresoras 3D.
Diseñar, implementar y seleccionar la morfología estructural, accionamientos y sensorica de la Impresora 3D.	Ponencia sobre diseño y simulación de la morfología mecánica de una impresora 3D.	Informe que contiene el desarrollo y validación mediante CAD de la estructura mecánica de la impresora 3D.

	Artículo sometido a congreso nacional de índole internacional sobre desarrollo de la morfología, accionamiento y sensorica de una Impresora 3D.	Informe que contiene el desarrollo y validación de la estructura mecánica y selección de actuadores y sensorica.
Diseño e implementación de la electrónica de acondicionamiento y control digital en un sistema embebido para el posicionamiento de los ejes de la impresora 3D.	Artículo sometido a congreso nacional de índole internacional sobre desarrollo del sistema de electrónica de acondicionamiento y control digital de la Impresora 3D.	Informe que contiene el desarrollo de la electrónica de acondicionamiento y el control digital en un sistema embebido de la impresora 3D.
Integrar y validar el trabajo de todas las partes ensambladas de la Impresora 3D.	Tesis de Pre-grado	Constancia de depósito de tesis
	Artículo sometido a revista indexada sobre diseño y construcción de la Impresora 3D.	Informe que contiene el desarrollo de la electrónica de acondicionamiento y el control digital en un sistema embebido de la impresora 3D.

V. MARCO TEÓRICO

Manufactura sustractiva. El termino manufactura originalmente se refiere a los técnicas manuales que se utilizaban a mediados del ciclo XV para fabricar objetos %5B14%5D. Etimológicamente, manufactura, proviene de las palabras latinas manus (mano) y factus (hacer). En la actualidad la manufactura ha adquirido un concepto más amplio debido a los diferentes procesos que se involucran en él (Fig 3). Desde el punto de vista tecnológico, la manufactura es la aplicación de procesos físicos y químicos (Fig. 4a) para modificar la geometría o apariencia de un material a fin de fabricar piezas o productos %5B15%5D. Desde el punto de vista económico (Fig. 4b), la manufactura es la transformación de los materiales en artículos de mayor valor por medio de uno o más operaciones de procesamiento o ensamblado.

La manufactura sustractiva consiste en la formación de objetos mediante la remoción y/o corte de material generándose con ello residuos de material o viruta. De la misma forma, cuando se mezcla con herramientas digitales de producción, CAD, CAM se obtienen precisiones superiores a las que podría obtenerse usando métodos convencionales (manuales). Entre otros cuenta con los siguientes procesos: Fresado 2D, Corte por Laser, Corte por Plasma, Corte por cuchillas, Corte por Inyección de Agua, Fresado 3D Manufactura de objetos laminados, Torneado CNC y Corte de autoadhesivos. En general, las operaciones de manufactura sustractiva pueden dividirse en dos etapas una de desbaste primario, que remueve grandes cantidades de material de forma rápida y gruesa y la de corte de acabado, que da finura a la pieza. Cada fase puede implicar el uso de más de una broca.

Máquinas de Control Numérico por Computadora (CNC). Se puede considerar que las máquinas de Control Numérico (CN), son las antecesoras de las CNC (ver Fig. 5) y fue desarrollada por la compañía Parsons Corporation, con cofinanciamiento de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, a finales de la década de 1940, a fin de mejorar la producción de determinados modelos de aviones de guerra %5B16%5D. Posteriormente, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) intervino en el desarrollo de los servomecanismos del CN. Según Groover (2007), la máquina CN es «una forma de automatización programable en la cual un programa que contiene datos alfanuméricos codificados controla las acciones de una parte del equipo». Inicialmente el programa del CN estaba grabado en tarjetas perforadas y eran leídas y decodificadas por la Unidad de Control de Máquina. El uso de la electrónica a través de los circuitos integrados permitió el reemplazo de las tarjetas perforadas, redujo los costos de producción, permitió la estandarización de fabricación y mejoró el mantenimiento de las mismas.

La evolución tecnológica de las CN son las CNC, dado que la unidad de control de máquina fue reemplazada por una computadora transmitiéndole a la máquina toda la flexibilidad y versatilidad que proporciona una computadora, que a su vez usa software con código G para el diseño y posterior mando de trabajo de las CNC.

Las aplicaciones de manufactura potenciadas por las CNC (además de las ya mencionadas previamente) son: golpeado y remachado (punchin and rivetin), cortado con fuego (flame cutting), erosionado por chispa (spark erosion), doblado de tubo (tube bending), soldadura (wending) y ensamblado de tarjetas electrónicas (assembly).

Partes fundamentales de una CNC %5B 17%5D. Los componentes básicos de una máquina CNC son (Fig. 6):

- **Comunicación Industrial:** Protocolo de comunicación que usa una CNC con los periféricos del proceso y sus dispositivos sensoricos. Existen diferentes protocolos de comunicación que se

usan según modelo, potencia y complejidad de trabajo. Por ejemplo, el RS-232, USB entre otros, que a su vez permiten jerarquizar las diferentes máquinas que intervienen en un proceso de manufactura.

- **Unidad de control de máquina:** Computadora que calcula, procesa y controla toda la información que proviene de diferentes fuentes tal que permita un maquinado eficiente.
- **Máquina-herramienta:** Es la máquina que sujeta el material a manufacturar por una herramienta que se mueve según el programa procesado por la computadora. Presentan un eficiente sistema de transmisión mecánica y conversión de energía que les permite tener un alto desempeño en características técnicas como exactitud y repetitividad entre otros.
- **Electrónica de potencia:** Permite adaptar los comandos (expresados en señal eléctrica) provenientes de la computadora del CNC a las necesidades eléctricas del sistema actuador del CNC.
- **Control realimentado:** En general, las máquinas CNC de bajo costo, funcionan con control de lazo abierto. Sin embargo cuando la máquina está afectada a un gran esfuerzo, en especial durante la remoción del material, es posible que los motores paso a paso (que se suelen usar en los CNC de bajo costo), pierdan la cuenta de algunos pasos, lo que afecta a la calidad geométrica de la pieza resultante. El control realimentado soluciona este problema al manipular variables que miden la diferencia entre el valor real y un valor deseado de la posición de los ejes y actúan de tal forma que la diferencia entre esos dos valores sea nula.
- **Unidad de display:** Permite al operario interactuar con la CNC interviniendo en el maquinado o monitoreando el trabajo al supervisar las variables de manufactura involucradas.

Robótica Industrial (RI). Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas (Normas ISO) 18-19D.

Partes Fundamentales de un Robot Industrial. Los componentes básicos de un R.I son (Fig. 7):

- **Manipulador.** Mecánicamente, es el componente principal. Está formado por una serie de elementos estructurales sólidos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. Las partes que conforman el

manipulador reciben, entre otros, los nombres de: cuerpo, brazo, muñeca y actuador final (o elemento terminal). A este último se le conoce habitualmente como aprehensor, garra, pinza o gripper. Cada articulación provee al robot de, al menos, un grado de libertad. En otras palabras, las articulaciones permiten al manipulador realizar movimientos, que en general son de dos tipos rotacionales y lineal. El actuador final (gripper) es un dispositivo que se une a la muñeca del brazo del robot con la finalidad de activarlo para la realización de una tarea específica. La razón por la que existen distintos tipos de elementos terminales es, precisamente, por las funciones que realizan .

- **Controlador.** En los R.I comerciales el controlador es una computadora que regula cada uno de los movimientos del manipulador, las acciones, cálculos y procesamiento de la información. El controlador recibe y envía señales a otras máquinas-herramientas (por medio de señales de entrada/salida) y almacena programas. Existen varios grados de control que son función del tipo de parámetros que se regulan, por ejemplo de posición, cinemático, dinámico, adaptativo. El control puede ser de lazo abierto o de lazo cerrado (retroalimentación), en aplicaciones industriales convencionales se usa control en lazo cerrado dado que asegura una exactitud deseada. Este control se lleva a cabo con el uso de un sensor que proporciona información de la posición real del elemento terminal del manipulador. La información recibida desde el sensor se compara con el valor inicial deseado y se actúa en función del error obtenido de forma tal que la posición real del brazo coincida con la que se había establecido inicialmente.
- **Dispositivos de entrada y salida.** Permiten interactuar al R.I con su entorno, los más comunes son el teclado, monitor y caja de comandos (teach pendant).
- **Accionadores.** Generan el movimiento a los ejes transformando la fuente de energía de accionamiento en movimientos rotativos o rectilíneos (Fig. 8). Al igual que la cinemática, los sistemas de accionamiento tienen una gran influencia sobre los valores de velocidad y aceleración alcanzables (“rapidez” del robot). Para respetar la definición de eje y que cada movimiento sea independiente del otro, cada eje individual del robot debe tener su propio sistema de accionamiento. Actualmente se puede decir que casi todos los modelos de robots industriales tienen accionamiento eléctrico en particular servomotores brushless trifásicos.
- **Frenos.** Bloquean la posición de los ejes del robot cuando caiga la fuente de energía que los movía (tensión en los eléctricos o presión en los neumáticos/hidráulicos), para evitar que el robot se derrumbe por su propio peso. Mientras los accionamientos tienen tensión, los frenos no realizan función alguna, simplemente liberan la articulación para que sea el regulador el que mueva y detenga (electrónicamente) el motor.

- **Transmisores.** Transmiten a los ejes los movimientos y la fuerza generada en los accionamientos (ver Fig. 9). Otra de sus funciones es la de convertir el movimiento rotativo de un motor eléctrico en un movimiento lineal y viceversa. Por último, las transmisiones también son las encargadas de reducir la velocidad de los motores con objetivo de poder obtener de ellos el mayor par-motor posible con el menor tamaño. En cualquier caso, un sistema de transmisión debe cumplir los siguientes requisitos: Poco tamaño y poco peso, para no desperdiciar energía del robot para moverse a sí mismo. Alta precisión para que el posicionamiento de la herramienta siempre sea exacto. Lo cual se consigue evitando las holguras en cualquiera de sus elementos. Larga vida de funcionamiento continua y mantenimiento mínimo.
- **Sensores.** Dispositivos que permiten medir el comportamiento de diferentes variables físicas y que luego traducen a señal eléctrica. Estos sistemas son los encargados de indicar al control la posición real de cada uno de los ejes, siendo por tanto uno de los elementos más importantes del sistema de accionamientos. Teniendo en cuenta que el motor, transmisiones, reductor y eje se mueven solidariamente, el sistema de medida podrá colocarse en, o entre, cualquiera de ellos ganando precisión con esta acción. Los sensores pueden clasificarse de diversas maneras una es según la naturaleza de la señal eléctrica con que trabajan; Analógicos: Suministran una tensión que en teoría puede tener infinitos valores, sea cual sea su rango, éstos serían los más precisos por la cantidad de información que son capaces de suministrar. Sin embargo son propensos a ruidos eléctricos y en algún momento deben convertirse a señal digital para ser memorizados y procesados por una computadora. Digitales: La información que suministran ya es un número que se puede memorizar y procesar inmediatamente. Lógicamente cuanto más cantidad de números se den durante el recorrido del eje, mejor será la precisión del sistema.

Fabricación Aditiva. Consiste en la sucesiva superposición de capas micrométricas de material, normalmente en forma de polvo, hasta conseguir el objeto deseado (ver Fig. 10). Esta modalidad de fabricación supone una nueva revolución industrial, íntimamente vinculada con el desarrollo de las TIC, y será la pieza angular de la fábrica de la era digital y del futuro industrial de los países desarrollados al permitir, entre otras ventajas, prescindir de herramientas y utillajes de fabricación, reproducir cualquier geometría que el ser humano pueda imaginar, ofrecer una respuesta inmediata a las cambiantes necesidades del mercado, y atender a la creciente demanda de diferenciación y personalización de los productos por parte de los consumidores.

El sector de la producción por adición ha experimentado un crecimiento destacado en los últimos años debido a la rapidez, precisión y ahorro que permite. El mercado mundial de la manufactura aditiva mueve cerca de 3.500 millones de dólares anuales. Cifra que se espera continúe creciendo hasta superar los 6.000 millones en tres o cuatro años.

Con esta tecnología actualmente se elaboran una gran variedad de componentes, principalmente en los sectores de la salud y la industria aeroespacial. La utilización de la manufactura por adición permite obtener desde implantes personalizados según las necesidades del paciente, hasta componentes para los motores de aeronaves que soportan 700° de temperatura de manera continuada. No obstante, se trata de una técnica con un enorme potencial y en pleno proceso de crecimiento, que se aplica en otros muchos sectores como el de la industria en general, la automoción, industria textil, juguetes, electrónica de consumo, muebles, joyería, arquitectura... entre muchos otros.

Tecnología de Fabricación Aditiva. Según las necesidades de cada sector, la manufactura aditiva puede producirse a partir de diferentes tecnologías. De hecho, la elección de una tecnología u otra dependerá de diversos factores como la funcionalidad que tendrá la pieza producida, o si se desea fabricar a partir de polímeros o aleaciones metálicas. Las más versátiles y utilizadas en la actualidad son:

- **MDF** (modelado por deposición fundida). Tecnología desarrollada y patentada por Stratasys Inc. y consiste en crear las piezas capa por capa mediante termoplásticos de nivel de ingeniería. Se suele emplear para generar geometrías complejas y piezas funcionales, como prototipos, piezas de producción de escaso volumen, útiles de fabricación y guías y fijaciones. Un filamento plástico o metálico que inicialmente se almacena en rollos, es introducido en una boquilla. La boquilla se encuentra por encima de la temperatura de fusión del material y puede desplazarse en tres ejes controlada electrónicamente. La boquilla normalmente la mueven motores a pasos o servomotores. La pieza es construida con finos hilos del material que solidifican inmediatamente después de salir de la boquilla.

El modelado por deposición fundida se está utilizando cada vez más en la industria del prototipado rápido y fabricación rápida. El prototipado rápido agiliza los ensayos interactivos. Para fabricación de pequeñas cantidades de piezas, el modelado por deposición fundida puede ser una alternativa relativamente barata a otras tecnologías. El modelado por deposición fundida también es utilizado para la creación de estructuras usadas en la ingeniería de tejidos médicos.

- **PolyJet**. Es una potente tecnología de impresión 3D que produce piezas, prototipos y herramientas de acabado suave y gran precisión. Con una resolución de capa microscópica y una precisión de hasta 0,1 mm, puede producir paredes finas y geometrías complejas con la gama de materiales más amplia que cualquier tecnología pueda ofrecer. La técnica inyecta y endurece capas finas de fotopolímero líquido con energía ultravioleta. Puede imprimir en capas de 16 micras, en varios durómetros y en muchos colores, lo que permite crear piezas con múltiples materiales.
- **Estereolitografía** (también denominada SL o SLA). crea las piezas capa por capa mediante un

láser ultravioleta que solidifica resinas de fotopolímero líquido. Suele emplearse para producir modelos de concepto, patrones maestros, prototipos de gran tamaño.

- **Sinterizado por láser** (también conocido como sinterizado selectivo por láser, SLS o LS). utiliza un láser de CO₂ para calentar y fundir polvo termoplástico duradero y crear piezas versátiles con una gran elongación a la rotura. Las piezas de producción y prototipos creados con LS aportan soluciones ligeras y resistentes al calor y a los productos químicos.
- **Sinterizado directo de metal por láser** (DMLS). funde materiales de metal y aleaciones en polvo con un láser de alta potencia para producir piezas resistentes de metal. El DMLS crea piezas de metal totalmente acabadas, como herramientas y piezas de producción para distintos sectores.

Impresora 3D. Es una máquina capaz de imprimir figuras con volumen a partir de un diseño hecho por computadora (ver Fig. 11). Es decir, produce un diseño 3D creado por computadora en un modelo 3D físico (real). Por ejemplo, si por computadora se ha diseñado una simple taza de café por medio de cualquier programa CAD, podremos imprimirla en la realidad por medio de la impresora 3D y obtener un producto físico que sería la propia taza de café. Es decir, una auténtica revolución tecnológica %5B %5D.

La fabricación de impresoras 3D implica el uso de tecnologías similares a las descritas para una CNC o Robot industrial según modelo y potencia de trabajo. Primero se crea un objeto con sus 3 dimensiones en CAD mediante capas sucesivas hasta conseguir el objeto deseado (Figura). El proceso para crear objetos por capas se llama "proceso aditivo". Hoy en día ya existen incluso escaner 3D que pueden escanear un objeto y directamente visualizarlo en la computadora para luego imprimirlo en 3D, sin necesidad de tener que dibujarlo en la computadora.

Field Programmable Gate Array (FPGA). Es un dispositivo programable que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad puede ser configurada mediante un software especializado (ver Fig. 12). La lógica programable puede reproducir desde funciones tan sencillas como las llevadas a cabo por una puerta lógica o un sistema combinacional, hasta complejos sistemas en un chip %5B20%5D.

Las FPGAs tienen las ventajas de ser reprogramables (lo que añade una enorme flexibilidad al flujo de diseño), sus costes de desarrollo y adquisición son mucho menores para pequeñas cantidades, Históricamente las FPGA surgen como una evolución de los conceptos desarrollados en las PAL y los CPLD.

Una jerarquía de interconexiones programables permite a los bloques lógicos de un FPGA ser interconectados según la necesidad del diseñador del sistema. Estos bloques lógicos e interconexiones pueden ser programados después del proceso de manufactura por el usuario/diseñador, así que el FPGA puede desempeñar cualquier función lógica necesaria.

Una tendencia reciente ha sido combinar los bloques lógicos e interconexiones de los FPGA con microprocesadores y periféricos relacionados para formar un «Sistema programable en un chip». Ejemplo de tales tecnologías híbridas pueden ser encontradas en los dispositivos Virtex-II PRO y Virtex-4 de Xilinx, los cuales incluyen uno o más procesadores PowerPC embebidos junto con la lógica del FPGA. El FPSLIC de Atmel es otro dispositivo similar, el cual usa un procesador AVR en combinación con la arquitectura lógica programable de Atmel.

Muchos FPGA modernos soportan la reconfiguración parcial del sistema, permitiendo que una parte del diseño sea reprogramada, mientras las demás partes siguen funcionando. Este es el principio de la idea de la «computación reconfigurable», o los «sistemas reconfigurables».

Cualquier circuito de aplicación específica puede ser implementado en un FPGA, siempre y cuando esta disponga de los recursos necesarios. Las aplicaciones donde más comúnmente se utilizan los FPGA incluyen a los DSP (procesamiento digital de señales), radio definido por software, sistemas aeroespaciales y de defensa, prototipos de ASICs, sistemas de imágenes para medicina, sistemas de visión para computadoras, reconocimiento de voz, bioinformática, emulación de hardware de computadora, entre otras. Cabe notar que su uso en otras áreas es cada vez mayor, sobre todo en aquellas aplicaciones que requieren un alto grado de paralelismo.

VI. HIPÓTESIS

El desarrollo e implementación de una Impresora 3D estable, versátil y flexible con control digital realimentado de posición, mejorara la fabricación y replicabilidad de prototipos y maquetas para estudiantes universitarios de la ciudad de Trujillo.

VII. METODOLOGÍA

Primero se recopila la información relevante sobre Impresoras 3D tanto de hardware como de software, a fin de estudiarla, analizarla y posteriormente reconocer los parámetros y variables fundamentales en la construcción de la misma, así como las técnicas y modelos más relevantes de construcción de impresoras 3D.

Segundo, basados en la fase previa, se diseña, simula e implementa las diferentes partes que ensambladas forman el cuerpo de la impresora para ello se usa archivos CAD (software FreeCAD) de las diferentes partes a fin de convertirlas a archivos compatibles para su impresión (archivos .stl). En esta fase se realiza el estudio de tensiones de Von Mises a fin de obtener un indicador de fallas para materiales dúctiles, así mismo un indicador de desplazamiento y de deformación entre piezas, todo ello mediante el software libre ELMER. Finalmente en esta fase se desarrolla un test a fin de evaluar la estabilidad y robustez de la estructura de la impresora 3D.

Tercero, se desarrolla la electrónica de interface y de acondicionamiento para las diferentes señales eléctricas a trabajar las que serán procesadas por un FPGA_De1_SoC a través de archivos .sof. En esta fase se obtienen las tablas que contienen los valores de entradas y salidas de la electrónica de acondicionamiento a diferentes medidas del sensor. También se generan las tablas que muestran los períodos variables de pulsos eléctricos generados por el FPGA (desde microsegundos hasta segundos) que luego determinan la velocidad y aceleración de los motores de la Impresora 3D. Para este propósito se utiliza los programas Quartus Prime 16.0, Lite Edition y Qsys.

La Unidad de control de maquina (MCU) se implementa en el ARM del FPGA_De1_SoC y permite generar las trayectorias del extrusor de la impresora 3D (que es la herramienta que permite obtener las piezas imprimidas) para ello se hace una integración del sistema operativo XUbuntu 15.0. y el entorno de programación DS-5 ARM de Eclipse. También se desarrolla una interfaz gráfica para la monitorización y manipulación en tiempo real de los parámetros que permiten la impresión 3D, lo que implica obtener un archivo tipo .sof (del FPGA de la De1_SoC) que sirve de interfaz entre el controlador de la pantalla táctil y el FPGA. En realidad aquí se desarrolla dos GUI (Interface gráfica de Usuario) uno para PC y el otro para MCU del FPGA. El GUI para PC se hace mediante el uso del Qt Creator y envía el código G hacia el FPGA_De1_SoC, además de medir la posición de las articulaciones (primero del X, Y y luego del Z) que luego es usado en un algoritmo de identificación de sistemas para el proceso de control digital realimentado. El GUI para el MUC del FPGA decodifica y ejecuta el código G, modifica y monitorea todos los parámetros de la impresora 3D en tiempo real.

Cuarto, una vez configurada la tarjeta controladora FPGA_De1_SoC, con los correspondientes sistemas operativos y entornos de programación, se desarrolla el HMI (interface hombre maquina) y el control digital realimentado de posición de los ejes X-Y (dado que son los ejes que influyen más en la exactitud de la pieza impresa resultante), tal que se obtenga objetos imprimibles con una exactitud y repetibilidad en el rango de: 0.1mm y ± 0.096 mm, respectivamente.

Para el diseño de controlador digital realimentado se obtiene la ecuación característica de los motores paso a paso mediante el Toolbox de Identificación de Sistemas y Simulink. Se realizan simulaciones para analizar la respuesta del sistema de posicionamiento de las articulaciones a diferentes amplitudes de escalón unitario, evaluando las respuestas en tiempo de establecimiento del sistema y error en estado estacionario. Se diseña el controlador digital PID y se evalúa la mejora del comportamiento temporal del mismo. Para determinar el error entre el valor deseado y el valor real de posición de los motores, primero se obtiene las coordenadas y órdenes decodificadas desde el MCU que esta embebida en el FPGA De1_SoC y que representan el valor real de posición de los motores, los que se comparan con la información que están contenidas en una hoja de cálculo o un script de Matlab, la diferencia es el error que representa la señal de entrada al controlador PID. Un proceso similar se desarrolla para obtener la información de velocidad. Finalmente se obtendrá una tabla que muestre la exactitud de los tres ejes, según la fórmula: $\text{Exactitud} = 0.5RC + 3$ donde RC es la resolución de control mecánico (mm por paso del motor paso-paso) y σ es la desviación estándar.

Finalmente, a fin de iniciar la impresión 3D, a partir del HMI, se requiere el modelo CAD de la pieza a imprimir para ello se usa el FreeCAD y luego se obtiene el código G de la misma pieza mediante el software Slic3r-CAM. La transferencia de información del código G al MCU se puede dar de dos formas: mediante la computadora o por medio de un dispositivo de almacenamiento como por ejemplo un chip micro SD. Mediante el HMI se puede configurar los parámetros de impresión como por ejemplo, velocidad y aceleración de impresión, temperatura del extrusor, etc. Se validara el trabajo mediante una serie de impresiones (mediante la impresora 3D desarrollada por el proyecto) que irán aumentando de complejidad, se empezara con figuras de geometría básica y así aumentando gradualmente la complejidad de la misma. En todas las piezas impresas se evaluara y registrara en tablas y gráficos estadísticos los siguientes parámetros: el tiempo, precisión, exactitud, repetibilidad y replicabilidad, los que luego serán comparados con los correspondientes valores obtenidos por métodos actuales usados por los estudiantes Universitarios de la ciudad de Trujillo, determinando las mejoras en los prototipos finales ensamblados.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- 1 Collado V. *Mejora del sistema de extrusión de una impresora 3D BCN3D Sigma*. 2016 ETSEIB-UPC.
- 2 Travieso J, Jerez-Mesa R., Gómez-Gras, G. *Impresión 3D: del laboratorio a casa*. 2015. UPC.

- 3 De la Peña S. *Diseño del prototipo de un kit de impresora 3D*. 2015 ETSEIB-UPC, Barcelona-España.
- 4 Cuatrecasas LL. *Diseño avanzado de Procesos y Plantas de Producción Flexible*. editorial PROFIT 2009.
- 5 Turcan N. *Diseño y Desarrollo de un Aerogenerador de viento*. 2015, UPC. Barcelona-España
- 6 Rodríguez J. *Modelo cinemático y control de un brazo robótico imprimible*. 2015, Carlos III, Madrid-España.
- 7 Jiménez S. *Diseño e implementación de un teatro móvil mediante Arduino e impresora 3D*. 2015, Carlos III, Madrid-España.
- 8 Ramos M. *Diseño mecánico, impresión y montaje de un vehículo imprimible*. 2012, Carlos III, Madrid-España.
- 9 Camacho R., *Diseño y optimización para plataformas de un dron multirrotor*. 2015, Carlos III, Madrid-España.
- 10 Valbuena A. *Integración de sensores a bordo del robot mini-humanoide Bioloid*. 2015, Universidad Carlos III de Madrid-España.
- 11 Morocho J. *Las emergentes tecnologías enfocadas al diseño. Alcances de las tecnologías de fabricación por adición*. 2016, Universidad Azuay.
- 12 Miyer A., Suárez C., Tafur W., Calderón R. *Aplicación de herramientas CAD/CAM para el diseño y fabricación de prototipos de moldes de inyección de plásticos*. Revista TECNURA, Universidad de Caldas, 2015.
- 13 Hemerson P.; Olate S.; Cantín M. *Anatomical Reproducibility through 3D Printing in Cranio-Maxillo-Facial Defects*. Int. J. Morphol, 33(3):826-830, 2015.

- 14 Groover, M. Robótica. México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A, 2007.
- 15 Bloom, H. *Software and Computer Integrated Manufacturing*. Url:
http://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=821034.
- 16 Estrems, M. *Principios de Mecanizado y Planificación de Procesos*. 2009. Url:
http://www.dimf.upct.es/personal/EA_M/Principios%20de%20mecanizado.pdf.
- 17 Ferguson, N. *A history of numerically controled machine tools*. CME.
Url:http://www.academia.edu/670021/A_history_of_numerically_controlled_machine_tools
- 18 Reyes F. *Robotica*. Editorial Alfaomega, 2011.
- 19 Bolton W. *Mecatronica*. Editorial Alfaomega, 2010.
- 20 Fiestas, E. *Control de los Movimientos de un Robot Industrial Utilizando un Módulo FPGA De0_Nano_SoC de Altera, una PC y una Maquina CNC de Bajo Coste*. Url: 2017.
<https://drive.google.com/file/d/0B43C4H0zCSUOSUR3cnNObl9hNU0/view>.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
Informe Parcial del Proyecto	19/06/2017	28/02/2018
Ponencia sobre Impresoras 3D y su impacto en el sector Educación	16/01/2018	06/03/2018
Informe Final del Proyecto	01/03/2018	31/05/2018
Articulo sobre Diseño y Simulación del Control Digital PID realimentado para una Impresora 3D	17/04/2018	24/04/2018
Articulo de revista	15/05/2018	31/05/2018

PRESUPUESTO			
DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
Equipo	1 UNI	973.70	973.70
OTROS	10 UNI	1	10
OTROS	5 UNI	30.26	151.30
OTROS	4 UNI	30.35	121.40
OTROS	6 UNI	17.34	104.04
Alquiler	1 UNI	100	100
OTROS	1 UNI	294.94	294.94
Equipo	1 UNI	530	530
APOYO	1 UNI	3600	3600
OTROS	1 UNI	84.76	84.76
OTROS	1 UNI	64.99	64.99
OTROS	1 UNI	53	53
OTROS	1 UNI	52	52
OTROS	2 UNI	3	6
Hardware	1 UNI	1018.80	1018.80
OTROS	1 UNI	49.40	49.40
OTROS	1 UNI	60.70	60.70
OTROS	1 UNI	26.01	26.01
OTROS	8 UNI	18.42	147.36
OTROS	1 UNI	151.74	151.74
Fotocopiado y/o Impresiones	1 UNI	1419.50	1419.50
OTROS	2 UNI	6.80	13.60
OTROS	80 UNI	0.45	36
OTROS	1 UNI	715.36	715.36
OTROS	6 UNI	36.85	221.10
OTROS	1 UNI	14.31	14.31
OTROS	10 UNI	1	10
OTROS	1 UNI	238	238
OTROS	1 UNI	54.54	54.54
OTROS	1 UNI	73.70	73.70
OTROS	1 UNI	35.03	35.03
OTROS	10 UNI	1	10
Hardware	1 UNI	758.71	758.71
OTROS	1 UNI	34.68	34.68
OTROS	4 UNI	15.17	60.68
OTROS	2 UNI	117.06	234.12
OTROS	1 UNI	476.91	476.91
OTROS	4 UNI	1.95	7.80
OTROS	1 UNI	15.17	15.17
OTROS	3 UNI	20	60
OTROS	2 UNI	108.39	216.78
TRANSPORTE LOCAL	12 UNI	10	120
OTROS	1 UNI	56.14	56.14
OTROS	20 UNI	1.30	26
OTROS	1 UNI	10	10
Hardware	2 UNI	34.25	68.50
OTROS	80 UNI	0.30	24
OTROS	1 UNI	173.20	173.20
OTROS	1 UNI	40	40
Alquiler	1 UNI	100	100