

PROYECTO FONDEF DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

INFORME FINAL

TITULO DEL PROYECTO: APARATO Y MÉTODO CAD/CAM DE CORTE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS), PARA ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS Y ARQUITECTÓNICOS DE GEOMETRÍA COMPLEJA.

CÓDIGO DEL PROYECTO: VIU14E063

FECHA DE EMISION: 02/10/2017

FIRMA DEL (DE LA) DIRECTOR(A) DEL PROYECTO
FRANCISCO JAVIER QUITRAL ZAPATA

I. Acta De Término Del Proyecto

1.1 Identificación del proyecto

TITULO DEL PROYECTO	APARATO Y MÉTODO CAD/CAM DE CORTE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS), PARA ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS Y ARQUITECTÓNICOS DE GEOMETRÍA COMPLEJA.
CÓDIGO FONDEF	VIU14E063
DIRECTOR(A) DEL PROYECTO	FRANCISCO JAVIER QUITRAL ZAPATA
INSTITUCIÓN(ES) BENEFICIARIA(S)	UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
EMPRESA Y OTRAS ENTIDADES ASOCIADAS	

1.2 Ejecución del proyecto

FECHA DE TOMA DE RAZON POR LA CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA	10/08/2015
DURACIÓN CONTRACTUAL	12
FECHA EFECTIVA DE INICIO	05/10/2015
FECHA EFECTIVA DE TÉRMINO	04/11/2016
DURACIÓN EFECTIVA	13

1.3 Plan de Continuidad

Nombre Institución Beneficiaria	Nombre Representante Legal	Firma
UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA	DARCY FUENZALIDA O'SHEE	Firma Electrónica

1.4 Tabla de Conformidad

Nombre Institución Empresa u Otra Entidad Socia	Nombre Representante Legal	Documento conformidad
---	----------------------------	-----------------------

II. Informe Ejecutivo

2.1 Resumen Ejecutivo

Versión en Castellano

En la actualidad, el diseño y la fabricación asistida por computador (CAD/CAM) permiten materializar objetos y geometrías complejas con gran eficiencia y precisión, en comparación con procesos manuales. Tanto en el diseño, la arquitectura y la construcción, la rápida y progresiva invasión de la automatización, permitirá reducir tiempos y costos, pero también creará nuevas oportunidades de expresión morfológica que produzcan mayor efecto arquitectónico. En este ámbito, la fabricación aditiva, que se basa en la conformación de piezas tridimensionales mediante la adición de sucesivas capas de material, supone una alternativa para dar respuesta a las nuevas necesidades del mercado, que no pueden ser resueltas mediante técnicas de fabricación sustractivas, que se basa en el arranque de viruta o mecanizado de un gran bloque de material, para quitar el exceso hasta obtener el objeto diseñado. Ambas técnicas tienen sus desventajas; por un lado, la adición de pequeñas capas en comparación con el tamaño del objeto final, supone un gran tiempo de fabricación; por el otro, la sustracción de material conlleva una gran cantidad de excedente que -por lo general- se convierte en residuo. En este sentido, el proyecto investiga una nueva aproximación al proceso de fabricación sustractiva en geometría compleja, que pretende reducir al mínimo el material residual en la producción de componentes de poliestireno expandido (EPS). Las cualidades del EPS son ampliamente conocidas en la industria de la construcción, su desarrollada gama de aplicaciones y formatos lo convierten en un material muy utilizado; desde aislamiento térmico y/o acústico, elementos decorativos, juntas de dilatación, así como para aligerar obras de ingeniería civil y de manera incipiente en moldes de hormigón. Estos últimos, se fabrican mediante el mecanizado por sustracción que -como se mencionó anteriormente- genera excesivos residuos de material particulado. En cambio, la técnica de corte por hilo caliente tensado (proceso industrial para seccionar planchas de EPS) aparece como un proceso rápido y limpio. Además, los excedentes de este proceso son principalmente secciones de tamaño manipulable lo que facilita la reutilización del material sobrante, sin desgrane ni polvo en suspensión. Sin embargo, está limitado en las posibilidades geométricas de fabricación, ya que solo permite la generación de superficies regladas. El propósito de esta investigación consiste en diseñar un aparato y un método, que permitan fabricar componentes arquitectónicos en geometría compleja mediante un cuchillo caliente flexible controlado por computador, y de esta forma, reducir los tiempos y costos en la manufactura de moldes de EPS para encofrados de hormigón.

Versión en Ingles

Nowadays, Computer-Aided Design and Manufacturing (CAD / CAM) enables the realization of complex objects and geometries with great efficiency and precision compared to manual processes. Both in design, architecture and construction, the rapid and progressive invasion of automation, will reduce time and costs, but also create new opportunities for morphological expression that produce greater architectural effect. In this area, additive manufacturing, which is based on the shaping of three-dimensional pieces by the addition of successive layers of material, is an alternative to respond to the new needs of the market, which can not be solved by subtractive manufacturing techniques, Which is based on the chip start or machining of a large block of material, to remove the excess until the object designed. Both techniques have their disadvantages; On the one hand, the addition of small layers compared to the size of the final object, implies a great manufacturing time; On the other, the subtraction of material entails a large amount of surplus which - usually

- becomes waste. In this sense, the project investigates a new approach to the subtractive manufacturing process in complex geometry, which aims to minimize residual material in the production of expanded polystyrene (EPS) components. The qualities of the EPS are widely known in the construction industry, its developed range of applications and formats make it a widely used material; From thermal and / or acoustic insulation, decorative elements, expansion joints, as well as to light civil engineering works and incipient way in concrete molds. The latter are manufactured by subtraction machining which, as mentioned earlier, generates excessive residues of particulate material. On the other hand, the technique of tensioned hot wire cutting (industrial process for cutting EPS sheets) appears as a fast and clean process. In addition, the surpluses of this process are mainly sections of manipulable size which facilitates the reuse of surplus material, without grinding or dust in suspension. However, it is limited in the geometric possibilities of manufacture, since it only allows the generation of regulated surfaces. The purpose of this research is to design an apparatus and a method that allows the fabrication of architectural components in complex geometry by means of a computer-controlled flexible hot knife and thus reduce the time and cost in the manufacture of EPS molds for formwork of concrete.

2.2 Cuadro De Sintesis de Resultados y Objetivos

Objetivos Generales

Objetivos Específicos

RESULTADO	
-----------	--

Tipo	Resultado de Producción
Nombre	Proceso de fabricacion de moldes de EPS
Descripción	Con base en los resultados de I+D del aparato de corte y de los moldes de EPS, este busca medir y evaluar el proceso de proceso de fabricación de los moldes de hormigón, con el objetivo de alcanzar una capacidad productiva que pueda ser rentable. Se verificarán las variables y se optimizarán mediante un proceso de fabricación real de un prototipo escala 1:1, el cual además sirve como demostración comercial del producto/servicio futuro.

Descripción del Logro	Se diseña y fabrica un prototipo a escala 1:1 que verifica las variables críticas del proceso de fabricación de moldes y piezas de EPS, se verifica el uso de manufactura tradicional lo que permitiría una fácil introducción en la industria de la construcción actual, ya que no requiere mano de obra calificada. La principal diferencia funcional y operacional pasa por simplificar el diseño y producción de grandes volúmenes de moldes en geometría compleja, lo que actualmente se construye en madera a nivel de detalle mueblista.
-----------------------	---

Referencia Bibliográfica	
--------------------------	--

RESULTADO	
-----------	--

Tipo	Resultado de Producción
Nombre	Prototipo final del aparato de corte
Descripción	Tras una evaluación del prototipo actual, se re-diseñan y fabrican nuevos componentes mecánicos para mejorar la precisión, además se optimiza la programación del software de control. Este resultado se presenta como una máquina a nivel de prototipo 100 funcional, que permite cortar, mediante un cuchillo flexible caliente, bloques de poliestireno expandido de grandes dimensiones (50x50x100 cms), en doble curvatura. Por otro lado, este prototipo alcanzará mayores velocidades de producción, en comparación con máquinas de fresado de control numérico de 3 ejes y/o robots industriales de 6 ejes, lo que podría implicar un menor costo final menor en la fabricación de piezas tridimensionales complejas en poliestireno expandido.

Descripción del Logro	Si bien, en el prototipo final del aparato de corte permite reducir los tiempos de fabricación en comparación con el fresado CNC, aún persisten tolerancias en las calidades superficiales. Resta por experimentar con procesos de fabricación mixtos, utilizando el prototipo, mejoras con CNC y el uso de robots manipuladores con la integración de una herramientas ad-hoc.
-----------------------	---

Referencia Bibliográfica	
--------------------------	--

RESULTADO	
-----------	--

Tipo	Resultado de Producción
------	-------------------------

Nombre	Prototipo final del molde de EPS
Descripción	Tras una fase de pruebas de concepto con distintos tipos de aditivos, se busca encontrar mediante ensayo y error, un recubrimiento para los bloques de poliestireno expandido con cualidades desmoldantes para el hormigón, pensando en su utilización como moldes interiores curvos para encofrado tradicional recto. Con este resultado se busca mejorar la calidad superficial del hormigón, en comparación con los moldes o encofrados de madera de fabricación artesanal para geometrías complejas.

Descripción del Logro	El resultado se presenta mediante diversos prototipos (moldes) a los cuales se aplicaron diversos desmoldantes, desde productos tradicionales de la industria hasta mezclas caseras. Los aditivos con mejor desempeño resultaron ser los mismos que se utilizan en encofrados de madera, lo que implica condiciones de uso y calidad superficial idénticas a las utilizadas en trabajos de obra gruesa. Finalmente, en trabajos de hormigón visto se considera utilizar otros sustitutos que pueden competir con los productos tradicionales, ya que se puede obtener geometría compleja y superficies terminadas, lo que aparece como el principal beneficio ya que evitaría post-procesos en la conformación de grandes estructuras de hormigón.
-----------------------	--

Referencia Bibliográfica	
--------------------------	--

RESULTADO

Tipo	Resultado de Protección
Nombre	Aparato para cortar volúmenes de espuma de poliestireno expandido o similar
Descripción	Con fecha 18/03/2015 se presenta la solicitud de patente de invención N 201500674. De manera paralela a la ejecución del proyecto, el invento fue re-diseñado para integrarse como herramienta a un robot industrial manipulador, lo cual amplía las posibilidades geométricas de las piezas que se pueden manufacturar. El aparato tiene potencial de uso para la fabricación de moldes de hormigón en la industria de la construcción, elementos ornamentales en arquitectura o incluso para la producción de tablas de surf, además de diversas aplicaciones en la industria creativa. La solicitud fue presentada en territorio nacional, sin embargo, la Oficina de Transferencia Tecnológica y Licenciamiento de la Universidad actualmente tramita la presentación de una solicitud internacional, mediante el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT). Se analiza la posibilidad de presentar una segunda solicitud de patente, con las consideraciones y resultados obtenidos, sin embargo esta escapa a los tiempos y resultados del presente proyecto.
Resultados de Producción Asociados	Prototipo final del aparato de corte

Descripción del Logro	La Oficina de Transferencia Tecnológica y Licenciamiento de la Universidad informó durante la ejecución del proyecto; la Resolución y aceptación del nombramiento de perito, la Resolución de prórroga del informe pericial (por 60 días), la Constatación de informe pericial recibido en plazo y finalmente con fecha 22/08/2016 la Resolución de notificación del informe pericial (ley nueva). Actualmente tramita la presentación de una solicitud internacional, mediante el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT). Estado actual de la solicitud: Sin Resolver. En los meses venideros, se analizará la posibilidad de presentar una segunda solicitud de patente.
-----------------------	---

RESULTADO

Tipo	Resultado de Transferencia y Negocios
Nombre	Realimentacion comercial
Descripción	El equipo de trabajo se adjudicó un Capital Semilla se CORFO (Código 15CS-43140) lo cual permitió el estudio de la comercialización de la investigación, además de la creación de la empresa Ideotipo SpA. Estos procesos tienen directa relación con los resultados de producción del presente proyecto. La información obtenida de los modelos de negocios, reuniones y evidencia empírica del mercado produce modificaciones en los resultados de investigación del proyecto VIU. En primera instancia sobre el Prototipo final del aparato de corte, el cual diverge en 2 conceptos de diseño; el corte por hilo caliente y el conformado por mecanizado (fresado). Y en segunda instancia la definición del producto/servicio a comercializar; un proceso de diseño y fabricación de piezas de poliestireno expandido en geometría compleja, tecnología que pretende abarcar el mercado nacional principalmente la industria de la construcción y la arquitectura además de la industria creativa.
Resultados de Producción Asociados	Proceso de fabricacion de moldes de EPS

Descripción del Logro	Los dueños de la empresa son; Eduardo Antonio Valenzuela Astudillo, Gonzalo Alejandro Barrientos Bahamonde y Francisco Javier Quitral Zapata. La empresa comercializará principalmente en Chile, tanto como producto o servicio, un proceso de diseño y fabricación de piezas de poliestireno expandido en geometría compleja para la fabricación de moldes de hormigón. La empresa está ubicada en calle Esmeralda, 973 Depto. 502, Valparaíso. Se adjunta Inicio de Actividades.
-----------------------	--

RESULTADO

Tipo	Resultado de Producción Científica (Ex "Otros")
Nombre	Generacion de nuevo proyecto
Descripción	Se evalúa y postula a fuentes de financiamiento complementarias que permitan aproximar la etapa de producción o ventas del producto/servicio.

Descripción del Logro	Se presenta y se adjudica por parte del equipo emprendedor el proyecto FLEX 7D, FABRICACIÓN AUTOMATIZADA DE MOLDES PARA ESTRUCTURAS COMPLEJAS DE HORMIGÓN , código 15CS-43140, correspondiente a un Capital Semilla de CORFO, que busca aproximar la etapa de producción o ventas de un producto/servicio derivado de la investigación en curso.
-----------------------	--

Referencia Bibliográfica	Proyecto FLEX 7D, FABRICACIÓN AUTOMATIZADA DE MOLDES PARA ESTRUCTURAS COMPLEJAS DE HORMIGÓN, código 15CS-4314. http://www2.corfo.cl/semillacorfo/Resultados_al_3107_1er_Capital_Semilla_2015.pdf
--------------------------	---

RESULTADO

Tipo	Resultado de Producción Científica (Ex "Otros")
Nombre	Difusion de investigacion
Descripción	Con la información levantada en las actividades de investigación y desarrollo y el registro audiovisual paralelo, se publican algunos resultados del proyecto para dar a conocer la tecnología y sus ventajas competitivas. Este resultado se manifiesta en primera instancia como un artículo científico, posteriormente en notas de prensa y videos publicados en internet, haciendo reserva de las tecnologías que se puedan proteger.

Descripción del Logro	Video de difusión de la investigación: https://vimeo.com/186511148 Se enviarán a lo menos 2 resúmenes de artículos científicos a la revista Construction Robotics. http://www.springer.com/engineering/robotics/journal/41693 Participación como empresa Ideotipo del Congreso ExpoHormigón 2016 los días 13 y 14 de Octubre http://hormigonarte.cl/proximamente/
-----------------------	--

Referencia Bibliográfica	https://vimeo.com/186511148 http://www.springer.com/engineering/robotics/journal/41693 http://hormigonarte.cl/proximamente/
--------------------------	---

RESULTADO

Tipo	Resultado de Formación de Capacidades (Ex "Otros")
Nombre	Consolidacion de equipo de trabajo
Descripción	El grupo de trabajo se considera a lo largo de toda la ejecución proyecto, por lo que resulta fundamental construir relaciones profesionales y formar capacidades técnicas que pertenecen al individuo para integrarlas de manera colectiva a la investigación y a la construcción del emprendimiento. Este resultado se manifiesta en la transmisión de los conocimientos hacia el equipo, en reuniones periódicas de discusión de los avances particulares.

Descripción del Logro	El equipo se consolida a nivel técnico profesional mediante la definición de roles a lo largo de la ejecución del proyecto y de las diversas tareas anexas. Este resultado se manifiesta con claridad ya que el equipo de trabajo termina conformando la sociedad que define la empresa. A saber, Eduardo Antonio Valenzuela Astudillo, Gonzalo Alejandro Barrientos Bahamonde y Francisco Javier Quitral Zapata.
-----------------------	---

RESULTADO DE PRODUCCIÓN

Categoría	Cantidad Comprometida	Cantidad Lograda
Producto	2	2
Proceso	1	1

RESULTADO DE PROTECCIÓN

Categoría	Cantidad Comprometida	Cantidad Lograda
Patente	1	1

RESULTADO DE TRANSFERENCIA Y NEGOCIOS

Categoría	Cantidad Comprometida	Cantidad Lograda
Creación de una Empresa	1	1

RESULTADO DE PRODUCCIÓN CIENTÍFICA (EX "OTROS")

Categoría	Cantidad Comprometida	Cantidad Lograda
Publicación	1	1
Nuevo Proyecto Generado	1	1

RESULTADO DE FORMACIÓN DE CAPACIDADES (EX "OTROS")

Categoría	Cantidad Comprometida	Cantidad Lograda
Capacidades profesionales desarrolladas o fortalecidas	1	1

2.3 Informe financiero a la fecha de término

	Montos Comprometidos según Convenio por fuente de financiamiento	Monto Girado por Fondef	Gastos financiados por fuente de financiamiento	%
FONDEF	24.000.000	24.000.000	23.973.466	67,36 %
FONDEF	24.000.000	24.000.000	23.973.466	33,68 %
Institución(es) Beneficiaria(s)				
UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA	11.616.000	No Aplica	11.616.000	32,64 %
UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA	11.616.000	No Aplica	11.616.000	16,32 %
Empresas y otras Entidades Asociadas	0	No Aplica		0 %
Totales	35.616.000	24.000.000	35.589.466	50 %

Monto por Reintegrar				
Monto Reintegrado a FONDEF		(26.534)		
Costo Final del Proyecto		71.152.398		

2.4 Autoevaluación de la Ejecución del Proyecto

El(la) Representante Institucional de cada Institución Beneficiara
UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
<p>Este proyecto se ejecutó de acuerdo al plan de trabajo presentado, logrando obtener la validación comercial con su primera venta de su producto y generando una vasta red de contactos, entre los destacan empresas del rubro como: Shape, Resco SpA, CDT. Dhelos. Beltec, GT2P, PERI, entre otros. Por otro lado, se dió énfasis a las diversas iteraciones del modelo de negocios y de los numerosos pivoteo que se dio a la idea original, teniendo como resultado una retroalimentación sostenida en la ejecución del proyecto, además del apoyo permanente del Mentor Guido Naveas, mentor de la red del 3IE. El emprendedor y su equipo desarrollaron diversos prototipos para verificar calidades, tiempos de fabricación, costos, materiales, etc. Proceso que terminó en su primera venta exitosa con la empresa GT2P por un monto cercano a los \$2 MM y acuerdos comerciales con la empresa PERI. El equipo Flex 7D se encuentra consolidado, comprometido y con gran conocimiento técnico, por lo que se han enfocado en elaborar estrategias comerciales para abarcar más potenciales clientes y lograr consolidar su producto y empresa.</p>

El(la) Director(a) del proyecto
<p>Si bien el proyecto comenzó con algunas dificultades financieras en la puesta en marcha, la disponibilidad de la Universidad para concretar los aportes en las distintas áreas, tanto en el espacio de trabajo para el desarrollo del proyecto, como en el uso de los distintos laboratorios, permitió sobrepasar los apuros iniciales. En números, el plan de trabajo fue ejecutado con total éxito, con la excepción de un par de incumplimientos en plazos auto-impuestos, ante esto el equipo de trabajo supo responder ante los problemas y dar fiel cumplimiento a los resultados comprometidos.</p>

2.5 Propuesta de Continuidad de la(s) Institucion(es) Beneficiaria(s)

Se identifican a lo menos 4 impactos de los resultados principales para la continuidad de la institución beneficiaria: 1. La presentación de una solicitud de patente de invención (N°201500674) APARATO PARA CORTAR VOLUMENES DE ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO O SIMILAR OBTENIENDO SUPERFICIES DE DOBLE CURVATURA. 2. El uso y aplicación del equipamiento asociado al proyecto para la generación y apoyo de nuevos proyectos de I+D relacionados a la Fabricación Robotizada en Arquitectura, Arte y Diseño. 3. Aporte en la consolidación de la línea de investigación del área de profundización en Computación del Departamento de Arquitectura. 4. La formación de una empresa con la posibilidad de valorizar, comercializar y transferir los resultados del proyecto.