

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

PROYECTO NÚMERO P02

1. Título

Investigación y desarrollo de métodos automatizados para el acomodo de capas de materiales compuestos aplicado a la manufactura de palas.

2. Tipo de proyecto

Investigación aplicada

3. Instituciones y empresas participantes

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)
Número de RENIECYT: 192
Avenida Playa Pie de la Cuesta No. 702, Fraccionamiento Habitacional Desarrollo San Pablo, CP 76130,
Santiago de Querétaro, Querétaro.

4. Líder técnico

Hugo Gámez Cuatzin	CVU: 67870	Grado máximo: Post-Doctorado
		Es miembro del S.N.I. =NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
Perfil.- Es Ingeniero en Electrónica Especialidad Instrumentación y Doctor en Dispositivos de Electrónica Integrada. Realizó Post-Doctorado como Coordinador de consorcio académico de 7 entidades, para un proyecto financiado por Región Rhone Alpes, Francia. Cuenta con Certificación PMP-PMI en Dirección de Proyectos. Es Diplomado en Comercio Internacional e Ingeniería de Negocios Internacionales por el Centro de Estudios Superiores en Comercio Internacional CESC, París, Francia.		
Estudios: IT-Orizaba, CINVESTAV, INSA de Lyon Francia		

5. Líder administrativo

M.A. Jesús Páramo Barrios
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

6. Principales participantes del equipo de trabajo

Hugo Gámez Cuatzin	CVU: 67870	Grado máximo: Post-Doctorado
		Es miembro del S.N.I. =NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
<p>Perfil: Es Ingeniero en Electrónica Especialidad Instrumentación y Doctor en Dispositivos de Electrónica Integrada. Realizó Post-Doctorado como Coordinador de consorcio académico de 7 entidades, para un proyecto financiado por Región Rhone Alpes, Francia. Cuenta con Certificación PMP-PMI en Dirección de Proyectos. Es Diplomado en Comercio Internacional e Ingeniería de Negocios Internacionales por el Centro de Estudios Superiores en Comercio Internacional CESCI, París, Francia.</p>		
Estudios: IT-Orizaba, CINVESTAV, Lyon Francia		

Luis Govinda García Valdovinos	CVU: 43523	Grado máximo: Doctorado
		Es miembro del S.N.I. = NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
<p>Perfil.- Es Ingeniero en Electrónica y Doctor en Ciencias. Terminó su Doctorado en 2006. Imparte cátedra en el Posgrado Interinstitucional en Ciencia y tecnología (PICYT) en la Maestría Germano-Mexicana de Mecatrónica. Es profesor en el Programa de Especialización en Tecnólogo Mecatrónico.</p>		
Estudios: IT-Lázaro Cárdenas, Michoacán, y CINVESTAV		

Ulises Sánchez Santana	CVU: 354163	Grado máximo: Doctorado
		Es miembro del S.N.I. = NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
<p>Perfil.- Es Ingeniero Mecánico y Doctor en Ingeniería Mecánica. Terminó su Doctorado en 2008, en Ingeniería Mecánica con especialidad en desarrollo y construcción de sistemas mecánicos, con el tema de tesis "Comportamiento dinámico de materiales y estructuras pre-fatigados.</p>		
Estudios: IT-Morelia Michoacán		

Diego Ernesto Cárdenas Fuentes	CVU: 40783	Grado máximo: Doctorado
		Es miembro del S.N.I. = SI-C
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
<p>Perfil: Es Ingeniero Mecánico Eléctrico y Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Terminó su doctorado en 2011, con especialidad en energía eólica. Fue asistente de investigación en el Fraunhofer Institute of Production Technology en Aachen, Alemania. Fue asistente de investigación en GE: Centro de Manufactura y Tecnología, en Monterrey N.L.</p>		
Estudios: ITESM y UT-Hamburgo Alemania		

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

Roberto Sosa Cruz	CVU: 236578	Grado máximo: Maestría
		Es miembro del S.N.I. = NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
Perfil.- Es Ingeniero en Mecatrónica. Obtuvo su grado de maestría en el año 2012. Obtuvo el segundo lugar en el 10 Field Robort Event en Holanda. Actualmente es el Responsable para la Implementación del Laboratorio de Confrontación y Pruebas Experimentales del CIDESI.		
Estudios: ITESM, Finlandia y Suecia		

Víctor Miguel Villasana Velázquez	CVU: SIN	Grado máximo: Licenciatura
		Es miembro del S.N.I. = NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
Perfil.- Ingeniero Mecánico. Presentó su examen de Titulación en Diciembre de 2012. Su título está en trámite. Realizó sus prácticas profesionales en CIDESI en el Diseño y Pruebas de Propulsor Marino.		
Estudios: ITSES, San Miguel Allende, Gto.		

Adán Puerto Flores	CVU: SIN	Grado máximo: Licenciatura
		Es miembro del S.N.I. = NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
Perfil.- Ingeniero Mecánico. Terminó su carrera en 2011. Su titulación está en trámite. Es autor secundario (como diseñador) de una patente para túnel thusrter (propulsor transversal).		
Estudios: ITSES, San Miguel Allende, Gto.		

Alejandra Calvo Ávila	CVU: 585068	Grado máximo: Licenciatura
		Es miembro del S.N.I. = NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
Perfil.- Es Ingeniero en Aeronáutica y estudia la Maestría en Diseño de Sistemas Mecánicos. Su especialidad son los sistemas de calidad.		
Estudios: ESIME, CIDESI		

Edgar Miranda Paniagua	CVU: 519491	Grado máximo: Maestría
		Es miembro del S.N.I. = NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
Perfil.- Es Maestro en Ingeniería Mecánica. Se especializa en pruebas mecánicas.		
Estudios: CIDESI		

José Alfredo Manzo Preciado	CVU:	Grado máximo: Doctorado
		Es miembro del S.N.I. = NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
Perfil.- Es Ingeniero Mecánico, Maestro en Ingeniería Mecánica y Doctor en Ciencia y Tecnología.		
Estudios: U-Colima, U-GTO, PICI-CIDESI		

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

Guillermo Muñoz Hernández	CVU: 202217	Grado máximo: Doctorado
		Miembro del S.N.I. = NO
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)		
Perfil. - Es Ingeniero Mecánico Agrícola, Maestro en Ingeniería Mecánica y Doctor en Ciencia y Tecnología. Es Co-Autor de una patente. Premio a Innovación y Diseño Querétaro 2007 (CANACINTRA).		
Estudios: UA-Chapingo, U-GTO y CIDESI		

7. Antecedentes

Desde el punto de vista tecnológico, los materiales compuestos y las piezas o estructuras manufacturadas a base de éstos han despertado el interés de universidades, centros de investigación y empresas debido a las ventajas que presentan con respecto de sus contrapartes manufacturadas con materiales metálicos (acero y aluminio, principalmente). Entre sus ventajas más sobresalientes están su baja densidad y su alta resistencia mecánica. La baja densidad permite reducir de manera considerable el peso de las estructuras, mientras que la alta resistencia mecánica permite obtener una robustez similar a la del acero o aluminio.

Desde el punto de vista económico, el mercado para los materiales compuestos y sus piezas manufacturadas está determinado precisamente por esas dos ventajas. Así, los materiales compuestos interesan en segmentos de mercado tales como el aeroespacial, la energía eólica, la construcción, y el transporte. Si bien el segmento de manufactura de piezas para aplicaciones aeroespaciales es el que más demanda presenta actualmente, hay un interés cada vez más pronunciado por parte de los diseñadores y fabricantes de partes para aerogeneradores, y en particular en lo que se refiere a la manufactura de palas o aspas a base de materiales compuestos.

Entre los grandes actores globales en el mercado de la manufactura de palas, en serie, podemos citar a la danesa LM WIND POWER, empresa que a la fecha ha diseñado y manufacturado palas de 73.5 metros de largo para la francesa ALSTOM, las cuales se cuentan entre las más grandes manufacturadas y puestas en operación, a la fecha. LM WIND POWER menciona que utiliza materiales compuestos de bajo costo para la manufactura de sus palas. De hecho, LM WIND POWER se llamaba inicialmente LM GLASS FIBER y, previamente, había desarrollado procesos de manufactura de piezas a base de fibra de vidrio. Cuando el mercado eólico crece, la empresa creció y progresivamente se especializó en el diseño, tecnología y manufactura de palas hasta llegar a lo que es hoy. Esta empresa cuenta con patentes en tecnología de producción de palas. El modelo de negocios de LM WIND POWER implica que cada nuevo régimen de diseño y producción sea idéntico en todo el mundo y que los materiales puedan provisionarse localmente con el fin de reducir el costo de transporte, tanto de materias primas, como de transporte, ligado este último al proceso de importación –exportación.

Pero el record de manufactura de grandes palas, lo tiene SSP TECHNOLOGY (otra empresa danesa) quien desarrolló y manufacturó palas de 83.5 metros de longitud, mismas que equiparán los aerogeneradores offshore de 7 MW de SAMSUNG. Por lo pronto el prototipo completo de la turbina eólica SAMSUNG S7.0-171 será probado en el parque eólico de Fife, en Escocia, este mismo año 2013. SAMSUNG espera tener lista la versión comercial de ese modelo para 2015. El transporte de la primera de estas palas desde el sitio de manufactura de SSP TECHNOLOGY en Kirkeby, cerca de la Cd. de Odense, al suroeste de Dinamarca, requirió un permiso especial de las

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

autoridades danesas y fueron necesarias 5 horas para recorrer los 170 Km que separan Kirkeby del puerto de Ebsjerg, a donde las palas fueron embarcadas con dirección de Escocia.

El Sandia National Laboratory de EEUU puso en marcha un programa para el desarrollo de conceptos avanzados, análisis y herramientas de diseño en áreas de energía, clima y seguridad de infraestructuras. En particular para el tema de energías renovables y energía del viento, destaca el interés por desarrollar conocimiento científico básico y herramientas de ingeniería que permitan a los diseñadores, de sistemas eólicos, maximizar su rendimiento al más bajo costo posible. Para lograr esto, SANDIA propone que se deben enfocar los esfuerzos en la búsqueda de mejoras sustanciales en tecnología de palas por medio de mejoras en materiales, sensores, aerodinámica y códigos estructurales, de tal manera que sea posible fabricar grandes rotores por medio de técnicas adaptativas.

Ahora bien, el proceso de manufactura de las palas en serie para grandes aerogeneradores requiere de una gran cantidad de mano de obra, misma que en algunos casos puede considerarse casi artesanal. En contraste, para realizar mejores diseños de palas se utilizan métodos de análisis numérico que pueden ser bastante complejos en la medida en que para obtener mejores resultados se requiere modelar las estructuras lo más fidedignamente posible a lo que serán una vez manufacturadas. Para realizar los estudios de las palas mediante análisis numérico se utilizan ya sea modelos no-lineales en el tiempo, que requieren una gran cantidad de tiempo de cómputo (tales como BLADED de Garrad Hassan , HAWC del RISOE y DTU, FLEX y ECN PHATAS) ya sea modelos linealizados (como en ECN TURBU) que después se pueden resolver ya sea en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia.

El principal reto en el caso de las palas de aerogeneradores es que su peso aumenta de manera no lineal con el aumento en sus dimensiones. Lo anterior se conoce gracias a que, como ya se mencionó, las técnicas actuales de CAD hacen posible modelar y estudiar de manera virtual palas de aerogeneradores con diferentes dimensiones y distribuciones de perfiles aerodinámicos. Por lo tanto, el uso de materiales compuestos en la manufactura de palas puede ayudar a reducir el peso de las mismas y, por lo tanto, contribuir a reducir el costo de la energía producida.

Como ya se mencionó, las palas para grandes aerogeneradores modernos pueden alcanzar dimensiones (peso y tamaño) bastante considerables, por lo que desde hace algunos años fabricantes como GAMESA, General Electric (GE) y VESTAS, han estado desarrollando palas segmentadas que podrían facilitar su transporte hasta el sitio donde se instalará el aerogenerador y una vez en el sitio las palas se pueden ensamblar siguiendo un procedimiento específico. GE también ha incursionado en la investigación de procesos al adquirir equipos de colocación automatizada de cintas de materiales compuestos (Automated Tape Laying - ATL) así como equipos para la colocación automatizada de fibras (Automated Fiber Placement - AFP), y poniendo en marcha programas para determinar con precisión el costo de cada proceso para productos individuales: el reto principal es tener elementos para saber cuándo y cómo automatizar. Los equipos y maquinaria están instalados en el centro de investigación y desarrollo de nuevos materiales compuestos de GE GLOBAL RESEARCH en Munich, Alemania. A la fecha, con estos equipos GE es capaz de manufacturar estructuras de poco más de 10 metros, lo cual es considerado un gran paso entre la etapa de investigación y desarrollo y la manufactura a plena escala.

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

En las líneas anteriores se mencionó que GE GLOBAL RESEARCH adquirió equipo para ATL y AFP, aunque sin dar precisiones acerca del diseñador o fabricante de esos equipos. Una empresa francesa, CORIOLIS COMPOSITES se ha especializado en el diseño, desarrollo de software y fabricación de sistemas automatizados para la colocación de cintas o para el acomodo de fibras (ambas del tipo pre-impregnado o pre-preg) por medio de brazos robots industriales (ya sea de ABB o de KUKA ROBOTICS). El uso de brazos robot para estas aplicaciones ha demostrado ser fundamental para colocar las fibras exactamente en donde la estructura lo requiere. Entre los segmentos de mercado que atiende esta empresa se encuentra el aeroespacial (uno de sus clientes es AIRBUS), el automotriz, el ferroviario, el marino y el de las energías renovables.

En CIDESI, desde 2010 hemos incursionado en el mercado de los servicios para inspección y pruebas de materiales compuestos. Se cuenta de hecho con uno de los Laboratorios más y mejor equipados, a nivel latinoamericano, para la preparación de muestras de materiales compuestos y para su caracterización por medio de análisis químicos, microscopía óptica y electrónica, pruebas mecánicas estáticas y dinámicas (baja y alta temperatura) análisis de falla, vibración y ruido; así como pruebas no destructivas de diferente naturaleza. Uno de nuestros clientes principales es BOMBARDIER AEROSPACE MEXICO. CIDESI es el primer centro CONACYT certificado bajo la norma aeroespacial AS-9100 B, además de estar certificado bajo la norma ISO-9001:2008 así como bajo importantes estándares específicos de importantes empresas.

En la Dirección de Investigación y Posgrado de CIDESI se tiene una Línea de Investigación y desarrollo tecnológico en Energía. En ésta área se han ejecutado, y actualmente se ejecutan, proyectos de alto impacto para el medio ambiente. Un ejemplo es el diseño y prototipado de equipo para la optimización de la combustión en grandes termoeléctricas (proyecto del Fondo CONACYT CFE) y cuyas pruebas se efectúan en la termoeléctrica de Tuxpan, Veracruz.

En el área de energías renovables, podemos citar proyectos realizados por cuenta de terceros. Citaremos, entre otros, un proyecto para realizar pruebas de concepto para sistemas alternos de generación eólica con el fin de trasladar la etapa de generación eléctrica al nivel del piso así como un proyecto para diseñar un proceso de manufactura de palas segmentadas. Algunas de nuestras investigaciones a nivel académico se han publicado en revistas y congresos internacionales, una de nuestras contribuciones recibió incluso un reconocimiento por la calidad del trabajo realizado.

En resumen, CIDESI hace una apuesta a la investigación y desarrollo tecnológico de frontera, razón por la cual la presente propuesta se inscribe en una línea de trabajo multidisciplinaria que, durante los próximos cuatro años, combinará procesos de INVESTIGACIÓN APLICADA para desarrollar métodos de MANUFACTURA AVANZADA a base de MATERIALES COMPUESTOS con el fin de satisfacer necesidades de investigación y desarrollo en el área de Energías Renovables y particularmente orientados al desarrollo de métodos automatizados de manufactura de palas para aerogeneradores.

Referencias.

http://www.researchandmarkets.com/reports/2521845/growth_opportunities_in_global_composites
http://energy.sandia.gov/?page_id=352

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

<http://www.compositesworld.com/articles/wind-blade-manufacturing-part-i-m-and-p-innovations-optimize-production>

http://www.composites.ugent.be/movie_gallery.html

<http://www.lmwindpower.com/Wind-Technology/Patents>

<http://www.ssptech.com/>

<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2009/e09060.pdf>

<http://www.coriolis-composites.com/>

8.- Objetivos y metas

Objetivo general: sobre la base de investigaciones científicas aplicadas, desarrollar métodos automatizados para la colocación de cintas o fibras de materiales compuestos con aplicación en la manufactura de palas de grandes aerogeneradores.

Objetivos específicos

- Obtener y asimilar el conocimiento experto sobre los procesos y tecnologías de colocación de cintas, fibras o capas de materiales compuestos con el fin de determinar las metodologías más adecuadas para la automatización de dichos procesos.
- Diseñar e implementar los modelos cinemáticos y dinámicos para el funcionamiento de los robots que se utilizarán en el desarrollo del sistema.
- Aplicar análisis aeroelásticos sobre modelos numéricos de palas de grandes aerogeneradores que permitan determinar qué segmentos de la estructura pueden requerir un diseño más robusto y cuya manufactura pudiera realizarse mediante el uso del sistema.
- Estudiar prototipos de segmentos de palas manufacturados mediante el sistema con el fin de determinar sus características y propiedades.

9.- Contenido innovador

El desarrollo de métodos y sistemas automatizados que incorporen con precisión y rapidez materiales compuestos a nuevos procesos de fabricación de aspas para aerogeneradores, es investigación de vanguardia a nivel internacional. CIDESI hace una apuesta a la investigación y desarrollo tecnológico de frontera, razón por la cual la presente propuesta se inscribe en una línea de trabajo multidisciplinaria que, durante los próximos cuatro años, combinará procesos de INVESTIGACIÓN APLICADA para desarrollar métodos de MANUFACTURA AVANZADA a base de MATERIALES COMPUESTOS con el fin de satisfacer necesidades de investigación y desarrollo en el área de Energías Renovables y particularmente orientados al desarrollo de métodos automatizados de manufactura de palas para aerogeneradores.

10.- Principales resultados esperados lista de entregables

- Los principales resultados esperados son:

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

- La lista de entregables asociada a cada actividad y a cada etapa se muestra en el **Apéndice No. 3**

11.- Metodología propuesta

1. Obtención de conocimiento experto y estudio del estado del arte sobre métodos de manufactura de materiales compuestos.
2. Obtención de conocimiento experto y estudio del estado del arte sobre métodos de manufactura de palas de grandes aerogeneradores.
3. Modelación de métodos de manufactura de materiales compuestos.
4. Trasposición de los métodos de manufactura de materiales compuestos a modelos de automatización de los procesos.
5. Elaboración de modelos cinemáticos y dinámicos adecuados para controlar el posicionamiento de las cintas, fibras o capas de materiales compuestos.
6. Determinación de los segmentos de palas de aerogenerador que requieren robustez o refuerzo específico.
7. Análisis e interpretación de los resultados.
8. Diseño del sistema de control de desplazamiento de los robots utilizados para la manufactura de los segmentos de palas de aerogenerador.

12.- Cronograma de actividades

El cronograma de actividades se incluye en el **Apéndice No. 1**

13.- Desglose financiero

El desglose financiero se incluye en el **Apéndice No. 2**

14.- Justificación del gasto

Rubro 9.1
Ayuda para estudiantes de licenciatura, maestría, doctorado o post-doctoral.
Rubro 9.2
Para cubrir: estancia de personal del proyecto tomando cursos de especialización en el extranjero. Estancia de personal del proyecto en visitas a proveedores o empresas nacionales del área eólica.
Rubro 9.3
Adquisición de: paquete de normas para el sector eólico y en particular sobre la manufactura de palas de aerogeneradores; lote de libros de ciencia y tecnología de materiales compuestos; lote de libros de ciencia y tecnología de robótica y automatización aplicada en manufactura, artículos científicos sobre robótica y automatización aplicada en manufactura, artículos científicos sobre materiales compuestos, lote de consumibles para el laboratorio de materiales compuestos; lote de consumibles para el laboratorio de pruebas mecánicas.
Rubro 9.4
Se comprará un robot manipulador (brazo robótico) con fines de investigación, con el objetivo de

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

comenzar la exploración de las capacidades de brazos robóticos en la alimentación de fibras en moldes, trayectorias, flexibilidad y modularidad de los sistemas. El objetivo de adquirir un robot de tipo académico y de investigación es para poder tener acceso a la arquitectura de hardware y software que con un robot industrial no se podría obtener por cuestiones de propiedad intelectual. Este robot servirá para poder explorar los posibles prototipos que se pueden realizar mediante un brazo robótico, además su peso permite poder realizar conceptos con robots móviles con la misión de generar conceptos de manufactura flexible y modular. El pensar en una manufactura flexible y modular nos permite hacer modificaciones en el producto sin muchas restricciones que un sistema fijo tiene, se pueden cambiar modelos de producto incluso tipos de productos sin necesidad de realizar grandes cambios en la infraestructura. Aunado a esto los elementos son reutilizables reduciendo la inversión al momento de cambiar modelos o productos.

Se comprarán dos equipos de cómputo de alto desempeño (workstations) para poder simular los sistemas dinámicos de los conceptos como los brazos robóticos con el herramental. En estas máquinas se tiene planeado instalar software como ADAMS, Matlab/Simulink, entre otras aplicaciones que ayuden a hacer animación y simulación del comportamiento dinámico, incluso el mismo desarrollo mediante librerías que son "open source". Debido al benchmarking que se realizó a empresas que tienen sistemas para este propósito, se conoce que se requiere aplicar ciertas fuerzas para poder fijar el material, por lo mismo es necesario tener un sensor de fuerza especializado para agregarlo al robot (anteriormente mencionado) y poder medir la fuerza ejercida sobre el material pre impregnado. El tener un sensor de fuerza permite desarrollar algoritmos de control de fuerza para brazos robóticos. Ya que se requiere desarrollar y probar prototipos de manera constante y rápida se comprará una máquina de impresión en 3D profesional para fabricar los primeros componentes del herramental alimentador de fibra para el robot. Esta máquina es de vital importancia para acelerar el desarrollo de nuestra investigación, realizar las correcciones y mejoras pertinentes sin necesidad de expertos y talentos en maquinados con CNCs; además, la manufactura con estas máquinas lleva tiempo de preparación, generación de trayectorias, desbaste de material incluso desperdicio de material (scrap). Además, se tiene contemplado comprar un láser de calentamiento básico con el objetivo de hacer las pruebas pertinentes con el material compuesto pre impregnado, conocer las limitantes y elegir un mejor laser para el prototipo final. Se adquirirán diversos materiales y accesorios para poder hacer pruebas de los materiales compuestos a analizar, tales como sujetadores para la máquina universal, equipo de visión para observar los cortes, sensores diversos así como actuadores pequeños para los prototipos.

Se comprará un brazo robótico industrial una vez que se hayan entrevistado a los posibles proveedores de estos sistemas, estudiado las capacidades que nos puedan ofrecer y puedan cumplir con las características que nuestro diseño. El especialista subcontratado para dicho propósito elegirá el robot adecuado para nuestro proceso, además de que exista la posibilidad de realizar una alianza estratégica para poder apoyarnos mutuamente. Para este robot se necesita un sensor de fuerza de mayor rango y compatible con este robot. Se apoyará en la investigación realizada con anterioridad para el control de este nuevo brazo. ceptual del herramental necesite. En la etapa cuatro se comprará un robot móvil de grado industrial con el objetivo de poder investigar en la flexibilidad y modularidad de celdas de este tipo, poder tener el manipulador sobre este y hacer la experimentación de tener un robot móvil para la alimentación y colocación de la fibra (a escala). Esta visión se tiene debido a que el futuro de la manufactura en el mundo es poder hacer sistemas modulares y flexibles que puedan adaptarse a los cambios en el desarrollo de las palas. Ya que bien podríamos crear en un principio segmentos pequeños. Dichos segmentos podrían cambiar en algún momento y si no se contempla un sistema de manufactura

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

flexible se tendría que volver a invertir nuevamente recursos para poder desarrollar un nuevo sistema que permita fabricar este nuevo producto. El robot móvil ayudará a explorar esas capacidades y que el cambio de productos no requiera de una fuerte inversión en cuestiones de máquinas, equipos y materiales debido a la modularidad y de no tener un sistema dedicado solamente a un tipo de producto. Por lo mismo que los robots móviles requieren de percepción y obtener una localización la su ubicación en el mapa dado, se adquirirán sensores para la navegación y localización de dicho sistema para el correcto funcionamiento como laser scanner, inertial measurement unit (IMU), giroscopios brújulas digitales, cámaras, entre otros. El robot móvil ayudará a explorar esas capacidades y que el cambio de productos no requiera de una fuerte inversión en cuestiones de máquinas, equipos y materiales debido a la modularidad y de no tener un sistema dedicado solamente a un tipo de producto. Por lo mismo que los robots móviles requieren de percepción y obtener una localización la su ubicación en el mapa dado, se adquirirán sensores para la navegación y localización de dicho sistema para el correcto funcionamiento como laser scanner, inertial measurement unit (IMU), giroscopios brújulas digitales, cámaras, entre otros.

Se comparará un robot móvil de grado industrial con el objetivo de poder investigar en la flexibilidad y modularidad de celdas de este tipo, poder tener el manipulador sobre este y hacer la experimentación de tener un robot móvil para la alimentación y colocación de la fibra (a escala). Esta visión se tiene debido a que el futuro de la manufactura en el mundo es poder hacer sistemas modulares y flexibles que puedan adaptarse a los cambios en el desarrollo de las palas. Ya que bien podríamos crear en un principio segmentos pequeños. Dichos segmentos podrían cambiar en algún momento y si no se contempla un sistema de manufactura flexible se tendría que volver a invertir nuevamente recursos para poder desarrollar un nuevo sistema que permita fabricar este nuevo producto. El robot móvil ayudará a explorar esas capacidades y que el cambio de productos no requiera de una fuerte inversión en cuestiones de máquinas, equipos y materiales debido a la modularidad y de no tener un sistema dedicado solamente a un tipo de producto. Por lo mismo que los robots móviles requieren de percepción y obtener una localización la su ubicación en el mapa dado, se adquirirán sensores para la navegación y localización de dicho sistema para el correcto funcionamiento como laser scanner, inertial measurement unit (IMU), giroscopios brújulas digitales, cámaras, entre otros. El robot móvil ayudará a explorar esas capacidades y que el cambio de productos no requiera de una fuerte inversión en cuestiones de máquinas, equipos y materiales debido a la modularidad y de no tener un sistema dedicado solamente a un tipo de producto. Por lo mismo que los robots móviles requieren de percepción y obtener una localización la su ubicación en el mapa dado, se adquirirán sensores para la navegación y localización de dicho sistema para el correcto funcionamiento como laser scanner, inertial measurement unit (IMU), giroscopios brújulas digitales, cámaras, entre otros.

Se adquirirá software especializado para el control de fuerzas para el robot industrial, esto es debido a que acceder a la arquitectura de hardware y software no es permitido por el proveedor y estaríamos infringiendo en la propiedad intelectual de dicho proveedor. Una de las soluciones contempladas es hacer una alianza; sin embargo, esto requiere tiempo y mayor conocimiento en la plataforma robótica que se hará con este software. También se adquieren sensores y actuadores de alto desempeño para el desarrollo de prototipos del robot antropomorfo para inspección de palas que servirá para la verificación después de su manufactura y tener la calidad deseada. Esto se encuentra dentro de un tema de investigación doctoral. Con este sistema de inspección se explorará también la capacidad de poder hacer inspección de palas en funcionamiento en los campos eólicos o granjas de viento (wind farms) para evitar detenerlas, mejorar su vida, y tener un mejor monitoreo y logística de mantenimiento cuando realmente sea

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

requerido. Para poder hacer benchmarking y comenzar a programar algoritmos de control se comprará un sistema robótico móvil hexápodo. Esto permitirá poder desarrollar los primeros algoritmos de control que irán en el prototipo de robot de inspección final.

Se comprará un osciloscopio (o sistema de adquisición de datos) avanzado para medición de temperaturas en molde, en el herramental, obtener señales de encoders, presiones y diversos factores ambientales que pudieran afectar al sistema. Esto permitirá desarrollar un lazo de control adecuado al sistema y por consiguiente la manufactura adecuada de la sección de pala. Se comprará la máquina rotatoria para el molde y para tener más libertad de movimiento además del estudio de su sincronización con el robot. Para poder mejorar los resultados en la simulación de los sistemas dinámicos se estarán comprando navajas de ocho núcleos, ya que se pretende realizar una simulación y análisis dinámico incluyendo movimiento, estructuras, temperaturas, esfuerzos entre otros tipos de análisis en una sola simulación, esto para acercarnos a lo que estaría sucediendo en la realidad. Algunos resultados que se esperan es de poder tener modelos matemáticos más ciertos de los fenómenos físicos que interactúan entre si y afectan al sistema en cuestión.

Se adquirirá el sistema laser de mayor eficacia y control para el calentamiento del material compuesto pre impregnado y que estaría en el prototipo final de nuestro herramental. Se adquirirán kits y equipos de robótica móvil como computadoras embebidas de desarrollo para estudiantes de maestría y practicantes (o residentes) que ayuden a desarrollar algoritmos y conceptos para la manufactura flexible de palas de diversos tamaños. También aquí se tienen contemplados algunos imprevistos de equipos y/o máquinas que hicieran falta para el correcto desarrollo del proyecto. Esto es debido a que se está en la fase final y por consiguiente algunos equipos se deterioran y se necesita repuesto o se necesita alguno más avanzado (no tenemos conocimiento del comportamiento). Se compran componentes del sistema que son críticos para poder hacer la reparación y/o sustitución en caso de daño.

Rubro 9.5

Adquisición de: curso de capacitación especializada en manufactura de materiales compuestos; curso de capacitación especializada en diseño de sistemas de manufactura robotizados.

Adquisición de servicios de especialistas extranjeros en manufactura de materiales compuestos.

Adquisición de servicios de especialistas extranjeros en procesos de manufactura robotizada.

Adquisición de servicios de expertos extranjeros en manufactura de palas de grandes aerogeneradores. Adquisición de servicios de expertos extranjeros en procesos de manufactura robotizada. Adquisición de servicios de expertos extranjeros en manufactura y pruebas de palas de grandes aerogeneradores. Nota: Los expertos pueden ser personas físicas o morales.

Rubro 9.6

Gastos relacionados con protección de propiedad industrial. Los costos mínimos estimados de una solicitud PCT son los siguientes: Tarifa de Presentación Internacional (a través del IMPI) \$1,400 CHF (1,126 Euros); Tarifa de Tramitación (en el IMPI) \$200 CHF (161 Euros); Tarifa de Búsqueda Internacional (a través de España) \$2,000 Euros; Tarifa Examen Preliminar (a través de España) \$1,760 Euros; Tarifa de Transmisión (España) \$120 Euros; Total Por solicitud: \$5,167 Euros = \$87,839 MXN

Rubro 9.7

Informe semestral de gastos auditados

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

15.- Impactos, oportunidades, caso, plan o modelo de negocios y/o mecanismos de transferencia.

Impacto científico

El sistema en su conjunto permitirá llevar a cabo investigación científica aplicada que permita mejorar los procesos de manufactura de las palas de generadores eólicos. A partir de los resultados que se generen por la ejecución del proyecto se espera producir al menos diez publicaciones en revistas indexadas. Se estima que se pueden generar de tres a cuatro tesis de maestría y un número similar de tesis de doctorado.

La compra de los equipos mencionados en los formatos respectivos nos permitirá avanzar en el desarrollo de aplicaciones únicas en el país y de competencia internacional. Se tiene planeado generar dos tesis doctorales y tres tesis de maestría en los temas de robótica aplicada a la manufactura de palas para generados eólicos. Debido a que es un proyecto de interés mundial, también se permitirá focalizar la atención a nuestro país en la investigación acerca de este tipo de procedimientos y por ende estar a la vanguardia.

Se generarán científicos e investigadores en el tema de manufactura de palas con materiales compuestos por medio de robots. El estudio e investigación en este tema involucra diversas áreas de conocimiento abriendo la posibilidad de aplicarlos en muchas actividades en diferentes industrias manufactureras. Este proyecto nos permitirá crear especialistas en temas de control térmico, de posicionamiento de las fibras, desarrollo de moldes, pruebas no destructivas, análisis micro estructural robotizado, manufactura robotizada, comunicación entre sistemas y eficiencia energética. Gracias a esto se expanden las áreas de aplicación y el impacto científico y de conocimiento podría abarcar más áreas como aeronáutica, espacial, automotriz e industrias que requieran de celdas de manufactura flexible, modulares, rapidez de implementación, control de trayectorias para posicionamiento de material compuesto, entre otras.

Impacto tecnológico

En el país no se cuenta actualmente con un sistema de este tipo, por lo que el impacto del desarrollo tecnológico propuesto será bastante significativo. Incluso a nivel mundial los sistemas de este tipo son muy contados. Sin embargo, el desarrollo de aerogeneradores de gran potencia como es el caso de los que se requieren para granjas eólicas off-shore (>6 MW) requiere palas con un diseño óptimo y una manufactura específica. El impacto tecnológico que se espera es que mediante el uso del sistema automatizado de manufactura de palas de materiales compuestos se esté en posibilidades de desarrollar palas de grandes aerogeneradores que presenten mayor robustez gracias al desarrollo de métodos de manufactura automatizados que permitan reforzar la estructura de las palas de manera precisa en zonas previamente identificadas. Otra contribución tecnológica que podría derivarse en el mediano plazo y largo plazos es el diseño de métodos de manufactura de palas por segmentos, lo cual permitiría facilitar su transporte hacia el sitio de instalación.

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

Impacto económico

En promedio, las palas de grandes aerogeneradores representan un 22% del costo total del aerogenerador, y esto se debe en parte a que los procesos de manufactura requieren una gran cantidad de mano de obra especializada. Desde el punto de vista económico y situándonos en el mediano y largo plazos, la automatización de la manufactura de palas podría redundar en el logro de economías de escala, de tal manera que la proporción del costo de las palas respecto del costo total del aerogenerador podría evolucionar a la baja.

Otro impacto económico que se ha identificado es la oportunidad de crear uno o varios paquetes tecnológicos que se puedan transferir a empresas de base tecnológica, nuevas o existentes, y que podrían aprovechar los productos generados por el proyecto y que serían puestos a su disposición por medio de la UTVCs correspondiente.

Impacto social

Desde el punto de vista social, la generación de empresas de base tecnológica a partir de los productos del proyecto podría reflejarse en la creación de oportunidades de empleo de mano de obra especializada y por lo tanto con mejor nivel de remuneración. Lo anterior en un país como el nuestro es altamente deseable, necesario y alcanzable.

Impacto geográfico

Desde el punto de vista geográfico, en Querétaro se está concentrando una gran parte del saber-hacer en tecnología aeronáutica. CIDESI contribuye en gran medida con esta temática gracias a su Laboratorio de Materiales Compuestos. Es un hecho que el diseño y manufactura de palas de aerogeneradores tiene su origen en la tecnología aeronáutica, ya que los primeros perfiles de las palas correspondieron a los publicados por lo cual la presente propuesta vendrá a complementar y a reforzar las competencia y potencial del clúster aeronáutico de la región de Querétaro.

Mecanismo de transferencia

Una vez ejecutado el proyecto y generado productos de IDT+i, la transferencia de tecnología hacia el sector productivo podría realizarse de la manera siguiente:

1. Obtención de patentes o registro de modelos de utilidad en áreas tales como:
 - Diseño de palas con materiales compuestos
 - Tecnología automatizada de manufactura de palas
 - Logística y transporte
2. Integración de paquetes tecnológicos para licenciamiento.
3. Concurso para el otorgamiento de las licencias
4. Transferencia por medio de la UVTC del CEMIE Eólico.

PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

Ya que no existe en México una empresa o centro que esté desarrollando este tipo de tecnología de manufactura avanzada, se pretende llegar a crear las bases para ofrecer el servicio de manufactura de palas hacia la industria internacional una vez que algunos conceptos e hipótesis se encuentren corroboradas. Otro mecanismo de transferencia de tecnología podría ser por medio del desarrollo de un spin-off del CEMIE/CIDESI, ya que la misión del centro no estaría cambiando y alguien tendrá que comercializar dichos productos. También se tiene planeado ofrecer servicios de inspección de palas en campos eólicos para dar la validación de que las palas se encuentran en buen estado y que la inversión hecha por ciertas compañías se encuentra dentro de los estándares que México necesita.

Las experiencias ganadas por el equipo podría ser replicable hacia otras industrias manufactureras, ya que se podrían desarrollar celdas especializadas para ciertos procesos. Para poder generar ofertas a otras industrias se buscaría el apoyo de una Oficina de Transferencia de Tecnología nacional que apoyará en la búsqueda de dichas oportunidades de negocio.

La propiedad intelectual generada es de vital importancia para poder transferir nuestra tecnología desarrollada por lo mismo se tiene contemplado generar patentes para el proceso, las herramientas, el método y derechos de autor para algunos desarrollos de software . Otra manera de poder transferir e intercambiar conocimientos y tecnología es mediante el intercambio de talento desarrollado durante el proyecto por medio de estancias cortas, presentaciones en congresos.

Se buscará ser miembro de asociaciones de manufactura de materiales compuestos y de robótica aplicada para poder compartir información y estar informados de los acontecimientos en el tema así como para demostrar nuestras capacidades y especialidades.